

GÉOARCHÉOLOGIE DES OCCUPATIONS PRÉCOLOMBIENNES DE GUYANE FRANÇAISE: ÉTUDE DES MARQUEURS PÉDO-SÉDIMENTAIRES DE L'ANTHROPISATION.

Jeanne Brancier

▶ **To cite this version:**

Jeanne Brancier. GÉOARCHÉOLOGIE DES OCCUPATIONS PRÉCOLOMBIENNES DE GUYANE FRANÇAISE: ÉTUDE DES MARQUEURS PÉDO-SÉDIMENTAIRES DE L'ANTHROPISATION.. Archéologie et Préhistoire. Université Paris 1 - Panthéon-Sorbonne, 2016. Français. NNT : . tel-01525210

HAL Id: tel-01525210
https://hal.science/tel-01525210

Submitted on 19 May 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université Paris I – Panthéon Sorbonne
Ecole Doctorale d'Archéologie – ED 112

UMR 8215 – Trajectoires

THÈSE POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR

Spécialité : Archéologie

Présentée et soutenue publiquement par

Jeanne BRANCIER

Le 14 novembre 2016

GÉOARCHÉOLOGIE DES OCCUPATIONS PRÉCOLOMBIENNES DE GUYANE FRANÇAISE: ÉTUDE DES MARQUEURS PÉDO-SÉDIMENTAIRES DE L'ANTHROPISATION.

Sous la direction de Jean-Paul DEMOULE et la co-direction d'Eric FOUACHE.

Volume 1 : Textes, figures et tableaux

Membres du jury :

M **Michel Brossard**, Directeur de recherche, IRD, représentant en Guyane.	Rapporteur
Mme **Cécilia Cammas**, Chargée de recherche, INRAP, UMR 5140.	Examinatrice
Mme **Claire Chenu**, Professeure, UMR Ecosys, AgroParisTech.	Rapportrice
M **Jean-Paul Demoule**, Professeur, Université Paris I, CNRS UMR 8215.	Directeur
M **Eric Fouache**, Professeur, Université Paris-Sorbonne Abu Dhabi (Vice-Chancelier).	Co-directeur
M **Stephen Rostain**, Directeur de recherche, CNRS UMR 8096.	Examinateur
M **Dominique Todisco**, Maitre de conférences, Université de Rouen, UMR 6266.	Examinateur

Page suivante : dessin de Françoise Laurent-Brancier librement inspiré de D. Brinkmeier in Erickson 2010.

A mes Ancêtres…



Lorsqu'on me demande « pourquoi Archéologue », je réponds parce-que Indiana.

REMERCIEMENTS

Une page de remerciements c'est un foisonnement de « mercis » et c'est avant tout un hommage rendu à ceux qui ont pris part à ce travail, de près comme de loin.
Des années de recherche ne sont pas dénuées de rencontres et de collaborations. Les premières pages de cette thèse sont là pour les rappeler…
Ainsi, sans plus de tergiversations, je commencerai par remercier ma tutrice préférée, Cécilia, sans qui ce travail n'aurait jamais vu le jour. Elle a su trouver les bons mots, me faire confiance et me soutenir lorsque la motivation me manquait et le blues me prenait ! Je ne parle pas de nos nombreuses heures à bavasser autour du microscope pour comprendre ensemble ce que ces sols tropicaux pouvaient nous révéler ; novices, l'une comme l'autre en la matière des sols tropicaux ! Rappelons nous ce doux souvenir où, sous la neige Rouennaise, nous faillîmes mourir gelées par le blizzard ardent d'un début avril 2012 ! Ou encore cette épopée Paracouesque au milieu des moustiques et des scorpions… Stoïques nous fumes, et stoïques nous resterons ! Merci, encore et encore Cécilia pour ta patience. Un petit clin d'œil à Jean-Pierre pour ses chouettes attentions et ses mets délicieux.
En bon matelot, Dominique, tu as rejoins le navire en route, et ensuite vogue la galère, euh non pardon, vogue ton enthousiasme sur ce sujet où tout était à faire, les nouvelles idées fusant ça et là, et des idées tu n'en manques pas. Heureusement que l'English t'es familier, sinon « google translate » aurait fait des siennes ! Merci à toi aussi pour tout.
Très cher Jean-Paul, très cher Eric, malgré vos vies tumultueuses de chercheurs aguerris, vous avez toujours été disponibles pour me guider, me conseiller, dans les méandres de la recherche, et pour cela soyez ici remerciés tous deux.
Je tiens également à remercier Stephen Rostain, qui a su me conseiller et se montrer toujours intéressé par mon travail. Les savantes critiques de relecteur m'ont permis d'ouvrir les yeux sur bien des pans de l'archéologie guyanaise que j'avais quelque peu occultés !
Que soient ici remerciés également Michel Brossard et Claire Chenu qui ont accepté d'évaluer la valeur scientifique de ce travail.

Mes différents séjours en Guyane m'ont permis de rencontrer l'équipe des archéologues de l'Inrap qui officient en Guyane et aux Antilles. Martijn van den Bel, Jérôme Briand, Mickael Mestre, Lydie Clerc, Matthieu Hildebrand, Sandrine Delpech, Christine Fouilloud et Sandra Kayamaré, ainsi que leur AST qui changea, ainsi Sylvie Jérémie puis Thierry Cornec, que vous soyez ici tous remerciés. Un remerciement tout particulier à Martijn pour ton aide très précieuse lors des différents moments de rédaction. Finalement sans Chemin Saint-Louis, cette thèse n'aurait jamais vu le jour ! Merci également à toi, Jérôme pour tes conseils concernant Balaté. Mickael, je tiens à saluer ta bravoure de m'avoir confié les prélèvements que vous aviez fait à Yaou, ne sachant pas ce que je pourrai en faire ! Nos futures collaborations sur les montagnes couronnées, seront, je l'espère, fructueuses.
Toute l'équipe du SRA Guyane m'a ouvert la porte en me donnant accès à de nombreuses ressources documentaires, et en m'apportant son soutien administratif, nécessaire notamment lorsque le moment du passage des douanes, avec des sachets empaquetés de terre, arrive ! Merci à Gérald Migeon, Guy Dauphin et Eric Gassies, ainsi qu'au Conservateur actuel, Nicolas Payraud, pour vos conseils et votre disponibilité.

Un grand merci tout particulier à toi, Claude, pour ton accueil, ta douceur, ta gentillesse, et ton aide. Une grande pensée pour tes quatre hommes à présent, dont deux ont du bien grandir et le dernier qu'il me tarde de rencontrer…

Un travail de géoarchéologie implique forcément une étude en amont de la géologie et du fonctionnement des sols. Ainsi, une belle rencontre fut pour moi celle de Vincent Freycon. Tu as su trouver beaucoup de temps pour m'aider et me guider dans mon travail, et pour tout cela je te remercie grandement. Merci également à ta famille de m'avoir accueilli.
Au sein du programme Couac j'ai eu l'occasion de rencontrer de nombreux chercheurs, je pense notamment à Bruno Hérault, Bruno Ferry, Stéphanie Barthe, ainsi que Les Grenand, avec lesquels nous avons partagé les moments de « balades » dans la terrible jungle vierge amazonienne, ainsi que de nombreuses discussions qui ont pu apporter de l'eau au moulin de ce travail.
Un grand merci à Manuel Arroyo-Kalin d'avoir bien voulu partager son savoir et son regard sur les *terra preta* amazoniennes. Nos différentes rencontres, à Manaus puis à Londres me permirent d'affiner mon travail.
Une recherche digne de ce nom, peut difficilement se faire sans l'aide et le regard avisé des « anciens ». Ainsi, je souhaiterais remercier tous les archéologues, pédologues, écologues, « scienceurs » du sol, géochimistes, spécialistes des milieux tropicaux, et plus particulièrement du milieu Guyanais, pour leurs conseils et leurs grands savoirs : Michel Grimaldi, Emmanuel Fritsh, François Levêque qui m'a ouvert son antre du magnétisme, N. Proix, J.-F. Ponge qui m'a permis entre autre de me rendre compte que j'avais carrément enrésiner des vers de terre dans mes lames minces, ainsi que Doyle McKey. Plusieurs spécialistes ont également répondu présents lorsque je leur ai proposé d'étudier phytolithes ou charbons de bois. Qu'ils soient ici grandement remerciés pour leur aide et leur travail : Aline Emery-Barbier, Jennifer Watling, Lydie Dussol et Romain Thomas.

Un très grand merci à toute l'équipe Sol de l'Inra de Grignon, pour son accueil et son dynamisme, surtout lorsqu'il s'agit d'organiser des pots ! Un merci tout particulier à Myriam pour son aide dans les ACP. Sans elle, ça aurait pris probablement encore quelques années ! Merci également à J-M Gilliot et D. Hadjar pour leur aide dans la réalisation du MNT des montagnes couronnées.
Une pensé va vers tous mes collègues du laboratoire de micromorphologie, Farid, Carole, Behlladj, qui ont toujours montré de l'intérêt et de l'enthousiasme pour mon travail. Julia, tes conseils en matière de micromorphologie furent toujours les bienvenus dans les foultitudes de questions que j'ai pu me poser en observant mes lames minces. Merci pour ton aide et ton soutien également dans les moments difficiles de doute.

Big-up à tous les potos et potesses thésards, qui n'en n'ont pas encore fini, mais cela ne saurait tarder, je pense notamment à Marie, Marylise, Wassel, Alessandro, ainsi qu'à Julienne. Yo M-C je ne t'oublie pas, un gros merci à toi aussi pour tout.
Un « gloire à eux » et courage pour la suite aux anciens thésards qui ont soutenu, Ophélie, Fiona, Nith, Romain, Kenji. Un plaisir de partager tous ces moments avec vous.

Je souhaiterai remercier ici Dominique Legoupil, qui m'a permis de réaliser un de mes rêves, en allant fouiller « *au monde du bout du monde* », en Patagonie Chilienne. Se fiant à son instinct, elle a accepté qu'une pépète de 23 ans qui « fait encore ses dents », fasse

partie de son équipe de fouilleur, sur une île perdue au milieu des otaries et des manchots ! Merci à toute l'équipe rencontrée sur place, aussi bien aux français qu'aux chiliens et argentins, je garde de merveilleux souvenirs de ces fouilles, et si s'était à refaire, je dirai voui demain (*a priori* mes dents ont toutes terminé de pousser) !

Enfin, merci à ma famille, mes parents, mon frère et sa douce, mes tantes, mes cousines et cousins, mes beaux-parents, qui m'ont soutenu durant toutes ces années.
Je ne ferai pas ici la liste de mes amies et amis qui m'ont soutenu de leurs belles énergies et de leur présence, ils se reconnaîtront…
Et merci à toi, Zipopo Kalari man. Tu sais…

A présent que ce long et tumultueux travail de recherche se termine, je me retire vers d'autres horizons. La vie est longue, pleins de projets m'ont nourri durant ces années de recherche, m'ont fait rêver et m'ont permis de mener à bien ce travail. L'archéologie était et sera toujours un rêve, pour le moins accompli à présent, qui m'appellera toujours d'un bout à l'autre de la Terre.

Merci à tous et belle continuation à vous. Que la vie vous apporte du bonheur, et surtout qu'elle vous fasse rêver…

Résumé

Les recherches entreprises dans cette thèse visent à définir les processus de formation des anthroposols archéologiques précolombiens sur le territoire guyanais ainsi qu'à participer à la restitution des activités humaines passées. Elles sont fondées sur l'étude et l'analyse des propriétés intrinsèques des sédiments archéologiques, telles que, d'une part, leur nature et leur organisation pédo-sédimentaires, et d'autre part, leurs propriétés physico-chimiques. La possibilité de disposer d'un corpus de sites archéologiques de plein air dans différents contextes géomorphologiques (plaine alluviale, colline latéritique pour les montagnes couronnées), et la mise en place d'une approche géoarchéologique combinant observations micromorphologiques et analyses physico-chimiques, a permis d'investiguer différents types d'anthroposols précolombiens guyanais, et de les caractériser suivant plusieurs marqueurs anthropiques, directs et indirects. L'analyse géoarchéologique révèle que la pédogénèse naturelle a été impactée par l'anthropisation ancienne et indique une certaine résilience des sols. La micromorphologie des sols a permis de mettre en évidence des microtraces anthropiques telles que des charbons (micro et macro) et des céramiques, communs aux deux contextes, ainsi que différents types d'agrégats brûlés provenant de la surface des sols ayant subi la chauffe pour les montagnes couronnées. L'activité anthropique a aussi probablement favorisé les processus de lessivage des argiles par des apports anciens de cendres. La pédofaune a été transformée comme le laisse supposer, en lames minces, la présence de traits rapportés à *Pontoscolex corethrurus*. Les analyses archéo-environnementales complémentaires mises en place dans ce travail (anthracologie, phytolithes, susceptibilité magnétique) ont permis de compléter les données acquises sur la mise en place des anthroposols étudiés. Ces travaux, précurseurs pour le territoire guyanais, et en s'inspirant des études menées non loin, en Amazonie brésilienne sur les *terra preta/mulata* ou Amazonian Dark Earth, viennent compléter le référentiel des anthroposols archéologiques développés en Amazonie. Ils ont, en outre, permis d'émettre plusieurs hypothèses quant à l'origine des marqueurs d'activités, directs ou indirects, observés dans les anthroposols archéologiques, et de mettre ainsi en évidence les manifestations humaines anciennes qui auraient pu avoir lieu sur les sites étudiés. Des activités fondamentales telles que les foyers domestiques ou la mise en culture des sols semblent avoir pris place sur ces derniers. Des hypothèses sur les modèles d'occupation de l'espace ont été proposées en s'intéressant aux zones de rejet principalement, situées en retrait des maisons supposées et à proximité du fossé dans le cas des montagnes couronnées. Cette étude s'inscrit typiquement dans une approche archéo-environnementale qui vient préciser les liens étroits qu'entretenaient les populations précolombiennes avec leur environnement.

Mots clés : Géoarchéologie amazonienne, anthroposols archéologiques, micromorphologie, géochimie, *terra preta/mulata*, peuplements précolombiens, Guyane française.

Abstract
The research undertaken in this thesis, aims to identify the formation processes of the pre-Columbian archaeological anthropogenic soils in the French Guiana territory as well as to contribute to revisiting ancient human activities. It is based on the study and analysis of the intrinsic properties of archaeological sediments, such as, on the one hand, their nature and their pedo-sedimentary composition, and on the other hand, their physicochemical properties. The availability of a corpus of open air archaeological sites in different geomorphological settings (e.g., floodplain; lateritic hill with circular ditch glossed in French *montagne couronnée*), and the implementation of a geoarchaeological approach combining micromorphological observations and physicochemical analyses, enabled to investigate different kinds of pre-Columbian anthropogenic soils in French Guiana, and to characterize them according to several anthropogenic markers, both direct and indirect. Geoarchaeological analysis revealed that the natural pedogenesis has been impacted by the ancient anthropization and indicates a certain resilience of soils. The soil micromorphology demonstrated anthropogenic microtraces such as charcoal (micro and macro) and fragments of pottery, common to both contexts, as well as different kinds of heated aggregates originating from the surface of the soils having been burned, only for the *montagnes couronnées* sites. Anthropogenic activity probably also contributed to the process of leaching of clay via the formed ashes. The pedofaune has been transformed as one may assume, in thin sections, the presence of pedofeatures related to *Pontoscolex corethrurus*. Additional archaeo-environmental analyses implemented in this study (anthracology, phytoliths, magnetic susceptibility) allowed completing the data acquired on the implementation of the studied anthropogenic soils. These studies, pioneering for French Guiana, though inspired by studies in the near Brazilian Amazon on *terra preta/mulata* or Amazonian Dark Earth, complement the repository of archaeological anthropogenic soils developed in the Amazon. Furthermore, they allowed several hypotheses about the origins of the activity markers, either direct or indirect, observed in the archaeological anthropogenic soils, and evidenced ancient human events that could have taken place on the sites studied. Fundamental activities such as house fires or the cultivation of the land appear to have taken place on the latter. Assumptions about the models of occupation of space have been proposed mainly by refuse areas behind the supposed houses and near the ditch in the case of the *montagnes couronnées*. This study is situated in an archaeo-environmental approach demonstrating the close relations between pre-Columbian populations with their environment.

Key words: Amazonian geoarchaeology, archaeological anthrosols, micromorphology, soil geochemistry, *terra preta/mulata*, Pre-Columbian peoples, French Guiana.

Sommaire

INTRODUCTION **29**

PARTIE I. CONTEXTE **37**

CHAPITRE 1. CADRE BIO-PHYSIQUE DE L'ÉTUDE **39**
I. LES GUYANES, UNE « ILE » CONTINENTALE EN AMAZONIE 39
I.1. Le bassin Amazonien 40
I.2. La région du bouclier guyanais 42
II. LA GUYANE, CADRE BIO-PHYSIQUE ACTUEL 44
II.1. Climat actuel 45
II.2. Le réseau hydrographique 45
II.3. Modelé guyanais et végétation 47
III. CLASSIFICATION DES SOLS TROPICAUX HUMIDES SOUS FORET OMBROPHILE 57
IV. TRANSFORMATION DU PAYSAGE GUYANAIS AU COURS DU QUATERNAIRE 61
IV.1. Le Pléistocène tardif (28 000 – 10 000 ans BP) 62
IV.2. Holocène (10 000 ans cal. BP à aujourd'hui) 64
IV.3. Paléoincendies Holocène récents 67
CHAPITRE 2. LA RECHERCHE ARCHÉOLOGIQUE DANS LA RÉGION AMAZONIENNE **69**
I. L'EMERGENCE DE L'ARCHEOLOGIE AMAZONIENNE 69
I.1. Les grands courants de pensée 69
I.2. L'archéologie amazonienne aujourd'hui 72
II. L'ARCHEOLOGIE EN GUYANE 74
II.1. Les premiers pas de l'archéologie guyanaise 74
II.2. L'essor de l'archéologie moderne sur le territoire guyanais 75
II.3. Débats autour du cadre chrono-culturel 78
II.4. Préservation et conservation des vestiges 79
III. PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES SITES DE PLEIN AIR DECOUVERTS EN GUYANE FRANÇAISE 79
CHAPITRE 3. PORTRAIT DU MONDE AMÉRINDIEN ANCIEN **85**
I. LES INDICES D'ANTHROPISATION ANCIENNE DANS LE MILIEU TROPICAL HUMIDE AMAZONIEN 85
I.1. Les plus anciennes preuves d'anthropisation en Amazonie et dans les Guyanes 86
I.2. Premières occupations semi-sédentaires à sédentaires 89
I.3. Intensification du peuplement et agriculture 91
I.4. Nouveaux bouleversements culturels 95
II. PROCESSUS DE NEOLITHISATION SUR LE TERRITOIRE AMAZONIEN 101
CHAPITRE 4. AMAZONIAN DARK EARTH OU TERRA PRETA **111**
I. UNE ORIGINE CONTROVERSEE 112
II. OCCURRENCE ET DESCRIPTION 114
II.1. Occurrence et extension 114
II.2. La terra preta dans les Guyanes 116
II.3. Profil pédologique type 117
II.4. Données archéologiques 121
III. PROPRIETES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES ADE 122
III.1. Matière organique 122
III.2. pH 125
III.3. Capacité d'Échange Cationique (CEC) 125
III.4. Nutriments 126
IV. LES ADE : UNE ORIGINE ANTHROPIQUE 129
IV.1. Terra preta stricto sensu 129
IV.2. Terra mulata 132
V. DES DONNEES PLUS RECENTES SUR LES ADE 135

V.1. Le rôle des microorganismes et de la macrofaune du sol 135
V.2. La micromorphologie des sols 136
VI. DISTINCTION ENTRE TERRA PRETA AMAZONIENNE ET TERRE NOIRE EUROPEENNE 138
VII. LA *TERRA PRETA* AUJOURD'HUI 139
VIII. BILAN DES RECHERCHES MENEES SUR LES AMAZONIAN DARK EARTH 141

PARTIE II. MATERIEL & METHODE 145

PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS 147
CHAPITRE 1. MATERIEL 149
I. LES SITES DE PLEIN AIR EN CONTEXTE DE PLAINE ALLUVIALE 149
I.1. La région du Maroni 149
I.2. Etude de cas 153
II. LES SITES FOSSOYES SOUS FORET EQUATORIALE HUMIDE 171
II.1. Montagnes couronnées 87 et 88 171
II.2. Le site de Yaou 196
CHAPITRE 2. MÉTHODE GÉNÉRALE 211
I. GEOARCHEOLOGIE 211
I.1. Point de départ de l'étude géoarchéologique 211
II. MICROMORPHOLOGIE DES SOLS 214
II.1. Principes 214
II.2. Historique 215
II.3. Démarche 216
III. ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES 235
III.1. Principe 235
III.2. Échantillonnage 236
III.3. Les analyses physico-chimiques 236
III.4. Utilisation des données et présentation des résultats 248
IV. ANALYSES COMPLEMENTAIRES ET EXPLORATOIRES 249
IV.1. L'anthracologie 249
IV.2. Les phytolithes 250
IV.3. La susceptibilité magnétique 252
IV.4. Diffraction des rayons X (ou DRX) 253
IV.5. Microscopie électqronique à balayage (MEB) 254
IV.6. Mesure du $\delta^{13}C$ 255

PARTIE III.RESULTATS 259

CHAPITRE 1 - MICROFACIES ET CARACTERES PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS ARCHEOLOGIQUES DE LA PLAINE ALLUVIALE DU MARONI. 261
I. LES SOLS DE LA TERRASSE ALLUVIALE DU MARONI : AMBIANCE GENERALE. 261
I.1. Caractères et constituants micromorphologiques généraux des sédiments 261
I.2. Résultats des analyses physico-chimiques 264
II. LES ANTHROPOSOLS DEVELOPPES SUR LA PLAINE ALLUVIALE DU MARONI 267
II.1. Caractères et constituants micromorphologiques des sédiments, communs aux différents anthroposols 267
II.2. L'anthroposol archéologique du site de Chemin Saint-Louis, caractères géoarchéologiques généraux 271
II.3. L'anthroposol archéologique sur le site de Balaté, caractères géoarchéologiques généraux 292
II.4. Analyse statistique multivariée des résultats physico-chimiques (ACP) 308
CHAPITRE 2 - MICROFACIES ET PHYSICO-CHIMIE DES SOLS ARCHEOLOGIQUES SUR LES MONTAGNES COURONNEES DE GUYANE FRANÇAISE, LE CAS DE LA MC 87 ET DE LA MC 88. 317

I. CARACTERES ET CONSTITUANTS MICROMORPHOLOGIQUES DES SEDIMENTS IDENTIFIES EN LAMES MINCES. 317
I.1. Matrice 317
I.2. Traits pédogénétiques 321
I.3. Constituants organiques 322
I.4. Constituants anthropiques 322
II. L'OCCUPATION DES SOLS DANS LES MONTAGNES COURONNEES 87 & 88 324
II.1. Profil MC87-3 – dans l'enceinte 325
II.2. Profil MC87-4 – dans l'enceinte 333
II.3. Profil MC87-5 – hors de l'enceinte 343
II.4. Profil MC87-1 - dans le remplissage du fossé 350
II.5. Profil MC87-2 - remplissage du fossé de la MC 87 361
II.6. Profil MC88-6 : remplissage du fossé ceinturant la MC 88. 366
III. 4.4. REMPLISSAGE FOSSE MC 87 VS REMPLISSAGE FOSSE MC 88 377
III.1. 4.4.1. Les marqueurs de la micromorphologie des sols 377
III.2. 4.4.2. Les marqueurs de la physico-chimie des sols 377
IV. CROISEMENT DES DONNEES MICROMORPHOLOGIQUES ET PHYSICO-CHIMIQUES AU MOYEN D'ANALYSE STATISTIQUE EN COMPOSANTE PRINCIPALE (ACP) 379
CHAPITRE 3 - ..... ELEMENTS COMPLEMENTAIRES DE COMPARAISON SUR LES MONTAGNES COURONNEES GUYANAISES : LE CAS DU REMPLISSAGE DES FOSSES DU SITE DE YAOU. 385
I. CORTEGE MINERALOGIQUE DU REMPLISSAGE (DRX) 385
I.1. Fossé 0 386
I.2. Fossé 2 394
II. COMPARAISON DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES FOSSES 0 ET 2. 403
III. SITUATION DES DONNEES PHYSICO-CHIMIQUES DE YAOU MISE EN REGARD DES MC 87 & 88 403

PARTIE IV. INTERPRETATION 407

CHAPITRE 1 - LES INDICATEURS D'ANTHROPISATION DU SOL 409
I. LES INDICATEURS DES SURFACES ANCIENNES 409
I.1. L'activité biologique 409
I.2. L'orientation sub-horizontale des marqueurs anthropiques directs 410
I.3. La concentration d'éléments grossiers 411
I.4. Les marqueurs chimiques indirects 411
II. LES INDICATEURS DE REMANIEMENT MECANIQUE DES SOLS 412
III. LES MARQUEURS DIRECTS ET INDIRECTS DES RESTES DE NOURRITURE 413
IV. LES INDICATEURS D'OUVERTURE DU MILIEU PAR LE FEU 414
IV.1. Les marqueurs directs de la combustion des végétaux 414
IV.2. Les marqueurs directs de l'altération thermique des sols 415
IV.3. Les revêtements argileux, un marqueur indirect de l'apport de cendres 416
IV.4. Modifications de la structure et de la texture des sols 419
IV.5. Impacts du feu sur les propriétés physico-chimiques des sols 419
IV.6. Transformation / diminution du couvert végétal : la signature du delta C13 420
IV.7. Témoins liés aux conditions de milieu 422

Chapitre 2 - ..... INTERPRETATIONS MICROMORPHOLOGIQUES ET PHYSICO-CHIMIQUES DES RESULTATS 425
I. LES ANTHROPOSOLS DE LA PLAINE ALLUVIALE DU MARONI 425
I.1. Chemin Saint-Louis 425
I.1.1. PROFIL CSL-1 425
I.1.2. PROFIL CSL-2 430
I.2. Balaté 442

I.3. Synthèse des observations géoarchéologiques faites sur la plaine alluviale du Maroni 450
II. LES ANTHROPOSOLS DES MONTAGNES COURONNEES 455
II.1. Dans l'enceinte du site 455
II.2. Extra-site : MC87-5 461
II.3. Synthèse des trois profils étudiés sur la montagne couronnée 87 462
II.4. Sols anthropisés vs sols non anthropisés 466
II.5. Comparaison des caractères physico-chimiques des anthroposols des MC 87 et 88 avec les données COUAC (sol naturel et anthroposol) 468
II.6. Remplissage des fossés 476
II.7. Confrontation des résultats physico-chimiques avec les données Couac 491
II.8. Remplissage des fossés de Yaou 498
II.9. Comparaison des remplissages du fossé 0 et du fossé 2 503

PARTIE V. DISCUSSION / SYNTHESE 507

DISCUSSION / SYNTHESE 509
I. ECLAIRAGES GEOARCHEOLOGIQUES SUR LES MODES D'OCCUPATION DES SOLS GUYANAIS 509
I.1. Des indices d'activités agricoles 510
I.2. Des indices d'activités domestiques 513
I.3. Les situations archéologiques 516
II. LES MODELES DE SPATIALISATION DES ACTIVITES HUMAINES 529
II.1. Les données de l'archéologie 529
II.2. Les données de l'ethnologie 531
II.3. Un modèle conceptuel de la montagne couronnée 87 533
III. LES ANTHROPOSOLS GUYANAIS 535
III.1. Processus de formation 535
III.2. Typologie des anthroposols 537
III.3. Paramètres physico-chimiques marqueurs de l'anthropisation 540
III.4. Proposition de classification pédologique 545
IV. AU-DELA DES « TERRES NOIRES GUYANAISES » : LES AMAZONIAN DARK EARTH, UN ANTHROPOSOL CUMULIQUE TROPICAL 549
IV.1. Principaux caractères communs 549
IV.2. Principaux points de disparité 554
IV.3. La question de l'intentionnalité à l'origine de la formation de anthroposols précolombiens 565
IV.4. Temporalités d'occupation en Guyane française, versus Amazonie 566

CONCLUSION 569

BIBLIOGRAPHIE 577

Table des figures

Figure 1 : Le bouclier guyanais, une « île continentale » en Amazonie (modifiée d'après Gibbs & Barron 1993)-Projection WGS84. 40

Figure 2 : Carte représentant le bassin versant amazonien (source : Google map - modifiée par l'auteure) 41

Figure 3 : Schéma de la géologie du bouclier guyanais (d'après Gibbs & Barron 1983, tiré de Palvadeau 1999). 43

Figure 4 : Situation de la Guyane sur le globe et par rapport à la France (carte google earth modifiée par l'auteure). 44

Figure 5 : Carte du relief et de l'hydrographie de la Guyane française (modifiée d'après Filleron et al. 2003). 47

Figure 6 : Carte pédologique du territoire guyanais (éditée par Blancaneaux 2001). 48

Figure 7 : Etagement de la végétation en fonction du sol : au premier plan le marais de Kaw, puis derrière les savanes, et enfin les collines des chaînons septentrionaux (photo E. Fouache). 49

Figure 8 : Coupe schématique de la plaine côtière de Guyane (d'après Turenne 1978 tiré de Théveniaut & Delor 2004). 50

Figure 9 : Stratification verticale de la forêt ombrophile (photo M. Burst). 56

Figure 10 : Exemple d'altération ferrallitique rencontrée en bord de route entre Kourou et Cayenne (photo C. Cammas). 59

Figure 11 : Diagramme de Pedro (1975) représentant l'évolution des sols en fonction de la température et de la pluviométrie (tiré de Emmanuel et al. 2014) 59

Figure 12 : Profil d'un sol ferrallitique ou Ferralsol développé sur le socle guyanais (modifié d'après Ferry 1995). 61

Figure 13 : Carte de localisation des principaux sites étudiés dans l'état d'Amazonas, lors du projet Amazonie Centrale conduit par E. Neves (Neves & Petersen 2006) 74

Figure 14 : Carte des sites amérindiens précolombiens répertoriés sur le territoire guyanais. Carte orientée, échelle 1 : 1 700 000e (O. Armand-SRA Guyane). 77

Figure 15 : Voies principales et dérivés de dispersion des populations humaines en Amérique du sud (tire de Bueno 2011). 87

Figure 16 : Schéma de l'utilisation d'un four de type polynésien (Thoms 2008). 90

Figure 17 : Amas de galets sur le site Crique Ananas, daté de l'époque Archaïque, entre le début de l'Holocène, autour de 10000 BP jusque vers 4000 BP (Delpech 2005; Mestre & Delpech 2008). 91

Figure 18 : Champs surélevés précolombiens et champs fossoyés des llanos de Mojos (Bolivie amazonienne) (tiré de Lombardo et al. 2011) 93

Figure 19 : Exemple de champs surélevés disposés le long de la pente d'une barre pré-littorale, à l'ouest de Kourou (photo : S. Rostain) 95

Figure 20 : Site fossoyé précolombien présentant un fossé octogonal, en Amazonie bolivienne. Le fossé mesure 108 mètres de diamètre sur 2 mètres de profondeur (tiré de Erickson 2008). 96

Figure 21 : Hypothèse de construction de palissade sur un site fossoyé précolombien (dessin de Danny Brashear, tiré de Erickson 2010). 98

Figure 22 : Carte de répartition des zones et sites archéologiques du territoire guyano-amazonien mentionnés dans le texte (adaptée de Eriksen 2011). 100

Figure 23 : Emplacements des sites archéologiques de Guyane française cités dans le texte (adaptée de Filleron et al. 2003). 101

Figure 24 : Roucouyer, du fait de sa couleur rouge c'est une plante très utilisée par les populations amérindiennes actuelles (photos de l'auteure). 107

Figure 25 : Frise chronologique des grandes traditions et cultures archéologiques qui se sont développées depuis le Tardiglaciaire sur le territoire du bassin Amazonien et des Guyanes, et intéraction Homme / Environnement (modifiée de Mestre & Delpech 2008). 108

Figure 26 : Localisation des occurrences de Terra Preta latu senso dans le bassin amazonien brésilien selon de multiples sources bibliographiques. 115

Figure 27 : Topographie typique des bordures des cours d'eau amazoniens brésiliens où les populations amérindiennes anciennes se sont préférentiellement installées favorisant la creation de Terra preta latu senso (modifié d'après Lima et al. 2002). 116

Figure 28 : Schéma d'un profil de sol typique de *terra preta* stricto sensu. 120

Figure 29 : Produits d'une combustion continue selon le type de particule (en haut) associé à la terminologie (en bas). Le rectangle rouge correspond à la fenêtre des biochars dont l'origine provient de combustions incomplètes de la matière organique (modifié d'après Fischer & Glaser 2012). Les charbons (charcoal) et les suies (soot) font partis de ce que B. Glaser nomme les biochars. 123

Figure 30 : Modèle d'occupation hypothétique du site de Manduquinha en fonction des données chimiques (modifié de Kern et al. 2004). 130

Figure 31 : Reconstitution de l'occupation des sols sur le site de Juruti, en fonction des résultats chimiques et de la présence ou non des céramiques (modifié d'après Costa et al. 2013) 134

Figure 32 : Cultures successives sur ADE, site expérimental de Caldeirão – Embrapa, Amazonie Occidental, région de Manaus (tiré de Teixeira et al. 2009). 140

Figure 33 : Schéma de la genèse des *terra preta stricto sensu* et des *terra mulata* en fonction de la bibliographie. 143

Figure 34 : Localisation de l'emplacement des sites Chemin Saint-Louis et Balaté, dans la commune de Saint-Laurent du Maroni en Guyane française. 149

Figure 35 : Haut - formations Quaternaires de la plaine alluviale du bas Maroni. Bas - les quatre terrasses alluviales distinguées sur la plaine alluviale du Maroni. 152

Figure 36 : Distribution spatiale des principales structures discriminées pour chaque phase d'occupation archéologique (d'après van den Bel 2012). 156

Figure 37 : Haut - plan des structures archéologiques mises en évidence lors de la fouille du site, ainsi que des profils observés dans ce travail. Bas - topographie du site (modifié d'après van den Bel 2012). 156

Figure 38 : Relevés schématiques des profils A et B observés par L. Bruxelles pour interpréter la géomorphologie du site et caractérisation des UMaS (modifié d'après van den Bel 2012). 159

Figure 39 : Descriptions de terrain des profils CSL-1 et CSL-2 étudiés dans ce travail 162

Figure 40 : Emplacement du site de Balaté par rapport au fleuve Maroni, à la crique Balaté et au village amérindien actuel. 164

Figure 41 : Zoom sur le zone de la fouille avec les emplacements des trois profils étudiés dans ce travail, ainsi que du sondage géomorphologique profond réalisé par D. Todisco. 164

Figure 42 : Descriptions macroscopiques du sondage profond (S5) (d'après le géomorphologue D. Todisco). 166

Figure 43 : Descriptions de terrain des profils BAL-1, BAL-2 et BAL-3, étudiés dans ce travail. 170

Figure 44 : Situation géographique des sites MC 87, MC 88 et Saut Lavillette. 173

Figure 45 : Zone de bas fond à proximité de la MC 87 (photo de l'auteure). 174

Figure 46 : Fossé de la MC 87 tel qu'il est visible actuellement (photo : M. Burst). 175

Figure 47 : Haut – emplacement géographique des sites MC 87 et 88 en sommet de colline. Bas – modèle numérique de terrain de ces deux mêmes sites (réalisation J.M. Gilliot et D. Hadjar). 176

Figure 48 : Haut – carte géologique ; Bas – carte pédologique de la zone étudiée. 178

Figure 49 : Couleurs des sols de surface (0-10 cm) de la MC 87 (photo : V. Freycon) 179

Figure 50 : Emplacements des prélèvements des échantillons des pédologues, depuis la MC 88 (T1A à T5B) jusqu'en bas de versant (G1.1 à G1.4). La couleur, le drainage et la pente des sols sont indiqués sur cette figure (Desprez 2010). 181

Figure 51 : Schéma synthétique, vu en coupe, du transect des fosses ouvertes sur le site de Saut Lavillette (toposéquence 1) et des sondages tarière (S1). A l'échelle du versant, le type de drainage affecté et la pente mesurée (%) sont indiqués (Desprez et al. 2010-a). 181

Figure 52 : Carte, vue de haut, de la placette GUYAFOR du site de Saut Lavillette. Localisation des fosses et de leur transect (toposéquence 1), des sondages tarière (S1 à S5), des zones de prélèvement sur les versants à pentes fortes comprises entre 25 et 70% (P1 à 5) (Desprez et al. 2010-a). 182

Figure 53 : Emplacements des sondages archéologiques sur le site MC 87 (d'après Hildebrand et al. en préparation) 184

Figure 54 : Localisation des cinq sites non fossoyés, autour des MC 87 et 88. 187

Figure 55 : Emplacement des profils étudiés dans ce travail sur la montagne couronnée 87. 189

Figure 56 : Descriptions macroscopiques des profils MC87-3, MC87-4 et MC87-5, étudiés au sommet de la MC87. 192

Figure 57 : Descriptions macroscopiques des profils MC87-1 et MC87-2 étudiés dans le remplissage du fossé de la MC 87. 194

Figure 58 : Descriptions macroscopiques du profil MC88-6 étudié dans le remplissage du fossé de la MC 88. 195

Figure 59 : Emplacement géographique de la montagne couronnée de Yaou. 196

Figure 60 : Topographie de la région de la montagne couronnée de Yaou (tiré de Mestre 2012 adapté du BRGM). 197

Figure 61 : Implantation des sites archéologiques selon les données LIDAR qui révèlent la topographie fine du terrain (tiré de Mestre 2012). 199

Figure 62 : Carte géologique de la région d'étude de la MC de Yaou (tiré de Mestre 2012, adapté du BRGM). 200

Figure 63 : Etat de conservation de la MC de Yaou et emplacements des travaux archéologiques anciens de Mazière (en rouge foncé) et récents (en bleu), ainsi que des infrastructures liées à l'orpaillage (en blanc et gris) (tiré de Mestre 2012). 203

Figure 64 : Plan du site de la MC de Yaou et emplacements des différents sites satellites (encadrés en haut à gauche) reconnus par les prospections archéologiques autour de la montagne couronnée principale (tiré de Mestre 2012). 204

Figure 65 : Secteur 1, fenêtre 1, coupe N-E/S-O du fossé 0 avec son relevé stratigraphique (modifié de Mestre 2012). 206

Figure 66 : Secteur 2, fenêtre 1, coupe N-E/S-O du fossé 2 avec son relevé stratigraphique (modifié de Mestre 2012). 207

Figure 67 : Prélèvements en colonne stratigraphique continue réalisés par l'équipe d'archéologue, dans le remplissage du fossé 0 (photo : M. Mestre). 210

Figure 68 : Descriptions macroscopiques des profils étudiés sur la MC de Yaou, selon les relevés stratigraphiques des archéologues – en haut, fossé 0 et en bas, fossé 2. 210

Figure 70 : Exemple de lame mince avec une grille pour les comptages micromorphologiques. 226

Figure 69 : Charte d'abondance des constituants selon Bullock et al. (1985 : 24). 227

Figure 71 : Exemple de la microanthraco séquence sur le site de Balaté, profil BAL-1. 229

Figure 72 : Localisation géographique du site Ecerex, commune de Sinnamary (tiré de Grimaldi & Boulet 1990). 231

Figure 73 : Schéma et descriptions de la stratigraphie du bassin I (tiré de Grimaldi & Boulet 1990). A droite, lames minces matérialisant les sols des fosses 1 et 4. 233

Figure 74 : Lames minces matérialisant les sols des fosses 4, 5 et 6 du bassin B. 234

Figure 75 : Exemple des sédiments en vrac mis dans les boites en plastiques pour les analyses de susceptibilité magnétique, profil BAL-1. 253

Figure 76 : Représentation dans un diagramme granulométrique trivarié (argiles/limons/sables) des échantillons de CSL et BAL. La granulométrie du substrat alluvial correspond aux profils à proximité. 265

Figure 77 : Microanthraco séquence du profil CSL-1. 275

Figure 78 : Évolution de certains paramètres physico-chimiques analysés mis en regard de la microanthraco séquence, au sein du profil entier CSL-1. 277

Figure 79 : Diffractogramme de l'UMaS 2 (anthroposol) sur CSL-1. 279

Figure 80 : Diffractogramme de l'UMaS 8 (plaine alluviale) sur CSL-1. 279

Figure 81 : Microanthraco séquence du profil CSL-2 283

Figure 82 : Évolution de certains paramètres physico-chimiques analysés mis en regard de la microanthraco séquence, au sein du profil entier CSL-2. 285

Figure 83 : Évolution, en fonction de la profondeur, du pH et du carbone (%) dans les deux anthroposols CSL-1 et CSL-2, par rapport à un profil de référence (R1). 287

Figure 84 : Comparaison de l'évolution du pH dans le sondage 5 de Balaté, en fonction de la méthode d'analyse utilisée. 287

Figure 85 : Graphiques représentant l'évolution des concentrations totales de P, Ca, K, Mg, Mn et Fe, dans CSL-1, CSL-2 et R1, en fonction de la profondeur. 288

Figure 86 : Déviation relative des concentrations totales en phosphore dans 31 profils d'anthroposol de CSL..... 290

Figure 87 : Déviation relative des concentrations totales en calcium dans 31 profils d'anthroposol de CSL..... 291

Figure 88 : Déviation relative des concentrations totales en potassium dans 31 profils d'anthroposol de CSL..... 291

Figure 89 : Déviation relative des concentrations totales en magnésium dans 31 profils d'anthroposol de CSL..... 291

Figure 90 : Déviation relative des concentrations totales en manganèse dans 31 profils d'anthroposol de CSL..... 292

Figure 91 : Déviation relative des concentrations totales en fer dans 31 profils d'anthroposol de CSL. 292

Figure 92 : Microanthraco séquence du profil BAL-1..... 297

Figure 93 : Évolution des paramètres physico-chimiques analysés, au sein du profil BAL-S5 (entre 30 et 100 cm). 299

Figure 94 : Évolution des paramètres physico-chimiques mesurés dans le profil BAL-1 (entre 15 et 55 cm de profondeur - anthroposol). 299

Figure 95 : Microanthraco séquence du profil BAL-2..... 304

Figure 96 : Microanthraco séquence du profil BAL-3..... 282

Figure 97 : ACP selon les plans 1-2, représentant les horizons anthropiques et le substrat alluvial. 284

Figure 98 : ACP selon les plans 2-3, représentant les horizons anthropiques et le substrat alluvial. 285

Figure 99 : ACP suivant les plans 1-2, représentant les trois horizons d'anthroposols analysés sur la plaine alluviale du Maroni. 287

Figure 100 : ACP suivant les plans 2-3, représentant les trois horizons d'anthroposol analysés sur la plaine alluviale du Maroni. 288

Figure 101 : ACP suivant les plans 3-4, représentant les trois horizons d'anthroposol analysés sur la plaine alluviale du Maroni. 289

Figure 102 : Diffractogramme d'un échantillon du profil MC87-3..... 293

Figure 103 : Représentation dans un diagramme granulométrique trivarié (argiles/limons/sables) des échantillons des MC 87 et 88. 294

Figure 104 : Microanthraco séquence et abondance des agrégats brûlés, noirs, rouges et jaunes dans le profil MC 87-3. 302

Figure 105 : Évolution des paramètres physico-chimiques et de l'abondance des charbons et des agrégats brûlés avec la profondeur, au sein du profil MC87-3. 304

Figure 106 : Eléments chimiques mis en évidence par l'analyse MEB dans un agrégat de sol, MC87-3. 306

Figure 107 : Eléments chimiques mis en évidence par l'analyse MEB dans un agrégat de sol, MC87-3. 306

Figure 108 : Déjection de *Pontoscolex corethrurus* riche en microparticules charbonneuses (photo : J.-F. Ponge)..... 308

Figure 109 : Microanthraco séquence et abondance des agrégats brûlés, noirs, rouges et jaunes, ainsi que des pédo/lithoreliques et des runiquartz, dans le profil MC 87-4. 311

Figure 110 : Évolution des paramètres physico-chimiques et de l'abondance des charbons et des agrégats brûlés, en fonction de la profondeur, au sein du profil MC87-4. 314

Figure 111 : Eléments chimiques mis en évidence par l'analyse MEB dans un agrégat de sol brulé, MC 87-4 (point 2-1) 315

Figure 112 : Eléments chimiques mis en évidence par l'analyse MEB dans un agrégat de sol brulé, MC 87-4 (point 2-2). 316

Figure 113 : Eléments chimiques mis en évidence par l'analyse MEB dans un agrégat de sol brulé, MC 87-4 (point 2-3). 316

Figure 114 : Eléments chimiques mis en évidence par l'analyse MEB dans un agrégat de sol brulé, MC 87-4 (point 2-4). 317

Figure 115 : Microanthraco séquence et abondances des pédo/lithoreliques et des runiquartz, dans le profil MC 87-5. 320

Figure 116 : Évolution des paramètres physico-chimiques et de l'abondance des charbons avec la profondeur, MC87-5. 323

Figure 117 : Microanthraco séquence et abondance des agrégats brûlés, noirs, rouges et jaunes, ainsi que des pédo/lithoreliques et des runiquartz, dans le profil MC 87-1. 329

Figure 118 : Évolution des paramètres physico-chimiques et de l'abondance des charbons et des agrégats brûlés, avec la profondeur, au sein du profil MC87-1. 331

Figure 119 : Eléments chimiques mis en évidence par l'analyse MEB, en terme de présence surfacique. 333

Figure 120 : Eléments chimiques mis en évidence par l'analyse MEB dans un agrégat de sol, MC87-1. 334

Figure 121 : Représentation schématique du remplissage du fossé de la MC87, profil MC87-2 (d'après Hildebrand et al. en préparation). 335

Figure 122 : Microanthraco séquence et abondance des agrégats brûlés, noirs, rouges et jaunes, ainsi que des pédo/lithoreliques et des runiquartz, dans le profil MC 87-2. 339

Figure 123 : Microanthraco séquence et abondance des agrégats brûlés, noirs, rouges et jaunes, ainsi que des pédo/lithoreliques et des runiquartz, dans le profil MC 88-6. 344

Figure 124 : Évolution des paramètres physico-chimiques et de l'abondance des charbons et des agrégats brûlés, avec la profondeur, au sein du profil MC88-6. 346

Figure 125 : Eléments chimiques mis en évidence par l'analyse MEB dans un agrégat brulé rouge de sol, MC 88-6 (point 3-1). 348

Figure 126 : Eléments chimiques mis en évidence par l'analyse MEB dans un agrégat brulé rouge de sol, MC 88-6 (point 3-2). 348

Figure 127 : Eléments chimiques mis en évidence par l'analyse MEB dans un agrégat brulé rouge de sol, MC 88-6 (point 3-2). 349

Figure 128 : Eléments chimiques mis en évidence par l'analyse MEB dans un agrégat brulé noir de sol, MC 88-6 (point 8-1). 349

Figure 129 : Eléments chimiques mis en évidence par l'analyse MEB dans un agrégat brulé noir de sol, MC 88-6 (point 8-2). 350

Figure 130 : Eléments chimiques mis en évidence par l'analyse MEB dans un agrégat brulé noir de sol, MC 88-6 (point 8-3). 350

Figure 131 : Charbons de bois contenus dans le niveau très charbonneux (UMiS 2) du remplissage du fossé (photo : V. Laroulandie). 351

Figure 132 : ACP représentant les données des MC 87 & 88, selon les plans 1-2. 356

Figure 133 : ACP représentant les données des MC 87 & 88, selon les plans 2-3. 357

Figure 134 : Résultats de l'analyse DRX réalisée sur les sédiments du fossé 2 de Yaou prélevés dans l'UMaS 6. 360

Figure 135 : Microanthraco séquence et abondances des agrégats brûlés, noirs, rouges et jaunes, ainsi que des pédo/litho-reliques et des runiquartz, Yaou-F0. 365

Figure 136 : Évolution des paramètres physico-chimiques et de l'abondance des charbons et des agrégats brûlés, en fonction de la profondeur, dans le remplissage du fossé 0 de Yaou. 367

Figure 138 : Estimation visuelle de la présence, en lames minces, des charbons, agrégats brûlés, noirs, rouges et jaunes, et des pédo/lithoreliques et runiquartz, du fossé 2 de Yaou. 373

Figure 139 : Évolution des paramètres physico-chimiques et de l'abondance des charbons et des agrégats brûlés, avec la profondeur, dans le fossé 2 de Yaou. 376

Figure 140 : ACP représentant les données des MC 87, 88 & Yaou, selon les plans 1-2. 379

Figure 141 : ACP représentant les données des MC 87, 88 et Yaou, selon les plans 2-3. 380

Figure 142 : Mesures de susceptibilité magnétique dans CSL-1 et CSL-2, en lien avec la présence des fragments de céramiques observés en lames minces. 410

Figure 143 : Évolution des charbons comptabilisés en lames minces, et de la susceptibilité magnétique en fonction de la profondeur, dans CSL-1 (en rouge) et dans CSL-2 (en vert). 411

Figure 144 : Évolution spatiale des concentrations pseudo-totales en phosphore, magnésium, manganèse et fer dans l'enceinte du site de Chemin Saint-Louis (adapté de van den Bel 2012). 413

Figure 145 : Évolution spatiale des concentrations pseudo-totales en phosphore, magnésium, manganèse et fer dans l'enceinte du site de Chemin Saint-Louis en correspondance avec les structures archéologiques (adapté de van den Bel 2012). 414

Figure 146 : Représentation schématique de la formation et de l'évolution possible d'anthroposol sur le site de Chemin Saint-Louis, fondée sur les données de la géoarchéologie et de l'archéologie. 427

Figure 147 : Représentation schématique de la formation et de l'évolution possible de l'anthroposol sur le site de Balaté, fondée sur les données de la géoarchéologie et de l'archéologie. 428

Figure 148 : Graphique présentant les valeurs du pH dans les profils du projet (modifié d'après de Ferry & Freycon 2012). 444

Figure 149 : Graphique présentant les valeurs du pH, comparaison entre les profils du présent travail et ceux du projet Couac dans la MC 87 (selon la méthode de Ferry & Freycon 2012). 444

Figure 150 : Graphique des teneurs en carbone organique dans les profils du projet Couac (modifié d'après Ferry & Freycon 2012). 446

Figure 151 : Graphique des teneurs en carbone organique. Comparaison entre les profils du présent travail et ceux du projet Couac dans la MC 87, (selon la méthode de Ferry & Freycon 2012). 447

Figure 152 : Graphique d'évolution du rapport C/N. Comparaison entre les profils du présent travail et ceux du projet Couac dans la MC 87 (selon la méthode de Ferry & Freycon 2012). 447

Figure 153 : Graphique des concentrations en phosphore assimilable-Olsen, dans les profils du projet Couac (modifié d'après Ferry & Freycon 2012). 448

Figure 154 : Graphique des concentrations en phosphore assimilable-Olsen (O) et Olsen-dabin (OD), dans la MC 87. Comparaison des profils étudiés dans ce travail à ceux du projet Couac (d'après la méthode de Ferry & Freycon 2012). 448

Figure 155 : Graphique présentant les résultats du phosphore total en fonction du phosphore assimilable, sur les trois profils analysés dans MC 87. 449

Figure 156 : Enrichissement (positif) et appauvrissement (négatif) relatif des trois profils (entre 0-20 cm de profondeur) du site MC 87 par rapport à leur homologue naturel Saut Lavillette. 450

Figure 157 : Mise en regard des UMiS dans les profils MC87-1 et MC87-2 dans le remplissage du fossé. 457

Figure 158 : Fruits et feuilles de Tapirira *guianensis* (source : R Pérez - http://biogeodb.stri.si.edu/). 462

Figure 159 : ACP représentant les données des MC 87 & 88 et leur homologue naturel, selon les plans 1-2. 467

Figure 160 : ACP représentant les données des MC 87 & 88 et leur homologue naturel, selon les axes 2-3. 469

Figure 161 : Schéma synthétique de la chronologie des évènements ayant contribué à la formation des sols et des fossés dans les montagnes couronnées 87 & 88. 471

Figure 162 : Schémas hypothétiques de la formation des fossés sur le site de Yaou (tiré de Mestre 2012). 479

Figure 163 : Parcelle brûlée, avec arbres brûlés et charbons de bois disposés sur le sol (source : Mestre & Delpech 2008) 486

Figure 164 : Exemple de mobilité des structures dans l'espace d'un site sur deux années d'observation (Duin 2009 : 130). 488

Figure 165 : Restes d'un foyer particulièrement bien conservé sur le site de Sable Blanc où l'on distingue encore les résidus de branches carbonisées (photo : S. Rostain). 489

Figure 166 : Type de *tamale*. 490

Figure 167 : Fosse circulaire à ovale remplie de charbons de bois, observée sur le site de Chemin Saint-Louis, attribuée à la phase de l'occupation 1 du site (photo : M. van den Bel). 492

Figure 168 : Hypothèses d'ouverture du milieu et de la présence des résidus de combustion sur les MC 87 & 88. 497

Figure 169 : Cas du remplissage du fossé de la MC 87 498

Figure 170 : Cas du remplissage du fossé de la MC 88 499

Figure 171 : Exemple de sites voisins contemporains et complémentaires, sans palissade (dessin : F. Laurent-Brancier). 500

Figure 172 : Exemple de sites voisins contemporains et complémentaires, avec palissade (dessin : F. Laurent-Brancier). 500

Figure 173 : Hypothèse de l'organisation de l'habitat sur le site de Katoury vers 1000 BP : les différents espaces ont été définis par les structures archéologiques mises au jour lors des fouilles (modifié d'après Mestre & Rostain 2015). 504

Figure 174 : Modèle type d'occupation d'un village actuel, Kuikiro (région du haut Xingu) avec l'intensité des aires d'activités (modifié d'après Schmidt 2010). 507

Figure 175 : Proposition d'un modèle conceptuel d'occupation du site MC 87 selon le modèle d'occupation des villages amérindiens actuels. 508

Figure 176 : Première proposition de typologie des anthroposols guyanais. 513

Figure 177 : Comparaison des valeurs de susceptibilité magnétique mesurées dans les anthroposols sableux de la plaine alluviale (PA) et argileux de la montagne couronnée 87 (MC)..... 517

Figure 178 : Zoom sur les mesures de susceptibilité magnétique obtenues dans les trois profils de la PA, en fonction de la profondeur. 518

Figure 179 : Valeurs de susceptibilité magnétique obtenues sur les cinq profils étudiés dans les MC 87 et 88. 519

Figure 180 : Schéma de la formation des anthroposols guyanais selon les données obtenues dans ce travail..... 522

Figure 181 : Graphique représentant les abondances des charbons en fonction du carbone organique, dans huit des profils analysés. 524

Figure 182 : Évolution de la CEC en fonction du carbone organique. 527

Figure 183 : Evolution des concentrations totales en phosphore en fonction du calcium dans huit profils étudiés dans ce travail. 529

Figure 184 : Histogrammes groupées représentant les moyennes des profils considérés en contexte sableux. 532

Figure 185 : Graphiques représentant l'évolution en fonction de la profondeur, des éléments totaux mesurés ('eau régale en ppm), sur les trois profils de la plaine alluviale en comparaison de deux profils de *terra preta*, en contexte sableux. 534

Figure 186 : Graphiques représentant l'évolution en fonction de la profondeur, des éléments totaux mesurés (eau régale en ppm), sur les trois profils dans l'enceinte de la MC87 en comparaison de trois profils de *terra preta* et de trois profils naturels, en contexte argileux..... 536

Figure 187 : ACP présentant les TNGF en comparaison des ADE. 538

Liste des tableaux

Tableau 1 : Chronologie des dépôts de la plaine côtière guyanaise d'après les travaux effectués au Suriname (d'après Palvadeau 1999). 51

Tableau 2 : Les douze phases de paléoincendies du Quaternaire, en Guyane française, datées par C. Tardy (1998). 66

Tableau 3 : Essai de correspondance entre les systèmes de classification des sols. 118

Tableau 4 : Concentrations (en ppm) de certains nutriments dans les *terra preta stricto sensu*, les *terra mulata* et les sols naturels adjacents type Ferralsols/Oxisols selon différentes sources bibliographiques. 128

Tableau 5 : Enrichissement relatif des *terra preta stricto sensu* et des *terra mulata* par rapport aux sols naturels (Ferralsols / Oxisols) et origines anthropiques de cet enrichissement. 142

Tableau 6 : Prélèvements sur CSL-1, en fonction des UMaS décrites sur le terrain. 161

Tableau 7 : Prélèvements sur CSL-2, en fonction des UMaS décrites sur le terrain. 161

Tableau 8 : Prélèvements en fonction des UMaS décrites sur le terrain, profil BAL-1. 168

Tableau 9 : Prélèvements en fonction des UMaS décrites sur le terrain, profil BAL-2. 168

Tableau 10 : Prélèvements en fonction des UMaS décrites sur le terrain, profil BAL-3. 169

Tableau 11 : Liste de l'échantillonnage réalisé par les pédologues. 180

Tableau 12 : Dans l'enceinte - MC 87-3 : prélèvements en fonction des UMaS. 190

Tableau 13 : Dans l'enceinte – MC87-4 : prélèvements en fonction des UMaS. 191

Tableau 14 : Talus externe du fossé - MC 87-5 : prélèvements en fonction des UMaS. 191

Tableau 15 : Fossé, MC 87-1 - prélèvements en fonction des UMaS. 193

Tableau 16 : Fossé – MC87-2 : prélèvements en fonction des UMaS. 193

Tableau 17 : Fossé – MC88-6 : prélèvements en fonction des UMaS. 195

Tableau 18 : Classes de taille des constituants discriminées dans les comptages (d'après Stoops 2003). 226

Tableau 19 : Entrées des tableaux des descriptions micromorphologiques. 229

Tableau 20 : Analyses effectuées sur les anthroposols guyanais. 237

Tableau 21 : Récapitulatif de chaque paramètre analysé, mesuré ou non, en fonction du site, du profil et de l'unité macrostratigraphique. 238

Tableau 22 : Granulométrie des sédiments formant le substrat alluvial. 265

Tableau 23 : pH, C/N et carbone organique des sédiments formant le substrat alluvial. 266

Tableau 24 : Concentrations des cations échangeables dans le substrat alluvial. 267

Tableau 25 : Concentrations totales des éléments majeurs dans le substrat alluvial. 267

Tableau 26 : Descriptif des UMiS définies par l'observation micromorphologique, profil CSL-1. 273

Tableau 27 : Abondance relative des constituants anthropiques observés en lames minces, profil CSL-1. 274

Tableau 28 : Statistique descriptive des fractions granulométriques, du pH, des matières organiques, de la susceptibilité magnétique et du δ C13, CSL-1 (n=6). 276

Tableau 29 : Statistique descriptive des cations échangeables, CSL-1 (n=6). 276

Tableau 30 : Statistique descriptive des éléments totaux, CSL-1 (n=6). 276

Tableau 31 : Descriptif des UMiS définies par l'observation micromorphologique, profil CSL-2. 281

Tableau 32 : Abondance relative des constituants anthropiques observés en lames minces au sein du profil CSL-2. 282

Tableau 33 : Statistique descriptive des fractions granulométriques, du pH, du C/N, du Corg, de la susceptibilité magnétique et du δ C13, dans l'anthroposol de CSL-2 (^{1}n=4 et ^{2}n=3). 284

Tableau 34 : Statistique descriptive des cations échangeables, dans l'anthroposol de CSL-2 (n=4). 284

Tableau 35 : Statistique descriptive des éléments totaux, dans l'anthroposol de CSL-2 (n=4). 284

Tableau 36 : Descriptif des UMiS définies par l'observation micromorphologique, profil BAL-1 et S5. 295

Tableau 37 : Abondance relative des constituants anthropiques observés en lames minces au sein du profil BAL-1 et S5. 296

Tableau 38 : Statistique descriptive des fractions granulométriques, du pH, du C/N, du carbone organique, de la susceptibilité magnétique et du δC13, dans les profils BAL-1 (n=3) & S5 (^{2}n=4). 298

Tableau 39 : Statistique descriptive des cations échangeables, profil S5 (n=4). 298

Tableau 40 : Statistique descriptive des concentrations totales des éléments, BAL-1 (n=3) & S5 (^{2}n=4). 298

Tableau 41 : Descriptif des UMiS définies par l'observation micromorphologique, BAL-2. 302

Tableau 42 : Abondance relative des constituants anthropiques observés en lames minces au sein du profil BAL-2. 303

Tableau 43 : Descriptif des UMiS définies par l'observation micromorphologique, BAL-3. 306

Tableau 44 : Abondance relative des constituants anthropiques observés en lames minces, profil BAL-3. 281

Tableau 45 : Récapitulatif des individus considérés et leurs numéros (Annexe 5 : 2) 286

Tableau 46 : Descriptif des UMiS définies par l'observation micromorphologique, MC 87-3. 300

Tableau 47 : Abondance relative des constituants anthropiques observés en lames minces, MC 87-3 301

Tableau 48 : Statistique descriptive des fractions granulométriques, du pH, des matières organiques, de la susceptibilité magnétique et du δC13, MC 87-3 (n=6 sauf pour δ^{13}C n=3). 302

Tableau 49 : Statistique descriptive des dosages en cations échangeables, MC 87-3 (n=6). 303

Tableau 50 : Statistique descriptive des concentrations totales en éléments majeurs, MC 87-3 (n=6). 303

Tableau 51 : Abondance relative des constituants anthropiques observés en lames minces, MC87-4. 308

Tableau 52 : Descriptif des UMiS définies par l'observation micromorphologique, MC 87-4. 309

Tableau 53 : Statistique descriptive des fractions granulométriques, du pH, des matières organiques, de la susceptibilité magnétique et du δC13, MC 87-4 (n=8 sauf pour $\delta^{13}C$ n=3). 312

Tableau 54 : Statistique descriptive du dosage en cations échangeables, MC 87-4 (n=8). 312

Tableau 55 : Statistique descriptive des concentrations totales en éléments majeurs, MC 87-4 (n=8). 312

Tableau 56 : Abondance relative des constituants anthropiques observés en lames minces, MC 87-5..... 318

Tableau 57 : Descriptif des UMiS définies par l'observation micromorphologique, profil MC 87-5. 319

Tableau 58 : Statistique descriptive des fractions granulométriques, du pH, du C/N, du Corg et de la susceptibilité magnétique, MC 87-5 (n=4). 321

Tableau 59 : Statistique descriptive du dosage en des cations échangeables, MC 87-5 (n=4)..... 321

Tableau 60 : Statistique descriptive des concentrations totales en éléments majeurs, MC 87-5 (n=4). 322

Tableau 61 : Description de la stratigraphie du fossé de la MC 87, profil MC 87-1 et concordance avec les lames minces (d'après Hildebrand et al. en préparation). 324

Tableau 62 : Abondance relative des constituants anthropiques observés en lames minces, MC 87-1..... 326

Tableau 63 : Descriptif des UMiS définies en lames minces, MC 87-1. 327

Tableau 64 : Statistique descriptive des fractions granulométriques, du pH, du C/N, du Corg et de la susceptibilité magnétique, MC 87-1. 330

Tableau 65 : Statistique descriptive du dosage en cations échangeables, MC 87-1..... 330

Tableau 66 : Statistique descriptive des concentrations totales en éléments majeurs, MC 87-1 330

Tableau 67 : Unités macroscopiques dans le remplissage du fossé de la MC 87 (profil MC87-2) définies sur le terrain, associées aux hypothèses archéologiques, en concordance avec les lames minces (d'après Hildebrand et al. en préparation). 336

Tableau 68 : Abondance relative des constituants anthropiques observés en lames minces, MC 87-2..... 337

Tableau 69 : Descriptif des UMiS définies en lames minces, profil MC 87-2. 338

Tableau 70 : Descriptions de la stratigraphie du fossé de la MC 88 (profil MC88-6) (d'après Hildebrand et al. en préparation) et concordance avec les lames minces. 340

Tableau 71 : Abondance relative des constituants anthropiques observés en lames minces, MC 88-6..... 341

Tableau 72 : Descriptif des UMiS définies en lames minces, profil MC 88-6. 342

Tableau 73 : Statistique déscriptive des fractions granulométriques, du pH, du C/N, du Corg et de la susceptibilité magnétique, MC 88-6 (n=5). 345

Tableau 74 : Statistique déscriptive des cations échangeables, MC 88-6 (n=5). 345

Tableau 75 : Statistique déscriptive des concentrations totales des éléments majeurs, MC 88-6 (n=5). 345

Tableau 76 : Comparaison des résultats physico-chimiques des remplissages des fossés des MC 87 et 88 selon les moyennes des paramètres mesurés. 352

Tableau 77 : Récapitulatif des individus considérés dans les ACP des montagnes couronnées..... 353

Tableau 78 : Unités macroscopiques discriminées dans le remplissage du fossé 0 par les archéologues sur le terrain, hypothèses archéologiques et concordance avec les prélèvements et les lames minces fabriquées (d'après Mestre 2012)..... 361

Tableau 79 : Abondance relative des constituants anthropiques observés en lames minces, Yaou – F0. 362

Tableau 80 : Descriptif des UMiS définies en lames minces, Yaou – F0..... 363

Tableau 81 : Statistique descriptive du pH, du C/N, du Corg et de la susceptibilité magnétique, Yaou - F0 (^{1}n = 3 ; ^{2}n = 2). 366

Tableau 82 : Statistique descriptive du dosage des cations échangeables, Yaou - F0 (n = 5)..... 366

Tableau 83 : Concentrations totales en éléments majeurs, Yaou - F0 (n = 1)..... 366

Tableau 84 : Unités macroscopiques discriminées dans le remplissage du fossé 2 par les archéologues sur le terrain, hypothèses archéologiques et concordance avec les prélèvements et les lames minces fabriquées (d'après Mestre 2012)..... 369

Tableau 85 : Descriptif des UMiS définies par l'observation micromorphologique, Yaou – F2..... 371

Tableau 86 : Abondance relative des constituants anthropiques observés en lames minces, Yaou – F2. 372

Tableau 87 : Statistique descriptive du pH, du C/N, du Corg et de la susceptibilité magnétique, Yaou – F2 (^{1}n = 1 ; ^{2}n = 2)..... 374

Tableau 88 : Statistique descriptive du dosage des cations échangeables, Yaou – F2 (n = 3)..... 374

Tableau 89 : Concentrations totales des éléments majeurs, Yaou – F2 (n = 1). 375

Tableau 90 : Moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés dans les fossés de Yaou..... 377

Tableau 91 : Récapitulatif des individus considérés dans l'ACP..... 378

Tableau 92 : Marqueurs directs et indirects d'anthropisation observés dans différents contextes archéologiques, utilisés pour l'interprétation des résultats..... 397

Tableau 93 : Résumé des données géoarchéologiques et interprétations – profil CSL-1..... 403

Tableau 94 : Résumé des données géoarchéologiques et interprétations – profil CSL-2..... 407

Tableau 95 : Moyennes/écarts-types des paramètres physico-chimiques qui présentent des variations significatives dans l'anthroposol (jusqu'à 70 cm de profondeur) des deux profils de Chemin Saint-Louis. 409

Tableau 96 : Comparaisons des résultats physico-chimique obtenus dans ce travail avec ceux du programme Couac, et par rapport à un homologue naturel. 443

Tableau 97 : Unités de terrain et hypothèses archéologiques mises en regard des résultats micromorphologiques et interprétations du remplissage du fossé. 454

Tableau 98 : Unités de terrain et hypothèses archéologiques mises en regard des résultats micromorphologiques et interprétations du fonctionnement du fossé. 456

Tableau 99 : Unités de terrain et hypothèses archéologiques mises en regard des résultats micromorphologiques et interprétations du remplissage du fossé de la MC 88. 464

Tableau 100 : Récapitulatif des individus considérés,..... 466

Tableau 101 : Unités de terrain et hypothèses archéologiques mises en regard des interprétations géoarchéologiques du remplissage du fossé 0. 475

Tableau 102 : Unités de terrain et hypothèses archéologiques mises en regard des interprétations géoarchéologiques du remplissage du fossé 2. 477

Tableau 103 : Synthèse des arguments discriminants chaque type d'activité anthropique. 502

Tableau 104 : Résumé des activités distinguées dans chaque profil étudié. 503

Tableau 105 : Étendues, moyennes et écarts-types des résultats physico-chimiques, dans tous les niveaux anthropisés confondus, classés par contexte géomorphologique. 516

Tableau 106 : Enrichissement relatif des anthroposols brésiliens et guyanais par rapport aux sols naturels 539

Table des annexes

ANNEXE 1. PLANCHES MICROMORPHOLOGIQUES 6

ANNEXE 2. TABLEAUX DES RESULTATS PHYSICO-CHIMIQUES BRUTS 49

AU SEIN DES SITES ARCHEOLOGIQUES DE LA PLAINE ALLUVIALE 49
CHEMIN SAINT-LOUIS 49
BALATE 52
AU SEIN DES MONTAGNES COURONNEES 54
MC 87 54
MC 88 59
YAOU 60

ANNEXE 3. DESCRIPTIONS DES FRAGMENTS DE CERAMIQUE 61

ANNEXE 4. BILAN DE LA FLORE PRESENTE SUR LE SITE MC 87 64

ANNEXE 5. DONNEES UTILES POUR LES ACP 65

5-1 : ACP SUBSTRAT ALLUVIAL VS ANTHROPOSOLS 65
5 : 2 - ACP – LES ANTHROPOSOLS DE CSL ET BAL 65
5 : 3 - ACP MC 87 & 88 66
5 : 4 - ACP MC 87, 88 ET YAOU 68
5 : 5 - ACP MC 87& 88, SAUT LAVILLETTE ET DONNEES COUAC 70

ANNEXE 6. DONNEES MEB COMPLEMENTAIRES 72

ANNEXE 7. ANALYSE DES PHYTOLITHES PAR A. EMERY-BARBIER 76

ANNEXE 8. EFFET DU STOCKAGE DES ECHANTILLONS SUR LES ELEMENTS CHIMIQUES 77

ANNEXE 9. RAPPORT L. DUSSOL – ANALYSE ANTHRACOLOGIQUE MC88 78

ANNEXE 10. BRANCIER ET AL. 2014 85

Introduction

Les sols se caractérisent par une fonction essentielle qui est celle d'enregistrer à la fois les changements environnementaux au cours du temps mais aussi les traces d'activités anthropiques (Pomel 2008). L'ensemble des modifications des propriétés physico-chimiques et biologiques des sols dues aux activités humaines anciennes est nommé « **mémoire des sols** » (Wells 2006; Pomel 2008). Ainsi le concept de sol-mémoire est très intéressant car selon S. Pomel (2008) : « *les mémoires pédologiques sont variées et vivantes et elles enregistrent le fonctionnement des paysages sous l'empreinte de la nature et des hommes. Les mémoires sont une entrée pour connaître le poids des héritages dans le fonctionnement des milieux et des sociétés* ».

En Amazonie, les sols les plus emblématiques de la mémoire de l'enregistrement des activités humaines passées sont les ***Amazonian Dark Earth***, désignés également par le terme ***Terra Preta*** dans la classification pédologique international (FAO 2014). Ces sols sont aujourd'hui reconnus comme émanant directement des occupations précolombiennes, ils sont alors classés parmi les *anthrosols* (FAO 2014) ou anthroposols selon la classification française (Baize & Girard 2008). Ils sont décrits comme un niveau de couleur brun foncé à noire (selon le code Munsell : *value* ≤ 4 et *chroma* ≤ 3, sur sols humides), d'épaisseur variable, de 50 cm jusqu'à 1 mètre, ou même parfois 2 mètres d'épaisseur (Sombroek 1966; Woods & McCann 1999; Kämpf & Kern 2005; Kern et al. 2009; FAO 2014). De nombreuses études interdisciplinaires au Brésil, mêlant principalement archéologie, ethnologie, pédologie, géographie, ou encore botanique ont permis de les caractériser et de préciser leur origine (Heckenberger et al. 2003; Neves et al. 2003; Guapindaia 2008). Les résultats de ces recherches montrent que ce sont des sols archéologiques intimement liés aux occupations précolombiennes, et qu'ils contiennent un grand nombre d'indices des activités humaines passées (Glaser et al. 2004; Kern et al. 2004; Teixeira et al. 2009; Birk et al. 2011). Le caractère principal qui leur donne leur notoriété réside dans leur incroyable fertilité par rapport aux sols naturels adjacents (Costa & Kern 1999; Glaser & Birk 2012). En effet, ils sont enrichis en vestiges anthropiques tels que des charbons de bois, des os, des céramiques, mais ils sont également enrichis en éléments chimiques comme le phosphore, le calcium, le magnésium, le manganèse, et ces concentrations élevées sont intimement liées aux activités humaines anciennes qui ont eu lieu sur ces sites (Costa & Kern 1999; Glaser et al. 2004; Arroyo-Kalin 2008; Costa et al. 2013).

Les études systématiques des anthroposols noirs précolombiens amazoniens ont permis en fonction de leurs propriétés intrinsèques et de leurs constituants, de définir plusieurs types qui témoignent d'aires d'activité différente au sein des sites. Deux principaux anthroposols

ont ainsi été distingués, il s'agit des *terra preta*, correspondant à d'anciennes zones d'habitat, et des *terra mulata*, vestiges d'aires à vocation agricole (Sombroek 1966; Woods & McCann 1999; Arroyo-Kalin 2008; Denevan 2009). La communauté scientifique s'accorde pour dire qu'il est nécessaire de les étudier afin de comprendre les processus à l'origine de leur formation et de mieux appréhender le fonctionnement des sociétés qui leurs étaient contemporaines (Neves et al. 2004; Arroyo-Kalin 2008). Ces sols sont également considérés comme des vestiges archéologiques en tant que tel, puisqu'ils résultent de l'activité humaine (Ruivo et al. 2003; Arroyo-Kalin 2008).

Plus au nord, et à l'est, du côté des Guyanes, et plus particulièrement en Guyane française, des sols plus ou moins noirs sont également régulièrement observés sur les sites archéologiques précolombiens. Décrits comme étant « *épais et sombres* », ils contiennent essentiellement les vestiges anthropiques, tels que des céramiques, des urnes funéraires, des haches polies, des charbons, et des trous de poteaux peuvent s'y inscrire (Rostain 1994; Vacher et al. 1998). Spontanément rattachés aux *Terra Preta* ces sols anthropiques guyanais n'ont cependant jamais fait l'objet d'analyses poussées excepté celles réalisées directement, à l'œil nu, lors des phases de terrain. Ainsi, ce travail vient se situer dans cette problématique qui cherche à investiguer ces anthroposols noirs/sombres présents sur les sites archéologiques précolombiens de Guyane française, pour avoir une meilleure compréhension de leur origine et de leur appartenance, ou non, aux *Terra Preta* décrites en Amazonie.

Il semble donc pertinent de poursuivre le type d'étude établi sur les *Amazonian Dark Earth*, en Guyane française. Ce département français, éloigné de la métropole, se situe sur le continent sud américain. Il est le plus vaste et le plus original de par son climat et son extraordinaire variété de faune et de flore. Forte de son paysage tropical humide, lui donnant cet aspect hostile et impénétrable, la Guyane française fait partie des régions du globe où les recherches en écologie, géosciences, ainsi qu'en sciences humaines (archéologie et ethnologie) connaissent un essor ces dernières années. Plusieurs programmes d'archéologie programmée (CNRS) et préventive (INRAP), ainsi que des projets interdisciplinaires ont vu le jour. Dans le cadre de ce doctorat, nous avons participé à l'un d'entre eux, le projet « Couac », dirigé initialement par S. Jérémie (INRAP) et E. Dambrine (INRA), puis par B. Hérault (UMR EcoFoG) (2008-2012). Ce projet associait différents acteurs de la recherche guyanaise (CNRS, CIRAD, INRA, INRAP, IRD, Université Antilles-Guyane), qui mettaient tous leurs savoir-faire (écologie, géoarchéologie, chimie, pédologie, archéologie, anthropologie, ethnologie) en commun afin de renseigner l'impact des

occupations amérindiennes anciennes sur l'environnement guyanais (sol, forêt, structure du paysage). Notre participation à ce projet nous a permis d'accéder à des sites archéologiques en forêt, et de mettre en perspective nos travaux par rapport aux autres disciplines scientifiques mises en jeu.

Par ailleurs, ce travail s'intéresse au passé précolombien de la Guyane française, qui remonte selon les données archéologiques actuelles à la période Archaïque, aux environ 6000 ans BP (Mestre & Delpech 2008; van den Bel 2015). Ce territoire a vu se succéder et se métisser de nombreuses traditions et cultures, en commençant par des populations semi-sédentaires, pour aller vers des peuplements plus complexes d'horticulteurs sédentaires, qui surent adapter leur mode de vie à leur environnement (Rostain 2008). Ces populations ont laissé des traces dans le paysage guyanais que l'on observe encore actuellement et qu'il est, au même titre que ce qui est fait dans le bassin amazonien, nécessaire d'investiguer, afin d'appréhender les modes de vie des populations précolombiennes et le lien étroit qu'elles entretenaient avec leur environnement.

L'étude des sols archéologiques a pour objectif principal de chercher à comprendre ce qu'ils traduisent des occupations humaines anciennes, en terme de mode d'occupation des sols et comme supports des activités passées. Ceci permettant de renseigner plus largement l'impact qu'ont eu les occupations humaines anciennes sur les sols et sur l'environnement guyanais tel que nous le percevons actuellement.

Dans le temps et les possibilités d'accessibilité au terrain, **cinq sites archéologiques** ont servi d'objet d'étude pour réaliser la présente thèse : deux sites en contexte de plaine alluviale et trois montagnes couronnées. En Guyane française, les montagnes couronnées font partie des sites qui sont encore énigmatiques pour l'archéologie. En effet, ces sites posent toujours questions sur le sens du fossé ceinturant l'enceinte et le type d'activités qui étaient pratiquées sur ces sites (mise en culture, nécropoles, habitats). La participation au programme Couac, ainsi qu'un diagnostic de l'Inrap sur ce type de site, ont permis d'ouvrir notre d'étude aux « terres hautes » du territoire guyanais, à l'intérieur des terres, sous couvert forestier dense (montagnes couronnées, commune de Régina et de Maripasoula). L'intérêt de cette thèse reposait également sur le fait de couvrir une large répartition géographique des sites archéologiques afin d'avoir une vision plus globale de l'occupation ancienne sur le territoire guyanais. Ainsi, grâce aux travaux de l'Inrap, l'opportunité de travailler sur des sites de plaine alluviale permettait d'étendre le contexte géomorphologique aux zones basses, en bordure du littoral, en rive d'estuaire.

A partir de ce corpus, il a été mis en place une étude géoarchéologique adaptée au milieu guyanais, qui allie **analyses micromorphologiques** et **analyses physico-chimiques** principalement, en s'inspirant des études menées sur les *Amazonian Dark Earth*. Les analyses micromorphologiques correspondent à l'observation microscopique des séquences pédo-sédimentaires qui composent les sites archéologiques permettant de prolonger la vision macroscalaire de terrain. Elles peuvent être conçues comme une « *archéologie du sédiment* », terme qui définit l'étude des processus responsables de la nature et de la formation des sols (Camas & Wattez 2009). La finalité de ces analyses microscopiques est de restituer les pratiques d'aménagement et de fonctionnement des espaces investis par les communautés humaines anciennes (habitats, espaces agricoles, territoires), tout en précisant les conditions environnementales locales (stationnelles) dans lesquelles se sont implantées et ont évolué ces sociétés (ibid.).
Les analyses physico-chimiques permettent de mettre en évidence la signature « chimique-anthropique » que porte un sol (Costa & Kern 1999; Holliday & Gartner 2007; Dore & Lopez Varela 2010). Elles constituent un outil important pour déduire, à un endroit donné, un modèle d'utilisation de l'espace par les populations anciennes tout en apportant des informations complémentaires sur les activités humaines anciennes (Wilson et al. 2008; Holliday et al. 2010; Wiedner et al. 2015). De plus, par la mise en place de nombreuses collaborations scientifiques, il a été possible de « tester » la pertinence d'analyses complémentaires archéo-environnementales (anthracologie, analyses des phytolithes, susceptibilité magnétique) sur les sols archéologiques guyanais.

Ce travail doctoral s'articule autour de **cinq grandes parties** :

1) La première comprend quatre chapitres consacrés à la présentation du contexte. Le premier permet de resituer ce travail dans un cadre biophysique, du bassin amazonien aux Guyanes et à la Guyane française. Dans les chapitres 2 et 3, nous présenterons l'archéologie en Guyane française en tant que discipline émergeante depuis les années 70, et porteuse de nombreuses données sur l'anthropisation ancienne. Enfin, le chapitre 4 est un condensé des études menées dans le bassin amazonien sur les *Amazonian Dark Earth* qui permet de dresser un bilan analytique et méthodologique des connaissances sur ces anthroposols.

2) La seconde partie s'attache à présenter a) d'une part le corpus archéologique, organisé par contexte géomorphologique et sites archéologiques, et b) d'autre part,

à décrire et expliquer les procédés méthodologiques mis en place dans le présent travail.

3) La troisième partie se compose de deux chapitres complémentaires. Dans le premier, les résultats bruts sont présentés contexte par contexte, et site par site.

4) La quatrième partie correspond à l'interprétation des données, en fonction du contexte et de la bibliographie.

5) Enfin, une dernière partie vient clore ce travail, par une discussion sur les modes d'occupation des sols et la formation des anthroposols guyanais, tout en alimentant le référentiel des *Amazonian Dark Earth*.

Partie I. Contexte

Chapitre 1. CADRE BIO-PHYSIQUE DE L'ÉTUDE

I. Les Guyanes, une « île » continentale en Amazonie

Localisée sur la côte nord-ouest du continent sud-américain, la Guyane française appartient à la partie septentrionale de l'aire amazonienne et plus spécifiquement à l'unité géologique du bouclier guyanais. Ce vaste ensemble situé au nord du bassin amazonien, couvre une superficie d'environ 1,5 millions de km^2, dont la Guyane française représente moins de 10 % (DIREN 2009). Il comprend les états du Brésil situés au nord de l'Amazone (d'ouest en est : Roraima, Pará, Amapá), l'extrême pointe orientale de la Colombie, le Venezuela oriental (états à l'est de l'Orénoque) et enfin les « trois Guyanes », d'ouest en est, le Guyana (ancienne Guyane anglaise), le Suriname (ancienne Guyane hollandaise) et la Guyane française. Les frontières naturelles du bouclier guyanais sont constituées au nord/nord-ouest par le fleuve Orénoque, au nord/nord-est par l'océan Atlantique, au sud/sud-est par le fleuve Amazone et à l'ouest par le rio Negro et le canal de Cassiquiare connectant deux bassins versants distincts, celui du haut Negro et du haut Orénoque. Bordées ainsi par des cours d'eau et par l'océan, les Guyanes constituent une immense « île continentale » au sein de l'Amazonie (Lézy 2004) **(Figure 1).**

S'intéresser à l'histoire géologique de la Guyane française revient à s'intéresser à l'origine du bassin amazonien et du bouclier guyanais dans leur ensemble. Cette histoire est très ancienne et présente l'intérêt d'être liée à la formation des continents et des océans du globe (Filleron et al. 2003).



Figure 1 : Le bouclier guyanais, une « île continentale » en Amazonie (modifiée d'après Gibbs & Barron 1993)-Projection WGS84.

I.1. Le bassin Amazonien

Correspondant au bassin hydrographique drainé par le plus long fleuve du globe, le fleuve Amazone (environ 6 400 km), le bassin amazonien s'étend sur plus de 6.1 millions de km^2, sur le Brésil, la Bolivie, le Pérou, l'Équateur, la Colombie, le Venezuela et le Guyana, représentant ainsi environ 5% des terres émergées du globe (Guyot et al. 1999). Il témoigne d'une longue évolution qui remonte au Précambrien, période durant laquelle se forme le bouclier sud-américain. Vers 200 Ma, ce sont les premières phases volcaniques touchant la Province Magmatique de l'Atlantique Central qui vont entrainer les débuts de la fracturation du mégacontinent, la Pangée : le Gondwana, partie méridionale de la Pangée, se dissocie de la Laurasie (Filleron et al. 2003). Commence dès lors une fragmentation, qui produira la configuration actuelle des continents et des océans, amenant l'ouverture de l'Atlantique, séparant ainsi les Amériques, l'Europe et l'Afrique. Ce mouvement des plaques est également à l'origine de la déformation du craton Amazonien et de la formation des Andes. Le soulèvement des Andes s'est effectué d'ouest en est en plusieurs étapes: il a débuté à la fin de l'Éocène (34 Ma) jusqu'au Pliocène (2,5

Ma), entrainant une fragmentation et une dessiccation des basses terres de l'ouest amazonien, participant à conférer à l'environnement du bassin amazonien et au système fluvial, ses propriétés actuelles (Irion & Kalliola 2010). Le bassin amazonien ainsi formé constitue une grande cuvette d'extension ouest-est d'environ 300 km de long et de quelques 2 000 km du nord au sud, dans laquelle s'écoulent les grands cours d'eau qui tous, convergent vers une gouttière centrale qu'est l'océan Atlantique, de direction ouest-est (ibid.).

Le bassin amazonien est constitué de trois grandes unités morphostructurales **(Figure 2)**: le socle cristallin des boucliers brésiliens et guyanais, localisés respectivement au nord et au sud du bassin, représentant environ 40% de sa surface, et la chaîne Andine le borde à l'ouest, sur une bande étroite de quelques 100 à 200 km de large, constituant 10 % de sa superficie (Irion & Kalliola 2010). Ces trois grandes entités morphostructurales entraînent des contrastes topographiques accentués, avec d'une part la chaîne andine au relief vigoureux (plus de 6 000 mètres), les serras du nord (sources du rio Branco, sous-affluent de l'Amazone), présentant localement des altitudes maximales de 2 500 à 3 000 mètres, des plateaux d'altitudes modérées au sud (800 à 1 000 mètres) s'inclinant doucement vers la gouttière centrale, et enfin de vastes plaines. Environ 40 % du bassin amazonien se situent à des altitudes inférieures à 200 mètres (ibid.).



Figure 2 : Carte représentant le bassin versant amazonien (source : Google map - modifiée par l'auteure)

De par son immensité, l'Amazone traverse une grande variété de milieux physiques et s'écoule sous des climats divers, depuis sa source dans les Andes péruviennes, en passant par la Bolivie, la Colombie, le Brésil, jusqu'à son embouchure sur les rivages de l'océan Atlantique au niveau de l'équateur. Le bassin amazonien représente la plus grande

superficie de forêt tropicale humide au monde, abritant une extraordinaire diversité faunistique et floristique (Hoorn et al. 2010).

La configuration des paysages actuels de cette région est liée à la fois à l'activité tectonique, aux changements climatiques qui ont eu lieu durant le Quaternaire, et plus récemment aux activités humaines (Lombardo 2014). Les terrains quaternaires des bas plateaux et des plaines alluviales s'organisent de part et d'autre des axes fluviaux : *terra firme*, *teso* et *várzea*, selon la terminologie brésilienne. Les *terra firme* correspondent à des zones jamais inondées, même au cours des crues importantes (exemple : crues décennales : source biblio); les *tesos* sont des terrasses quaternaires, normalement à l'abri des inondations, à une dizaine de mètres au-dessus des eaux moyennes des fleuves ; la *várzea*, influencée par les variations eustatiques, correspond à l'immense plaine d'inondation, couvrant plus de 50 000 km^2, et immergée régulièrement, au moins une fois dans l'année et souvent pour une période de six mois (Pavia 1995; Irion & Kalliola 2010).

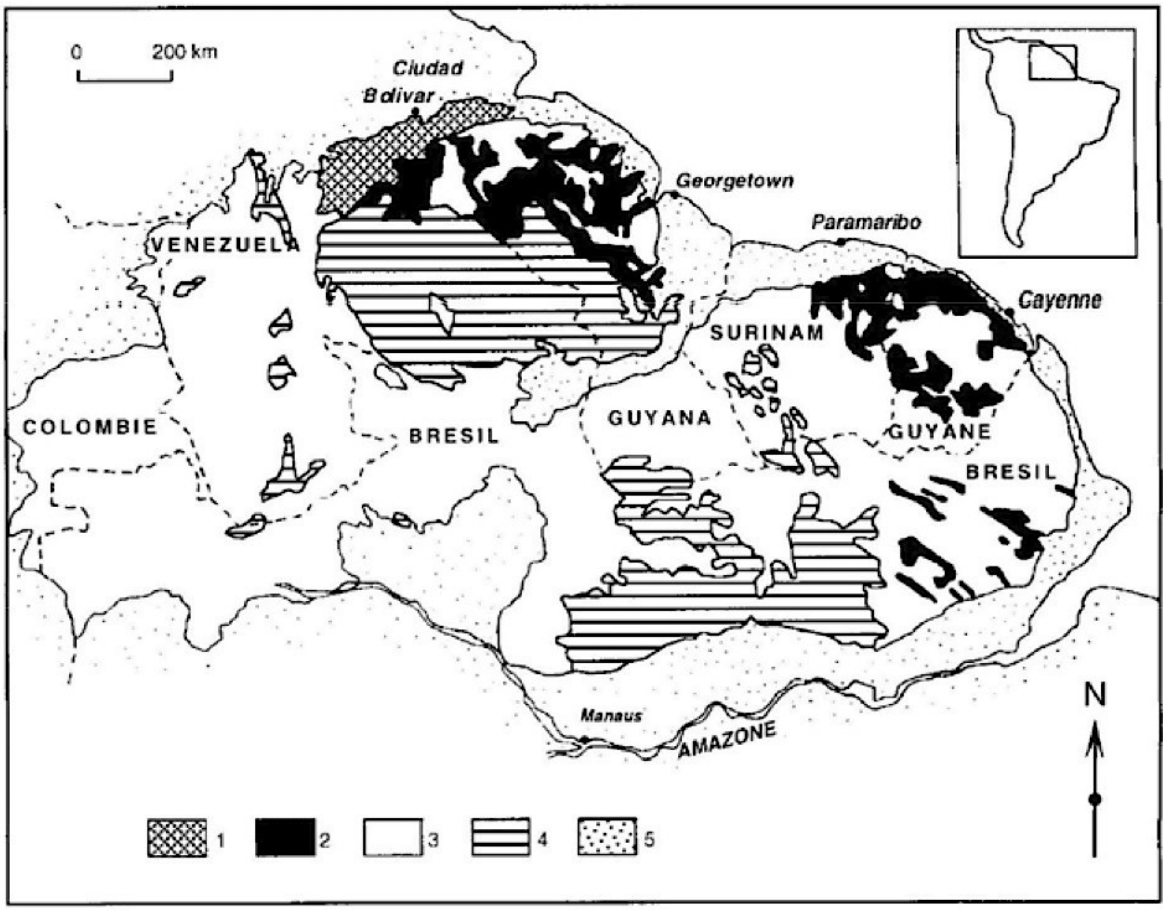
I.2. La région du bouclier guyanais

Au nord du bassin amazonien, le vaste ensemble structural du bouclier guyanais ou craton guyanais correspond à un socle granitique, formé de terrain d'âge Précambrien, entre 2 500 et 3 700 Ma (Leprun et al. 2001). C'est une région géologiquement stable, dépourvue d'activité sismique et volcanique (Barthe 2012). Il s'étend sur l'ensemble des trois Guyanes, le nord du Brésil, une partie de la Colombie orientale et le sud-est du Venezuela. La topographie à grande échelle du plateau des Guyanes peut être délimitée en trois zones montagneuses séparées par des forêts de plaine : les Hautes Terres du Guyana ou Monts Roraima, s'étendant à l'est du Venezuela jusqu'au centre du Guyana, les Monts Tumuc-Humac formant un arc de massifs au sud du Suriname et de la Guyane française, et le plateau de Chiribiquete à l'ouest situé en Colombie (**Figure 1**).

Le bouclier guyanais comprend trois ensembles litho-stratigraphiques superposés (Gibbs et Barron 1983, cité par Palvadeau 1999) (**Figure 3**) :

- le complexe archéen d'Imataca au Venezuela (de 2,7 à 3,4 Ga) qui est le seul vestige de cette période (Figure 3-1) ;
- les terrains du Paléoprotérozoïque (de 1,9 à 2,3 Ga) comprenant un ensemble de roches volcaniques, sédimentaires et métamorphiques que l'on appelle "ceintures de roches vertes" (Figure 3-2), et un ensemble de terrains plutoniques (en majorité granitiques) (Figure 3-3). Ces roches constituent une large bande de 300 à 500 kilomètres le long de la marge Atlantique ;

- des formations détritiques continentales et un magmatisme du Mésoprotérozoïque (de 1,5 à 1,9 Ga) présents au sud et à l'ouest du craton guyanais (Figure 3-4).



Légende : 1 – complexe archéen d'Imataca ; 2 – ceinture de roches vertes du Paléoprotérozoïque ; 3- granitoïdes et terrains métamorphiques du Paléoprotérozoïque ; 4 – formations magmatiques et détritiques du Mésoprotérozoïque ; 5 – couverture mésozoïque et cénozoïque.

Figure 3 : Schéma de la géologie du bouclier guyanais (d'après Gibbs & Barron 1983, tiré de Palvadeau 1999).

Parmi ces trois principales unités géologiques du craton guyanais seuls les terrains du Paléoprotérozoïque affleurent en Guyane. Ce sont les travaux de Ledru et al. (1991), Egal et al. (1992), Milési & Picot (1995), Delor et al. (2003), Milési et al. (2003) et Théveniaut & Delor (2004) qui permettent de préciser leur lithostratigraphie.

Ces terrains comprennent des séries volcaniques, sédimentaires et métamorphiques :

– la série de l'île de Cayenne : roches intrusives et fortement métamorphisées;

– l'ensemble inférieur volcanique et sédimentaire (série Paramaca et Armina) : roches sédimentaires et volcaniques à métamorphisme faible ;

– l'ensemble supérieur détritique (série Orapu) : roches sédimentaires et volcaniques à métamorphisme faible.

Parmi les roches que l'on trouve en Guyane, les plus anciennes appartiennent au domaine magmatique, constitué de granitoïdes, granites, gabbros ou diorites et de roches volcaniques, volcano-sédimentaires et sédimentaires telles que schistes, grès, silices, conglomérats et quartzites. Lorsqu'elles sont localement métamorphisées, ces roches se transforment en gneiss, amphibolites ou micaschistes (BRGM 2001; DIREN 2009).
Une phase de magmatisme plus récente, liée à l'ouverture de l'Atlantique Central, s'est également développée en Guyane. Ce magmatisme se manifeste sous la forme de petits massifs intrusifs et de filons (sills et dykes) doléritiques recoupant le socle paléoprotérozoïque (Palvadeau 1999).

II. La Guyane, cadre bio-physique actuel

Située à plus de 7000 kilomètres et à quatre fuseaux horaires à l'ouest de la France métropolitaine, la Guyane est le département français le moins peuplé mais le plus vaste (Vacher et al. 1998) **(Figure 4).** Localisée sur la côte nord-ouest de l'Amérique du sud, elle couvre environ 83 534 km2 (INSEE 2016). Ouverte sur l'Atlantique, ses frontières naturelles avec le Suriname au nord-ouest, et le Brésil au sud-est sont respectivement le fleuve Maroni et le fleuve Oyapock ainsi que la limite du bassin amazonien au sud-ouest (**Figure 1**).

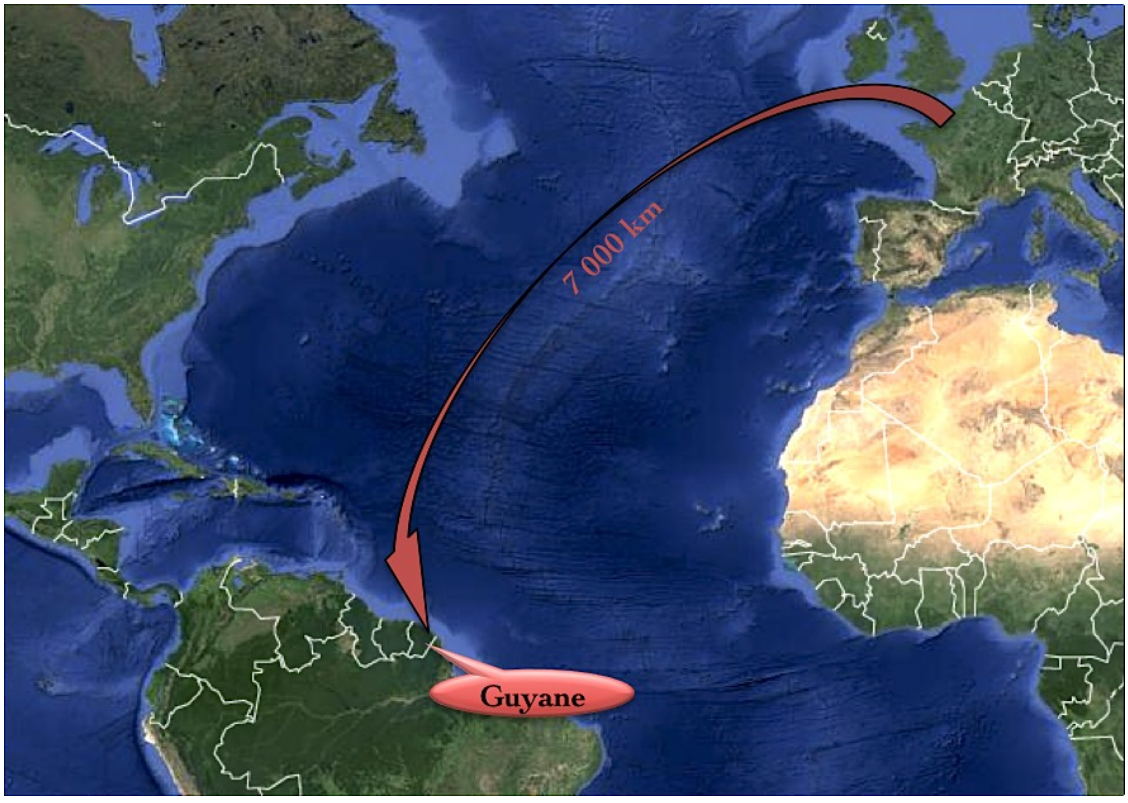


Figure 4 : Situation de la Guyane sur le globe et par rapport à la France (carte google earth modifiée par l'auteure).

II.1. Climat actuel

Sise dans la zone équatoriale de l'hémisphère nord, entre 2° et 6° de latitude nord et 52° et 54° de longitude ouest, la Guyane bénéficie d'un climat équatorial chaud et humide, assez stable du fait de sa position proche de l'équateur et sa façade océanique. Les vents réguliers sont dominés par des alizés de secteur est. Les températures varient faiblement au cours de l'année présentant une moyenne annuelle de l'ordre de 26,5°C avec une amplitude quotidienne de l'ordre de 8,5°C en moyenne, pouvant atteindre 17°C en saison sèche à l'intérieur du pays (Barret 2001; Leprun et al. 2001). Seules les précipitations connaissent des variations annuelles conséquentes, déterminants principal du rythme des saisons guyanaises. L'humidité relative est élevée, entre 80 et 90 % selon la saison (Barret 2001). Ainsi, quatre saisons s'alternent en Guyane : une petite saison des pluies de la mi-novembre à mi-février, une petite saison sèche, appelée « petit été de mars », une saison des pluies, qui débute dès le mois d'avril et dure jusqu'à mai voire mi-juin et enfin, une saison sèche bien établie de mi-août à mi-novembre (ibid.). Le régime des pluies n'est pas le même sur tout le territoire guyanais. En effet, la zone littorale (10 à 20 km de large) est moins arrosée que les terres qui lui succèdent, particulièrement dans la région nord-ouest. De même, les terres situées entre 20 et 100 km de l'océan peuvent être partagées en deux zones : entre les fleuves Oyapock et Montsinéry, la pluviométrie est très forte, comprise entre 3 et 4 mètres, parfois 5 mètres, de moyenne annuelle; entre les fleuves Kourou et Maroni, la pluviométrie est comprise entre 2m50 et 3m30 d'eau par an. L'intérieur de la Guyane (Maripasoula, Saül, Camopi), connaît des précipitations moyennes annuelles avoisinant 2m50 (Météo France - Dom Tom 2011).

II.2. Le réseau hydrographique

Les évènements d'orogénie décrits précédemment ont influencé l'hydrographie du bassin Amazonien et des Guyanes, entrainant un drainage global en direction de l'Atlantique (DIREN 2009). Comme souvent en régions tropicales humides, le réseau hydrographique guyanais est dense et développe un chevelu très ramifié marquant. L'abondance des précipitations et l'imperméabilité de la plupart des roches du socle (schistes ou granites) expliquent la densité du réseau hydrographique. Les fleuves s'écoulant tous vers l'Atlantique sont alimentés par de nombreuses criques (ibid.). Dans certains fleuves, on rencontre des « sauts », qui sont des affleurements de roche saine, formant des sortes de rapides et présentant exceptionnellement des chutes d'eau (Vacher et al. 1998). Ces «

sauts » créent ainsi un « escalier d'eau » qui gêne la navigation, en saison sèche notamment.

Les cinq principaux cours d'eau d'est en ouest sont (DIREN 2009) **(Figure 5**) :

- l'Oyapock, frontière naturelle avec le Brésil ;
- l'Approuague, qui draine un bassin au centre du département, contigu à ceux de la Comté, de la Mana, du Sinnamary et de l'Oyapock;
- le Sinnamary, sur lequel fut édifié le barrage hydroélectrique de Petit Saut dans les années 90 (premier chantier archéologique préventif de très grande ampleur) ;
- la Mana qui traverse le territoire du sud au nord sur 430 km ;
- enfin, le Maroni, frontière naturelle avec le Suriname, entre les villes de Saint-Laurent du Maroni (G. F.) et Albina (S.), est le fleuve le plus important du territoire guyanais, avec ses 520 km de long.

Nous reviendrons plus en détail, lors de la présentation du matériel d'étude (cf. Partie II-chapitre 1), sur les bassins versants des fleuves Approuague et Maroni.

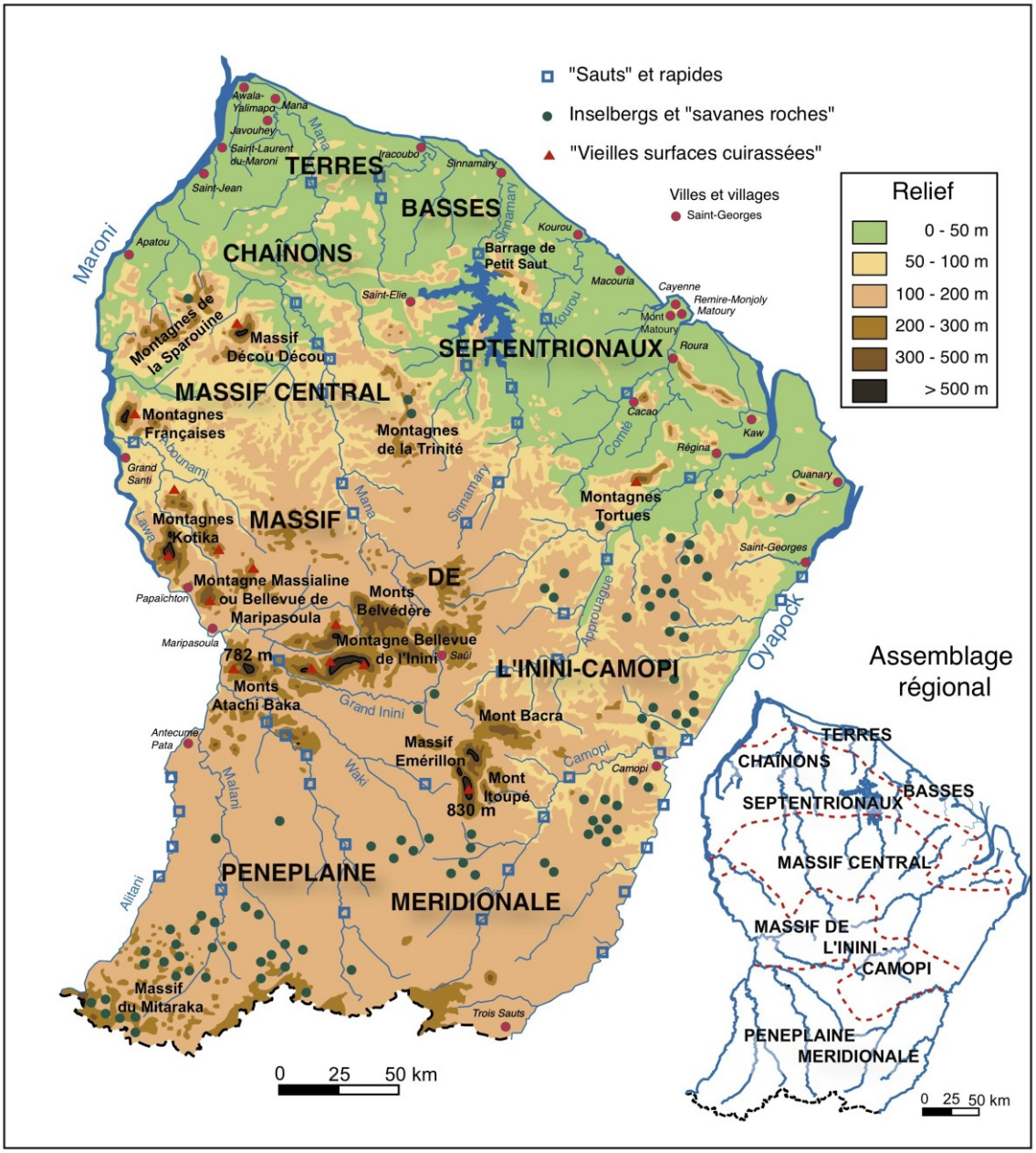


Figure 5 : Carte du relief et de l'hydrographie de la Guyane française (modifiée d'après Filleron et al. 2003).

II.3. Modelé guyanais et végétation

Dans une région relativement homogène sur le plan climatique, les différences observées entre les formes du modelé et leurs altitudes relatives s'expliquent par les relations entre les substrats rocheux et leurs altérations différentielles (Filleron et al. 2003).

On trouve dans tout l'intérieur du pays, des terrains cristallins et métamorphiques très anciens de plus de 2 milliards d'années (terres hautes) recouverts tout le long du littoral

par des dépôts récents (Quaternaire) incluant les terres basses de la Plaine Côtière Ancienne et celles de la Plaine Côtière Récente.

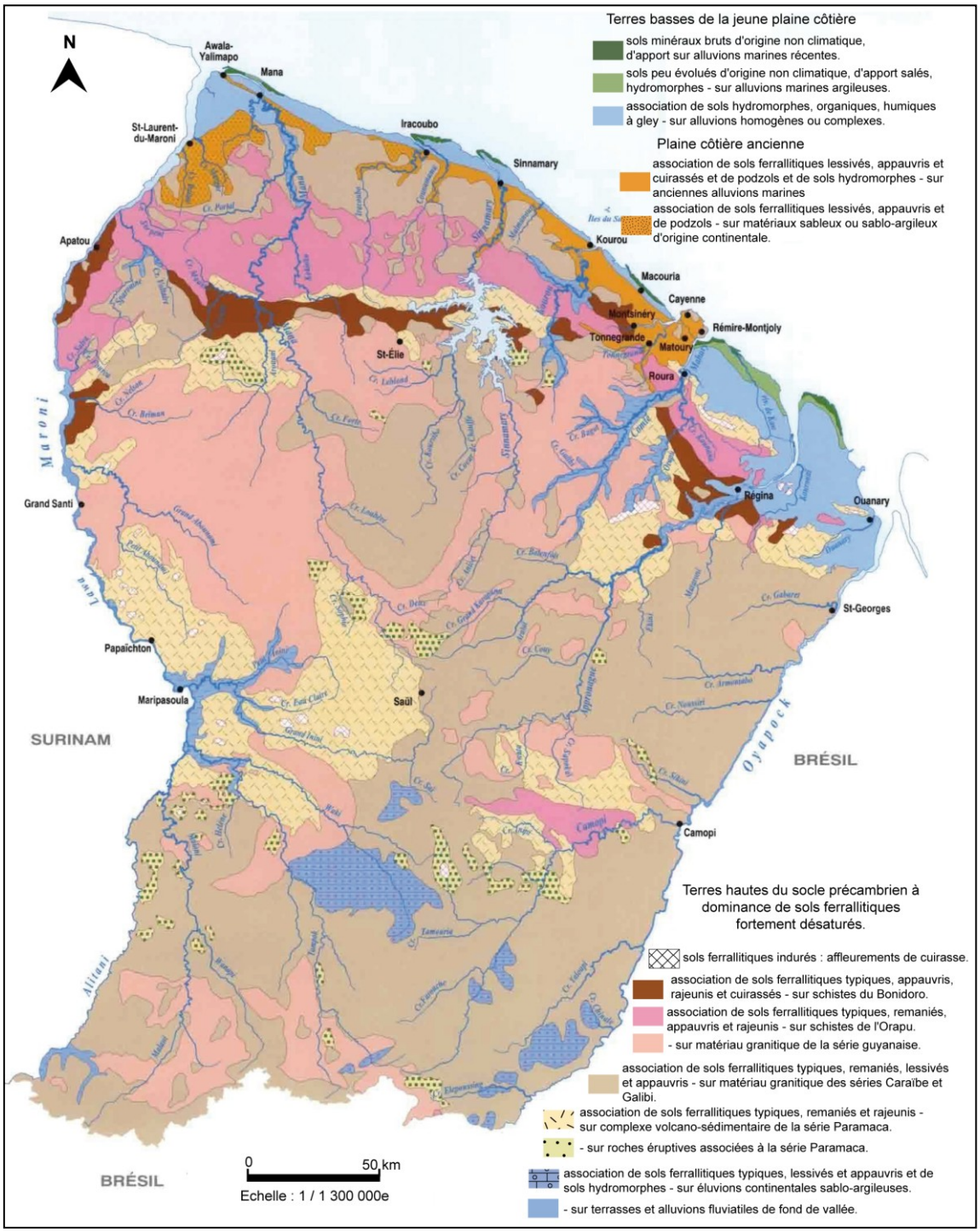


Figure 6 : Carte pédologique du territoire guyanais (éditée par Blancaneaux 2001).

Schématiquement organisés en bandes parallèles au rivage atlantique, ces différents dépôts forment deux grandes entités géomorphologiques distinctes. D'une part les terres

basses, constituant environ 6% de la superficie du territoire guyanais, et d'autre part, les terres hautes représentant environ 94% (Barret 2001) (**Figures 5 et 6**).

L'important contraste entre terres basses et terres hautes transparaît également au travers des formations végétales qui rythment les paysages (Granville 1979, 1986, 1994; Sabatier et al. 1997; Paget 1999; Leprun et al. 2001; Guitet et al. 2013) **(Figure 7).**



Figure 7 : Etagement de la végétation en fonction du sol : au premier plan le marais de Kaw, puis derrière les savanes, et enfin les collines des chaînons septentrionaux (photo E. Fouache).

II.3.1. La plaine côtière guyanaise ou « terres basses »

La plaine côtière guyanaise s'étend sur l'ensemble de la façade atlantique du territoire. Elle appartient aux terrains sédimentaires qui bordent l'ensemble du bouclier guyanais depuis le Venezuela jusqu'aux rives de l'embouchure de l'Amazone (Palvadeau 1999).

La morphologie de la zone côtière guyanaise change extrêmement rapidement du fait des bancs de vase, d'origine amazonienne, qui transitent, sous l'action de la houle et du courant pour aller se déposer sur environ 20 à 40 km le long des côtes (Choubert 1949; Lointier & Prost 1988; Prost et al. 2001). Couvrant une superficie d'environ 370 000 ha, qui peut varier en fonction des dépôts et des ablations marines annuels, les terres basses du

territoire guyanais se partagent en deux grandes unités morphologiques, en partant de la côte : la plaine côtière récente et la plaine côtière ancienne (**Figure 8**).

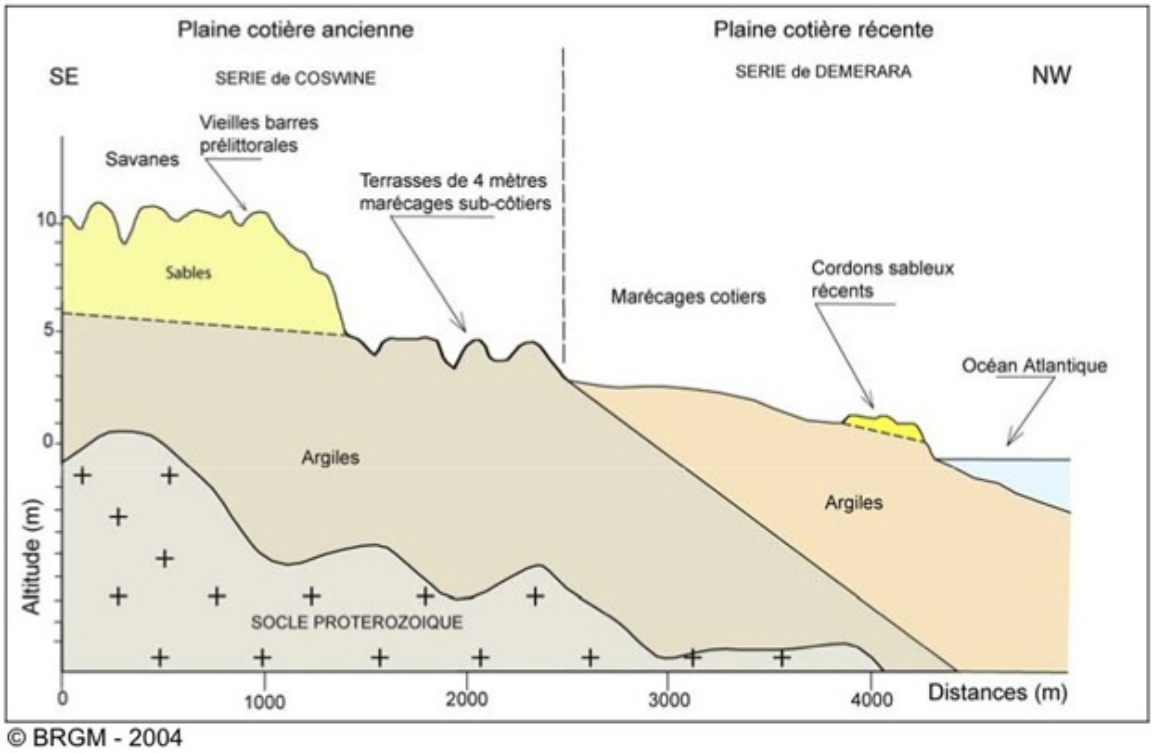


Figure 8 : Coupe schématique de la plaine côtière de Guyane (d'après Turenne 1978 tiré de Théveniaut & Delor 2004).

II.3.1.1. Plaine côtière récente

Le trait morphologique caractéristique de ce domaine réside dans la présence de cordons sableux de faible largeur (100 à 200 mètres), de hauteur inférieure à 2 mètres et de plusieurs kilomètres de longueur (Palvadeau, 1999). Désignés par le terme de « chenier », ils sont liés à l'accumulation de sédiments sableux, provenant du délavage des vases sableuses, sous l'action des vagues, constituant les bancs de vases transitant le long des côtes ou directement apportés par les fleuves (Augustinus 1989; Prost 1989). Ces cheniers reposent sur des dépôts argilo-limoneux de la série dite de Démérara (Prost & Lointier 1987; Palvadeau 1999; Théveniaut & Delor 2004). Ils correspondent à une plaine de remblaiement à partir de matériaux d'origine fluviatile et de granulométrie moyenne à fine. Ces dépôts sont caractéristiques du milieu marin littoral et leur origine est très probablement associée aux fleuves côtiers et surtout au fleuve Amazone, qui fournit des convois de boues (1 à 1,5 106 t/an) propulsés dans l'Atlantique (Prost et al. 2001). La

plaine côtière récente est ainsi constituée d'une alternance de cheniers littoraux sableux, et de bancs d'accumulation d'argiles grises à matière organique, de vases et de sables, généralement marécageux et souvent tourbeux, plus ou moins parallèles au rivage, correspondant à d'anciennes positions de la côte (Prost & Lointier 1987; Palvadeau 1999; Théveniaut & Delor 2004). Les datations C14 issues des travaux effectués au Suriname ont permis d'estimer une mise en place holocène de ces dépôts (ibid.) (**Tableau 1**).

Plaine côtière guyanaise		**Age (ans BP)**
Démérara		Holocène : depuis 10 300
Coropina-Coswine	Supérieure : cordons sableux	Eémien sup. (Boyé 1963) : 100 et 80 ka
	Inférieure : argiles à lentilles de sable	Eémien inf. (ibid.) : 120 et 100 ka
Série Détritique de Base (SDB)	Série des sables à faciès Zanderij	Pléistocène moyen (ibid.) : 300 à 120 ka
	Série des sables micacés	Pléistocène inférieur (ibid.) : 1,8 Ma à 700 ka

Tableau 1 : Chronologie des dépôts de la plaine côtière guyanaise d'après les travaux effectués au Suriname (d'après Palvadeau 1999).

D'autre part, la plaine côtière récente est la zone la plus touchée par les phénomènes de déplacement des bancs de vase d'origine amazonienne (Choubert 1949; Prost & Lointier 1987; Palvadeau 1999). Ils influencent largement le fonctionnement des écosystèmes côtiers : déviation des estuaires, envasement et désenvasement des côtes, développement et mort de la mangrove, impacts sur l'évolution des marais subcôtiers (Prost et al. 2001). D'après Choubert (1949), les « *anciens* » sont les mieux placés pour repérer les changements du littoral : « *les vieux habitants des bourgs de Sinnamary et d'Iracoubo se souviennent encore de l'époque à laquelle la mer était toute proche de leur village, alors qu'aujourd'hui ils en sont séparés par une forêt de palétuviers* ».

Concernant l'évolution de la végétation, le déplacement des bancs de vase va avoir un impact direct sur celle-ci, en induisant une mobilité de la mangrove côtière. Dans le cortège floristique extrêmement pauvre de la mangrove, le palétuvier est l'espèce ligneuse caractérisant ce milieu grâce à ses racines se dressant au-dessus de l'eau, palliant ainsi au problème du sol inondé, donc asphyxiant (Granville 2001). La mangrove côtière représente un écosystème important du fait de sa situation à l'interface entre les milieux marin et terrestre.
Les cordons littoraux sableux sont occupés par des forêts basses et broussailleuses, qui sont plus hautes et plus riches sur les cordons anciens donc plus éloignés du rivage actuel.

Les essences les plus fréquentes sont le courbaril (*Hymenaea courbaril*), l'encens (*Protium heptaphyllum*) et le palmier awara (*Astrocaryum vulgare*) (Granville 2001).

II.3.1.2. Plaine côtière ancienne ou « plaine haute »

Son altitude oscille entre 5 et 10-12 mètres au dessus du niveau marin actuel (Palvadeau 1999). Elle présente une morphologie de barre prélittorales due à la présence de larges (100 à 500 mètres) cordons sableux rectilignes de plusieurs kilomètres, parallèles entre eux et à la côte, et formant des reliefs de quelques mètres (Turenne 1978; Palvadeau 1999). La plaine côtière ancienne forme aujourd'hui un paysage de vieilles barres prélittorales sablo-argileuses, de savanes côtières et marécages subcôtiers, entrecoupés par des îlots ou des bandes de forêt qui correspondent respectivement à d'anciens drains colmatés et aux petites criques irriguant encore aujourd'hui la plaine (Palvadeau 1999; Barret 2001; Leprun et al. 2001).

En terme de végétation, la zone des savanes côtières correspond à une vaste étendue de petites touffes d'herbes parsemées d'arbrisseaux nains aux feuilles duveteuses, les "zoreilles d'âne" (*Byrsonima verbascifo/ia*). Sur le cours des ruisseaux, des palmiers-bâches sont implantés, et sur les bosquets isolés de sols sableux poussent le palmier épineux awara et le grand balourou (*Phenakospermum guianense*). Les bandes de forêts sur flats ont un caractère marécageux. Elles sont riches en palmiers comme le maripa (*Maximi/iana maripa*) (Granville 2001). Au-devant des terres hautes, des forêts hydromorphes s'installent généralement sur les premières collines du socle constituant ainsi la dernière zone de végétation littorale (Granville 1986 et 1994).

II.3.2. Morphologie de la Guyane méridionale, les « terres hautes »

La dénomination « terres hautes », par opposition à « terres basses » est une appellation locale guyanaise, désignant l'intérieur des terres situées en amont de la plaine côtière ancienne, d'altitude supérieure à 15 mètres et couvrant une superficie de 78 000 km^2. La Guyane méridionale se présente comme une vaste région d'où émergent quelques chainons et buttes isolées, collines et inselbergs, correspondant aux affleurements du socle ancien Précambrien (Filleron et al. 2003). Le contraste entre les topographies molles et basses de la pénéplaine et les formes qui en émergent, est tel que le moindre relief est désigné dans la toponymie locale par le terme « montagne » (ibid.) (**Figure 5**). C'est essentiellement le domaine de la forêt équatoriale sempervirente ombrophile (Granville 2001).

Ferry et al. (2003) décrivent très justement cette zone : « *tout promeneur qui parcourt un layon forestier des terres hautes est frappé de constater que l'on ne cesse de monter et de descendre, et de traverser des cours d'eau. Une vue aérienne de la Guyane confirme et précise cette impression: en dehors des quelques massifs montagneux, la géomorphologie des terres hautes est caractérisée par une mosaïque de collines à fortes pentes, délimitées par un dense réseau hydrographique très hiérarchisé.* »

Parmi les terre hautes, quatre entités géomorphologiques se reconnaissent, selon la valeur des altitudes moyennes de la pénéplaine, de la forme et de la densité des « montagnes » (Filleron et al. 2003; DIREN 2009) (**Figures 5 et 6**).

II.3.2.1. Les « Chaînons septentrionaux » ou collines.

Ils s'étendent en retrait de la frange côtière sur une bande étroite, parallèlement à la côte vers le sud-est. Ils offrent un important contraste topographique avec des formes courtes, taillées généralement dans des roches volcaniques (migmatites, granites par exemple), qui dominent de 100 à 200 mètres des plateaux vallonnés n'excédant guère 50 mètres d'altitude. Il est intéressant d'identifier différents types de modelés en fonction de la roche mère. Par exemple, les collines se développant sur schistes ont souvent une forme allongée dite « en amande », alors que celles développées sur granite sont plus arrondies, dites en « demi-orange » (Ferry et al. 2003) ou en « peau d'orange ». Ces dernières correspondraient à un modelé plus « classique », associé à des vallées à fond plat souvent marécageuses dont certaines pénètrent profondément à l'intérieur des terres. Les plus grandes unités de modelé s'observent sur schiste, avec des longueurs de plusieurs kilomètres et des dénivelés supérieurs à 150 mètres. À l'autre extrême, on trouve des bas plateaux sur migmatites, incisés par le réseau hydrographique sur une hauteur inférieure à 10 mètres (ibid.).

II.3.2.2. Le « Massif central »

Il correspond à la région de l'ancienne plate-forme ou craton guyanais, avec sa couverture ayant connu tous les cycles d'orogenèse et de granitisation lors des épisodes géologiques marquant l'histoire de la Guyane, débutant il y a 3 milliards d'années (Filleron et al. 2003). C'est une unité profondément métamorphisée où les roches les plus communes sont les granites, les gneiss, les schistes et les amphibolites (ibid.). Ce massif d'altitude, disséqués

par le fleuve Approuague et ses affluents, formant des collines résiduelles. C'est dans cette dernière région que se situent les deux sites MC 87 et MC 88 étudiés dans ce travail.

II.3.2.3. Le « Massif de l'Inini-Camopi »

Seule véritable chaîne de hauteur, elle comprend le point culminant observé en Guyane, atteignant 851 m au mont Bellevue de l'Inini. Occupant l'interfluve localisé entre Lawa à l'ouest et Camopi à l'est, les « montagnes » forment les plus importants reliefs du territoire guyanais (Filleron et al. 2003). C'est sur une colline appartenant au massif de la montagne Massialine, ou Montagne Bellevue de Maripasoula, que se situe le site de Yaou.

II.3.2.4. La « Pénéplaine méridionale »

Couvrant 1/5ème du territoire, à l'extrême sud et dans le sud-est entre Oyapock et Camopi, elle prend l'apparence d'un moutonnement monotone de collines convexes surbaissées, aussi appelées « dômes isolés » inférieures à 250 mètres. Des reliefs insolites en émergent tels les inselbergs granitiques ou « savane-roche », caractérisés par l'affleurement de la roche saine, qui apparaît à nue sur des pans très abrupts parfois monumentaux (Filleron et al. 2003).

II.3.2.5. La forêt guyanaise des terres hautes, un écosystème complexe, riche et fragile

Le climat équatorial chaud et humide est propice au développement de la végétation et notamment de la forêt ombrophile sempervirente qui couvre plus de 90% du territoire guyanais, soit 8 millions d'hectares environ. L'apparente uniformité du moutonnement vert qui s'étend à perte de vue lorsqu'on observe le territoire guyanais depuis le ciel, est typique des régions tropicales humides (Sabatier & Prévost 1990; Granville 2001; Blanc et al. 2003; Molino et al. 2009). L'uniformité du climat équatorial n'impose aucune contrainte thermique ou hydrique à la forêt où chaque essence conserve son rythme propre de feuillaison et de défeuillaison (Granville 2001). De plus, l'absence de contraintes climatiques favorise la diversité spécifique de la forêt humide sempervirente où la compétition entre les espèces entre en jeu. Ainsi, il est possible de distinguer une stratification verticale en étage caractérisée par des variations dans la densité végétale et les types d'espèces rencontrées **(Figure 9).**

« *De nombreuses espèces dépassent soixante mètres. Autour des arbres s'enroulent des lianes dont la tige peut être aussi grosse qu'un tronc d'arbre. Un marin amateur de promenades dans les cordages pourrait parcourir des kilomètres sans mettre le pied-à-terre […] Ce qui n'est que plante dans les pays du Nord est ici un arbre. L'herbe pousse jusqu'à quinze et vingt mètres de haut si nous voulons bien nous rappeler que le bambou est une herbe. […]* » (Price W., Les Merveilles de l'Amazonie, Paris, Payot, 1953, cité par Demangeot 1999 : 148).

La strate supérieure, aussi appelée canopée ou voûte, varie de 20 à 40 mètres, et certains arbres émergent à 50 voire 60 mètres. Elle est la principale bénéficiaire de la lumière solaire, la vie des strates inférieures dépendant d'elle. C'est dans la voûte que se trouve l'essentiel de la masse végétale (Pavia 1995). Les fûts des arbres sont élancés, souvent pourvus à la base de contreforts ou « acabas » qui améliorent leur stabilité. Les « légumineuses », au sens large (Mimosacées, Césalpiniacées Papilionacées), occupent la première place, représentées par de nombreuses espèces comme l'angélique (*Oicorynia guianensis*), l'amarante (*Peltogyne venosa*), le wacapou (*Vouacapoua americana*) et le boco (*Bocoa prouacensis*). Ces deux derniers sont à croissance très lente présentant un bois extrêmement dur (Granville 2001). On y trouve également des Lauracées dont l'espèce la plus connue est le bois de rose (*Aniba rosae-odora*), ainsi que des Clusiacées, des Apocynacées ou des Sapotacées. Parmi les Sapotacées, le balata (*Mani/kara bidentata*) fut autrefois exploité comme produit de remplacement du caoutchouc (ibid.). Bien que les arbres constituent le « squelette » de la forêt, ils ne sont cependant pas majoritaires en nombre d'espèces. Ils servent de support à de puissantes lianes épanouies dans la voûte, comme les « échelles-tortues » ou lianes tortues (*Bauhinia*) qui forment de longs rubans ondulés. Les arbres les plus âgés portent de nombreuses plantes épiphytes qui poussent sur les branches maîtresses afin de bénéficier d'une quantité de lumière suffisante à leurs besoins. Parmi les familles les plus importantes on trouve les Orchidées (plus de 400 espèces en Guyane), les Aracées (Philodendron et Anthurium en particulier) et les Broméliacées (famille de l'ananas) (Granville 2001).
Plus bas, le sous-bois est occupé par des arbustes et arbrisseaux inféodés à ce milieu. Ce sont majoritairement des Rubiacées, Mélastomatacées ou Pipéracées (poivre). Par endroit, le sous-bois est envahi par des palmiers épineux comme le counana (*Astrocaryum paramaca*) et le mourou-mourou (*Astrocaryum sciophilum*). Les plantes herbacées sont peu nombreuses en raison du faible éclairement et se concentrent au niveau des trouées lumineuses. On trouve le plus fréquemment des balisiers (*Heliconia*), des Marantacées, des Zingibéracées ou gingembre sauvage (*Renealmia, Costus*) (ibid.).

Dans le sol, l'enracinement des arbres ne dépasse pas un mètre, à cause, semble-t-il de la minceur de l'horizon humique. Les vents violents font donc facilement basculer ces arbres et les chablis[1] sont fréquents (Demangeot 1999). Ces derniers présentent un intérêt particulier pour la prospection pédestre en archéologie, puisqu'ils mettent en évidence des tessons de céramique ou des anthroposols noirs qui étaient enfouis sous l'horizon humique (Vacher et al. 1998).

Les travaux de Molino et al. (2009) effectués dans le but d'établir un référentiel complet des arbres de Guyane, ont permis de déterminer la présence de 1581 espèces. La communauté des arbres est d'autant plus complexe sur le territoire guyanais, qu'il est possible de trouver plus de 150 à 200 espèces d'arbres conjointement sur un hectare (Sabatier 2005).



Figure 9 : Stratification verticale de la forêt ombrophile (photo M. Burst).

[1] Un chablis (ou chable) est un arbre déraciné sous l'action de différents agents naturels (vents, pluies) ou pour des raisons qui lui sont propres (vieillesse, pourriture, mauvais enracinement), sans intervention de l'Homme.

La dense forêt ombrophile amazonienne, d'apparence luxuriante, repose en réalité sur de multiples relais biologiques (espèces arborées/micro-organismes) et sur sa capacité à accumuler des éléments nutritifs, tels que phosphore, calcium, magnésium, manganèse, fer et aluminium, dans les couches superficielles des sols (Cabidoche et al. 2009). En effet, il est aujourd'hui généralement admis, dans la communauté scientifique, et plus largement dans le monde agricole, que les sols tropicaux, développés sous climat équatorial humide dans le bassin amazonien englobant les Guyanes, sont pauvres d'un point de vue chimique, avec une fertilité très basse, donc très peu propices à la croissance des plantes.

III. Classification des sols tropicaux humides sous forêt ombrophile

Il est à ce stade de la présentation du contexte d'étude nécessaire de considérer les sols naturels qui se développent en Guyane française.

La différenciation des grandes classes de sols sur le territoire guyanais dépend en tout premier lieu de la roche mère, qui influence de manière directe ou indirecte la granulométrie, la texture et la composition chimique (Brugière & Marius 1967; Blancaneaux 1981, 2001). On peut distinguer des sols argileux (60 à 80 % d'argile) sur laves Paramaca, gabbros, amphibolites, schiste; des sols sablo-argileux (20 à 40 % d'argile) sur granite et quartzite du socle, sables fins triés du Quaternaire; ou encore des sols sableux (0 à 10% d'argile) sur matériau de la série détritique de base (SDB) comme le plateau sableux de la région de Saint-Laurent du Maroni (Blancaneaux 1981).
Les grands mécanismes de la pédogénèse, inhérents au milieu guyanais, déterminés par la catena avec les influences conjuguées de la topographie, l'hydromorphie, le drainage des sols et/ou les types de végétation et l'altération ferrallitique, jouent également un rôle majeur dans l'évolution des sols guyanais (Turenne 1978; Ferry 1995; Blancaneaux 2001; Leprun et al. 2001; Ferry et al. 2003).

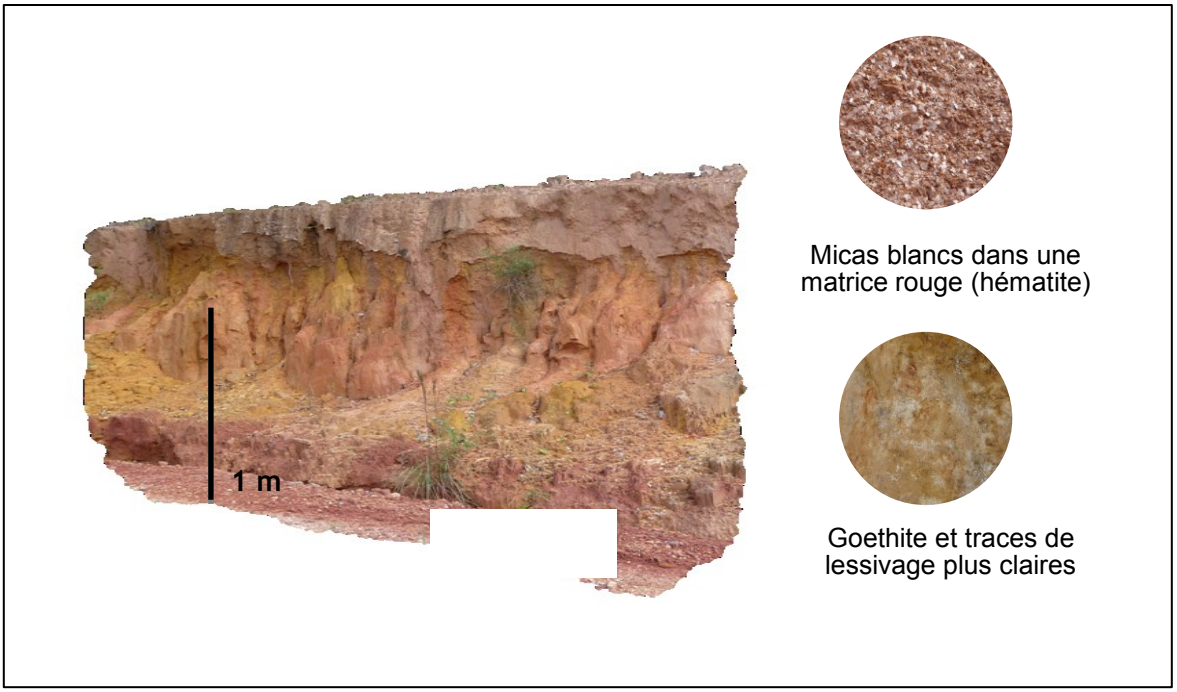
À partir de ces principaux facteurs, trois grandes classes de sol développés sur le bouclier précambrien guyanais ont été déterminées : les **ferrallitisols**, les **podzols**, et les sols **hydromorphes** (Blancaneaux 1981, 2001; Leprun et al. 2001). Dans ce travail nous nous intéresserons plus particulièrement aux ferrallitisols qui font partie de la classe la plus représentée des terres hautes du territoire guyanais (**Figure 6**).

Les ferrallitisols ou oxydisols - selon le référentiel pédologique français (Baize & Girard 2008) - sont dénommés selon le référentiel international de classification des sols comme

des ferralsols[2] (FAO 2014). Ils sont connus pour être anciens et très évolués (Ferry 1995). Ils sont très épais et se forment par altération géochimique de type ferrallitique, à partir de roches plutoniques et métamorphiques. Ils sont le résultat de l'action combinée du climat (pluviométrie, température), de l'activité biologique, et de l'altitude (Ferry et al. 2003). La pluviométrie est un facteur essentiel, puisqu'elle détermine l'efficacité de l'hydrolyse et la profondeur de la couverture végétale. Les sols qui se développent alors par ferrallitisation, en conditions de bon drainage et de stabilité du paysage ou biostasie, sont très épais, colorés plus ou moins uniformément et vivement en ocre-jaune (goethite - « sols jaunes ») ou rouge à violet (hématite - « sols rouges ») résultats de conditions environnementales très favorables à leur genèse et relativement défavorables à leur ablation car protégés de l'érosion par la dense forêt ombrophile (Ferry 1995) (**Figures 10 et 11**). Ils sont essentiellement composés de quartz résiduel (fraction sableuse surtout), de minéraux primaires et secondaires, ces derniers étant formés lors de l'altération (fraction argileuse avec notamment la kaolinite). Les différents minéraux sont en proportions variables selon les roches mères, les horizons, le modelé et la position topographique. Des accumulations de fer et/ou d'aluminium peuvent générer des indurations, cuirasses, carapaces ou gravillons dans certains sols.

L'allitisation, ou latérisation, correspond au stade ultime d'efficacité de l'hydrolyse, conduisant au lessivage total du silicium, ne subsistant alors plus que l'hydroxyde d'aluminium (gibbsite) constituant utile de la bauxite (Pomerol et al. 2011). Au final, l'altération ferrallitique ou ferrallitisation représente la phase terminale de l'évolution des sols dans les régions tropicales humides (Duchauffour 2001) (**Figure 11**).

[2] Dans le reste de cette thèse le terme **ferralsol** sera privilégié lorsqu'il sera question des sols naturels de Guyane française ou plus largement du bassin amazonien.



Légende : la couleur rouge est formée d'oxydes de fer type hématite, le jaune correspond à de la goethite, avec de nombreux micas blancs assez grossiers.

Figure 10 : Exemple d'altération ferrallitique rencontrée en bord de route entre Kourou et Cayenne (photo C. Cammas).

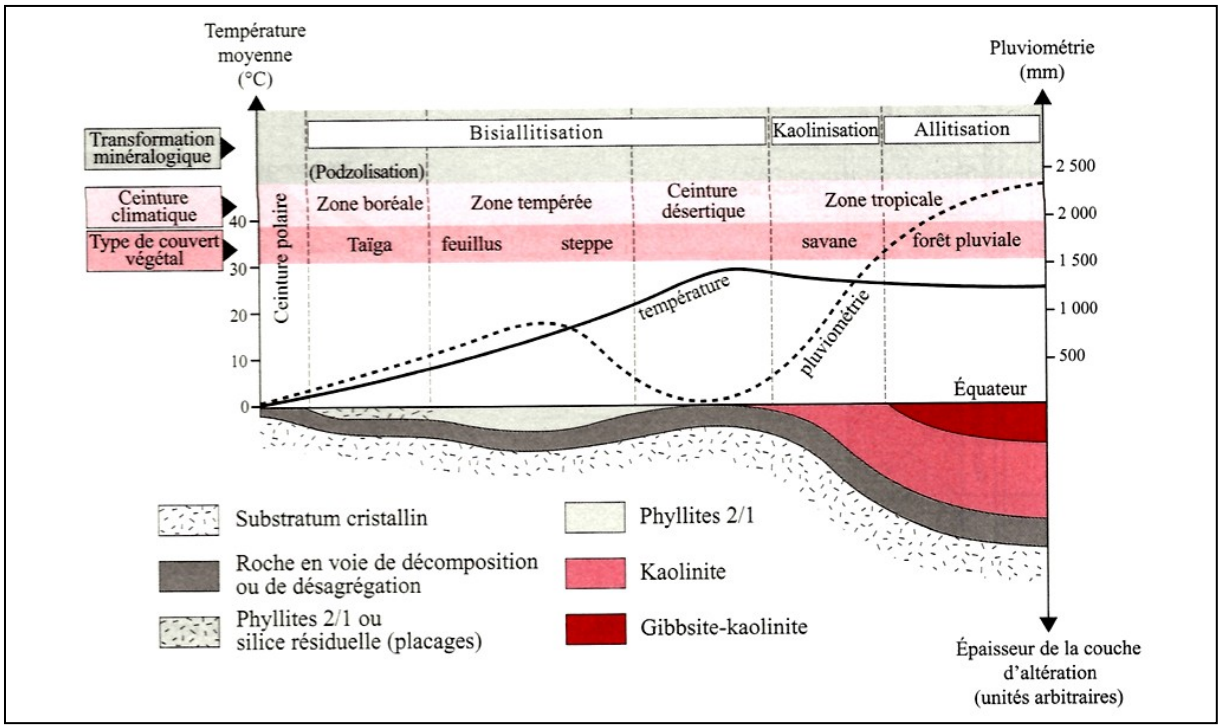


Figure 11 : Diagramme de Pedro (1975) représentant l'évolution des sols en fonction de la température et de la pluviométrie (tiré de Emmanuel et al. 2014).

Ils présentent en outre une structure meuble agrégée assez stable, ce qui les rend moins susceptibles à l'érosion que les autres sols développés dans ce contexte climatique. Ils sont généralement bien drainés (Ferry et al. 2003).
D'un point de vu physico-chimique, ils possèdent un pH acide à très acide (pH compris entre 3,5 et 6), pauvres en éléments nutritifs disponibles tels que le phosphore et le calcium, avec une faible capacité d'échange cationique (CEC) et contiennent souvent de grande quantité d'aluminium (Leprun et al. 2001; Ferry et al. 2003; Hammond 2005).
Ces caractéristiques leur confèrent un potentiel agronomique bas. Ainsi, il est nécessaire de maintenir leur fertilité par un travail du sol raisonné, épandage de fumier, paillage[3] puis périodes de jachères adéquates, ou par de l'agroforesterie, et dans tous les cas, une prévention contre l'érosion de la surface du sol en conservant un couvert végétal minimum.
Dans le monde, on trouve des Ferralsols sous d'autres dénominations : *Oxisols* (USA), *Latossolos* (Brésil-Embrapa), *Alítico, Ferrítico* et *Ferralítico* (Cuba), *Kandosols* (Australie) ou *Ferralitic soils* (Russie) (WRB 2014).

Un profil ferrallitique typique est formé de trois horizons principaux (**Figure 12**). Un horizon A dont la structure provient principalement de la forte activité biologique sans présenter de particularités morphologiques spécifiques. Ces horizons sont reconnaissables à leur couleur avec des *values* comprises entre 2 et 5, et des *chromas* entre 0 et 4 (code Munsell) et une teneur en carbone organique assez variable généralement inférieure à 4 % (Baize & Girard 2008).
En-dessous se développe généralement un horizon F (ferrallitique) jaunes ou rouges en fonction de sa composition minéralogique, ou un horizon OX (oxydique) de couleur plus homogène.
Enfin, l'horizon C d'altération correspond aux saprolites ou altérites parmi lesquels deux grands types sont distingués : l'isaltérite qui a conservé la structure de la roche mère et l'allotérite dans laquelle on ne discerne plus nettement la structure originelle de la roche (ibid.).

[3] Matières végétales, paille ou autres, recouvrant le sol.

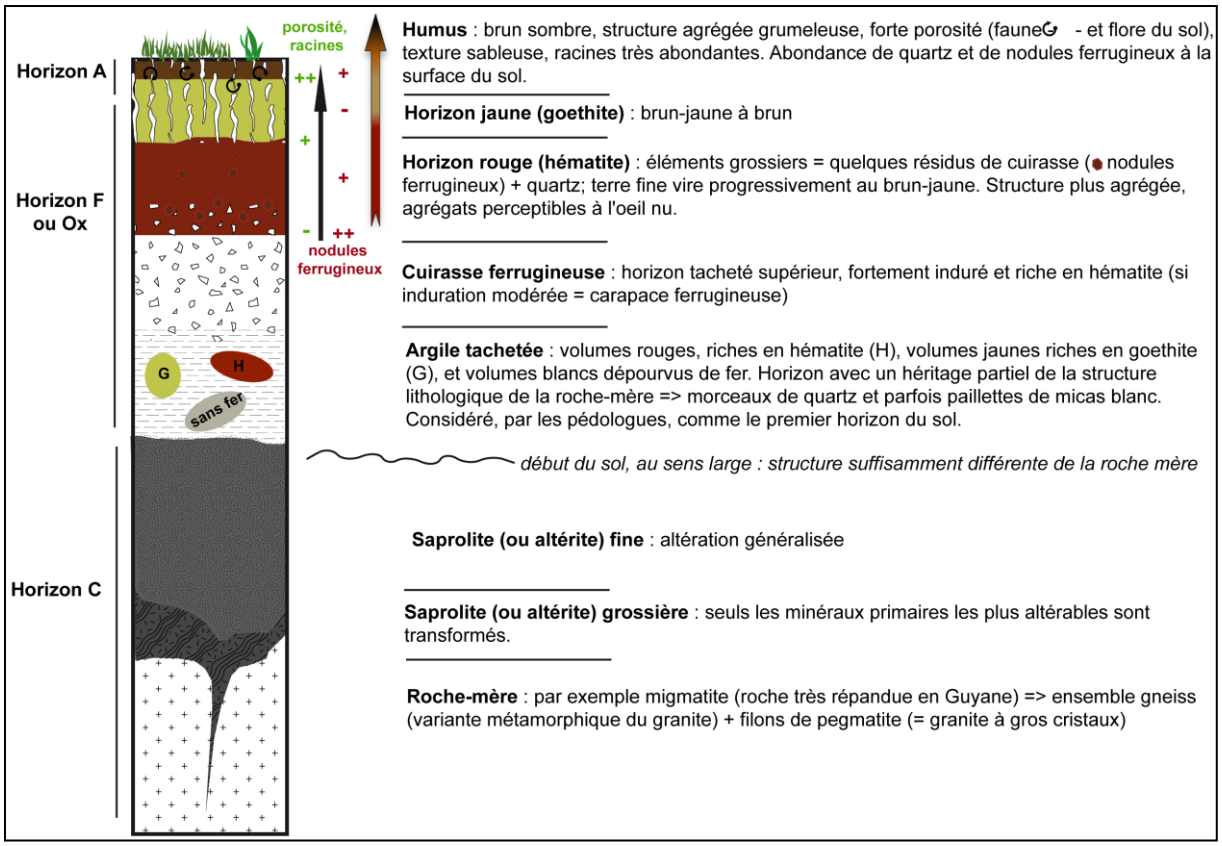


Figure 12 : Profil d'un sol ferrallitique ou Ferralsol développé sur le socle guyanais (modifié d'après Ferry 1995).

IV. Transformation du paysage guyanais au cours du Quaternaire

L'impact des variations climatiques durant le Quaternaire, sur le paysage et la couverture végétale en Amazonie et sur le bouclier guyanais, aussi bien au Pléistocène tardif, notamment lors du dernier maximum glaciaire (DMG- 20 000 ans cal. BP), qu'à l'Holocène (< 10 000 ans cal. BP) est encore source de débats et de contradictions (Freycon et al. 2010; Girod 2011). Le travail de synthèse de Girod (2011) indique que les variations climatiques des 20 000 dernières années sont bien documentées dans certaines régions du bassin amazonien, et beaucoup moins au sein du bouclier guyanais. La difficulté première étant d'extrapoler des conclusions obtenues à une grande échelle (locale), à des échelles géographiquement plus petites (Girod 2011). Il est de plus, fort probable, que les évènements climatiques ayant touché le territoire guyano-amazonien ne l'ont pas été avec la même intensité, ni aux mêmes périodes partout (ibid.).

Durant l'Holocène, l'histoire des forêts tropicales et des paysages fut influencée à la fois par des processus naturels climatiques, et par des processus anthropiques (Ledru 2001). Il est ainsi important, bien que cela ne soit pas toujours chose aisée, de pouvoir distinguer

les processus liés à des changements climatiques, de ceux liés à l'anthropisation ancienne du milieu (Ledru 2001; Ledru et al. 2005; Lombardo 2014).

IV.1. Le Pléistocène tardif (28 000 – 10 000 ans BP)

- En Amazonie

Les données disponibles à l'échelle du bassin amazonien sont assez contradictoires ne permettant pas de reconstruire clairement l'évolution du climat et ses conséquences sur la distribution des forêts tropicales à la fin du Pléistocène (Girod 2011). Néanmoins, d'après Ledru et al. (2005) il est possible de diviser le Pléistocène en trois grandes phases climatiques. La première, au Péniglaciaire supérieur (28 000 – 13 000 ans BP), lorsque le climat était relativement froid et sec. Les glaciers andins étaient moins étendus et les rivières d'amazonie ont creusé les substrats sédimentaires. Les savanes se sont étendues en remplaçant localement la forêt équatoriale humide, les dunes se sont développées dans de nombreuses zones actuelles de savane et de forêt et les précipitations auraient été réduites de 30 à 50 % dans la plupart des régions dans le nord du continent sud-américain (ibid.). Puis au cours du dernier maximum glaciaire (DMG - 20 000 ans cal. BP), les températures en Amérique tropicale auraient été plus fraîches d'environ 4 à 6 °C par rapport à l'actuel (Colinvaux et al. 1996; Hammen & Hooghiemstra 2000; Irion & Kalliola 2010; Bush et al. 2011). Ce rafraichissement est notamment attesté par la présence en Amazonie brésilienne de pollen de conifères du genre *Podocarpus* dans les sédiments du lac Pata (Colinvaux et al. 1996) et du lac Caço (Ledru et al. 2001). Il aurait été induit par une remontée latitudinale de +10° de la limite sud de la ZIC, depuis la fin du Pléistocène, attribuable à l'action des forces astronomiques comme les paramètres de Milankovitch (Martin et al. 1997).

Concernant les précipitations, l'idée globale d'un climat plus sec est toujours remise en question (Irion & Kalliola 2010). Il semblerait que la distribution spatiale des variations des pluies soit plus complexe, la plus prononcée étant l'oscillation nord/sud : lorsque dans la partie nord du bassin amazonien le climat est sec, au sud les conditions sont plus humides, et vice versa (ibid.). Ainsi, dans certaines zones, il y aurait eu une période de sècheresse importante au cours de laquelle des lacs isolés d'amazonie se seraient asséchés totalement (Ledru et al. 2005). De plus, les modifications glacio-eustatiques du DMG, liées à l'immobilisation de l'eau terrestre sous forme de glace aux hautes latitudes entrainant le niveau de l'océan mondial aux environs de – 110 mètres par rapport à l'actuel, ont affecté les rivières du bassin amazonien (par exemple, le niveau moyen du fleuve Amazone au

niveau de la ville de Manaus était de - 40 mètres par rapport à aujourd'hui). Les systèmes érosion/dépôt des sédiments ont été touchés très loin à l'intérieur des terres, sur environ la moitié du continent, influençant directement la forme actuelle du bassin amazonien (Irion & Kalliola 2010).

D'après Bush (1994), il serait admis que le bassin amazonien aurait été séparé du bouclier guyanais au cours de cette période, formant ainsi deux zones refuges bien distinctes pour la végétation.

Au début du Tardiglaciaire (13 000 – 10 000 ans cal. BP), les précipitations aurait augmenté à nouveau, remontant le niveau des lacs andins et amazoniens et permettant à la sédimentation de redémarrer dans les vallées fluviales (Hammen & Hooghiemstra 2000).

Plusieurs changements climatiques abruptes et courts furent enregistrés par la végétation dans le nord du Brésil après les DMG : le plus important entre 15 000 et 13 500 ans BP, caractérisé par l'expansion de la forêt, et le second, plus sec, lors du Dryas récent, entre 12 800 et 11 000 ans BP, avec une phase de régression végétale (Ledru et al. 2005).

- Bouclier guyanais

Durant le Quaternaire, la Guyane a connu des fluctuations climatiques correspondant à des alternances de périodes arides et humides, appelées périodes interpluviales et pluviales (Tardy 1998), corrélées aux alternances des périodes glaciaires et interglaciaires survenues aux moyennes latitudes (Veillon 1990; Ferry et al. 2003). Des zones refuges de forêts équatoriales humides ont été identifiées durant cette période où la végétation a connue de nombreux changements (Charles-Dominique et al. 1998; Tardy 1998; Ledru 2001).

Au même titre qu'en Amazonie, il est possible de distinguer trois grandes phases climatiques. Vers 30 000 ans BP, la Guyane française a connu un climat humide proche de l'actuel succédant à une période aride, qui a permis à la forêt ombrophile de s'étendre au détriment de la savane. Au cours du DMG, sur le plateau des Guyanes, une différence de température de -4 (-2) à 0 (+4) °C entre l'été boréal du DMG et l'été actuel a été mise en évidence (Clark et al. 1999). Le taux d'humidité (précipitation/évaporation) à cette période, présentant une diminution des précipitations de 500 mm par an, témoigne d'un climat plus sec dans le bouclier guyanais comparé aux régions voisines, ainsi que l'attestent des sédiments situés le long d'un corridor de savanes au Brésil (Absy et al. 1991) et du lac Valencia, au Venezuela (Salgado-Labouriau 1980; Leyden 1985). Cela a entraîné un recul de la forêt au profit de la savane, tandis qu'un profond abaissement du niveau de l'océan aurait contribué à une reprise importante de l'érosion fluviatile (Tardy 1998; Ferry et al. 2003; Irion & Kalliola 2010). Les quelques données du Tardiglaciaire

disponibles concernent principalement l'inselberg des Nouragues (Tardy 1998). Il semblerait qu'à cette période la Guyane ait connue une période de réchauffement général et d'humidité plus importante entre 13 000 et 10 000 BP (ibid.). Un nouvel évènement aride semble également s'être déroulé sur le bouclier guyanais au cours du Dryas récent (10 500 ans BP), ainsi que l'a montré Salgado-Labouriau (1980) au Venezuela, concordant aux observations de Ledru et al. (2005) pour le nord du Brésil.

IV.2. Holocène (10 000 ans cal. BP à aujourd'hui)

- Amazonie

La majorité des auteurs s'accordent sur l'existence de plusieurs phases sèches au cours de l'Holocène dans le bassin amazonien. Au début de l'Holocène, il semble qu'il y ait eu une brusque remontée des températures (Girod 2011). Puis, autour de 9 000 ans BP et jusqu'à 3 000 ans BP, une phase savanicole très sèche serait attestée dans le sud du bassin amazonien (Freitas et al. 2001). À partir de cette date la forêt tropicale humide se serait étendue de nouveau. La réduction des précipitations d'environ 40 % est attestée en de nombreux points durant cette période. Par exemple, l'analyse de carottes sédimentaires avec leurs indicateurs lithologiques et géochimiques, a permis de mettre en évidence une ouverture dans la forêt entre 8 900 et 4 000 ans BP dans le nord de l'amazonie brésilienne (état de Para) (Sifeddine et al. 2001), rejoignant les observations palynologiques d'Absy et al. (1991), indiquant une phase d'ouverture de la forêt entre 7 500 et 3 000 ans BP à Carajas, que l'on observe également dans la vallée de la rivière Icatu entre 6 790 et 6 000 ans BP (Oliveira et al. 1999). Le développement de la forêt a ainsi été bloqué lors de différentes phases sèches à cause de feux de grande ampleur (Sifeddine et al. 1994). Ces phases sèches sont à relier à des modifications de la température de surface de l'océan Pacifique équatorial de type El Nino (Siffedine et al. 1994; Scheel-Ybert et al. 2003). Enfin, à l'Holocène tardif, à partir de 3 000 ans BP, la région amazonienne aurait connu une augmentation de l'humidité, permettant à la forêt de se redévelopper (Absy et al. 1991; Maslin & Burns 2000; Bush et al. 2002).

- Bouclier guyanais

Concernant l'Holocène, les travaux restent peu nombreux pour cette région (Girod 2011). Toutefois, on dispose de quelques données d'intérêt pour le Venezuela et pour la Guyane Française. Ainsi, une phase plus aride et plus fraîche est enregistrée il y a 6 000 ans au Venezuela (Salgado-Labouriau & Schubert 1976, cités par Girod 2011), puis un climat plus humide s'installe à partir de 3 000 ans BP, en concordance avec les changements

climatiques du bassin amazonien. Le climat guyanais durant l'Holocène, dans son ensemble, se rapproche de celui que l'on connaît actuellement, de type équatorial humide, tout en présentant certaines variations au niveau des températures et des précipitations (Tardy 1998). C'est durant cette période que la forêt tropicale humide va s'étendre, stabilisant ainsi le modelé du paysage (Ferry et al. 2003).

Les travaux de thèse de Tardy (1998) sur les phases de paléoincendies en Guyane française, ont permis de mettre en évidence des périodes sèches, courtes ou intenses, qui ont favorisé localement les incendies. En effet, rappelons que c'est pendant la saison sèche, très ensoleillée, que le déficit hydrique est le plus prononcé en Amérique du sud tropicale. Les arbres souffrent alors de pertes en eau et deviennent susceptibles de brûler en cas d'assèchement ou de baisse importante des nappes phréatiques (Soubiès 1980; Tardy et al. 1996; Charles-Dominique et al. 1998).

Dans ses travaux, Tardy (1998) a notamment cherché à différencier les paléofeux naturels des feux anthropiques. Grâce à des études qualitatives et quantitatives il a pu identifier des périodes de paléofeux antérieures de plusieurs milliers d'années à l'attestation de la présence humaine en Guyane française, en révélant notamment sous les niveaux d'anthropisation, la présence de lits de charbons dans des niveaux de sol archéologiquement stériles, se prolongeant bien au-delà des sites d'occupation (Tardy et al. 1996; Mestre & Delpech 2008) (**Tableau 2**).

Ses résultats attestent de la présence d'une phase sèche entre 10 300 et 8 500 ans BP durant laquelle les cortèges floristiques repérés laissent supposer que des forêts plus sèches étaient présentes sous forme de mosaïque de forêts semi-caducifoliées et sempervirentes. Puis une seconde phase d'incendie est détectée entre 6 000 BP et 4 000 BP, en accord avec les études menées dans le bassin amazonien (Tardy et al. 1996). A l'Holocène récent, entre 4 500 et 3 000 BP, une phase sèche est également observée, notamment sur l'Inselberg des Nouragues où l'érosion enregistrée est intense et marquée par la forte accumulation de graviers et d'argile indiquant une perturbation importante de la couverture arborée. Cette phase a également été enregistrée sur d'autres sites d'Amazonie (Meggers 1994; Ledru et al. 2000). Une étude palynologique réalisée également sur la station des Nouragues a permis d'enregistrer deux ouvertures de la forêt, liées à des feux de forêt, l'une entre 1 525-1 375 et 1 058-863 ans BP et l'autre beaucoup plus brève vers 658-424 ans BP (Ledru et al. 2000; Ledru et al. 2001). Au cours de ces phases de paléoincendies, il a été noté la présence accrue et continue d'espèces pionnières, telles que les *Cecropia* qui signent un régime de perturbation très intense sur le site des Nouragues (Ledru et al. 2001).

Ces études ont conduit Tardy (1998) à proposer trois zones refuges potentielles pour la végétation au cours de l'Holocène : la première est une grande zone refuge littorale avec le Mont Grand Matoury, les montagnes de Kaw et la région de Régina ; la seconde est la zone centrale de la région de Saül et les massifs de Grand Santi ; et la dernière correspond à la région de Paul Isnard dans l'ouest de la Guyane. Le résultat des recherches de Freycon et al. (2010) confirment que la forêt équatoriale humide du nord de la Guyane française fut résiliente aux conditions plus sèches durant l'Holocène, bien que l'impact climatique sur la forêt fût bien moindre durant l'Holocène que durant la fin du Pléistocène.

Les conditions climatiques actuelles en Guyane française ne permettent pas l'inflammation des massifs forestiers, même à la faveur de périodes sèches de type El Niño (Tardy 1998). Or, les fragments de charbons qui sont fréquemment trouvés dans les sols amazoniens, que ce soit en Amazonie brésilienne ou en Guyane française (Tardy 1998; Scheel-Ybert et al. 2003), témoignent de péjorations climatiques importantes, durant l'Holocène, ayant conduit à des périodes anormalement sèches et d'une ampleur suffisante pour rendre la forêt amazonienne et guyanaise inflammable, tout au moins dans certaines zones (Tardy 1998). Par exemple, il est intéressant de noter que de manière générale, les feux de savanes peuvent se répandre sur plusieurs kilomètres de long et avancer à la vitesse de 5 à 10 mètres par minute (ibid.). A la surface du sol, la température aussi haute que 600 °C peut perdurer sur de courtes périodes.

Tardy (1998) remarque que l'ensemble des douze phases de paléoincendies qu'il a datées depuis 13 000 ans BP pour la Guyane française, n'a pas été enregistré systématiquement dans tous les sites d'étude (**Tableau 2**). Il semble donc y avoir des variations régionales à l'échelle du territoire guyanais de la même façon qu'à l'échelle du bassin amazonien.

Tardiglaciaire	12 800-12 500 ans cal BP	
	10 300-9 900 ans cal. BP	
Holocène	Holocène ancien	9 600-9 300 ans cal. BP
		8 800-8 300 ans cal. BP
	Holocène moyen	7 900-7 300 ans cal. BP
		5 900-5 300 ans cal. BP
	Holocène récent	5 000-4 400 ans cal. BP
		3 800-2 900 ans cal. BP
		2 000-1 500 ans cal. BP
		1 000-750 ans cal. BP
		400-300 ans cal. BP
		< 200 ans cal. BP

Légende : sur fond beige ce sont les périodes où la présence de l'être humain est avérée sur ce territoire.

Tableau 2 : Les douze phases de paléoincendies du Quaternaire, en Guyane française, datées par C. Tardy (1998).

IV.3. Paléoincendies Holocène récents

Les phases les plus complexes de paléoincendies définies par Tardy se situent à l'Holocène récent, dès que la présence humaine est attestée en Guyane française, autour de 3 000 ans BP (**Tableau 2**). Cela est également valable dans le reste de l'Amazonie où l'influence anthropique certaine à cette période vient perturber les enregistrements paléoenvironnementaux et les interprétations paléoclimatiques que l'on peut en faire (Tardy 1998). Il est encore aujourd'hui difficile d'évaluer véritablement l'ampleur de la part anthropique ancienne sur les paléoincendies (Ledru et al. 2001). L'Homme a pu exploiter le rôle bénéfique du feu pour plusieurs effets : en tout premier lieu pour ouvrir une aire boisée, puis la nettoyer, afin d'installer une zone d'habitat ou pour les cultures. Le feu permet de plus d'améliorer la fertilité du sol avec les cendres et les charbons ou encore il permet d'éloigner les animaux (serpents, jaguar) des zones d'habitation (Osborne 2012). Les charbons de bois analysés dans les niveaux archéologiques, aussi bien dans les sites de plein air que dans les abris sous roche, apportent l'image d'une couverture forestière proche de l'actuel pour la Guyane française (Tardy 1998). Le cortège floristique indique parfois un milieu plus ou moins secondarisé dû à l'impact anthropique local, matérialisé par la présence de taxons spécifiques de milieux plus ouverts (ibid.). La proportion relative de ces taxons peut indiquer une plus ou moins grande pression de l'Homme sur son environnement voire même donner une idée de la durée d'implantation (Tardy et al. 1996; Tardy 1998).

À partir du moment où la présence de l'être humain est attestée dans la région guyano-amazonienne, la question se pose de savoir si il aurait profité des périodes sèches, favorisant les incendies naturelles, pour pénétrer en forêt, ou bien si les incendies et la prolifération de plantes pionnières ne seraient pas, en grande partie, la conséquence d'une activité anthropique accrue utilisant le feu, corrélative d'une forte démographie entre 2000 - 1400 ans BP et 900 - 600 ans BP (ibid.) Un premier élément de réponse nous est donné par Charles-Dominique et al. (1998) mettant en évidence l'existence de terrasses alluviales sous forêt, indiquant une érosion subite et généralisée, impossible à imaginer sans une déforestation de très grande ampleur. D'après les auteurs, seuls des incendies naturels peuvent expliquer une déforestation si importante, favorisant l'hypothèse que les populations précolombiennes auraient profité des paléoincendies naturels pour pénétrer en forêt (Charles-Dominique et al. 1998). Néanmoins, les deux phénomènes peuvent tout à fait avoir fonctionné conjointement. En effet, nous allons voir dans la suite de cet exposé que de nombreux groupes humains étaient contemporains et se

sont succédés dans la région guyano-amazonienne (cf. Partie I-Chapitre 3). Ainsi, certains groupes ont pu avoir un rôle « d'opportuniste climatique », profitant des paléoincendies naturels qui ont ouvert la forêt, pour s'installer et cultiver, quand d'autres, peut-être plus nombreux et organisés, auraient pu ouvrir des espaces boisés dans des zones plus stratégiques pour leur installation, peu ou non touchées par les paléoincendies naturels. Il semblerait d'après Pyne (1998, cité par Erickson 2008) que les paléofeux anthropiques se distinguent des feux naturels selon leur contexte, leur régularité, leur structure et leur synchronicité.

En résumé, les facteurs biotiques et abiotiques se combinent, qu'ils soient d'ordre climatique (précipitations, températures, El Nino, vents), géologique (roche-mère, tectonique), pédologique (sols, drainage, bioturbation) ou biogéographique/écologique, influençant ainsi l'environnement bien particulier de l'Amazonie et plus particulièrement de la Guyane française qui nous intéresse ici. Au cours du temps, ce milieu biophysique a connu des changements d'origine naturelle, et plus récemment, à l'Holocène, une anthropisation croissante. Il est alors nécessaire de prendre en compte tous ces facteurs naturels composant le milieu guyanais pour entrevoir et mettre en perspective le rôle que les occupations précolombiennes ont pu avoir sur l'évolution et la transformation des paysages.

Chapitre 2. LA RECHERCHE ARCHÉOLOGIQUE DANS LA RÉGION AMAZONIENNE

I. L'émergence de l'archéologie amazonienne

Les premiers explorateurs européens qui voyagèrent sur le fleuve Amazone ont rencontré des populations amérindiennes dont le mode de vie n'avait pas encore était bouleversé par la présence des colons. Ils léguèrent quelques sources historiques, les premières datant du 16ème siècle (Carvajal [4] 1955). Ces rapports, bien qu'ayant été pendant longtemps considérés d'une fiabilité douteuse, peuvent en réalité apporter quelques éléments sur les modes de vie des populations amérindiennes, en complément des données archéologiques, si ils sont exploités avec prudence.

En effet, actuellement, on s'aperçoit que les données archéologiques récentes aboutissent à une contradiction totale des théories de l'après-guerre, mais sont en accord avec les sources ethnographiques des premiers explorateurs, notamment concernant l'ampleur des installations précolombiennes, décrites comme s'étendant sur plusieurs kilomètres le long de l'Amazone : «*les Espagnols furent accueillis par une délégation de quatre mille Indiens à bord de canoës de guerre - deux cent bateaux transportant chacun vingt à trente personnes. Ils étaient encore des centaines ou des milliers perchés sur les éminences de la rive sud*» (Carvajal 1955). Par la suite, ces populations anciennes complexes et importantes ont connu d'énormes perturbations (épidémies, maladies, guerres, etc.) lors de l'arrivée des européens (Kämpf & Kern 2005).

I.1. Les grands courants de pensée

I.1.1. Les années 40

Les débats autour de la complexité des sociétés amérindiennes anciennes et la question du nomadisme, ont débuté dans les années 40, lorsque Steward publie les cinq volumes du « *Handbook of South American Indians* » (Steward 1946, 1948, 1949). Il est convaincu que les populations humaines évoluent selon les conditions écologiques dans lesquelles elles vivent. Selon lui, l'hostilité de l'environnement amazonien constituerait un frein majeur au développement de sociétés complexes. Il divise ainsi l'Amérique du sud en quatre

[4] Gaspar de Carvajal, aumônier accompagnant la 1ère mission sur le fleuve Amazone, conduite par Francisco de Orellana (1541-1542).

ensembles écologiques et culturels, allant du plus «civilisé» au plus «sauvage» : l'aire Andine, l'aire Circum-Caraïbe, l'aire de la Forêt Tropicale (dont fait partie la Guyane française) et les groupes qu'il nomme Marginaux ou Tribus Marginales (ibid.). L'aire Andine caractérise alors la zone d'Amérique du sud la plus civilisée (sociétés Chavin, Mochicas, Incas, etc.) ; l'aire Circum-Caraïbe correspond à des groupes apparentés aux chefferies, signalés par certaines sources ethnographiques du 16ème siècle ; les cultures de la Forêt Tropicale reflètent les données ethnographiques de l'est de l'Amazonie et des Guyanes traduisant la présence de groupes humains avant l'arrivée des européens ; les Tribus Marginales représentent les quelques groupes mobiles de chasseurs-cueilleurs présents en Terre de Feu (Steward 1948).

Puisqu'il considère comme totalement impossible que l'environnement amazonien permette l'émergence de cultures élaborées et hiérarchisées, Steward propose que la distribution spatiale des peuples de la Forêt Tropicale soit le résultat de migrations de populations précolombiennes plus développées, venues de l'aire Andine et se déplaçant vers l'est. Elles se seraient d'abord installées dans l'aire Circum-Caraïbe où elles auraient commencé à décliner au rang de chefferie, régressant de plus en plus en migrant vers le bassin amazonien, en passant par les fleuves Orénoque ou Amazone et les côtes des Guyanes (Steward 1949). Au fur et à mesure de leur progression vers l'est, ces populations se seraient heurtées à des conditions environnementales de plus en plus hostiles, ainsi qu'aux populations Marginales de chasseurs-cueilleurs, les limitant par la même à des élaborations techno-économiques et socio-politiques induisant une simplification de leurs modes de vie (ibid.).

Venant renforcer le modèle de Steward, B. Meggers développa une nouvelle théorie fondée sur le déterminisme environnemental ou écologique, limitant les sociétés dans leur évolution socio-politique et technologique en fonction du potentiel agricole plus ou moins élevé de l'environnement (Meggers 1954, 1973). En se basant sur des études de sciences de la nature, Meggers s'attache à appliquer des raisonnements occidentaux à la gestion de l'environnement et à la vie dans le milieu équatorial humide. L'évolution culturelle des sociétés serait alors conditionnée par le potentiel agricole du milieu (*sensu* environnement) qu'ils occupent (Meggers 1996). L'environnement amazonien est alors classé selon deux types : le type 1 n'ayant aucun potentiel agricole (savanes et marécages), et le type 2 ayant un potentiel agricole très restreint, largement entravé par l'infertilité des sols (forêts équatoriales humides) (Meggers 1954).

Les tribus Marginales, définies antérieurement par Steward, ne devant leur subsistance qu'à la pêche, la cueillette et la chasse, vivent dans les milieux de type 1 de Meggers. Toute évolution culturelle est donc impossible, puisqu'elles sont uniquement centrées sur

l'acquisition de nourriture. En revanche, les groupes de la Forêt Tropicale de Steward, occupent les environnements de type 2 de Meggers. Bien que très limités par l'épuisement rapide des sols lors de leur mise en culture, ils développent une agriculture adaptée itinérante, sur brûlis (ouverture de clairières, abattage et brûlage des arbres), suivi de longues périodes de jachères. Cette forme d'agriculture aurait été adaptée aux conditions du sol et du climat, ne mobilisant qu'une petite partie de la population, le reste pouvant alors se consacrer à d'autres activités telles que la vannerie, la poterie, ou encore le tissage (ibid.). La permanence de l'occupation étant limitée dans chaque endroit d'implantation du fait de l'épuisement rapide des sols, impliquant *de facto* un semi-nomadisme de la population, ainsi qu'un développement culturel évident mais limité (Meggers 1954).

Les théories de Steward sont encore bien présentes dans les années 1950 à 70, lorsque des cultures plus complexes sont caractérisées, comme la culture Marajoara de l'île de Marajó au Brésil. En effet, cette culture serait un exemple de dégénérescence d'une société de haut niveau culturel, du fait d'un environnement trop contraignant, ne pouvant supporter le maintien de cultures élaborées (Meggers 1951, 1973). Ainsi, selon ces auteurs, les populations complexes d'origine andine se seraient détériorées après s'être enracinées en Amazonie.

I.1.2. Un nouveau jour sur les théories précédentes

Les théories de Steward et Meggers furent largement remises en cause par R. Carneiro et D. W. Lathrap. En effet, c'est en 1957, que le premier démontre que les sols amazoniens possèdent une capacité agricole permettant de supporter une population nettement supérieure à celle constatée sur le terrain (Segalen 2001). Le second publie en 1970 « *The Upper Amazon* » dans lequel il répond aux théories du déterminisme écologique en déclarant que les cultures de l'Amazonie sont à l'origine de l'agriculture et de la céramique en Amérique du sud. Il propose que l'agriculture intensive possible des tubercules (manioc, patate douce, etc.) aurait permis l'émergence d'une population importante qui se serait ensuite diffusée de la périphérie du bassin amazonien, jusque dans les Andes (Lathrap 1970). Il prend alors le contre-pied des théories de Steward et Meggers en proposant un sens de migration des populations inverse, à savoir d'est en ouest, faisant de l'Amazonie le berceau des civilisations sud-américaines (Lathrap 1970, 1973). Les travaux récents de l'archéologie amazonienne laissent apparaître que Lathrap ne s'était pas trompé sur plusieurs points tels que l'apparition de la céramique dans le moyen Amazone vers 5000 BC ou l'origine endémique propre au bassin amazonien de certains cultigènes comme le manioc (Roosevelt et al. 1991; Pearsall 1992).

Enfin, il semble que les théories de Meggers et Lathrap restent très ancrées dans leur époque où le diffusionnisme était présent, ne leur laissant pas la possibilité d'imaginer différents foyers de développement culturels dans la région amazonienne. Pour preuve, Lathrap avait émis l'hypothèse que, non seulement la céramique se diffuse du bassin amazonien vers les Andes, mais que cette technique proviendrait initialement d'Afrique (Lathrap 1977, cité par Coutet 2009).

En outre, il est intéressant de noter, d'après ce que nous venons de voir, que la plupart du temps, ce sont les endroits qui sont le plus renseignés par les études archéologiques, qui définissent les grands courants de migrations des populations amazoniennes anciennes. Par exemple, dans les années 1940/50 les nombreuses fouilles réalisées sur l'Orénoque en font le berceau des populations amazoniennes, alors que depuis les années 1970 très peu de fouilles sont réalisées dans cette région (situation politique et économique du pays), ne permettant plus vraiment de relier cette aire avec ce qui est découvert en Amazonie brésilienne et dans les Guyanes (M. van den Bel com. pers.).

I.1.3. Les années 80 – le début de l'écologie historique

Des travaux de grande ampleur entrepris par A. Roosevelt sur le moyen Orénoque et dans l'île de Marajó, ont permis de remettre en question beaucoup d'*a priori* jusqu'alors admis, en se plaçant contre les théories de Meggers (Roosevelt 1980; Roosevelt et al. 1991; Roosevelt 1999). C'est à peu près à la même période que W. Balée développe une thèse (1985) marquant les débuts de l'écologie historique, offrant une nouvelle approche de la lecture du paysage amazonien en lien avec les occupations humaines anciennes.

I.2. L'archéologie amazonienne aujourd'hui

La brèche ouverte par les théories de W. Balée sur l'écologie historique a révélé une immensité des possibles encore inexplorés, dans laquelle les chercheurs contemporains se sont engouffrés (S. Rostain com. pers.).

Jusqu'à présent les études archéologiques de la région amazonienne adoptant l'écologie historique se sont principalement concentrées sur les llanos de Mojos en Bolivie, l'Upano et le Pastaza en Equateur, l'Amazonie occidentale, le moyen Amazone, le haut Xingu et la côte des Guyanes (Heckenberger et al. 2003; Rostain & Versteeg 2003; Neves & Petersen 2006; Neves 2008; Rostain 2008, 2012; Walker 2008; Heckenberger & Neves 2009; Schaan 2010; Neves 2011; Neves & Rostain 2012; Whitney et al. 2014). Ces études ont permis de discuter et de réévaluer les principes de limitation écologique de l'après-guerre dans

lesquels l'environnement amazonien constituerait un frein majeur au développement de sociétés complexes (déterminisme écologique/environnemental). Elles démontrent, en effet, que les hypothèses imaginant des populations précolombiennes complexes et capables d'adaptation à leur environnement, sont grandement corroborées par les nombreuses données archéologiques publiées ces trente dernières années.

Parmi les nombreux projets interdisciplinaires menés en Amazonie, trois intéressent plus particulièrement ce travail : 1- le projet Amazonie Centrale (*Central Amazon Project*) conduit par Eduardo Neves [5] pendant plus de dix ans, (**Figure 13)** ; 2- le projet ethnoarchéologique du sud de l'Amazonie (*Southern Amazon Ethnoarchaeology Project*) dans la région du Haut Xingu, dirigé il y a 20 ans par Michael Heckenberger[6] ; et 3) et le projet Trombetas (*Trombetas Project*) récemment mis en place par Vera Guapindaia[7]. Ces projets ont mis au jour d'importants sites archéologiques au sein de la forêt amazonienne, permettant notamment de mener des études plus approfondies sur les *Amazonian Dark Earth* ou *Terra Preta,* correspondant aux anthroposols noirs amazoniens. Nous reviendrons très largement sur ces anthroposols dans le chapitre 4, puisqu'ils constituent le référentiel principal que nous avons utilisé pour étudier des anthroposols guyanais. Ces trois projets ont également autorisé une réévaluation de nombreuses hypothèses que les archéologues pensaient acquises par rapport aux modes de vie des populations amérindiennes précolombiennes (Kern 1996; Woods & McCann 1999; Heckenberger et al. 2003; Lehmann et al. 2003; Neves et al. 2003; Glaser & Woods 2004; Kern et al. 2004; Neves et al. 2004; Kämpf & Kern 2005; Heckenberger & Neves 2009; Kern et al. 2009).

[5] Université São Paulo, Brésil.
[6] Université de Floride, Etats-Unis.
[7] Musée *Paraense Emílio Goeldi,* Brésil.

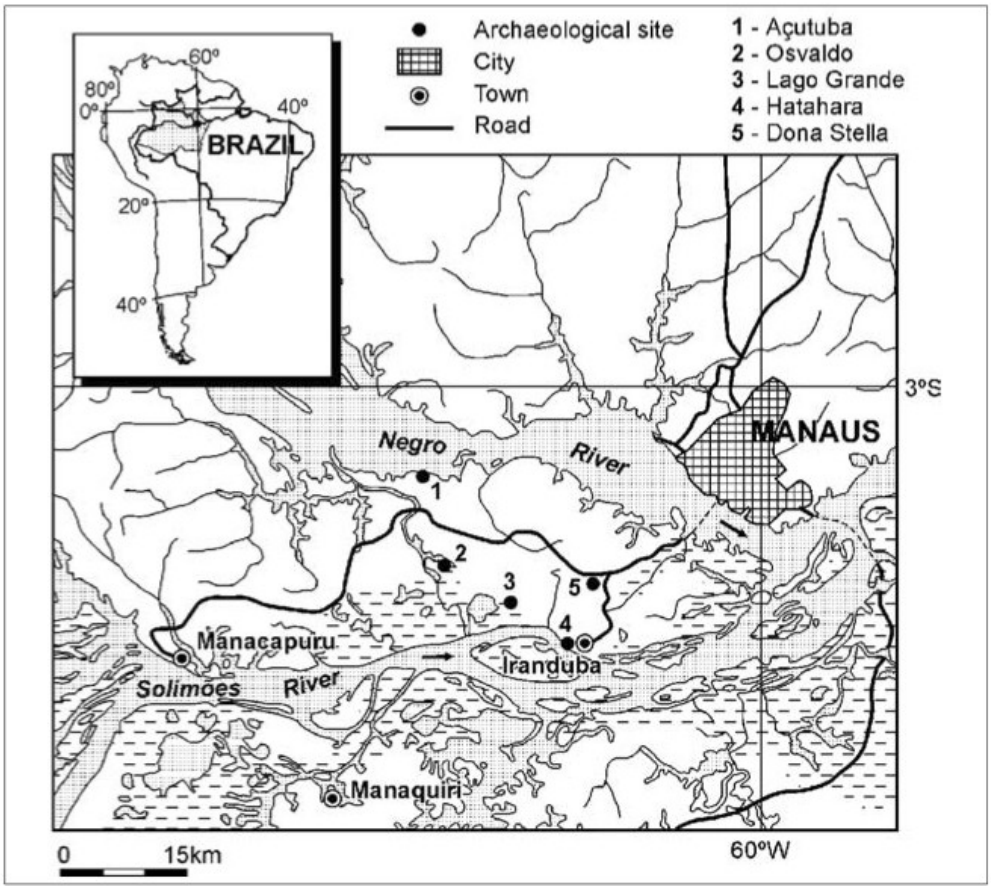


Figure 13 : Carte de localisation des principaux sites étudiés dans l'état d'Amazonas, lors du projet Amazonie Centrale conduit par E. Neves (Neves & Petersen 2006)

II. L'archéologie en Guyane

II.1. Les premiers pas de l'archéologie guyanaise

L'essor de la recherche archéologique en Guyane est relativement récent, établie à la fin des années 80 (S. Rostain com. pers.). En effet, durant de longues années, cette région n'a pas retenu l'attention des chercheurs car tout y paraissait « figé » et « immuable » dans un milieu hostile colonisé par une dense forêt tropicale humide (Vacher et al. 1998).

Le développement de l'archéologie guyanaise est lié à l'histoire de la région. Avec l'arrivée des européens, un changement décisif s'opère : le passage d'une société de tradition orale à une société où l'écriture est prépondérante. Les récits de voyageurs ou d'explorateurs, les cartes, l'iconographie se multiplient au cours des siècles qui suivent la conquête. Toutefois, si la bande littorale reste privilégiée, étant la région où les nouveaux

arrivants vont préférentiellement s'installer, la connaissance sur les populations amérindiennes émanant des premières rencontres au cours du 16ème siècle, est quasiment nulle hormis les travaux historiques sur les Amérindiens de l'époque coloniale réalisés par Hurault (1989 [1972]). Elle l'est encore moins pour la zone et les populations de l'intérieur, qui reste un monde inconnu voir hostile pour les colons (van den Bel 2007).

La société occidentale du 19e et du début du 20e siècles, marquée par les cabinets de curiosité, ne différencie pas encore archéologie et ethnologie des récits de voyages. Néanmoins, les collectes archéologiques ponctuelles se multiplient à cette époque, bien qu'aucun chercheur ne les étudie vraiment (Rostain 2011). Il faut attendre, la fin de la seconde guerre mondiale pour voir apparaître de véritables études archéologiques (Reichlen & Reichlen 1946; Abonnenc 1952; Hurault, Frenay & Raoux 1963, cités par Rostain 1994).

C'est en 1972, que la création de la Circonscription Archéologique de Guyane, devenue depuis Direction des Antiquités puis, en 1992, Service Régional de l'Archéologie (SRA), rattaché à la Direction Régionale des Affaires Culturelles (DRAC), offre un cadre institutionnel à ces travaux. Les premières fouilles archéologiques en Guyane commencèrent à partir de 1979, entreprises par l'association guyanaise d'archéologie et d'ethnographie. La discipline se professionnalise avec la création sur place d'un poste d'archéologue en 1984 (Rostain 1994). De nombreuses fouilles par sondages sont alors organisées en différents points du territoire guyanais.

II.2. L'essor de l'archéologie moderne sur le territoire guyanais

C'est en 1987 que le ministère de l'Education Nationale et l'Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer (ORSTOM), recrute S. Rostain afin d'entreprendre un premier grand programme de recherche archéologique, qui aboutira finalement à la première thèse de la discipline (Rostain 1994). Quatre projets principaux sont développés dans ce cadre là. Ils permettent d'une part la mise en place d'une typologie de l'outillage en pierre associé à aux chaînes opératoires. D'autre part ils mettent en lumière l'archéologie dans les régions du bas Oyapock (Rostain 1994) et du bas Approuague (Rostain & Wack 1988), ainsi que les vastes ensembles de champs surélevés de la plaine côtière occidentale des Guyanes (Rostain 1991). Cette recherche marque les véritables premiers pas de l'archéologie guyanaise pour la zone littorale (**Figure 14 en bleu foncé**).

Le domaine forestier, réputé pour sa difficulté d'accès et les problèmes liés aussi bien aux déplacements qu'à une éventuelle conservation des vestiges anciens, restait encore globalement délaissé malgré les quelques petits travaux qui y ont eu lieu. Toutefois, grâce

aux interventions répétées depuis le début des années 90 de l'archéologie préventive, l'image des cultures précolombiennes se précise au fur et à mesure de l'avancée des recherches. Le premier travail d'ampleur d'archéologie préventive, réalisé alors par l'AFAN[8] fut le projet de sauvetage de Petit-Saut, lié à la mise en place du barrage hydroélectrique sur le fleuve Sinnamary (Vacher et al. 1998) (**Figure 14 en violet**).

En 2001, l'Afan devient l'INRAP[9] et travaille de façon permanente sur le territoire guyanais. La majorité des travaux archéologiques préventifs, diagnostics et fouilles, se concentre là où la population actuelle s'installe préférentiellement, c'est-à-dire sur la frange littorale guyanaise, en marge des principales villes (**Figure 14 en bleu clair, noir, rouge et vert**).

Parallèlement, les recherches programmées se font rares. En 2007, S. Rostain et D. McKey ont co-dirigé un projet de recherche interdisciplinaire *Archéologie et écologie des savanes côtières des Guyanes*, regroupant archéologues, archéobotanistes, pédologues, biologistes et écologues, s'intéressant à la question des buttes le long de la frange côtière basse du littoral guyanais (Rostain 2003; Rostain 2008; Iriarte et al. 2010; McKey et al. 2010; Renard 2010; Rostain 2010; Renard et al. 2012; Rostain 2012, 2015) **(Figure 14 en orange).**

En 2008, un projet interdisciplinaire, mené par S. Jérémie, E. Dambrine et B. Hérault, voit le jour afin de s'intéresser aux occupations anciennes de l'intérieur du territoire, sous forêt tropicale humide. Ce projet, intitulé *Couac*, regroupant archéologues, pédologues, écologues, botanistes, généticiens, ethnologues (INRAP, CIRAD[10], EcoFoG[11], CNRS) s'intéressent à l'Impact des occupations amérindiennes anciennes sur les propriétés des sols et la diversité des forêts (Ferry & Freycon 2012; Hildebrand et al. en préparation; Scotti 2012; Freycon et al. 2013).

Ces deux projets s'inscrivent dans une démarche d'écologie historique (Balée & Erickson 2006), en considérant que l'on ne peut pas étudier l'homme sans prendre en compte l'environnement dans lequel il vit et son impact sur celui-ci.

À l'heure actuelle, sur le territoire guyanais, environ 1 200 sites amérindiens d'époque précolombienne, ont été recensés (données SRA). Seuls 964 sont représentés sur la carte ci-après, car elle n'est pas tout à fait mise à jour et représente les données recueillies jusqu'en 2009 (**Figure 14).** Par « sites amérindiens » il faut entendre toutes les entités présentant des vestiges de l'activité anthropique précolombienne repérées sur le territoire guyanais, à savoir, les sites archéologiques à proprement parler, comme les sites de plein-

[8] Association pour les fouilles archéologiques nationales.
[9] Institut National de Recherches Archéologiques Préventives.
[10] Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement.
[11] UMR Écologie des Forêts de Guyane.

air, les sites de hauteur fossoyés, ainsi que les abris-sous-roche, les polissoirs, les roches gravées, ou les traces furtives telles que des céramiques provenant de ramassages de surface. Les points rouges représentent toutes ces entités confondues (O. Armand com. pers.). La localisation des entités est parfois approximative, voire non géoréférencée, le point est alors enregistré au centre de la commune concernée par défaut (ibid.). Ces chiffres donnent un ordre d'idée de la répartition des sites archéologiques sur le territoire guyanais, car il est difficile de l'actualiser au gré de chaque découverte archéologique.
Sur cette carte ont été ajoutés les principaux travaux archéologiques qui s'y sont déroulés, archéologie préventive et programmée confondues.

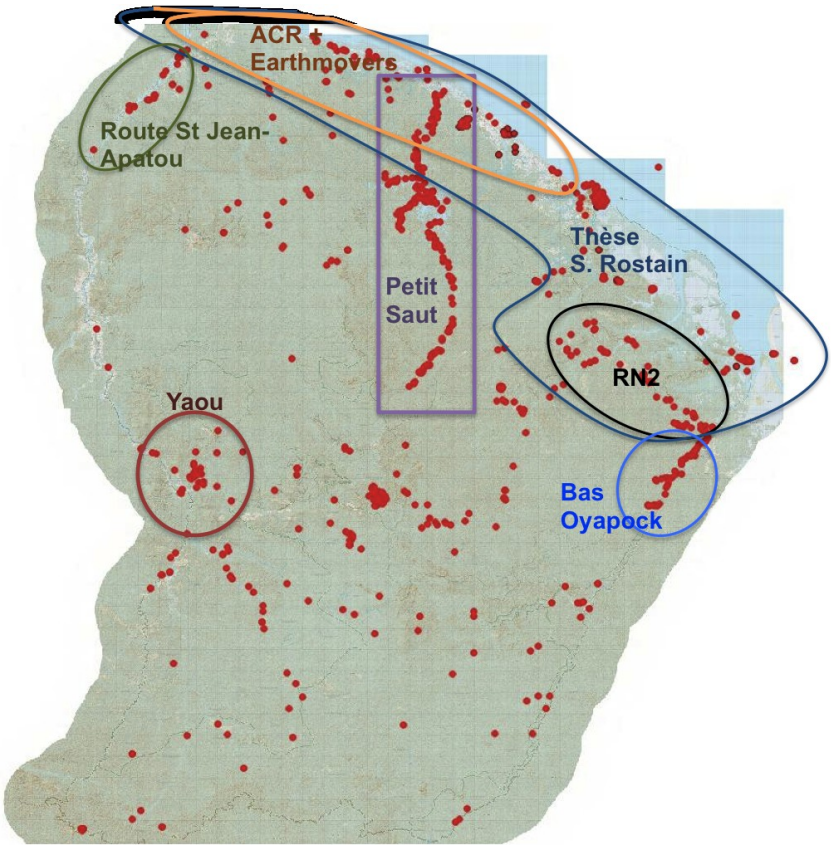


Figure 14 : Carte des sites amérindiens précolombiens répertoriés sur le territoire guyanais. Carte orientée, échelle 1 : 1 700 000e (O. Armand-SRA Guyane).

En regardant cette carte, on se rend compte que les sites archéologiques mis au jour en Guyane ne sont pas répartis spatialement de manière homogène. En effet, ils sont globalement distribués sur le bord des principaux fleuves, et sur la frange littorale, là où l'accessibilité est plus aisée pour les chercheurs. Le plus faible indice de sites décelés au sud de la Guyane n'est donc pas représentatif de l'intensité d'occupation passée dans cette région mais reflète davantage les aires étudiées par les archéologues (Rostain 1994; Vacher et al. 1998).

II.3. Débats autour du cadre chrono-culturel

Il est important de préciser que parler de période précolombienne ou de populations précolombiennes, fait référence à une vaste période antérieure à la présence des colons européens sur le continent sud-américain dans son ensemble. Dans la zone géographique de l'Amazonie et des Guyanes, la période précolombienne est très étendue dans le temps et aura une durée plus ou moins longue en fonction des régions, dépendant des datations des premières traces d'occupations humaines, ainsi que du moment des premiers contacts avec les colons européens. Ce contact est plus ancien sur les côtes et le long de certains grands fleuves alors qu'au sein de la forêt il est plus récent. Ainsi, par exemple, en Guyane française, les plus anciennes traces d'occupation humaine remontent à l'époque Archaïque, autour de 6 000 ans BP, datées sur le site de Plateau des Mines (Mestre & Delpech 2008; Bel 2015).

Toutefois, parler de « populations précolombiennes » permet de les situer par rapport au fait historique qui correspond à la découverte de l'Amérique par Christophe Colomb. Ces populations seraient alors antérieures au moment de cette découverte. Cette expression situe globalement l'époque de ces populations sans toutefois que cette définition possède une valeur chronologique réelle. En effet, nombreux sont les sites qui s'inscrivent dans une continuité culturelle, pouvant ainsi ne pas avoir été influencés par l'arrivée des colons européens (Delpuech et al. 2002). Parmi ces populations précolombiennes, de nombreuses traditions et groupes de peuples ont été définis grâce aux travaux archéologiques, indiquant des modes de vie bien différents les uns des autres, impliquant une occupation du territoire amazonien très hétérogène.

De plus, sur le territoire guyanais le calage chrono-culturel des populations anciennes réside notamment sur les datations carbone 14 réalisées la plupart du temps sur des charbons en contexte stratigraphique bien défini (sous une céramique par exemple). *A priori*, les charbons ainsi prélevés en situation anthropique reconnue ne permettent pas de confusion possible avec des charbons d'origine naturels (feux de forêt), qui parfois se juxtaposent sur un site archéologique. Cependant les résultats obtenus par radiocarbone n'ont de sens archéologique que confrontés à l'étude céramique comme marqueur chrono-culturel (Vacher et al. 1998). Précisons que les datations radiocarbones utilisées par les archéologues guyanais sont aujourd'hui calibrées selon les nouvelles normes de la table hémisphère sud (Mestre 2013). En terme de datation, la méthode par thermoluminescence a également été utilisée, majoritairement sur des tessons de céramique afin d'estimer directement l'ancienneté du matériel céramique issu des ramassages de surface (Migeon 2009). Toutefois, cette technique, très critiquée, n'est pas privilégiée à l'heure actuelle.

II.4. Préservation et conservation des vestiges

L'environnement guyanais n'est pas propice à la préservation des vestiges archéologiques sur le long terme. En effet, l'acidité des sols guyanais, alliée à la forte pluviosité, imposent des conditions taphonomiques particulières, qui entrainent une très mauvaise conservation des vestiges archéologiques dans les sols, notamment s'ils sont organiques comme les os, le bois (associés ou non à des trous de poteaux) ou encore les graines. Néanmoins, en Guyane, plusieurs sépultures ont pu être étudiées grâce à l'enterrement en urne funéraire, avec ou sans la crémation du corps du défunt, permettant ainsi d'isoler les os de l'acidité du sol, en les préservant de la décomposition (Coutet et al. 2014). Par conséquent, cette forme de sépulture est celle qui est la plus couramment découverte, et qui permet aux archéologues guyanais d'étudier l'inhumation des corps et les ossements, qu'ils soient humains ou animaux (ibid.). Les céramiques, ainsi que les lithiques permettent également de conserver certains restes alimentaires carbonisés ou non, qu'il sera ensuite possible d'étudier via les analyses d'amidon (Pagan Jiménez in van den Bel 2012), ou par les phytolithes (Verdin in van den Bel 2012).

III. Principales caractéristiques des sites de plein air découverts en Guyane française

Cette partie décrit seulement les caractéristiques des sites de plein air tel qu'ils sont perçus sur le terrain par les archéologues. Précisons toutefois que d'autres types de sites archéologiques sont connus sur le territoire guyanais, comme les abris-sous-roche, les polissoirs, les sites d'art rupestre à pétroglyphes, géoglyphes, gravés ou très rarement peints, ou encore les champs surélevés dans les marécages littoraux. Malgré tout l'intérêt que ces sites représentent pour la recherche archéologique guyanaise, ils ne sont pas présentés ici afin de ne pas nous égarer dans des considérations qui seraient hors sujet.

En Guyane française, les sites de plein air correspondent aux sites les plus documentés à l'heure actuelle car les plus fouillés. Ils présentent de nombreux vestiges (céramiques, lithiques), trous de poteaux ou structures. Les sites de plein air peuvent être des sites de passage de populations semi-nomades, les occupations pouvant perdurer, plus ou moins en discontinu, sur un même site, durant plusieurs siècles parfois, comme c'est le cas sur le site de Chemin Saint-Louis (van den Bel 2012). Lors des fouilles archéologiques, les vestiges des trous de poteaux et les structures anthropiques (structures en creux tels que fosses,

dépôts d'objet) sont caractérisés par une couleur différente, souvent sombre, et une texture sédimentaire différente de l'encaissant ou du sol alentour (ibid.).
La taille (de plusieurs dizaines de centimètres à quelques mètres) et la forme (ovoïdes, oblongues ou rondes) des fosses sont souvent corrélées à la taille et à la forme de la poterie, vase ou urne, placés à l'intérieur le cas échéant (van den Bel 2007). Parmi tous les trous de poteaux recensés à l'heure actuelle en Guyane française, il s'avère que les formes, les dimensions et les profondeurs sont variables, pouvant aller jusqu'à 1m20 de profondeur. Par exemple, lors des fouilles du site Crique Sparouine, les archéologues ont découvert des trous de poteaux avec des formes allant de ronds à oblongs, des diamètres variant entre 8 et 40 cm et des profondeurs entre 6 et 82 cm (ibid.). Dans ce site, certains trous de poteaux ont été creusés dans la cuirasse latéritique, laissant ainsi un négatif taillé dans le substrat induré.

Les nuées de trous de poteaux et les quelques fosses découvertes dans les sites archéologiques, en Guyane française et aux Antilles, traduisent des sites d'habitats amérindiens anciens (M. van den Bel & M. Mestre com. pers.). Or, il semble que les maisons soient reconstruites et réaménagées sur place, au cours de l'occupation du site, rendant le travail d'analyse spatiale et de perception du plan des maisons hasardeux, d'autant plus qu'il n'existe aucune référence archéologique de plan de maisons pour la région guyanaise (van den Bel 2007). En Guyane française, les trous de poteaux retrouvés dans les sites archéologiques ne forment apparemment pas de plan particulier, à l'heure actuelle, sauf dans quelques cas, comme sur le site de Katoury (Mestre & Rostain 2015).
D'autre part, au sein d'un site, les anomalies naturelles, comme des racines ou des chablis, peuvent contenir du matériel archéologique, surtout lorsqu'elles sont récentes, soient postérieures aux occupations anciennes. Elles sont parfois difficiles à distinguer des trous de poteaux, bien qu'*a priori* les trous de racines forment des creusements pointus et le remplissage des chablis présente une texture souvent plus granuleuse. Il est ainsi préférable de fouiller ou de tester toutes les structures en creux distinguées sur un site archéologique afin d'éviter toute confusion possible (van den Bel 2007).
Il est intéressant en outre de noter que des structures, *a priori* non creusées, de forme plus ou moins circulaire, présentant parfois des sols rubéfiées, associés à des cendres et des charbons de bois peuvent être repérées au sol sur certains sites archéologiques (Mestre & Rostain 2015; Rostain 2015). Ces vestiges sont considérés comme d'anciens foyers domestiques. Ils ont pu être utilisés aussi bien pour la cuisson des céramiques et des lithiques que pour la préparation de la nourriture (ibid.). La présence des sols rubéfiés n'est pas systématique puisqu'ils sont interdépendants principalement de la texture des

sols sur lesquels les feux ont brûlés. Par exemple, dans le cas du site Sable Blanc situé sur le sommet d'un chenier littoral à dominante sableuse, les sols n'ont pas subi de rubéfaction (Rostain 2015).

Dans certains sites archéologiques, les artefacts sont mis au jour dans un sol de couleur brun foncé à noir, généralement assimilé à un sol considéré comme *Terra Preta* par les archéologues guyanais (Vacher et al. 1998; Grouard & Tardy 2003; Mestre 2004; Hildebrand 2008; van den Bel 2004, 2007, 2008). Ces sols noirs sont alors vus comme des marqueurs d'occupations anciennes, permettant aisément de repérer un site archéologique aussi bien lors des prospections pédestres que lors des décapages à la pelle mécanique (Vacher et al. 1998). Dès 1992, lors de la mission de sauvetage archéologique liée à la construction du barrage de Petit Saut sur le Sinnamary, l'équipe archéologique mit en évidence plusieurs sites dont un présentant deux horizons de sol avec des couleurs particulièrement foncées, qui furent associées à des niveaux de *Terra Preta* (Vacher et al. 1998). Toutefois, il semblerait que cette sur-interprétation faites par les archéologues fut, à l'époque, très contestée par le pédologue J.-F. Turenne alors chargé de l'étude des sols. Les auteurs estiment que « *les problèmes tout à la fois liés à la compréhension du recouvrement du mobilier archéologique, à l'emplacement théorique de paléosols et au processus de mise en place de la terra preta sont posés* » (Vacher et al. 1998 : 54). Quelques années plus tard, en 1996, un site d'habitat de hauteur sur le Mont Grand Matoury (Île de Cayenne), dévoile une zone plus foncée définie à nouveau comme de la *terra preta*. Les archéologues la décrivent comme un niveau « *marron sombre, parfois noire, enrichie en matières organiques : il s'agit du cœur d'un niveau de terra preta. L'épaisseur est variable selon les zones, allant de 7 à 26 cm. Ce niveau contient l'essentiel du matériel archéologique.* » Cet horizon de *Terra Preta* se serait mis en place entre 1228 et 1648 AD (Grouard & Tardy 2003). Par la suite, des sites étudiés dans le cadre des travaux d'archéologie préventive comme Criques Jacques (bassin de la Mana), Olga (bassin du Sinnamary), Sparouine, Chemin-Saint-Louis, Balaté, etc., révélèrent également des horizons noirs répertoriés comme de la *Terra Preta* (Mestre 2004; van den Bel 2004, 2007; Hildebrand 2008; Mestre & Delpech 2008; van den Bel 2010, 2012; Briand et al. en préparation).

Les sites de plein air peuvent se trouver dans tous les contextes géomorphologiques guyanais. Par exemple, sur la bande côtière, les populations précolombiennes se sont installées préférentiellement le long des barres pré-littorales et des cheniers qui dominent les savanes inondables en saison humide (Rostain 1994). Ces lieux forment ainsi des endroits privilégiés d'occupation du fait de leur position topographique naturellement en

hauteur, surélevés par rapport aux marais voisins. Ces emplacements stratégiques ont été choisis par les hommes pour s'installer, comme ce fut le cas pour les populations Barbakoeba (ibid.) (cf. Partie I-chapitre 3). Cependant, les sites archéologiques sur cheniers sont parfois détruits du fait du problème de l'envasement/désenvasement de la côte Guyanaise (Rostain 2010). Le site de Pointe Brigandin (Sinnamary) a ainsi en partie disparu (S. Rostain com. pers.).

Les berges hautes des fleuves ou des rivières offrent également un refuge à l'abri des zones humides Ce type de site est représenté sur l'ensemble du territoire (Rostain 1994). Toutes les prospections fluviales, y compris celles menées loin dans l'arrière pays (rivières Tampok au sud-ouest, Camopi et Yaloupi au sud-est) ont révélé la présence de sites amérindiens installés sur berge. Le long du fleuve Sinnamary, de nombreux sites furent découverts (Vacher et al. 1998). Par exemple, la fouille du site 223, installé sur la berge externe d'un méandre, a révélé la présence de trous de poteaux, de fosses et de mobiliers céramiques en place. L'érosion naturelle de la berge s'est avérée limitée durant le dernier millénaire, et sans incidence sur l'état de conservation du site (ibid.).

Les occupations situées en zones d'interfluves apparaissent nettement moins sur la carte que les sites de bord de fleuve (**Figure 14**). Il faut naturellement y voir les conséquences d'un accès au terrain rendu difficile par l'éloignement et souligner les moyens importants à mettre en œuvre pour y parvenir. La représentation cartographique des données actuelles fausse ainsi considérablement la réalité de l'occupation humaine ancienne en forêt (Gassies 2001). En effet, si on considère les campagnes de prospection menées sur le futur axe routier Régina / Saint-Georges, environ 1 site au km^2 a été mis au jour, démontrant une densité d'occupation très importante, difficilement représentable sur la carte (ibid.). De la même manière, chaque opération archéologique menée sur un secteur donné, depuis quelques années, révèle une occupation conséquente des zones forestières (Saül, nord de la crique Grand Inini). Les sites fossoyés constituent également des sites de plein air.

On s'aperçoit que la recherche archéologique dans la région amazonienne a connu de multiples facettes. De nombreuses hypothèses traitant de l'apparition de véritables sociétés ont vu le jour au fur et à mesure des découvertes. Aujourd'hui, les archéologues amazonistes s'accordent globalement pour imaginer une ample variété de peuples et de cultures formant des sociétés complexes et occupant des milieux très différents, développant un grand savoir faire et des adaptations à leur environnement, leur permettant d'avoir une agriculture pérenne pour des populations importantes (Neves et al. 2003; Rostain 2011).

L'une des plus importantes avancées récentes de l'archéologie amazonienne selon Neves et Petersen (2006) est la reconnaissance du rôle des occupations humaines anciennes dans la construction du paysage forestier amazonien. En effet, selon Rostain (2011), la forêt telle que nous la côtoyons actuellement est le résultat d'activités humaines anciennes depuis au moins 10 000 ans et de processus naturels, remettant en cause la notion (parfois romantique) de forêt amazonienne dite « primaire », qui serait saine (et presque épargnée) de toute occupation humaine.

Si cette recherche archéologique guyanaise, que l'on pourrait qualifier de « jeune et dynamique », est très développée sur la frange littorale et le long des fleuves, elle n'en reste pas moins fragile dans un contexte forestier à l'intérieur des terres, où les interventions archéologiques sont parfois difficiles à mettre en oeuvre. Ce nouvel environnement est encore une aire à découvrir et à étudier afin de le faire parler du mieux possible des modes de vie des populations anciennes l'ayant occupé. Ce travail de recherche vient, dans ce cadre, apporter sa pierre à l'édifice.

Chapitre 3. PORTRAIT DU MONDE AMÉRINDIEN ANCIEN

Considérer l'histoire du peuplement de l'Amazonie selon un schéma linéaire commençant avec les chasseurs-cueilleurs pour aboutir à des chefferies fondées sur une agriculture intensive serait erroné. Le développement de certaines activités comme l'agriculture ne se fit pas toujours aux dépens d'autres comme la chasse, la pêche ou la cueillette. La production céramique ne s'accompagna pas obligatoirement de la sédentarisation, et vice-versa. L'adoption de tel ou tel trait ne doit pas être vue comme la conséquence d'une étape évolutive stricte, mais plutôt comme le résultat de choix réfléchis et précis de populations ayant géré et transformé depuis des millénaires leur milieu tropical humide (Rostain 2011 : 342).

Les frontières géopolitiques divisant le milieu amazonien actuel, d'origine coloniale, n'ont aucune signification quant au peuplement amérindien ancien. Pour entrevoir le peuplement ancien de la Guyane française il est nécessaire de prendre en compte les découvertes archéologiques faites dans le bassin Amazonien et dans les Guyanes. L'objectif de ce chapitre est de dresser une synthèse des particularités socio-culturelles, aujourd'hui généralement admises sur les populations amérindiennes anciennes qui peuplaient ce territoire avant l'arrivée des colons européens. À la lumière des dernières investigations archéologiques, le paysage culturel précolombien amazonien se dessine de mieux en mieux.

I. Les indices d'anthropisation ancienne dans le milieu tropical humide amazonien

De nos jours, lorsqu'on se promène sur le territoire amazonien, on peut découvrir des traces tangibles des occupations humaines anciennes, encore visibles dans le paysage. Le principe même de l'écologie historique que développent W. Balée et C. L. Erickson est de s'intéresser aux interactions entre l'Homme et son environnement, à travers les âges, faisant du *paysage* un artefact à part entière (Balée 1989, 1998, 2006; Balée & Erickson 2006; Erickson 2008). La « domestication du paysage » par les populations anciennes, selon le terme d'Erickson (2006, 2008) « *domesticated landscape* », comprend « les

comportements humains intentionnels et non-intentionnels qui transforment l'environnement en un paysage productif pour les hommes et pour d'autres espèces[12] ».
En Amazonie, les évidences de domestication du paysage passent par les traces de paléo-feux anthropiques et donc de recomposition forestière, les zones d'occupations (habitat, agricoles et funéraires), qui peuvent être des zones en hauteur, construite ou non (tertres, sites entourés d'un fossé, champs surélevés, etc.) (Erickson 2008).
Seront présentés ici quelques exemples de modification du paysage en suivant le mieux possible la chronologie de peuplement du territoire amazonien.
Notons de plus que les *Amazonian Dark Earth* (ADE), font également partie de ces modifications du paysage, liées aux activités passées des peuples amazoniens, sans toutefois, s'offrir au regard de l'observateur directement dans le paysage (ibid.). Elles font partie des modifications non visibles dans le paysage de Denevan (2001). Le chapitre suivant leur est entièrement consacré (cf. Partie I-chapitre 4).

I.1. Les plus anciennes preuves d'anthropisation en Amazonie et dans les Guyanes

Le peuplement du continent américain semble s'être fait par différents groupes humains provenant principalement du continent nord asiatique, par voie de terre, en passant par la Béringie (langue de terre gelée d'environ 2000 kilomètres), au moment de périodes de glaciations (Waters & Stafford 2013). Plusieurs dates sont actuellement proposées par les chercheurs comme des moments possibles de passage par les animaux (mammouths, rennes, etc.) puis par les hommes : principalement entre 14 000 et 12 000 ans BP (ibid.).

Après avoir traversé l'Amérique du nord, ces groupes humains descendirent toujours plus au sud pour arriver sur le continent sud américain, en suivant notamment deux voies principales : la route amazonienne à l'est et la route andine à l'ouest (Rostain 2011). D'autres voies dérivées ont aussi pu exister (Bueno 2011; Dias & Bueno 2013) (**Figure 15**). Comme partout, la chronologie des périodes anciennes est en perpétuelle évolution au gré des découvertes. Toutefois, actuellement, si l'on se réfère aux sites brésiliens les plus anciens et dont les datations sont confirmées, les sites de Santa Elina (Mato Grosso, centre-ouest du Brésil) et Lapa Vermelha (Minas Gerais, sud-est du Brésil) datés respectivement de 23 000 et 18 000 ans BP (Vilhena Vialou & Vialou 2005), la route

[12] *Domestication of landscape implies all intentional and non-intentional practices and activities of humans that transform the environment into a productive landscape for humans and other species* (Erickson 2008) – traduction de l'auteure.

amazonienne serait la plus ancienne. Concernant la route andine, puisqu'aucun site antérieur à 12 000 ans n'y a été découvert à l'heure actuelle, elle correspond alors à la voie la plus récente (Rostain 2010).

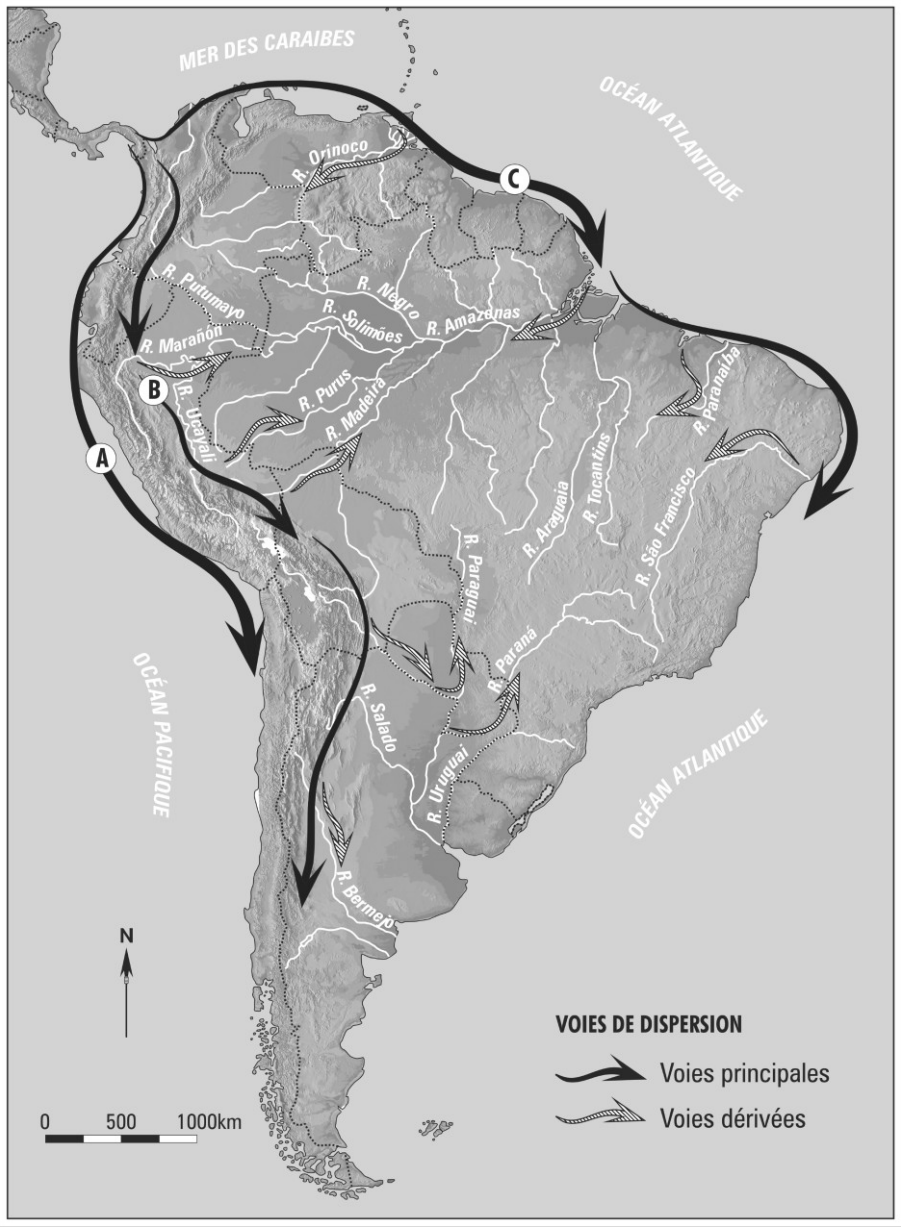


Figure 15 : Voies principales et dérivés de dispersion des populations humaines en Amérique du sud (tire de Bueno 2011).

Ainsi, dans la région amazonienne, la période la plus ancienne, dite «paléoindienne» commencerait approximativement vers 25 000 ans BP pour se terminer vers 8 000 ans BP (Rostain 2011). Cette période est caractérisée par l'arrivée de populations nomades de chasseurs-cueilleurs, fondant une large part de leur subsistance sur la chasse de très gros gibiers aujourd'hui disparus tels que des smilodons ou des glyptodons (Rostain 2010).

Pour la région amazonienne, l'abri-sous-roche de Pedra Pintada, localisé dans des falaises à près de 10 km de distance du fleuve Amazone, dans la région de Monte Alegre, sur la rive nord du bas Amazone, a fourni des datations radiocarbones s'échelonnant de 11 700 à 9 880 ans BP (Roosevelt et al. 1991). Ce site fut l'objet d'occupations rythmées, par des groupes qui consommèrent des fruits et du gibier (aquatique et terrestre). Ils fabriquaient également des outils en pierre taillée et tracèrent sur les parois rocheuses de leur abri, des cercles, des animaux et des silhouettes humaines. Ce site présenterait les plus anciennes céramiques mises au jour à l'heure actuelle, faisant de l'Amazonie le lieu d'invention de la céramique le plus ancien d'Amérique (ibid.).

Pour la région des Guyanes, diverses données indiquent qu'il y a environ 10 000 ans, la forêt aurait diminué au profit des savanes, lors d'une phase climatique relativement sèche, caractérisée par des savanes plus ou moins ininterrompues entre la région côtière du Venezuela oriental et le sud du Guyana, le Suriname et la Guyane française (Tardy 1998; Versteeg 1998; Rostain 2011). Ainsi, la plupart des vestiges ont principalement été retrouvés en milieux ouverts déboisés, dans les savanes à l'intérieur du pays. Les premières traces de présence des populations paléoindiennes dans cette région sont situées à l'ouest du Plateau des Guyanes, dans la partie occidentale du Venezuela, à Tupuken, dans le bas Orénoque, où la culture El Jobo a été datée de 13 000 ans BP environ (Cruxent 1972 cité par Versteeg 1998). Les sites de la culture Sipaliwini découverts dans les savanes du même nom (sud du Suriname) seraient datés de cette période paléoindienne. Il s'agit principalement de sites de débitage ou d'ateliers de fabrication d'outils de chasseurs-cueilleurs, comme l'attestent les outils, tels que les grandes pointes de projectiles (7 à 10 cm de longueur), les grattoirs, racloirs ou encore les percuteurs, faits de matériaux locaux retrouvés dans ces sites (ibid.). Les pointes pouvaient permettre de chasser des animaux relativement grands dans des terrains ouverts (Boomert 1980; Versteeg 1998; Rostain & Versteeg 2003).

À partir du moment où la présence de l'homme est attestée, les phases de paléoincendies détectées dans certaines études anthracologiques (Tardy et al. 1996; Tardy 1998) et plus généralement paléoenvironnementales (palynologiques, sédimentologiques, etc.) (Charles-Dominique et al. 1998; Ledru et al. 2001), tendent à démontrer le forçage climato-anthropique correspondant à l'action conjuguée des variations climatiques et des activités humaines (Charles-Dominique et al. 1998; Tardy 1998), comme cela a été explicité précédemment (cf. Partie I-chapitre 1). Ainsi, ces auteurs s'accordent à penser que les populations paléolithiques ont pu étendre le domaine des savanes à la zone forestière limitrophe en utilisant le feu (« savanes anthropiques ») (ibid.).

Très rapidement, l'occupation s'est intensifiée et aux alentours de 9 000 ans BP, les évidences de présence humaine se multiplient en Amazonie et sur le Plateau des Guyanes (Rostain 2011). Par exemple, sur l'Orénoque (site de la période Atures-1 datés entre 9 200 et 7 000 ans BP), sur le moyen Amazone (site de Dona Stella daté entre 9 460 à 4 500 ans BP) ou encore en Colombie amazonienne (site de Pena Roja daté autour de 9 000 BP).
La mégafaune avait alors disparu et la chasse se serait concentrée sur des petits gibiers plus variés qui aurait nécessité une plus grande diversité de pointes (Boomert 1980). Des outils à broyer et des outils retouchés apparaissent ainsi en plus grand nombre.

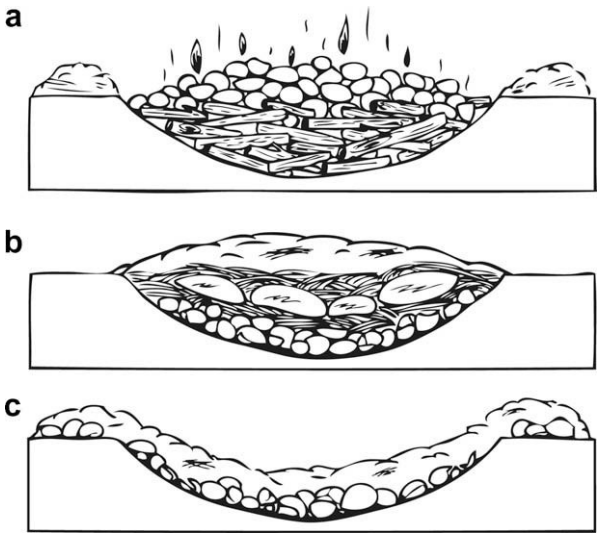
I.2. Premières occupations semi-sédentaires à sédentaires

Autour de 5000 ans BP, des groupes de pêcheurs-collecteurs fluviaux ont construit des sites d'amas-coquilliers, connus sous le nom de « *sambaquis* » au niveau de l'embouchure de l'Amazone et sur le littoral occidental du Guyana (Rostain 2007). Ces sites atteignant une altitude de quelques mètres, témoignent d'une occupation d'assez longue durée (Evans & Meggers 1960; cité par Versteeg 1998). Au vue des données archéologiques actuelles, il est probable que ces sites aient été les premiers villages habités en permanence dans les Guyanes, indiquant que les hommes commencent à se sédentariser (Rostain 2007). *A priori*, les populations anciennes consommaient des coquillages de type nérites (*Puperita pupa*), ainsi que des crabes et des poissons qui auraient fourni une quantité suffisante de protéines pour un séjour permanent des populations (Versteeg 1998). Trois cultures différentes ont été définies pour ce type de site, correspondant également aux premiers sites à céramiques des aires concernées (cités par Rostain 2007) : sur le littoral brésilien, état du Para, la culture Mina est datée autour de 5 200 ans BP ; dans le bas Amazone, la culture Taperinha, datée entre 8 000 et 6 000 ans BP ; la culture Alaka, définie sur le littoral du Guyana, qui s'étend entre 9 000 et 3 000 ans BP. Les groupes humains appartenant à cette dernière culture auraient bâti les premiers sites archaïques, avec des restes céramiques considérés comme les plus anciens du Plateau des Guyanes (ibid.).

C'est le début de l'apparition des peuples que certains ont définis comme des peuples bâtisseurs (Denevan 1966 et Durán & Bracco 2000, cités par Erickson 2008).

Récemment en Guyane française, deux sites archaïques ont été étudiés, apportant de nouvelles informations sur cette période dans cette zone : Plateau des Mines et Eva 2, datés entre 7 000 et 4 000 BP environ (van den Bel 2006; Mestre & Delpech 2008). Ces deux sites sont situés sur sables blancs, sur les terres basses guyanaises à 140 kilomètres l'un de

l'autre. Le site du Plateau des Mines se distingue du site Eva 2 principalement par des datations plus précoces et l'absence de céramique (Mestre & Delpech 2008). Il s'agit de sites persistants où le quartz a été travaillé (amas de galets constitués à 99% de quartz) et le repas préparé (fours de type polynésien) (**Figures 16 et 17**) (Thoms 2008). Eva 2 a livré de la céramique qui date de 4 200 BP environ (van den Bel 2006, 2015).



Légende: (a) le feu est construit sur un trou au-dessus d'une couche de cailloux, (b) quand le feu a brûlé entièrement, les cailloux alors chauds et rouges sont couverts avec des matériaux verts (feuilles), des paquets de nourriture, à nouveau recouverts de matériaux verts, le tout recouvert de terre, enfin, (c) un four après que la nourriture ait été retirée (tiré de van den Bel 2006).

Figure 16 : Schéma de l'utilisation d'un four de type polynésien (Thoms 2008).

Il est intéressant de préciser que ces deux sites étant implantés sur des sables blancs, les vestiges ont été trouvés dans des sols de type « podzol géant », qui sont des sols soumis à des lessivages très importants dans un contexte tropical humide à très forte pluviométrie. Sur le site du Plateau des Mines, la particularité de ces sols n'a pas permis aux archéologues de distinguer une « couche archéologique », les artefacts se situaient entre 80 cm et 110 cm sous la surface du sol (ibid.). De plus, dans ce contexte taphonomique particulier, les artefacts lithiques, principalement en quartz, prennent la couleur de la matrice environnante (jaune ou blanc), entrainant un repérage très difficile des éclats de quartz blancs de petites dimensions (van den Bel 2006; Mestre & Delpech 2008) (Figure 17).



Figure 17 : Amas de galets sur le site Crique Ananas, daté de l'époque Archaïque, entre le début de l'Holocène, autour de 10000 BP jusque vers 4000 BP (Delpech 2005; Mestre & Delpech 2008).

Enfin, les sables blancs n'ont pas permis aux archéologues d'identifier de possibles négatifs de creusement dans le sol, empêchant par là même de conclure si les amas étaient placés dans des cuvettes creusées volontairement (type four polynésien) ou sur le sol d'occupation à l'air libre (Mestre & Delpech 2008).

Dans les Guyanes, les premiers villages d'horticulteurs sédentaires sont datés autour de 4000 ans BP (Rostain 2007). Les indices archéologiques témoignent en faveur du fait que des groupes cultivaient des champs ouverts, à l'aide de haches en pierre et de l'utilisation du feu notamment (ibid.). L'environnement dans lequel ils vivent commence alors à être intensément exploité et modifié.

I.3. Intensification du peuplement et agriculture

Il apparaît qu'au début de notre ère, les deux grands bassins fluviaux amazoniens sont densément peuplés (Rostain 2007). Ces zones basses, particulièrement fertiles puisque

riches en dépôts alluvionnaires, s'avèrent favorables à l'installation de populations qui sont aujourd'hui assimilées à des pré-chefferies d'agriculteurs (ibid.). Les berges des fleuves et la côte sont alors habitées par des populations qui contrôlent et savent transformer leur environnement pour pallier aux difficultés inhérentes au milieu. Certains élevèrent par exemple leurs zones d'occupation, quand d'autres construisirent de façon très ingénieuse, des monticules en terre à vocation agricole, afin de contourner les problèmes d'inondation dans certaines régions d'Amazonie et dans les Guyanes. Ces monticules sont encore visibles aujourd'hui dans le paysage.

Les champs surélevés font partis de ce type de vestiges précolombiens ayant modifié le paysage de manière notable. Recensés dans de nombreux pays d'Amérique du sud, on les trouve notamment dans les savanes tropicales des terres basses ou dans les vallées des Andes, généralement dans les zones inondables (Rostain 2011). La plupart furent érigés durant le 1er millénaire de notre ère, et certains datent de 1000 ans AD (ibid.). Caractérisés par de grands monticules de terre, érigées dans ces savanes inondées de façon saisonnière et les zones humides permanentes, les champs surélevés furent utilisés par les populations amérindiennes anciennes pour l'agriculture (Rostain 1994).

La présence des champs surélevés dans les zones profondes de l'Amazonie bolivienne suggère que le paysage était alors recouvert de savanes ouvertes maintenues par des incendies réguliers lorsque les champs été utilisés (Erickson 2008). Après leur abandon et l'arrêt des feux, les arbres ont reconquis les champs surélevés érodés, en adoptant des dispositions en rangées comme dans les vergers (ibid.). Ils sont probablement l'exemple le plus impressionnant de l'ingénierie du paysage à l'échelle régionale en Amazonie (Denevan 2001; Erickson 2006, 2008; Walker 2008). Ils peuvent couvrir d'immenses surfaces, allant de 6 000 hectares dans les llanos de Mojos de Bolivie (Walker 2008; Lombardo et al. 2011), à 50 000 hectares dans la vallée de Guayas en Equateur, et autour de 90 000 hectares dans la vallée de San Jorge en Colombie (Rostain 2011) (**Figure 18**). Ils sont, la plupart du temps, associés à des tertres résidentiels et cérémoniels (ibid.).

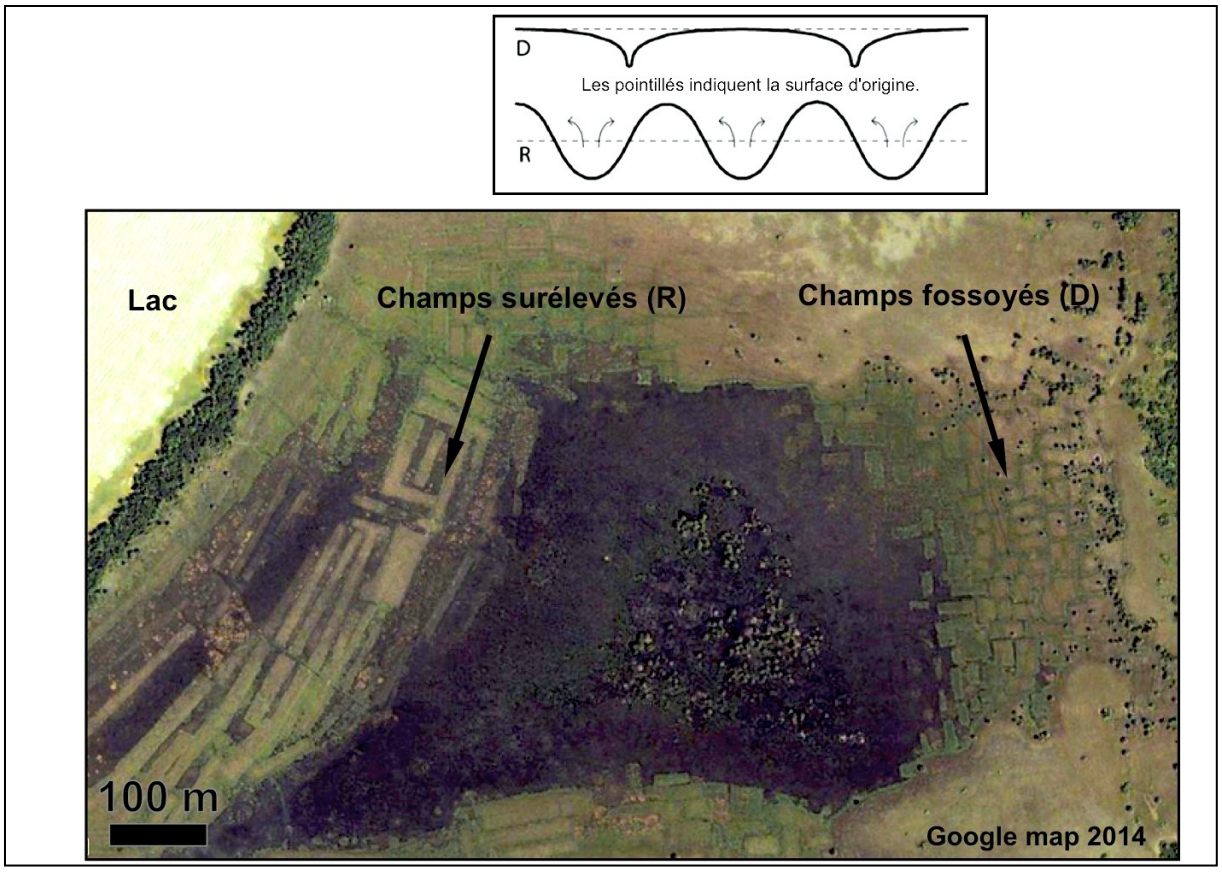


Figure 18 : Champs surélevés précolombiens et champs fossoyés des llanos de Mojos (Bolivie amazonienne) (tiré de Lombardo et al. 2011).

Les fouilles et les expériences agricoles actuelles suggèrent que les champs surélevés ont eu plusieurs fonctions, comme le drainage des sols gorgés d'eau, l'amélioration de l'état des cultures (aération du sol, mélange des horizons et doublement de la couche arable), ainsi que la gestion de l'eau (drainage et irrigation) (Erickson 2006, 2008). Ainsi, en plus de l'agriculture traditionnelle, les ressources aquatiques tels que poissons, escargots, pouvaient être élevés dans les canaux adjacents (Erickson 2008). Ces derniers permettant également de piéger les sédiments organiques pour produire de l'« engrais vert » et des « boues » qui peuvent être ajoutés périodiquement aux cultures pour les rendre durables (ibid.).

Cette expansion démographique dans la zone amazonienne favorise l'arrivée de groupes humains sur la côte des Guyanes (Rostain 2007). Ainsi, pour cette région, Rostain (2007) estime que « *la véritable révolution néolithique commence vers 300 apr. J-C, pour se concrétiser pleinement à partir de 600 apr. J.-C.* ». Elle est caractérisée notamment par l'abondance des champs surélevés sur la côte des Guyanes (**Figure 19).**
Les travaux de Rostain (1994, 2007) indiquent que leurs dimensions et leurs morphologies

correspondraient apparemment à des différences chronologiques et topographiques. Les plus anciens champs surélevés, d'époque Barrancoïde (300-650 AD), situés à l'ouest du Suriname, sont de forme quadrangulaire. En revanche, les buttes de la période Arauquinoïde (650-1400 AD) présentent diverses formes, d'arrondie à ovale, ou encore carrée, rectangulaire ou allongée (Rostain 1994). Dans la tradition Arauquinoïde (issue du moyen Orénoque), quatre principales cultures ont été définies : Hertenrits, Kwatta, Barbakoeba et Thémire (Rostain 1991, 1994). La première, dont le territoire se situe à l'ouest du Suriname, s'étend entre 650 et 1 200 AD (Boomert 1980). Elle se caractérise par des villages érigés sur des monticules artificiels d'argile, preuve d'une adaptation au territoire des terres basses inondables qu'ils occupaient (Rostain 2007). La culture Kwatta, la seule à ne pas être associée aux champs surélevés, aurait joué un rôle prépondérant dans la manufacture d'artefacts (ornements, outils en coquillage, os ou pierre verte), ainsi que dans les échanges commerciaux sur la côte des Guyanes (Rostain & Versteeg 2003; Rostain 2007). Les groupes humains Barbakoeba s'étendent à l'est du Suriname et jusqu'au fleuve Kourou en Guyane française, où ils érigèrent leurs villages sur les cheniers littoraux. Ils seraient les auteurs des milliers de champs surélevés disposés dans les marais (Rostain 1991). En effet, la plus forte densité de champs surélevés en Guyane française se trouve entre les fleuves Kourou et Sinnamary où il semblerait que presque toutes les surfaces inondables aient été utilisées dans un but agricole (Rostain 2008). Peu à peu, sur la côte centrale de la Guyane française, cette culture aurait été remplacée par la culture Thémire, dernière représentante de la tradition Arauquinoïde (Rostain 1994; Rostain & Versteeg 2003; Rostain 2007). Ainsi, d'après Rostain (2010 : 299), « *les formes de champs surélevés que l'on retrouve à l'heure actuelle sont le résultat d'une genèse à la fois culturelle et naturelle* ». La pédofaune (notamment les fourmis) ayant ensuite pris le relais des Amérindiens après l'abandon, dans l'entretien et la maintenance des champs surélevés (McKey et al. 2010; Renard et al. 2012).

Finalement, les champs surélevés représentent une solide transformation du paysage à l'échelle régionale par le réarrangement des sols, la modification du système hydrologique, et l'imposition d'une micro-topographie hétérogène faisant alterner les écosystèmes terrestres et aquatiques dans des zones qui étaient à l'origine relativement plates, biologiquement homogènes et dont la production était limitée (Erickson 2008).

Autour de 1000 apr. J.-C., la région des Guyanes côtières est ainsi sous l'influence principale de deux grands foyers culturels que sont d'une part, la tradition arauquinoïde, issue du moyen Orénoque, à l'ouest, et la tradition polychrome, originaire du bas Amazone, à l'est (Rostain 2007 : 38).



Figure 19 : Exemple de champs surélevés disposés le long de la pente d'une barre pré-littorale, à l'ouest de Kourou (photo : S. Rostain).

I.4. Nouveaux bouleversements culturels

À peu près à la même époque que les champs surélevés, dans les zones plus profondes sous forêt, ou dans des espaces ouverts, de l'Amazonie et des Guyanes, des sites à fossé voient le jour. Ces sites situés généralement en hauteur (sommet de colline) sont entourés d'un profond fossé qui relève d'une réelle volonté de creusement par les populations précolombiennes (Erickson 2008; Mestre 2013) (**Figure 20).**



Figure 20 : Site fossoyé précolombien présentant un fossé octogonal, en Amazonie bolivienne. Le fossé mesure 108 mètres de diamètre sur 2 mètres de profondeur (tiré de Erickson 2008).

En Guyane française ce type de site à fossé est connu sous le terme de « montagnes couronnées » (MC), nom pour le moins imagé, donné par les Saramacas pour décrire une forme d'incompréhension du paysage (Mestre 2013). La tradition orale Wayampi de l'Oyapock, à la frontière Brésil-Guyane française, rapporte également l'existence de ces sites, toujours associés à des sites défensifs, qu'ils nomment « *Kalana Tapélé* », ou collines des Karane : «D*ans toute la région il y avait beaucoup de Kalana. Ils construisaient des villages qu'ils protégeaient avec des fossés de 2 m de large sur 1 m de profondeur. Le fond était planté de piquets. Ceux qui ne savaient pas tombaient dessus et mourraient.* » (Grenand 1982).

Les montagnes couronnées n'apparaissent pas toutes contemporaines. En effet, les fondations des fossés révèlent un phénomène ancien puisqu'ils sont généralement datés (au C14 sur charbons de bois) aux alentours du 1er siècle de notre ère pour s'échelonner tout au long du 1er millénaire (Mestre 2013). De plus, la diversité culturelle observée dans les vestiges matériels atteste de la probabilité que différents groupes humains aient occupé simultanément ces sites (M. Mestre com. pers.). D'autres datations indiquent des occupations aux alentours du 13ème siècle de notre ère, qui, associées à leur aspect

fortifié, pourrait témoigner d'une époque d'insécurité dans les Guyanes, antérieure à la conquête européenne, durant laquelle des modifications climatiques donnèrent lieu à des migrations, des guerres et une pression démographique dont les sites à fossés pourraient être les témoins (Rostain 2011).

Différents types de montagnes couronnées ont été reconnu sur le territoire guyanais. Le premier correspond à un site dont le fossé périphérique entoure entièrement le sommet d'une colline, comme les sites investigués dans ce travail, MC 87 & 88. Le second type est caractérisé également par un fossé périphérique, établi sur une partie seulement du plateau sommital d'une colline, comme c'est le cas pour le site de Yaou, étudié ici. Le troisième type de site est défini par un, voire deux fossés rectilignes, barrant l'accès à une partie du plateau et offrant une configuration que l'on nomme « éperon barré ». Ainsi la présence de ces sites fossoyés en hauteur, utilisant la topographie du paysage nous indique que les populations à l'origine de ces sites structurés utilisaient la morphologie pour s'installer (Mestre 2012).

Ces sites peuvent dominer des fleuves ou des rivières ou être éloignés d'une source d'eau importante. L'altimétrie varie sensiblement d'un site à l'autre : 35 mètres pour Pointe Maripa, 55 mètres pour Fortunat-Capiri, 98 mètres pour la MC 87, et 210 mètres pour Yaou. Leur superficie peut aller de 0,5 à 3,5 hectares, et certains fossés peuvent atteindre jusqu'à 3 mètres de profondeur. On trouve parfois une interruption dans le fossé, caractérisée par des levées de terre, interprétées, à l'heure actuelle, comme des entrées permettant d'accéder à l'intérieur de l'enceinte, comme c'est le cas sur la montagne couronnée 87 étudiée dans ce travail (ibid.).

La proximité géographique de certains de ces sites regroupés sur plusieurs kilomètres carrés semble évoquer des réseaux organisés, comme ce serait le cas de Yaou où de nombreux sites satellites ont été trouvés autour de la montagne couronnée la plus grande (M. Mestre com. pers.). Ces montagnes couronnées représentent probablement des occupations humaines longues et pérennes (Mestre 2013). Elles sont retrouvées sur tout le territoire, tant à l'intérieur que sur le littoral, sans que l'on puisse identifier un caractère commun quant à leur localisation.

De plus, la présence d'une palissade en bois, associée à certains fossés, fait actuellement l'objet de nombreux débats. Pour certains, elle reste hautement probable au vu des descriptions des premiers explorateurs et de la tradition orale Wayampi, sans toutefois être avérée du point vu archéologique (Erickson 2010; Mestre 2012) (**Figure 21**). Si palissade il y a eu, un site à fossé aurait alors requit des dizaines voir des centaines de troncs, représentant ainsi un impact environnemental considérable et une force humaine nécessaire très importante (Erickson 2008). Pour d'autres, si l'on s'en tient au modèle

bolivien où on trouve des sites comparables, les données archéologiques ont démontré pour l'instant l'absence de palissade dans ce type de site (S. Rostain com. pers.).

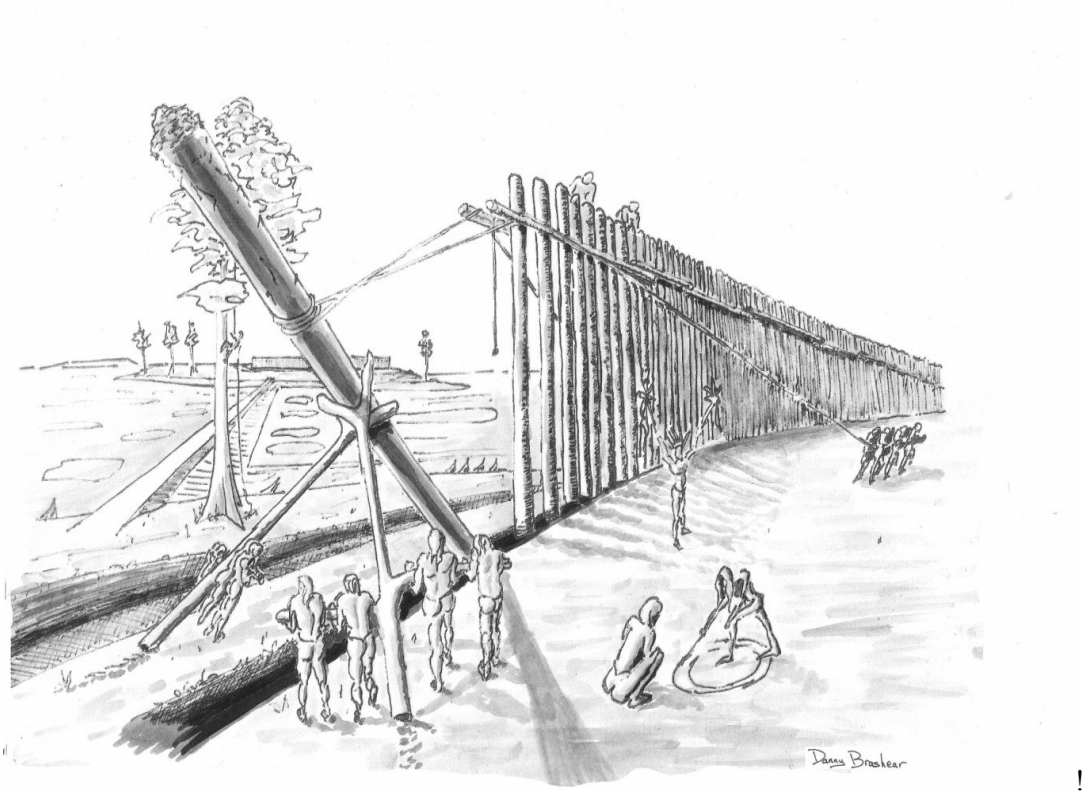


Figure 21 : Hypothèse de construction de palissade sur un site fossoyé précolombien (dessin de Danny Brashear, tiré de Erickson 2010).

En Guyane française, deux montagnes couronnées ont récemment fait l'objet de fouilles archéologiques, les sites de Pointe Morne et Pointe Blondin, qui se révèlent être soit des villages, soit des nécropoles (Mestre 2013) Le fossé possède alors un rôle différent en fonction du site : symbolique dans le cas d'une nécropole, sans être défensif (Mestre 2012). Ces deux sites se situent sur la berge gauche du fleuve Oyapock et sont espacés par seulement 2500 mètres. Ils se trouvent également à la vue l'un et de l'autre (Mestre 2013). Le premier site, Pointe Blondin, se localise sur l'un des sommets les plus élevés que l'on rencontre depuis l'embouchure du fleuve. Les populations semblent avoir eu la volonté de dominer le fleuve tout en se servant de la topographie naturelle de la colline comme base de départ pour la construction du fossé (ibid). Néanmoins, les dimensions réduites du fossé ne plaident pas pour une hypothèse défensive de cet aménagement. Les datations radiocarbones effectuées sur des charbons dans le fossé attestent d'une présence humaine sur les lieux durant près de quatre siècles, entre la seconde moitié du 3ème et la première moitié du 6ème siècle de notre ère (Mestre 2013).

D'un point de vue régional, l'occupation de la Pointe Blondin confirme une fois encore que le phénomène des montagnes couronnées est relativement ancien. Selon Mestre (2013), « *il est intéressant de noter que des sites à fossés proches géographiquement, dans ce cas précis sur l'Oyapock, puissent proposer une chronologie et des faciès culturels aussi différents* ».

Le site de Pointe Morne est situé à quelques kilomètres en amont du bourg de Saint-Georges-de-l'Oyapock, sur une élévation dominant d'une quarantaine de mètres un rétrécissement du fleuve Oyapock (Mestre & Hildebrand 2011). Ce site est intéressant car il fait le lien entre la présence des Aristé, et l'arrivée d'un nouveau groupe culturel, les Koriabo. En effet, les fouilles conduites par l'Inrap révélèrent que deux communautés amérindiennes s'installèrent sur le sommet de cette colline entre le 9ème et le 16ème siècle de notre ère. Le premier groupe ancien, les Aristé, représentant de la tradition céramique Polychrome en Guyane française (Rostain 1994), y auraient installé leur cimetière aux alentours de 1 000 AD (Mestre & Hildebrand 2011). Le creusement du fossé semble être associé à la fondation de la nécropole, au début de la phase Aristé (Mestre 2013). L'emplacement topographique du site conférant ainsi à ce lieu cérémoniel un emplacement avantageux à savoir que la colline, en connexion avec le reste du relief par une étroite ligne de crête, est délimitée par de fortes pentes naturelles (ibid.). Cette population creusa alors un fossé circulaire entourant le sommet de la colline, d'une trentaine de mètres de long et de deux mètres de profondeur (Mestre & Hildebrand 2011). Les trois datations obtenues dans le fossé de Pointe Morne renvoient à une succession de faits archéologiques survenus entre le 9ème siècle et le 12ème siècle de notre ère (Mestre 2013).

Cet ensemble funéraire semble avoir fonctionné environ 500 ans. Ce site est le premier exemple d'usage d'un fossé pour la période Aristé. Le fossé serait alors ici un marqueur, dans le paysage, de l'emplacement de ce lieu symbolique et sacré (ibid.). Puis vers 1 400 AD, une population rattachée à la culture Koriabo, investit ce lieu en dépossédant les groupes Aristé (Mestre & Hildebrand 2011). Ils pourraient n'avoir occupé le lieu que pendant une centaine d'années. Les nouveaux occupants ouvrent les tombes pour les utiliser comme fosses à détritus, certaines sont même incendiées (ibid.). Ils s'installent sur l'ensemble du sommet de la colline, en utilisant le fossé Aristé comme limite d'extension de l'emplacement de leur hameau. Des trous de poteaux témoignent de la construction d'habitations, des outils en pierre à usage agricole font leur apparition et les céramiques correspondent maintenant à de la vaisselle domestique pour préparer, servir, cuire, stocker, la nourriture, avec parfois des traces d'utilisation (Mestre & Hildebrand 2011).

La présence des Koriabo sur le site de Pointe Morne est intéressante car il semble que beaucoup de sites rattachés à cette culture soient implantés sur le même emplacement que des sites antérieurs appartenant à des cultures différentes (Rostain 2007). En effet, la présence de ces populations d'horticulteurs apparaît totalement originale et unique car « *elle représente le seul ensemble culturel véritablement guyanais, dont l'origine est peut-être locale, et qui n'est pas reconnu hors de cette région* » (Rostain 2007). Surgie simultanément dans l'ensemble des Guyanes, depuis l'Oyapock jusqu'à l'Orénoque, et du centre des Guyanes jusqu'à la côte, son aspect vraiment remarquable est son unité stylistique dans les formes et les décors céramiques, malgré l'immensité de la région qu'elle occupe (ibid.).

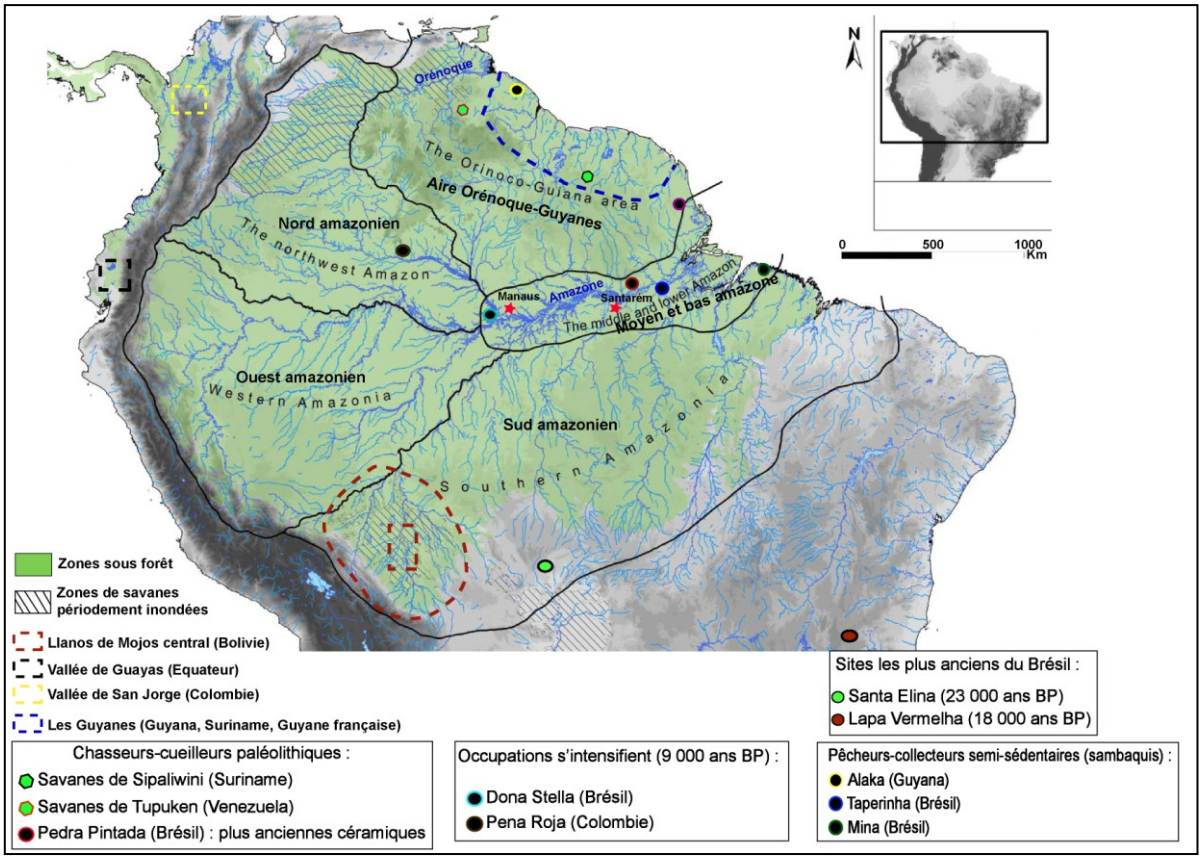


Figure 22 : Carte de répartition des zones et sites archéologiques du territoire guyano-amazonien mentionnés dans le texte (adaptée de Eriksen 2011).

Par la suite, le développement de ces populations amérindiennes précolombiennes s'est très vite arrêté à partir de la fin du 15ème siècle, avec l'arrivée progressive des Européens à l'embouchure de l'Amazone et sur la côte des Guyanes (Rostain 2007). La présence des colons va aboutir à de nombreux phénomènes de recompositions ethniques au sein des nations amérindiennes alors présentes sur le territoire (Rostain 1994). Ainsi, tenter un rapprochement entre les sociétés amérindiennes actuelles et les cultures et traditions archéologiques anciennes serait très hasardeux (ibid.).

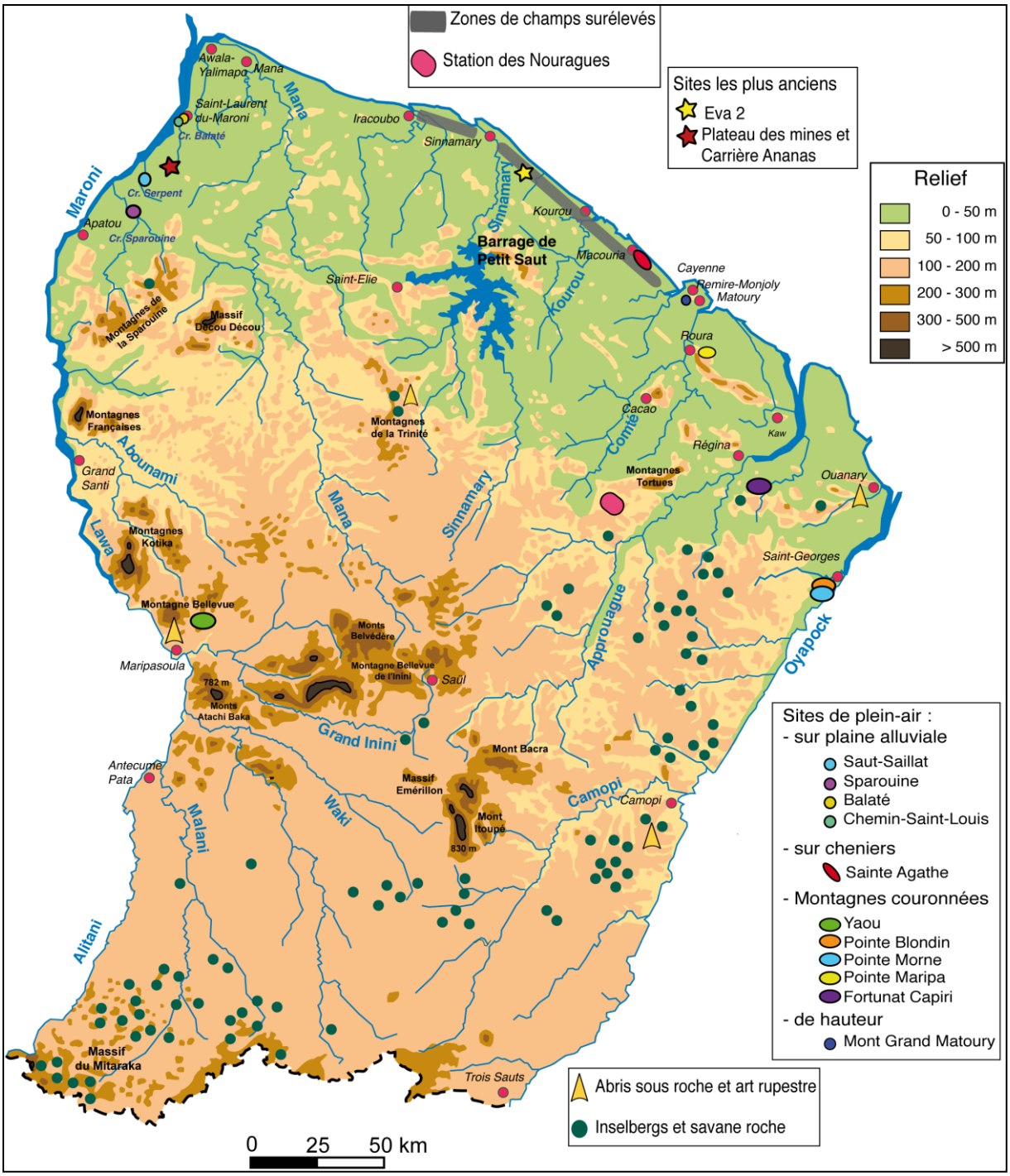


Figure 23 : Emplacements des sites archéologiques de Guyane française cités dans le texte (adaptée de Filleron et al. 2003).

II. Processus de néolithisation sur le territoire amazonien

Il est difficile de parler d'une véritable « révolution néolithique » qui aurait eu lieu sur le territoire amazonien à la période précolombienne. En effet, les critères considérés comme sélectifs pour définir la néolithisation dans d'autres régions du monde (Guilaine 2004), à

savoir l'implantation de villages semi-permanents ou permanents, liés à la sédentarisation, la domestication des plantes et animaux, et la fabrication de la céramique, eurent bien lieu, sans pour autant que *l'adoption de tel ou tel autre trait ne puisse être vu comme la conséquence d'une étape évolutive stricte, mais plutôt comme le résultat de choix réfléchis et précis de populations ayant géré et transformé depuis des millénaires leur milieu tropical humide* (Rostain 2004 : 217).

Au même titre qu'en Europe, la domestication végétale en Amazonie s'amorce dès la période pré-céramique (Arroyo-Kalin 2010). Ainsi, le palmier pêche (*Bactris gasipaes*), ou parépou en Guyane, serait le seul palmier domestiqué, quand de nombreuses autres espèces, telles que les palmiers buriti (*Mauritia flexuosa*) et açai (*Euterpe oleracea*) ont été soumis à une gestion intense (Clément 2006). Par exemple, dans le monticule de Teso Dos Bichos sur l'île de Marajó, il semblerait que le palmier buriti aurait servi de nourriture première (Roosevelt et al. 1991; Meggers 2001).
Le palmier est encore très largement utilisé actuellement parmi les populations *caboclos*[13] et amérindiennes, pour couvrir la toiture et les murs de la maison et/ou dans la confection des hamacs, paniers et tapis (Kämpf & Kern 2005). Les études ethnographiques nous apprennent que les peuples amazoniens construisaient et construisent toujours des maisons avec des feuilles de palmier comme le babaçu (*Attalea speciosa)*, le buriti ou palmier-pêche (*Mauritia flexuosa*), le bacaba ou comou en Guyane française (*Oenocarpus bacaba*), ou le carana (*Mauritia carana*) (Kern 1996). Chez les caboclos actuels, les maisons recouvertes de feuilles de palmiers durent en moyenne trois ans, ce qui est un temps relativement court (ibid.).

La sédentarisation des populations précolombiennes est toujours un vaste sujet de débats. Il semble toutefois qu'à partir de 7 000-5 000 ans BP, des groupes installèrent des villages semi-permanents à permanents dans certaines aires de l'Amazonie (Rostain 2004). C'est à cette période que remonterait l'apparition de la céramique en quelques points du territoire. Néanmoins, les lieux de découverte de céramique ne sont pas toujours corrélés à une agriculture développée ou une véritable sédentarisation (ibid.).
Les Amazonian Dark Earth que sont *terra preta* et *terra mulata* et les sites construits (monticules, tertres) seraient les principaux témoins des débuts de cette sédentarisation des populations anciennes amazoniennes (Rostain 2004; Arroyo-Kalin 2010). Selon Arroyo-Kalin (2010), les ADE sont une clé évidente pour argumenter du phénomène de sédentarité, liée à l'intensification de l'agriculture durant les temps précolombiens en Amazonie,

[13] Au Brésil, ce sont les populations métissées généralement entre amérindiens et colons blancs européens.

puisque les *terra preta* constituent des zones d'habitat pérennes et intensives très riches en restes de l'occupation, et les *terra mulata* correspondent aux aires périphériques agricoles (cf. Partie I-chapitre 4). Les débuts de l'agriculture auraient ainsi pu se produire de manière fortuite, dans les aires de rejets des villages de ces populations essentiellement sédentaires (ibid.). En effet, les restes de nourriture rejetés tels que des graines peuvent pousser spontanément si la terre alentour est riche en éléments nutritifs, ce qui est le cas des *terra preta*. Ainsi, à la faveur d'occupations longues, les populations précolombiennes ont pu s'apercevoir qu'en amendant les sols avec certains de leurs résidus, les plantes poussaient plus aisément que dans les sols extérieurs à leurs villages. Cela a ainsi favorisé la création des zones de *terra mulata*.

Aujourd'hui, les chercheurs s'accordent à penser que, même si les plantes ont été domestiquées assez tôt, l'adoption de l'agriculture a mis, en revanche, beaucoup plus longtemps à se produire (Neves & Rostain 2012). Il semblerait qu'en Amazonie, les débuts de l'agriculture se soit faits à la faveur de stratégies d'adaptation fondées sur une combinaison de plantes domestiquées, semi-domestiquées et non domestiquées, notamment des arbres (ibid.).

Parmi les différentes cultures identifiées par les analyses archéobotaniques effectuées en Amazonie, il apparaît que seuls le maïs (*Zea mays*) et le manioc (*Manihot esculenta* ssp. *esculenta*) sont assez riches en amidon pour constituer la base de nourriture essentielle à des sociétés sédentaires (Arroyo-Kalin 2010).

Selon certains auteurs, ce serait principalement la domestication du manioc qui constituerait un premier pas vers la « révolution néolithique » amazonienne (Neves et al. 2003). Si aujourd'hui le manioc est prépondérant dans l'alimentation des populations amérindiennes, il reste jusqu'à présent difficile de prouver l'importance de son ancêtre, le manioc précolombien, comme base de nourriture des populations anciennes. Néanmoins, selon Léotard et al. (2009) sa domestication remonterait au-delà de 8 000 ans BP, en Amazonie, soit au milieu ou au début de l'Holocène. Dans certaines régions de l'Amazonie, comme dans le bassin du Haut-Xingu, Heckenberger et son équipe imaginent que la culture du manioc était la base productive des sociétés hiérarchisées qui ont fleuri au début du 2ème millénaire de notre ère (Heckenberger et al. 2003, 2008).

Cette plante représente un avantage certain car elle est très adaptée aux sols acides très peu fertiles typiques de la région amazonienne (Arroyo-Kalin 2010). Les tubercules du manioc peuvent se conserver au moins deux années dans les sols, ce qui en fait une plante pratique car elle ne nécessite pas d'investissement pour la conserver (ibid.). Le fait que ce soit une plante à bouture lui confère la capacité de se reproduire dans presque tous les

types de sols et, avec peu de soin, permettant de produire des récoltes importantes (van den Bel 2012).
Complété par d'autres plantes minoritaires, la chasse, la pêche et la cueillette, le manioc constitue alors une base alimentaire pour ces populations sédentaires (Neves & Rostain 2012; van den Bel & Jimenéz 2013).
L'exemple du plus vieux site de *terra preta* repéré à l'heure actuelle, sur la rivière Jamari, daté de la phase pré-céramique Massangana, entre 4 800 et 2 600 BP où des microfossiles de manioc ont été mis en évidence, témoigne du fait que les débuts de l'agriculture, ne sont, pour le bassin Amazonien, pas forcément corrélés à la présence de céramiques (Arroyo-Kalin 2010).

Concernant le maïs, plusieurs indices suggèrent que les débuts de sa culture auraient pu se faire entre 6 000 et 5 000 ans BP en certains points de l'Amazonie (Iriarte 2007; Oliver 2008; Rostain 2011). Des indices de maïs cultivé daté de 5 300 ans BP ont été mis au jour dans le lac Ayauchi, en Amazonie équatorienne, aux pieds des Andes (Bush et al. 1989). Le maïs, moins bien adapté aux sols acides que le manioc aurait pu être cultivé après le manioc, à la faveur de villages sédentaires permanents, associés à d'autres cultivars (Arroyo-Kalin 2010). Aujourd'hui, selon les données de l'ethnographie, le maïs est utilisé uniquement par certains petits groupes, dans la moitié ouest du bassin Amazonien (Descola 1994; Salick et al. 1997; Emperaire 2001 cités par Arroyo-Kalin 2010).

En ce qui concerne l'Amazonie orientale et les Guyanes, ce serait autour de 500 de notre ère avec l'émergence de sociétés complexes et hiérarchisées induisant l'accroissement démographique, que l'agriculture aurait pu s'intensifier (Rostain 2004).
Les populations ont notamment du développer différentes techniques agricoles faisant preuve de capacités d'adaptation à leur environnement.

Par exemple, sur le territoire amazonien il est souvent fait référence à l'agriculture itinérante (Denevan 2001) ou agriculture sur brûlis, qui consiste à ouvrir une clairière dans la forêt par l'abattage des arbres à l'aide notamment du feu. Les cendres et les charbons servent ensuite à fertiliser les sols pauvres, favorisant la formation de *terra mulata* (Woods & McCann 1999). Toutefois, le fait que cette technique agricole puisse être la plus ancienne pratiquée par les populations précolombiennes est encore aujourd'hui l'objet de controverse auprès des chercheurs. Certains estiment, comme Tardy (1998), que l'anthropisation du paysage guyanais, sous l'effet des défrichements agricoles, serait effective depuis au moins 1 600 ans, soit autour de 300 AD, bien avant l'arrivée des colons

européens. Rostain (2011) complète ces hypothèses en précisant que cette technique s'est généralisée avec l'introduction de la hache métallique facilitant l'abattage des arbres, aux alentours de l'arrivée des européens, et probablement la perte de techniques agricoles plus anciennes (Rostain 2008).

De manière générale, comme le décrit Tardy, la pratique de l'agriculture sur brûlis *s'exprime moins par une dégradation du milieu que par une sélection et une favorisation de certaines espèces utiles, se traduisant ainsi par une modification progressive du paysage et une « amélioration »* par l'homme et *pour l'Homme de son environnement naturel* (Tardy 1998 : 293). En effet, les divers travaux ethnobotaniques (Balée 1989; Descola 1986; Grenand et al. 1987 et Grenand 1996, cités par Tardy 1998) témoignent de la quantité de plantes utiles qui sont maintenues dans les abattis ou plantées autour des maisons (pimentier, roucouyer, oranger, citronnier, marante), puis transportées par les populations, qu'elles soient alimentaires (palmiers maripa et caumou/comou), médicinales ou destinées à la fabrication d'outillage comme les roseaux-flèches ou les bambous.

En milieu inondable, deux techniques agricoles étaient pratiquées : l'agriculture sur *varzéa* et l'agriculture sur champs surélevés.

La première se pratique sur plaine inondable principalement le long de l'Amazone et de l'Orénoque lorsque les eaux sont basses. Cette forme d'agriculture vient compléter la mise en culture des aires non inondables et moins productives de *terra firme*. En effet, les *varzéa* couvrent seulement une petite portion du bassin de l'Amazone (5 à 10%). En outre, ce sont des zones soumises aux crues des rivières qui peuvent être subites et imprévisibles avec un niveau d'eau qui peut alors monter de plusieurs mètres en une nuit (Lima et al. 2002; Rostain 2008). Cette agriculture aurait débuté après le début de notre ère, lorsque de larges populations à structures complexes repoussent peu à peu les petits horticulteurs de la *varzéa* des rives des grands fleuves vers les régions inter-fluviales (Rostain 2004). Aux alentours de 500 de notre ère, il semblerait que les zones de *varzéa* soient densément peuplées induisant, parfois, une course au territoire et des conflits entre les prétendants aux meilleures terres (ibid.).

Dans d'autres aires géographiques, la technique de l'agriculture sur champs surélevés a vu le jour. Il s'agit, comme précisé précédemment, de l'édification de buttes au-dessus du niveau d'inondation afin de mettre en culture des aires inondables comme les marécages. Elle fut largement employée sur le littoral des Guyanes durant près d'un millénaire (Rostain 2008) (**Figure 19**). Aujourd'hui cette méthode est encore pratiquée, par exemple autour du lac Titicaca au Pérou, sur des *waru waru* qui correspondant à des longues buttes étroites de 10 à plus de 100 mètres de long, de 1 à 20 mètres de large et de 0,5 à 1 mètre

de haut. On y plante des pommes de terre, des petits pois, des fèves, du quinoa.

La surélévation des champs permet d'obtenir un espace sec pour planter et concentrer les matériaux fertiles, tout en améliorant la structure du sol (Rostain 1994). Diverses études tendent à montrer que le maïs fut un des principaux cultigènes des champs surélevés d'Amérique du sud (Iriarte et al. 2010; Rostain 2011; Watling & Iriarte 2012). Sur les champs surélevés de Guyane française, d'autres plantes telles que des courges (*Cucurbita* sp.), des piments, et probablement des patates douces (*Ipomoea batatas*) et des tubercules de type *Xanthosoma* furent également cultivés et consommés (Iriarte et al. 2010; McKey et al. 2010). Il apparaît donc que les constructeurs de champs surélevés avaient une alimentation diversifiée, reposant sur une variété de plantes, auxquelles étaient probablement associés le gibier de la forêt et le poisson de la mer et des fleuves (Neves & Rostain 2012).

Ainsi, pour citer Neves & Rostain (2012 : 131) : « *Etant donné cette diversité, il semble plausible d'avancer que les sociétés de l'Amazonie précolombienne ne partageaient pas toutes le seul et même système agricole. Cela signifie que d'autres denrées y jouaient également un rôle important, qu'elles soient fondées sur la culture de plantes domestiquées ou sur la gestion de plantes semi-domestiquées, voire sauvages* ».

Ces diverses stratégies agricoles semblent avoir été couplées à des systèmes permettant de gérer, plus ou moins, diverses espèces de faune, incluant les oiseaux (canards de Barbarie, *Cairina moschata*, perroquets, tels que *Ara macao* ou *Ara severa*, etc.), les poissons, y compris la tortue géante (*Podocnemis expansa*), mesurant jusqu'à 80 cm, le lamantin (*Trichechus inunguis*) du fleuve Amazone. En tout état de cause, rien ne porte à penser que ces sociétés avaient domestiqué les animaux, en tout cas pas pour l'élevage (Neves & Rostain 2012).

Ainsi, par ces différentes pratiques culturales, la présence de l'être humain dans le milieu amazonien va induire des modifications dans la flore naturelle locale. C'est ce qu'ont mis en évidence Balée & Erickson (2006) dans leur étude sur le complexe des tertres d'Ibibate, en Bolivie, démontrant que la biodiversité sur les monticules était bien plus riche que dans les zones alentours. Elle serait alors constituée surtout d'espèces dites « économiques », encore visibles dans le paysage 400 ans après l'abandon du site (Balée & Erickson 2006; Erickson 2008). Par exemple, pour certains ethnobotanistes la présence du roucou (*Bixa sp.)* est un marqueur potentiel de l'anthropisation du milieu, lorsque cette plante est

associée à d'autres espèces, puisque c'est une plante qui est très rare naturellement en milieu forestier. En effet, cette plante permet aux amérindiens de se parer le corps, sa couleur rouge est signe de joie. Chez les Wayampi, en Guyane française, elle est utilisée pour accompagner la mort : « *Le corps du défunt est alors oint par une femme de la famille de pâte de roucou rouge, afin qu'il arrive décemment au terme de son voyage dans l'au-delà* » (Hurault et al. 1998 : 154) (**Figure 24**).



Figure 24 : Roucouyer, du fait de sa couleur rouge c'est une plante très utilisée par les populations amérindiennes actuelles (photos de l'auteure).

De manière générale, il semblerait que l'intensité des occupations amérindiennes anciennes soit un facteur important de l'évolution des populations d'arbres, comme le révèlent les travaux récents de Barthe (2012). Il est également généralement possible d'observer, sur des parcelles anciennement défrichées pour l'agriculture ou l'habitat, le développement monospécifique de certaines plantes, telles que des lianes, des bambous ou certains palmiers, conséquences involontaires de l'anthropisation ancienne du milieu (Tardy 1998).

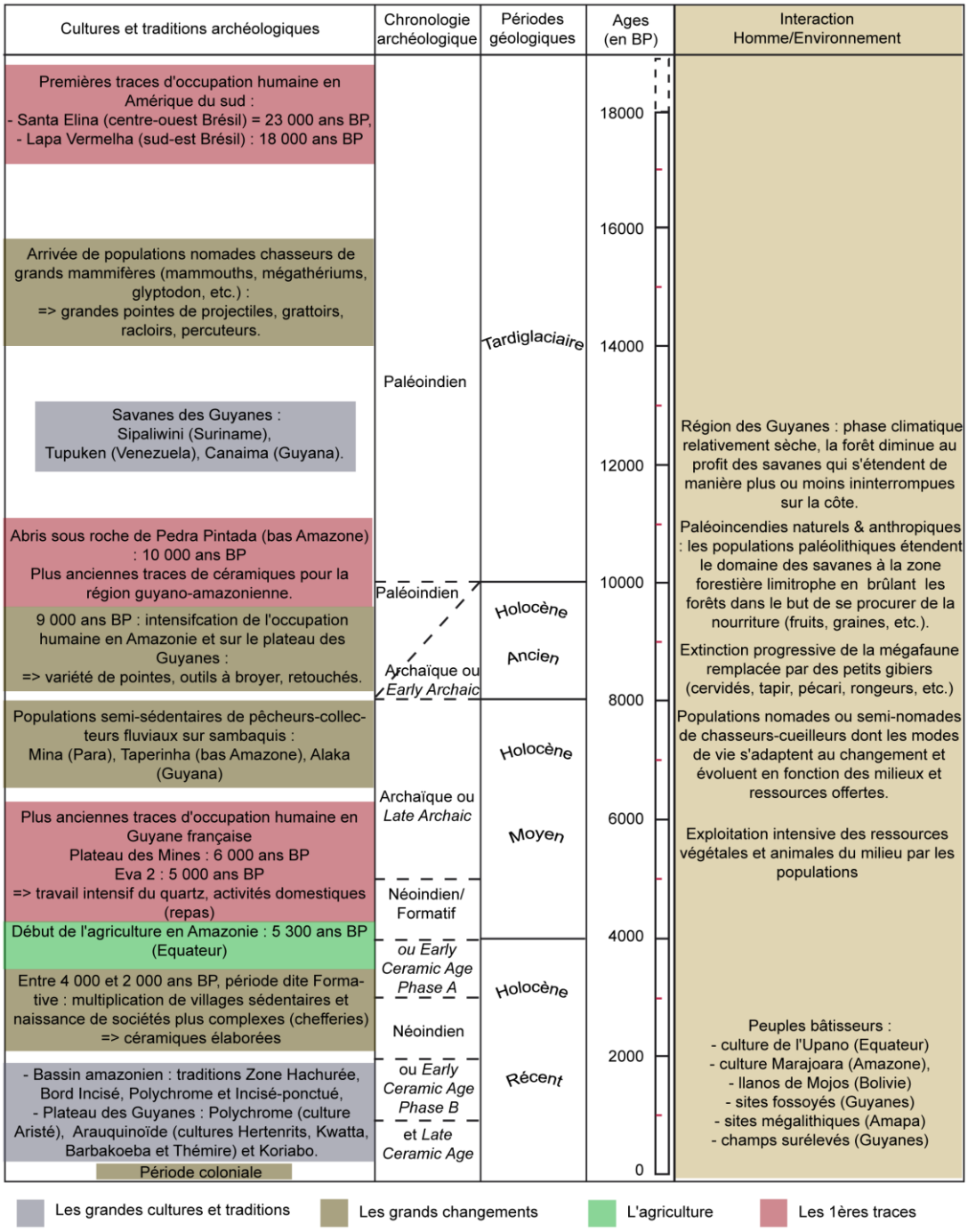


Figure 25 : Frise chronologique des grandes traditions[14] et cultures archéologiques qui se sont développées depuis le Tardiglaciaire sur le territoire du bassin Amazonien et des Guyanes, et intéraction Homme / Environnement (modifiée de Mestre & Delpech 2008 et van den Bel 2015).

[14] La **culture archéologique** correspond à un complexe céramique qui peut être relié à des ensembles lithiques, funéraires ou tout autre trait culturel présentant une cohérence certaine (Rostain 1994). La **tradition archéologique** ce sont plusieurs cultures, ayant des traits similaires qui peuvent être rassemblées dans une même tradition dont la diffusion tant géographique que temporelle est largement étendue (Willey et Phillips, 1958, cité par Coutet 2009). Lorsque la tradition est définie à partir de traits céramiques, on parlera de tradition céramique plutôt que de tradition culturelle (Coutet 2009).

Finalement, il est possible de reprendre le modèle de Denevan (2001), stipulant que les activités humaines anciennes ont eu des répercussions sur l'environnement de différentes façons : (1) des modifications visibles dans le paysage, comme les constructions en terre, les amas coquilliers, ou les sites fossoyés, et (2) des modifications non ou moins visibles dans le paysage que l'on peut détecter grâce aux prospections ou aux travaux de l'archéologie. Parmi ces modifications invisibles liées aux activités précolombiennes, on trouve les anthroposols noirs que sont les *Terra Preta* ou *Amazonian Dark Earth*.

Chapitre 4. AMAZONIAN DARK EARTH OU TERRA PRETA

Par l'intermédiaire de leurs activités, les premières populations amérindiennes ont transformé le paysage guyano-amazonien, dont les sols font partie intégrante (Roosevelt 2001; Neves et al. 2003; Kämpf & Kern 2005). Ainsi, aujourd'hui, dans le bassin Amazonien, de nombreux sites archéologiques sont identifiés par la qualité distincte de leurs sols par rapport aux sols naturels environnants. Ces sols archéologiques, qualifiés d'anthroposols[15] sont : 1) plus foncés que leurs équivalents naturels, de couleur marron à noir, du fait d'un enrichissement en matière organique, 2) plus épais, et 3) plus fertiles et propices à la mise en culture que les sols naturels acides d'Amazonie. L'existence et la particularité de ces anthroposols amazoniens se précisent de plus en plus grâce au grand nombre d'études réalisées et en cours (Sombroek 1966; Kern 1996; Woods & McCann 1999; Costa & Kern 1999; Glaser et al. 2001; Lima et al. 2002; Sombroek et al. 2002; Glaser et al. 2003; Lehmann et al. 2003; Neves et al. 2003; Ruivo et al. 2003; Glaser et al. 2004; Glaser & Woods 2004; Kern et al. 2004; Kämpf & Kern 2005; Glaser 2007; Arroyo-Kalin 2008; Arroyo-Kalin 2009; Arroyo-Kalin et al. 2009; Costa et al. 2009; Lima da Costa et al. 2009; Heckenberger & Neves 2009; Kern et al. 2009; Falcão et al. 2009; W. G. Teixeira et al. 2009; Arroyo-Kalin 2010; Lima da Costa et al. 2011; Arroyo-Kalin 2012; Jucilene Amorim Costa et al. 2013; McMichael et al. 2014; Schmidt et al. 2014).

Le terme le plus couramment utilisé à l'heure actuelle, aussi bien par la communauté scientifique que par les populations locales est celui de *Terra Preta*. Ce terme brésilien qui textuellement signifie *Terre Noire*, regroupe les sols anthropiques noirs du bassin Amazonien *lato sensu*. En effet, plusieurs types d'anthroposols noirs ont été discriminés en fonction de leurs propriétés intrinsèques, telles que les *terra preta stricto sensu*, et les *terra mulata*. Parmi les termes brésiliens, on trouve également *terra preta - do índio, - anthropogenica* ou - *arqueológica* (Kämpf & Kern 2005) et *terras escuras* (Woods & McCann 1999; Lehmann et al. 2003). Dans la langue anglaise, le plus couramment usité est *Amazonian Dark Earth* ou *Anthropogenic Dark Earth* (*ADE*). Les termes *Indian Black Earth (IBE)*, *Archaeological Black Earth* (*ABE*), *Terra Preta Anthrosol* (TPA) (Lima et al. 2002) ou encore *Brazilian Dark Earth* (*BDE*) sont également trouvés dans la litterature. Dans ce travail, le terme *Terra Preta lato sensu,* sera favorisé, pour parler des anthroposols décrits

[15] Terme venant du grec *anthropos*, être humain. Ce terme, aujourd'hui largement reconnu dans la communauté scientifique, est le pendant français du terme anglo-saxon *anthrosol* (WRB 2014). Ces sols sont décrits comme profondément marqués par les activités humaines, que ce soit par l'ajout de déchets organiques, par l'irrigation et/ou leur mise en culture. Ils peuvent également constituer des restes de zones d'habitat. Les anthroposols se retrouvent partout dans le monde, dans tous les types d'environnement où l'Homme a laissé une emprunte durable dans le sol (WRB 2006 : 71 et RP 2008). Ils peuvent être aussi bien modernes qu'archéologiques.

au Brésil comprenant les *terra preta stricto sensu*, et les *terra mulata*. Le terme Amazonian Dark Earth (ADE) désignera les anthroposols noirs du bassin Amazonien, sans se limiter au Brésil.

Ainsi, ces ADE sont un marqueur encore visible dans le paysage de l'emplacement des zones occupées par les populations amérindiennes anciennes. Si elles sont envisagées comme des indices de sites archéologiques à part entière, notamment lors de prospections pédestres sous forêt (Vacher et al. 1998), certains chercheurs en viennent même à l'apprécier comme un vestige archéologique en tant que tel (Ruivo et al. 2003; Kämpf & Kern 2005; Arroyo-Kalin 2008).

Dans ce chapitre, nous allons souligner les éléments des *Amazonian Dark Earth* qui nous semblent importants pour ensuite l'appliquer au contexte des anthroposols de Guyane française.

I. Une origine controversée

C'est au 19ème siècle qu'il est fait mention pour la première fois de l'existence de « terres noires » en Amazonie, décrites alors par le terme *black land* (Smith 1980). Observées non loin de l'actuelle ville de Santarém, dans le bas Amazone, elles sont décrites comme des sols très sombres couverts de fragments de poteries. À la même période, (Hartt 1885, cité par Vacher et al. 1998) remarque que l'importante fertilité de ces sols semble attirer les populations amérindiennes alors présentes sur le territoire. Il est le premier à nommer ces sols noirs *Terra Preta lato sensu*[16]. Il faut attendre la fin des années 1940 pour que des archéologues soulignent la présence de cet horizon sur des sites archéologiques, à l'embouchure de l'Amazone notamment (Meggers 1948, cité par Vacher et al. 1998).

Dans les années 40, les travaux de Camargo et Faria, attribuent à cet horizon une origine géologique, résultant de la distribution verticale de cendres éruptives ou de roches volcaniques (Camargo 1941 et Faria 1946, cités par Vacher et al. 1998). Or, si ces sols s'étaient formés par sédimentation volcanique, on retrouverait une couche de tephras associée à une différenciation de la taille des particules, ce qui n'est pas le cas (Glaser et al. 2004). En 1950, Gourou aborde le problème jusqu'alors sous-jacent de la pédogenèse.

[16] Dans ce chapitre, les termes sont utilisés au fur et à mesure de leur apparition dans la littérature. *Terra Preta* faisant ici référence aux premières définitions donc pris au sens large, ne faisant pas encore le distinguo entre *terra preta* et *terra mulata*.

Pour l'auteur, deux explications s'opposent. D'une part l'hypothèse d'une origine géologique des sols avec une recherche délibérée de ceux-ci par les populations, et d'autre part une genèse anthropique de cette couche. L'actuelle fertilité serait alors due à une occupation paléoindienne prolongée, modifiant la composition du sol naturel. En 1955, Hilbert vient renforcer l'hypothèse d'une origine anthropique de ces sols. Dès lors, géologues, géomorphologues ou pédologues tentent d'étayer l'une ou l'autre des théories en s'appuyant essentiellement sur la caractérisation physico-chimique de ces sols.
C'est à la fin des années 1960 que Sombroek (1966) commence sa synthèse sur les sols amazoniens et notamment sur les *Amazonian Dark Earth*. D'après lui, cet horizon noir correspondrait à une zone de rejets ayant acquis sa fertilité spécifique à partir des déchets organiques des populations locales. Il est le premier à distinguer deux types de sol sombres, les nommant ainsi *terra preta* et *terra mulata*. Ces dernières, observées entre autre dans la région du fleuve Tapajós, correspondent à des sols de couleur légèrement plus claire, dépourvus en céramique, et qui encerclent généralement les sites plus sombres de *terra preta* (Sombroek 1966). En 1972, De Boer s'attache à comparer des sols, *a priori*, vierges de toute occupation humaine et des sols anthropisés du plateau des Guyanes, au Suriname, en analysant leurs compositions. Son étude confirme les travaux de Sombroek, mais la caractérisation des ADE reste assez floue. En réponse à ces théories, Ranzani et al. (1962) et Andrade (1986) tentent une classification pédologique des ADE, dans la région des Andes et en Colombie respectivement. D'après ces deux auteurs, ces anthroposols représentent des modifications volontaires des sols par les populations précolombiennes. Les traces des activités humaines anciennes auraient été piégées lors de la mise en place des sols, en perdurant jusqu'à nos jours. Les travaux de Woods & McCann (1999) apportent une nouvelle contribution à ces études. En effet, ayant travaillé dans la région du fleuve Tapajós et de la ville de Santarém, ils remarquent que seule une petite proportion des zones de *Terra Preta lato sensu* est associée à des habitations. La majeure partie présentant peu, voire pas du tout, de vestiges, avec une couleur brun foncé plutôt que noir. Ils reprennent alors le terme de Sombroek, *terra mulata*, pour décrire ces sols.

La présence des *Amazonian Dark Earth* comme conséquence de l'anthropisation et non comme une cause de celle-ci est aujourd'hui généralement admise par la communauté scientifique. Certains en venant même à les nommer *l'Eldorado Amazonien*[17].
Aujourd'hui, un réseau international de chercheurs s'intéresse à ces anthroposols, dans de multiples projets interdisciplinaires, alliant aussi bien l'archéologie, l'ethnologie ou encore l'écologie, les sciences du sol et la chimie. Plusieurs conférences internationales sur les

[17] http://thinkingglobalactinglocal.com/the-story-of-terra-preta.html

Amazonian Dark Earth ont eu lieu depuis les années 2000, et sont aujourd'hui coordonnées par l'EmBraPA[18] (Teixeira et al. 2009).

II. Occurrence et description

II.1. Occurrence et extension

Si les occurrences des ADE sont largement connues en Amazonie brésilienne, elles apparaissent également en Colombie, en Equateur, dans les Guyanes, au Pérou et au Venezuela. Toutefois, c'est au Brésil qu'elles ont été majoritairement étudiées grâce notamment aux trois projets de recherche menés par V. L. Guapindaia, M. Heckenberger et E. G. Neves (Heckenberger et al. 2003; Neves et al. 2003; Guapindaia 2008) (**Figure 26**). Les découvertes actuelles ont permis de mettre en évidence que les ADE couvrent au moins 0,1 à 0,3 % de la basse Amazonie, soit 6.000 à 18.000 km^2. Sombroek et al. (2003) estiment qu'elles pourraient recouvrir en réalité 1% ou plus de ce territoire, soit environ 6 millions de km^2.
Il semblerait d'après des études récentes, que le terrain, l'hydrologie et les propriétés des sols soient des facteurs plus importants pour la distribution des ADE que les conditions climatiques (McMichael et al. 2014). D'après ces auteurs, les occurrences des ADE se retrouvent plus probablement sur 3,2 % de la forêt, et de manière très limitée en Amazonie de l'ouest, expliquant ainsi le fait qu'elles soient plus fréquemment trouvées en Amazonie centrale et de l'est, le long des rivières majeures du bassin Amazonien (ibid.).

Les études menées par Kern et al. (2004; 2009) sur les sites archéologiques brésiliens, ont révélé que les T*erra Preta lato sensu* sont situées à proximité des zones non-inondables de *terra firme* (plateaux tertiaires) où les sols sont généralement bien drainés, à proximité de tous les types de rivières et fleuves (eaux blanches, eaux claires, eaux noires), criques et/ou lacs, et quasiment toujours sur une élévation topographique (Kern et al. 2009) (**Figures 26 et 27).** L'analyse de l'emplacement topographique de 270 sites de *Terra Preta* a permis de montrer qu'une grande majorité est localisée sur les terrasses fluviatiles, entre 5 et 25 mètres de hauteur, en relation directe avec la ressource en eau la plus accessible (Kern et al. 2009). Seul 4% des sites sont à plus de 40 mètres de hauteur, comme les sites de bords de plateau dans la région de Santarém. Ces sites présentent des

[18] *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária* : Entreprise Brésilienne de Recherche Agricole qui est liée au ministère de l'Agriculture.

surfaces allant de 1 à 500 hectares, la grande majorité (80%) se trouvant dans la fourchette de 2 à 5 hectares (Kern et al. 2004). La localisation topographique de ces sites permet d'accéder à des ressources provenant de différents environnements, tout en contrôlant les voies d'accès en ayant une bonne visibilité du paysage alentour, ce qui permet d'appréhender le danger potentiel. Par exemple, le site Tapajós, proche du site de Belterra, comprend 200 hectares de *terra preta* pour 1 000 hectares de *terra mulata* (Sombroek 1966); le site de Santarém fait environ 400 hectares (Roosevelt 2001); trois sites dans la région du bas *rio* Negro ne font pas moins de 300 hectares (Heckenberger et al. 2003); Oitavo Bec au sud de Santarém atteint 120 ha (Woods & McCann 1999); ou encore le site de Caxiuaña (Pará) couvre plus de 100 ha (Kern 1996) (**Figure 26**).

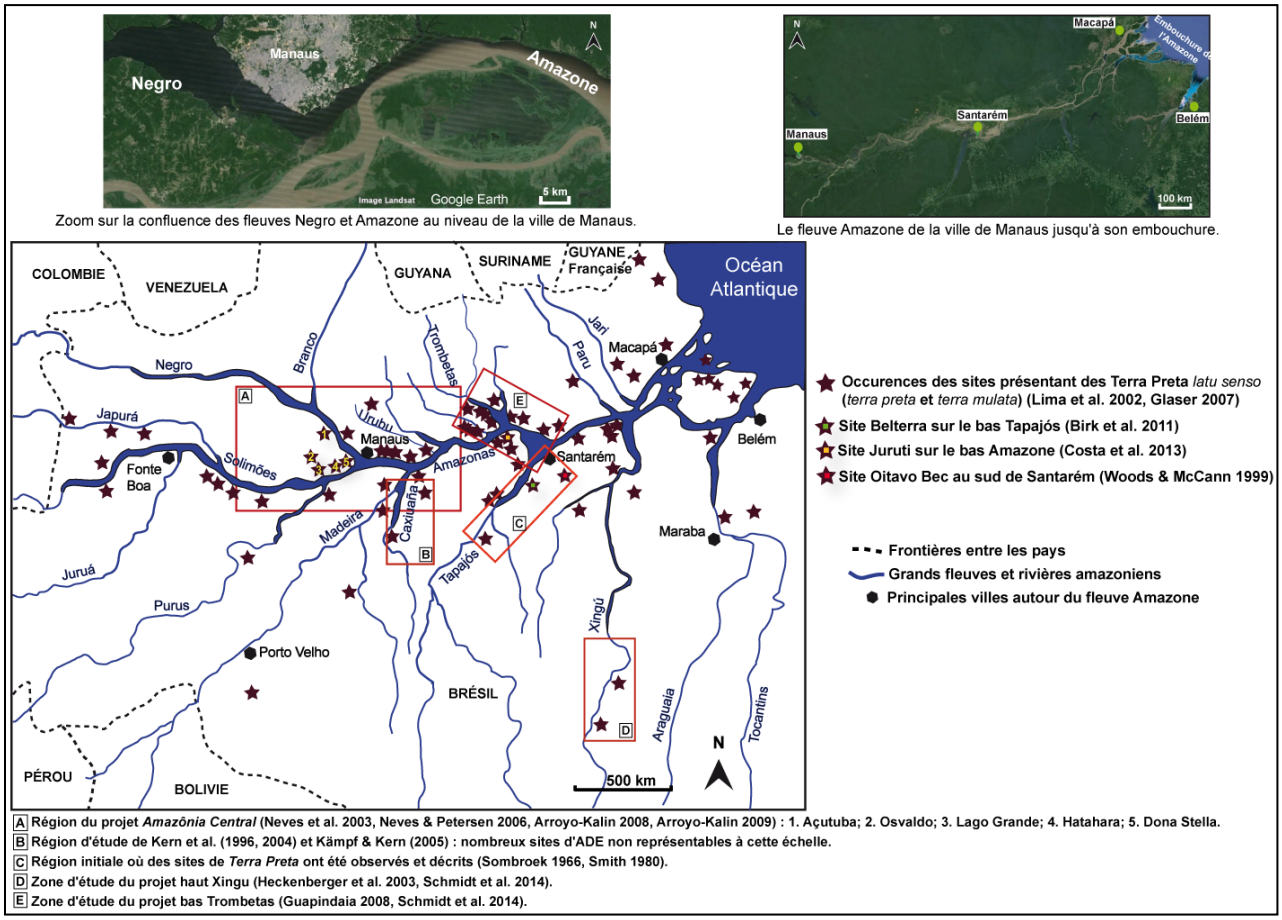


Figure 26 : Localisation des occurrences de Terra Preta *latu senso* dans le bassin amazonien brésilien selon de multiples sources bibliographiques.

Les sites occupant le niveau des fleuves ou ne dépassant pas 2 mètres de hauteur sont inférieurs à 1% du total des sites étudiés par Kern et al. (2004). En effet, ces zones de *várzea* à topographie basse sont inondées plusieurs fois dans l'année. Les auteurs imaginent, au même titre que Lima et al. (2002) l'avaient déjà évoqué grâce à leurs études sur les sources des pâtes des céramiques, que ces sites pourraient correspondre à

des occupations saisonnières (Kern et al. 2009). La stratégie d'occupation du territoire amazonien par les populations précolombiennes correspondrait alors à l'utilisation saisonnière des zones basses de plaine alluviale (*várzea*), pour l'agriculture et/ou la pêche ou la capture d'autres animaux, associée à des lieux permanents d'habitat et de culture, situés à proximité des plateaux Tertiaire (*terra firme)*, dans les zones d'interfluve, mais toujours non loin de cours d'eau (Denevan 1996; Lima et al. 2002) (**Figure 27**).

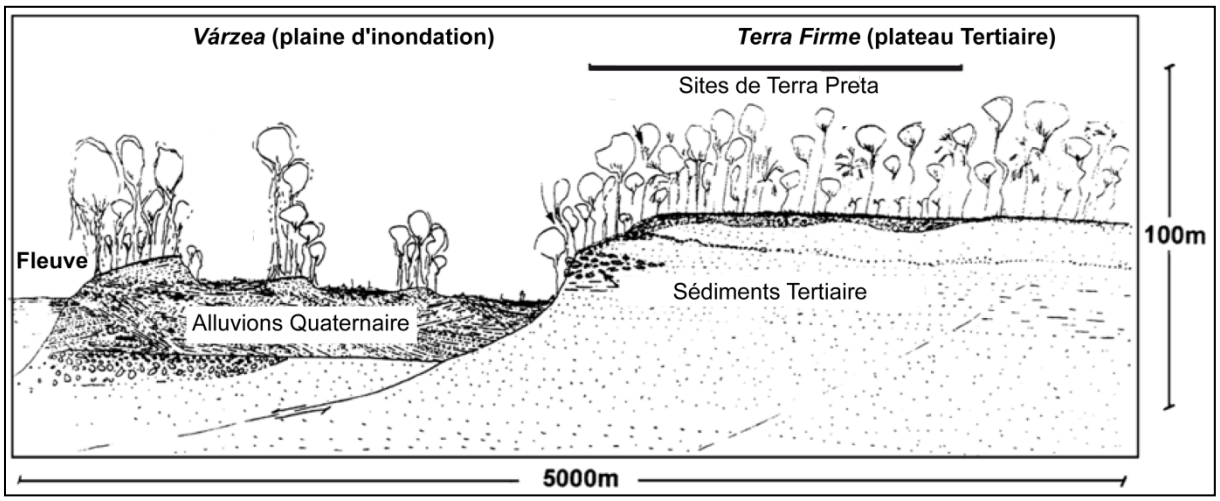


Figure 27 : Topographie typique des bordures des cours d'eau amazoniens brésiliens où les populations amérindiennes anciennes se sont préférentiellement installées favorisant la creation de Terra preta latu senso (modifié d'après Lima et al. 2002).

La formidable extension des sites de *Terra Preta latu senso* dans la région amazonienne brésilienne, est un argument important pour inférer que les populations anciennes ont occupé de grandes étendues de terrain sur de longues périodes (Kämpf & Kern 2005; Heckenberger & Neves 2009). Ces observations viennent confirmer celles faites par les premiers explorateurs, rapportant la présence de milliers d'habitants dans les villages sur les zones de *terra firme* (De Carvajal 1894, cité par Lima et al. 2002), présentant ainsi une population amérindienne beaucoup plus importante que ce que l'on a pu imaginer auparavant (Balée & Erickson 2006; Heckenberger & Neves 2009; McKey et al. 2010; Birk et al. 2011).

II.2. La *terra preta* dans les Guyanes

Dès les années 60, au Suriname et en Guyane française les chercheurs ont identifiés dans de nombreux sites des sols noirs, considérés comme provenant d'un enrichissement par les restes des populations occupant anciennement les lieux, sans pour autant qu'ils soient

directement apparentés à des *terra preta* (Geijskes 1961; Boyé 1963; Brinkman & Pons 1968, cités par van den Bel 2015). Suite à ces premières observations, et suivant les travaux de Sombroek (1966) sur les *terra preta* amazoniennes, au Suriname, les chercheurs réalisèrent des analyses établissant que ces sols archéologiques des Guyanes contiennent d'importante quantité de phosphore, ainsi que du calcium, par rapport aux sols naturels adjacents (De Boer 1972; van der Heide 1973 et Versteeg 1978, cités par van den Bel 2015). Toutefois, les travaux de De Boer (1972) montrent qu'outre le fait que ces anthroposols soient enrichis en phosphore, ils présentent une CEC plus basse que les *terra preta* d'Amazonie.

Les observations de Boomert (1983, 1993, 1994 cités par van den Bel 2015) sont en accord avec ce qui est alors démontré pour les terra preta amazoniennes, à savoir que l'épaisseur du niveau anthropique noir dépend de la durée d'occupation d'un site.

En Guyane française, ce sont les travaux de Rostain (1994) puis de l'archéologie préventive (Vacher et al. 1998) qui reprirent le terme de *terra preta* pour parler des niveaux noirs observés sur les sites archéologiques.

Plus récemment, au Guyana, les études menées par Whitehead et al. (2010) dans le cadre du projet Berbice, sur les rivières Berbice et Canje ont décrit la présence d'importants sites de *terra preta* datés autour de 5000 ans BP.

II.3. Profil pédologique type

On retrouve les *Amazonian Dark Earth* le plus souvent sur des Ferralsols et Acrisols[19] qui couvrent ensembles près de 70 % de l'Amazonie (Kern et al. 2004). D'autres types de sols peuvent également servir de base à la formation des ADE comme les Arenosols (sols sableux), les Podzols (sols lessivés) ou encore les Nitisols (un type de Ferralsol) (Lima et al. 2002; Kern et al. 2004; Glaser & Birk 2012) (**Tableau 3**). Comme précisé dans le chapitre 1, ces sols sont la plupart du temps épais et profonds, riches en sesquioxydes (hématite, goethite) et en argile de type kaolinite. Ils ont globalement un pH acide, sont assez pauvres en nutriments avec faible CEC, et présentent une microstructure agrégée à macroagrégée (WRB 2014).

Le fait de retrouver des ADE dans plusieurs écosystèmes différents démontre que les populations humaines à l'origine de leur formation, se sont adaptées à une grande variété d'environnement (« mosaïque paysagère »), et que le type de sol ne semble pas avoir été

[19] Dans ce travail, la classification des sols selon le système international est privilégiée (WRB 2014).

un facteur déterminant (ou limitant) pour leur installation (Kern et al. 2009; McMichael et al. 2014).

Système international : WRB 2014	Système français : RP 2008	Système brésilien : EMBRAPA 2006
Ferralsols / Oxisols	Ferrallitisols / Oxydisols	Latossolos
Cambisols	Alocrisols	Argissolos/ Cambissolos
Arenosols	Arénosols	Neossolos
Podzols	Podzosols	Espodossolos
Nitisols	Nitosols	Nitossolos

Tableau 3 : Essai de correspondance entre les systèmes de classification des sols.

II.3.1. Terra preta stricto sensu

La majorité des auteurs s'accordent pour décrire ces sols comme étant bien drainés, profonds avec une texture variant de sableuse à très argileuse. Un sol typique se compose de trois horizons principaux : un horizon A-anthropique ou A-modifié, un horizon dit de transition AB et un horizon B (Kern et al. 2004; Birk et al. 2011) (**Figure 28**).

L'horizon A, de couleur noir ou brun-gris très sombre (Munsell : 2,5YR2/0, 5YR2,5/1 ; 7,5YR2/0 à 3/1 ; 10YR2/0 à 3/1), est riche en matière organique et plus épais que dans les sols environnants. Son épaisseur varie de 30 à 60 cm, dans la grande majorité des sites étudiés par Kern et al. (2009), au moins 50 cm pour un sol argileux, et 70 cm pour un sol sableux, atteignant parfois 2 mètres d'épaisseur, quand l'horizon A des sols alentours ne fait que 10 à 15 cm d'épaisseur. Cette variation importante d'épaisseur de l'horizon A dans les sols anthropiques, peut être liée à la mélanisation de la surface du sol à travers l'irrégularité des rejets organiques, ainsi qu'aux divers processus de bioturbation (Costa et al. 2013). Certains auteurs corrèlent cette variation d'épaisseur à la période d'occupation du site : si l'épaisseur et l'étendue de l'horizon A sont importantes, la durée d'occupation du site aura été longue, et inversement pour un horizon A de *terra preta stricto sensu* peu épais (Kern et al. 2009). L'horizon A de ces anthroposols contient généralement de nombreux fragments de céramiques et/ou de lithiques (plus ou moins 1% par volume). Il se distingue des Ferralsols et Acrisols naturels par d'importantes concentrations en matière organique, en nutriments et en micro et macrocharbons. Les caractères morphologiques, physiques et chimiques des profils de *terra preta* peuvent varier au sein d'un même site, et entre les sites, dépendant des activités et de la configuration des communautés humaines anciennes, ainsi que des conditions environnementales (Kern et al. 2009). Certains auteurs, définissent simplement les *terra preta stricto sensu* comme un horizon A-modifié par rapport à un horizon A naturel (Lima et al. 2002).

Toutefois, la comparaison des profils d'ADE dans différents sites archéologiques, a mis en évidence que les activités humaines précolombiennes ont impacté les sols plus profondément qu'au-niveau du seul horizon A. En effet, le sol peut être transformé sur une grande profondeur par les processus pédogenétiques, liés à l'importante pluviosité, typique du domaine tropical humide, et à l'importante porosité caractéristique des Ferralsols et Acrisols. Cela va influencer le lessivage des argiles, la lixiviation des nutriments, la mélanisation ou encore la bioturbation dans les sols d'ADE (Kämpf & Kern 2005; Kern et al. 2009). Sous l'horizon A-modifié vient alors se former un horizon de transition AB de plusieurs centimètres d'épaisseur, contenant différentes tâches de couleurs, du brun (+/- jaunâtre ou rougeâtre) au gris en passant par le noir. Plus épais que dans les sols naturels, il est constitué d'un mélange de l'horizon A sus-jacent et de l'horizon B (oxique) sous-jacent (ibid.). Cet horizon de transition peut contenir d'importantes concentrations en phosphore et/ou calcium (Kämpf & Kern 2005; Arroyo-Kalin 2008).
L'horizon B sous-jacent (oxique) peut encore contenir quelques vestiges de l'anthropisation des sols, notamment lorsque la bioturbation et la pédoturbation sont très actives localement (Arroyo-Kalin 2008). Par exemple, Lima et al. (2009) ont mis en évidence la présence de microfragments d'os, dont certains étaient en décomposition dans cet horizon profond, avec des teneurs en phosphore et calcium encore assez élevées par rapport aux sols naturels adjacents.

Malgré toutes ces différences principalement chimiques, il apparaît que les ADE ne présentent pas de variations significatives en terme de morphologie ou de propriétés physiques par rapport aux sols adjacents naturels (Kern et al. 2003; Kämpf & Kern 2005). Ainsi, dans le cas des ADE argileuses, leur minéralogie ne se distingue pas de celle des sols naturels adjacents, puisque les argiles correspondent, la plupart du temps, à des kaolinites (Lima et al. 2009). Cela vient conforter l'hypothèse stipulant que ces anthroposols se sont formés à partir de la même matrice minérale que les sols naturels adjacents. Les ADE sont donc le résultat de la transformation du sol naturel *in situ* par les activités précolombiennes anciennes plutôt qu'un apport de matériaux exogènes (Glaser et al. 2004; Kern et al. 2004; Birk et al. 2011).

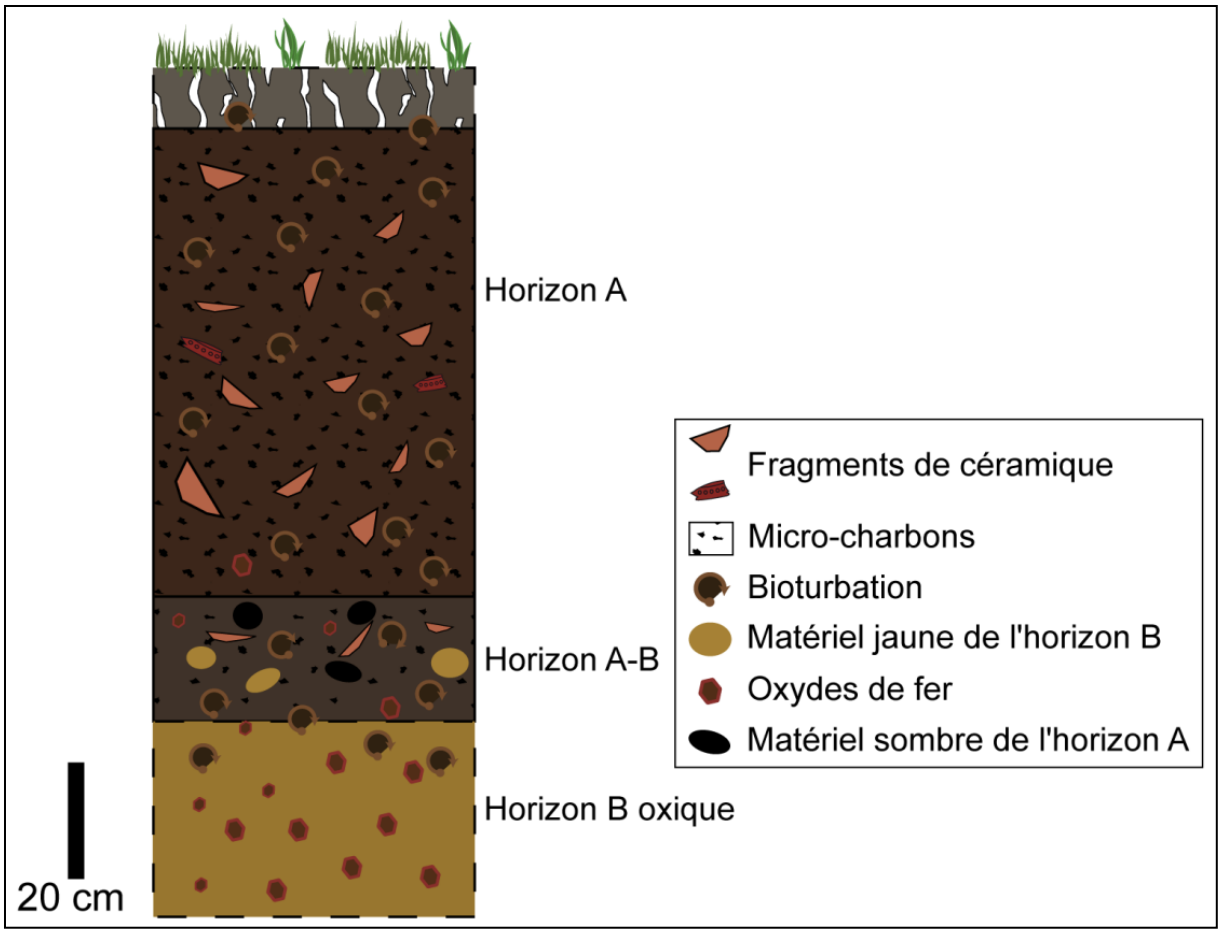


Figure 28 : Schéma d'un profil de sol typique de *terra preta* stricto sensu.

II.3.2. Terra mulata

La plupart du temps les *terra mulata* entourent les aires de *terra preta stricto sensu* en étant plus étendues. Un profil de *terra mulata* ressemble globalement à un profil de *terra preta*, avec trois horizons distincts, dont un horizon A-modifié, plus clair que celui de la *terra preta* de couleur brun-gris (value et chroma Munsell ≤ 3), un horizon de transition AB et l'horizon sous-jacent B (oxique). Les études menées sur les *terra mulata* démontrent qu'elles sont plus concentrées en matière organique (carbone organique) que les *terra preta*, tout en présentant des teneurs en phosphore et calcium assez basses, presque équivalentes aux sols naturels (Woods & McCann 1999; Sombroek et al. 2002; Denevan 2009; Costa et al. 2013). Elles contiennent néanmoins très peu d'artefacts, à la différence des *terra preta stricto sensu* ce qui permet de les distinguer assez rapidement sur le terrain.

II.4. Données archéologiques

II.4.1. Datation des Amazonian Dark Earth

Il est difficile de préciser exactement la période initiale de formation des *Amazonian Dark Earth*. Toutefois, les faits archéologiques permettent à l'heure actuelle de dire que ce sont les activités de populations d'agriculteurs-cueilleurs qui semblent à l'origine de leur formation. Dans les enregistrements archéologiques, les sites les plus anciens datent de l'époque précéramique, autour de 2 900 BC (4 800 BP) (Miller 1999, cité par Kämpf & Kern 2005 et Arroyo-Kalin 2008). Par la suite, l'établissement de zones d'occupations permanentes et peuplées à partir du 1er millénaire de notre ère aurait intensifié la formation de ces sols, par le rejet des résidus domestiques, les pratiques agricoles, etc. (Kämpf & Kern 2005). Les recherches récentes ont permis d'affiner encore ces dates, avec des sites de *Terra Preta* s'échelonnant entre 60 et 1 640 AD, pour la région du haut Xingu (Heckenberger et al. 2003; Schmidt 2010), et entre 550 BC et 1 400 AD pour l'Amazonie centrale (Neves et al. 2003). La période entre 500 et 1 500 AD correspondrait à une phase d'intense développement culturel (Sombroek et al. 2002). Ainsi, au vu des données archéologiques, la période qui s'étend entre le milieu du 1er millénaire BC et le 1er millénaire AD aurait permis une intensification du développement de la formation des ADE, en corrélation avec l'apparition de la tradition céramique *Incisée Rim* (ou *Barrancoïde Amazonien*) et de la tradition *Polychrome* (Neves et al. 2003; Neves 2008; Heckenberger & Neves 2009).

La genèse de ces sols s'est donc étalée sur plusieurs milliers d'années, de manière hétérogène et asynchrone, sur le territoire amazonien. L'arrivée des européens semble concorder avec l'arrêt de leur formation au Brésil, vers 1 500-1 600 AD (Kämpf & Kern 2005).

II.4.2. Artefacts

La grande majorité des artefacts mis au jour au sein des *terra preta stricto sensu* sont des céramiques, entières ou fragmentées. Les analyses archéométriques réalisées par Lima et al. (2002) sur des fragments de céramique provenant de sites archéologiques développés sur *terra firme* non loin de Manaus, ont mis en évidence la présence de paillettes de micas et d'argile de type illite (2:1) en abondance. Leurs résultats indiquent que l'argile servant à fabriquer les céramiques a été prélevée au niveau de la plaine alluviale de l'Amazone, unique source dans les environs à posséder de l'argile de type illite.

Les céramiques étudiées par Costa et al. (2003; 2010; 2011 et 2013) dans les sites d'ADE au Brésil et en Colombie (frontière avec le Brésil), sont jaunes à grises, globalement caractérisées par une matrice argileuse de type kaolinite, avec des grains de quartz et de micas, ainsi que des particules charbonneuses et cendreuses. Ces céramiques contiennent également deux types de fragments organiques calcinés qui servent à donner une certaine plasticité à la pâte de la céramique: 1) *cariapé*, ce sont des fragments d'écorce de différents arbres comme *Moquilea utilis*, *Licania utilis* ou *Moquilea turiuva*, et 2) *cauixi*, il s'agit de spicules d'éponges d'eau douce telles que *Tubella reticulata* ou *Parmula batesii*. Certaines céramiques présentent des caractéristiques liées à une combustion incomplète : une bordure extérieure gris clair, et une bordure intérieure marron à rouge brique (Costa et al. 2013). D'après les auteurs, il existe une corrélation entre la concentration en céramiques et les fortes concentrations en nutriments disponibles dans les *terra preta stricto sensu*, à mettre en lien avec les activités humaines anciennes dans ces zones. Cela concorde également avec leurs observations des profils de *terra mulata*, où aucuns restes archéologiques, céramique, ou autre, n'a été repéré (ibid.).

Ainsi, la présence, ou non, de céramiques est un indicateur, au sein d'un site, et entre les sites, de l'intensité des activités précolombiennes à l'origine des ADE, permettant en tout premier lieu de distinguer les *terra preta* des *terra mulata* (Arroyo-Kalin 2008; Costa et al. 2013).

Notons enfin que dans sa thèse, M. Arroyo-Kalin (2008) a remarqué que dans la plupart des profils de Terra Preta *latu senso* qu'il a étudié, les vestiges archéologiques se situent dans une succession stratigraphique concordante : les vieux artefacts sont retrouvés sous les plus récents.

III. Propriétés physiques et chimiques des ADE

III.1. Matière organique

Sous climat tropical humide, la température élevée et l'humidité ambiante entraînent une décomposition rapide de la matière organique des sols avec un rapide *turnover* (Sombroek et al. 2002; Glaser & Birk 2012). En sciences des sols, la quantité globale de matière organique du sol est évaluée par le dosage du carbone organique (Baize 2000; Duchaufour 2001).

Il apparaît ainsi dans les profils de *Terra Preta latu senso* que la teneur en carbone organique peut atteindre 250 $mg.kg^{-1}$ à 0-30 cm et 500 $mg.kg^{-1}$ jusqu'à 1 m de profondeur

(Glaser et al. 2001). En comparaison, les sols adjacents naturels ne contiennent que 100 et 149 mgC.ha^{-1} à respectivement 0-30 cm et 1 m. Ainsi, la séquestration du carbone est environ trois à quatre fois plus importante dans les anthroposols que dans les sols adjacents (Glaser et al. 2004). Les travaux de Glaser et al. (2001), Glaser et al. (2003), Glaser et al. (2004) et Solomon et al. (2007) démontrent que la matière organique est très stable dans les *Terra Preta latu senso* grâce à sa composition chimique particulière, formée de structures aromatiques condensées qui la rende résistante aux dégradations biochimiques. Cette matière organique est appelée «*black carbon*» (BC) et correspond à un continuum de produits de combustion, allant de la biomasse partiellement brûlée aux particules de suies hautement graphitisées (Fischer & Glaser 2012) (**Figure 29**). Ainsi, à la fin de la combustion continue, les résidus de suies (*soot*) présentent des propriétés très différentes des charbons (*charcoal*). De plus, les charbons contiennent assez de propriétés physiques et chimiques pour qu'il soit encore possible d'identifier la matière végétale dont ils proviennent, ce qui n'est plus le cas pour les suies (Masiello 2004). En effet, la grande majorité des particules de suie produites par de la carbonisation de biomasse végétale sont inférieures à 1 micromètre.

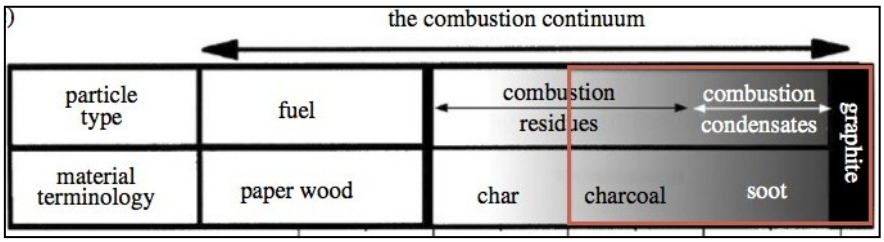


Figure 29 : Produits d'une combustion continue selon le type de particule (en haut) associé à la terminologie (en bas). Le rectangle rouge correspond à la fenêtre des biochars dont l'origine provient de combustions incomplètes de la matière organique (modifié d'après Fischer & Glaser 2012). Les charbons (charcoal) et les suies (soot) font partis de ce que B. Glaser nomme les biochars.

Selon Glaser (2007), les structures aromatiques condensées de cette matière organique trouvent leur origine dans des combustions incomplètes favorisant une oxydation lente à basse température et en présence d'une quantité d'oxygène limitée. Cela favorise la formation de biochars (ibid.). Ces derniers correspondent au produit de la transformation thermique en condition limitée en oxygène (pyrolyse ou carbonisation) et à des températures relativement basses (< 700 °C) de biomasse végétale ou animale, ayant pour objectif d'amender le sol (Stockmann 2011; Naisse 2014; Lehmann & Joseph 2009). La littérature agronomique française des 17ème et 18ème siècles distingue principalement le « charbon végétal » obtenu à partir de végétaux au sens large, du « charbon animal » ou « noir animal » produit à partir de matières animales azotées, mais le terme « charbon » ne comprend pas la destination agronomique du « biochar » (Naisse 2014 : 3). Les biochars

ainsi structurés présentent l'avantage, sur le long terme, d'augmenter la réactivité du carbone dans les sols, et d'être des « habitats » pour les microorganismes qui vont s'installer dans la porosité superficielle des charbons (Glaser 2007; Criscuoli et al. 2014). De manière générale, les biochars, par leur forte porosité et surface spécifique, augmentent la capacité de rétention en eau des sols (Streubel et al. 2011) et diminuent leur densité (Zhang et al. 2012). Les biochars, caractérisés par une forte capacité d'échange cationique (CEC), ainsi qu'un pH basique, améliorent significativement le potentiel de rétention de nutriments des sols dégradés (Major et al. 2010) mais n'influencent pas le pH du sol. De plus, en conservant tout ou partie des éléments minéraux de la biomasse d'origine (N, P, K, S), ils constituent une source stable pour la nutrition minérale des plantes sur le long terme, en favorisant significativement la diminution de la lixiviation des nutriments dans les sols (Steiner et al. 2007; Steiner et al. 2008; Novak et al. 2009). Ils sont alors chimiquement stables et résistants à la dégradation microbienne, leur permettant de persister dans l'environnement durant des siècles (Glaser et al. 2004).
De plus, l'apport sur le long terme de charbons endigue les processus d'éluviation des argiles, confirmant la forte cohésion entre particules minérales et organiques (Naisse 2014). De récentes recherches sur les biochars indiquent qu'en offrant une structure physique autour de laquelle peuvent s'organiser des filaments mycéliens, les biochars ajoutés à un sol favorisent l'agrégation, améliorent l'aération, la capacité d'exploration racinaire, ainsi que l'incorporation de résidus de plantes (Naisse 2014).
Les biochars peuvent être distingués des charbons en ce sens qu'ils sont produits dans le but d'être incorporés dans les sols pour augmenter leur productivité. C'est alors le processus de production des biochars et leur usage qui permet de les distinguer des charbons.

S'ils sont retrouvés aujourd'hui dans les sols des ADE, cela vient confirmer leur stabilité dans un environnement dit « extrême » comme le milieu tropical humide, durant plusieurs milliers d'années (Glaser & Birk 2012). Sur cinq sites d'Amazonie centrale analysés par Glaser et al. (2001), il ressort que les *Terra Preta lato sensu* contiennent au moins 70 fois plus de biochars que les Ferralsols adjacents. Il semblerait ainsi qu'un processus de combustion incomplète soit nécessaire pour transformer un puits de carbone instable (présent dans les sols naturels amazoniens) en de la matière organique stable, principale source de l'incroyable fertilité des *terra preta* (Glaser et al. 2001; Glaser et al. 2004; Glaser 2007; Glaser & Birk 2012).

En résumé, le terme de biochar est approprié lorsque les matières organiques brûlées sont ajoutées aux sols de manière délibérées afin d'améliorer les propriétés physico-chimiques des sols (Barrow 2012). Le problème avec ce terme c'est qu'il est très générique, englobant un grand nombre de produits, dont les propriétés et les qualités varient en fonction du mode d'obtention (ibid.).
Dans ce travail, lorsque ce terme de biochar est employé il est considéré, en accord avec la bibliographie, comme regroupant à la fois les charbons, ainsi que toutes les matières organiques (aussi bien animale que végétale) qui ont pu être brûlées, dans des conditions limitées en oxygène, et à assez basse température, par les populations précolombiennes, puis qui ont été incorporées dans les sols.
Les charbons comptabilisés dans ce travail correspondent ainsi à des biochars.

III.2. pH

Les sols d'Amazonie sont naturellement très acides avec un pH aux alentours de 4, induisant des taux importants d'aluminium échangeables, entrainant une véritable toxicité pour les plantes (Glaser & Birk 2012). Or, les *Terra Preta lato sensu* sont moins acides, avec des valeurs de $pH_{(H2O)}$ allant de 4,3 à 6,6 pour une moyenne à 5,6, rendant d'autant plus favorables la croissance des plantes sur ces sols puisque le milieu est alors moins favorable aux ions aluminium (Falcão et al. 2009).

III.3. Capacité d'Échange Cationique (CEC)

Les Ferralsols et Acrisols amazoniens sont caractérisés par une importante concentration en argile kaolinite associée à une prédominance du quartz comme minéral principal. Or, aussi bien la kaolinite, que le quartz, possèdent une très faible capacité de rétention des nutriments (< 12 $cmol.kg^{-1}$), qui se mesure avec la capacité d'échange cationique, ou CEC (Glaser & Birk 2012). Dans les *terra preta stricto sensu*, l'importante CEC mesurée, entre 13 et 25 $cmol.kg^{-1}$, est liée à la matière organique du sol qui est trois ou quatre fois supérieure aux sols naturels (Sombroek 1966; Glaser et al. 2003; Glaser 2007; Falcão et al. 2009). Ce n'est pas tant la quantité que la qualité qui rend cette matière organique responsable de l'augmentation de la CEC (Glaser & Birk 2012). Comme nous l'avons précisé plus haut, ce sont les structures moléculaires de la matière organique qui favorisent la rétention des nutriments (Glaser et al. 2004; Glaser & Birk 2012). Ainsi, les *terra preta stricto sensu* présentent une bien meilleure CEC que les sols naturels amazoniens (ibid.).

III.4. Nutriments

III.4.1. terra preta stricto sensu

Une des fonctions essentielle du sol consiste à fournir à la plante les éléments nutritifs (nutriments) qui lui sont nécessaires pour vivre (Duchaufour 2001). La fertilité d'un sol se mesure alors entre autre, par sa réserve en nutriments disponibles pour les plantes.

On distingue les nutriments de base, absorbés souvent en quantité élevée par la plante : azote, phosphore, calcium, magnésium, potassium, et les éléments traces ou micronutriments (ou oligoéléments) indispensables à faible dose : bore, fer, zinc, manganèse, cuivre. Parmi ces derniers, certains peuvent s'avérer toxiques s'ils sont en excès, comme le zinc, le manganèse ou le cuivre. En revanche, certains éléments, comme l'aluminium des sols acides, ont une action négative, voire toxique, sur les plantes (Baize 2000; Duchaufour 2001).

Dans le milieu tropical humide, où les sols naturels sont acides, pauvres en nutriments et ne contiennent ces éléments qu'en très petite quantité, il semble évident que l'altération des sols naturels n'est pas la source qui confère aux *terra preta stricto sensu* leurs importantes concentrations en nutriments (Glaser 2007).

Les analyses chimiques réalisées dans les ADE montrent que le site archéologique, en lui-même, est une « anomalie » par rapport au contexte environnemental « naturel». On observe des variations de concentration des nutriments au sein même des sites et entre les sites. La signature chimique typique des *terra preta stricto sensu* comprend globalement phosphore, calcium, potassium, magnésium, cuivre, manganèse et zinc (Kern 1996; Costa & Kern 1999; Falcão et al. 2009; Costa et al. 2013). Chaque nutriment a son importance pour comprendre ces anthroposols (**Tableau 4**).

Il est intéressant de noter que Sombroek (1966), ainsi que Woods & McCann (1999) ont pu mettre en évidence que les plus fortes concentrations de phosphore se trouvent dans les *terra preta* argileuses par rapport aux *terra preta* développées sur sols sableux (**Tableau 4** : les deux premières lignes de chaque nutriment sauf pour Mn).

Le phosphore est *a priori* un élément très peu mobile dans le sol. Il devrait donc rester concentré dans les horizons superficiels du sol. Or, plusieurs auteurs ont remarqué d'importantes teneurs en phosphore dans des profils de *terra preta* à plus de 100 centimètres de profondeur (Andrade 1986; Kern 1996; Costa & Kern 1999). Concernant l'aluminium et le fer disponibles, il semblerait qu'il n'y ait pas une grande différence entre les valeurs mesurées au sein des ADE par rapport aux sols naturels adjacents (Lima et al. 2009).

III.4.2. Terra mulata

Globalement, dans leur étude, Costa et al. (2013) ont démontré que les *terra mulata* présentent des concentrations en phosphore, calcium, magnésium, manganèse, zinc, cuivre, barium et strontium, comprises entre les teneurs élevées des *terra preta stricto sensu* et les valeurs basses des sols naturels (**Tableau 4**). D'après ces auteurs, il est difficile, pour l'instant, d'identifier une signature chimique propre aux *terra mulata* par rapport aux *terra preta stricto sensu*. Toutefois, leurs résultats permettent de démontrer que les *terra mulata* présentent partiellement la signature chimique des *terra preta stricto sensu* (ibid.).

Il est important de préciser qu'il est difficile de comparer tous les résultats directement entre eux puisque les méthodes d'analyse ne sont pas les mêmes. Il semble ainsi plus pertinent de comparer les résultats de chaque auteur.

Nutriments	Concentrations (en ppm[20])			Références
	terra preta stricto sensu	***terra mulata***	**Ferralsols / Oxisols**	
Phosphore (P)	600 > 200 et jusqu'à 600 5000 à 8000 (0-70 cm) ; 3000 à 6000 (70-140 cm) P dispo : 3900 à 3600	200 - 1400 et 2600 (0-70 cm) ; 2600 à 1600 (70-140 cm) 50 et 500	< 25 (sableux) ; ≈ 50 (argileux) ≈ 5 160 et 250 700	Woods & McCann 1999 Falcão et al. 2009 Arroyo-Kalin 2010 Costa et al. 2013
Calcium (Ca)	600 20800 à 400 12000 à 16000 (0-70 cm) ; 6000 à 12000 (70-140 cm) de 1800 (sans CE) à 3100 (avec CE)	150 - 50 à 200 20 et 300	≈ 25 (sableux) ; ≈ 30 (argileux) - 100 -	Woods & McCann 1999 Kern et al. 2004 Arroyo-Kalin 2010 Costa et al. 2013
Potassium (K)	≈ 90 proche de 200 500 à 350 (0-70 cm) ; 350 à 200 (70-140 cm) 1400 à 1100	≈ 50 - ≈ 50 -	≈ 25 (sableux) ; ≈ 35 (argileux) < 200 - 800	Woods & McCann 1999 Falcão et al. 2009 Arroyo-Kalin 2010 Costa et al. 2013
Magnésium (Mg)	≈ 100 1 700 700 à 400 (0-70 cm) ; 550 à 200 (70-140 cm) 800 à 500	≈ 40 - 50 à 100 20 et 70	< 25 (sableux) ; ≈ 40 (argileux) - - 400	Woods & McCann 1999 Kämpf & Kern 2005 Arroyo-Kalin 2010 Costa et al. 2013
Cuivre (Cu)	≈ 5 - 17 et 15,5	≈ 3,5 - -	< 2,5 (sableux) ; ≈ 3 (argileux) de 1 à 4 9,8	Woods & McCann 1999 Arroyo-Kalin 2010 Costa et al. 2013
Manganèse (Mn)	500 750 à 350 (0-70 cm) ; 400 à 200 (70-140 cm) entre 180 (sans CE) et 290 (avec CE)	- 20 à 140 (0-70 cm) ; ≈ 15 (70-140 cm) -	- - 15 à 20 < 100	Lima et al. 2002 Kämpf & Kern 2005 Falcão et al. 2009 Arroyo-Kalin 2010 Costa et al. 2013
Zinc (Zn)	≈ 11 50 entre 55 (sans CE) et 65 (avec CE)	≈ 5 - -	≈ 2,5 (sableux) ; ≈ 7 (argileux) - 22	Woods & McCann 1999 Falcão et al. 2009 Costa et al. 2013

Légende : avec CE : présence de céramique dans les profils de *terra pretastricto sensu* ; sans CE : absence de céramique.

Tableau 4 : Concentrations (en ppm) de certains nutriments dans les *terra preta stricto sensu*, les *terra mulata* et les sols naturels adjacents type Ferralsols/Oxisols selon différentes sources bibliographiques.

[20] 1 ppm = 1 mg/kg

IV. Les ADE : une origine anthropique

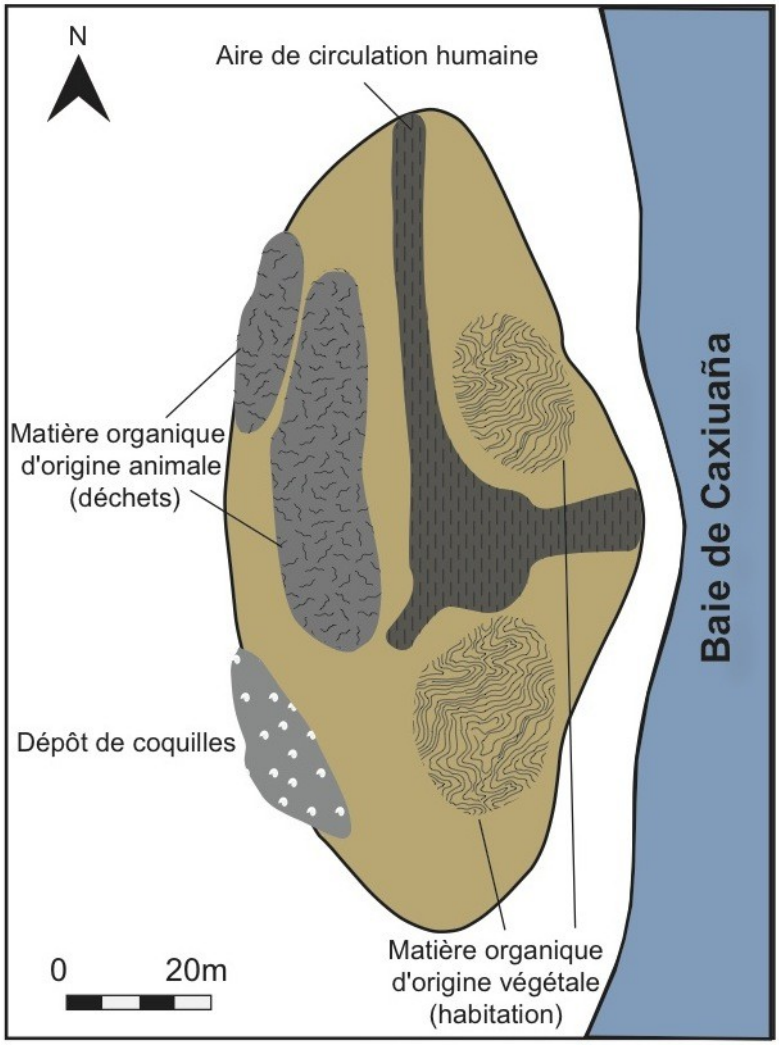
IV.1. Terra preta stricto sensu

IV.1.1. Origine de la matière organique et des nutriments

La raison d'une telle quantité de charbons accumulée dans les *terra preta stricto sensu* n'a été qu'en partie résolue, car il est difficile de distinguer un charbon provenant de l'action anthropique d'un charbon d'origine naturelle, de par sa structure, sa chimie ou par des paramètres biologiques (Glaser 2007). Toutefois, les études expérimentales réalisées par Glaser et al. (2001), montrent que 25 feux naturels de forêt auraient été nécessaires, dans une même zone, pour accumuler la quantité de charbons que l'on trouve dans les *terra preta stricto sensu*. Puisque naturellement les feux de forêt en Amazonie sont courants, il serait logique que sur plusieurs milliers d'années, tous les sols d'Amazonie présentent un taux notable de charbon, et très certainement une fertilité importante, ce qui n'est visiblement pas le cas sur ce territoire (ibid.). Ces travaux indiquent que les teneurs en charbons ou biochars dans ces anthroposols, sont alors liées à un ajout important et prolongé de matière organique carbonisée qui peut trouver son origine dans la production de charbons de bois par les feux domestiques de basse intensité, communément utilisés par les populations pour préparer la nourriture ou brûler les déchets (Woods & McCann 1999; Glaser et al. 2001; Glaser et al. 2003). Une autre contribution à l'apport de charbons serait la carbonisation incomplète, type brûlis, de résidus végétaux pour la préparation des zones agricoles (Denevan 2004).

Concernant les importantes concentrations en nutriments, il est aujourd'hui admis que les fortes teneurs en phosphore et calcium proviennent des résidus d'os (apatite) (Glaser et al. 2001; Lima et al. 2002; Schaefer et al. 2004; Arroyo-Kalin et al. 2009; Costa et al. 2013). Des études archéozoologiques ont révélé que les os extraits des *terra preta stricto sensu* sont issus principalement de petits mammifères, de poissons ou de tortues (Glaser 2007). Arroyo-Kalin et al. (2009) indiquent que les cendres font également partie des rejets, qui vont enrichir en calcium, potassium, magnésium et phosphore ces anthroposols. D'autre part, les concentrations en phosphore, plus importantes que les autres éléments, proviendraient essentiellement des excréments humains selon les analyses des biomarqueurs réalisées par Birk et al. (2011). Ainsi, les différents stocks de nutriments

présents dans les *terra preta stricto sensu* trouvent leur origine dans la biomasse des plantes, les os de mammifères et de poissons, les cendres et les excréments humains, ajoutés aux sols amazoniens naturels par les populations amérindiennes anciennes. Les études menées par Costa & Kern (1999) et Kern et al. (2004) montrent que certains sites archéologiques présentent des zones de nutriments dans lesquelles la distribution du phosphore, du calcium, du magnésium, du zinc et du manganèse sont bien délimitées. Les auteurs ont ainsi pu reconstituer hypothétiquement un modèle d'occupation par les populations précolombiennes, de certains sites, comme le site de Manduquinha, sur les bords de la rivière Caxiuana, grâce aux résultats obtenus sur les taux de nutriments (ibid.) (**Figure 30).**



Légende :
Matière organique d'origine animale : Mg-P
Matière organique d'origine végétale (palmes, arbres, fruits, etc.) : Mn-Zn-Cu
Dépôt de coquilles : Ca-Sr-Ba-Cl.

Figure 30 : Modèle d'occupation hypothétique du site de Manduquinha en fonction des données chimiques (modifié de Kern et al. 2004).

En outre, la quantité importante de céramiques retrouvées généralement dans les *terra preta stricto sensu* va leur conférer des propriétés physiques et hydriques spécifiques (Teixeira et al. 2010). En effet, les pores des céramiques peuvent être remplies d'eau durant les périodes pluvieuses et lors des phases plus sèches, l'eau qui s'y est accumulée va se déplacer dans la matrice du sol, se rendant disponible pour les plantes. Ces propriétés confèrent à ces anthroposols un potentiel de rétention d'eau élevé (ibid.).

IV.1.2. Les sources ethnographiques et historiques

Les études ethnographiques apportent un éclaircissement complémentaire sur l'origine des nutriments dans les ADE. Les amérindiens actuels ont, par exemple, pour habitude de balayer chaque jour leur lieu de vie, ainsi que leur jardin (Duin 2009). Ces déchets sont collectés dans une zone bien particulière, puis brûlés, une fois par semaine, environ. La cendre et le reste des matières organiques carbonisées sont ensuite mélangés au sol du jardin, le rendant plus fertile et plus foncé. Cette nouvelle terre est alors placée autour des arbres ou dans des pots, comme fertilisant. Périodiquement, après plusieurs années, le site de combustion est déplacé et un arbre est planté à son emplacement (Schmidt & Heckenberger 2009; WinklerPrins 2009; Schmidt et al. 2014). Certaines tribus amérindiennes telles que les Yanomamis entretiennent le feu de bois qui se trouve à l'intérieur de la maison communautaire, jour et nuit, apportant une quantité non négligeable de charbons aux déchets (Pavia 1995).

Un autre exemple tiré des observations ethnographiques s'intéresse au palmier, qui a toujours eu plusieurs utilisations dans les communautés amérindiennes et métissées (*caboclos*). L'importance du palmier dans la vie de tous les jours des populations amazoniennes, passées et présentes, et sa composition chimique particulière, laissent penser aux chercheurs que les restes de palmier contribuent à l'élévation de certains éléments chimiques dans les *terra preta stricto sensu*, principalement le zinc et le manganèse (Kern et al. 2004).

Ajoutées aux déchets, les pratiques funéraires ont pu également jouer un rôle dans les concentrations en nutriments dans les anthroposols. Actuellement, plusieurs groupes amérindiens brûlent leurs morts, en laissant la cendre sur le lieu de la crémation s'ils ne la boivent pas lors d'un rituel. D'autres communautés abandonnent simplement la maison ou même le village, en laissant le mort dans un hamac, ou en mettant le feu à la maison (Migliazza 1964; Ramos 1971, 1980, cités par Kern et al. 2004). Les populations

précolombiennes disloquaient et brûlaient plusieurs fois leurs morts et déposaient les restes dans des urnes funéraires qui étaient placées dans le village (Simoes 1972, cité par Kern et al. 2004). Ces pratiques cultuelles peuvent ainsi induire des variations chimiques dans les sols.

IV.2. Terra mulata

Comme précisé précédemment, les concentrations en matière organique dans les *terra mulata* sont plus importantes que dans les *terra preta stricto sensu*. Leur large extension géographique autour de ces dernières, et le fait qu'elles ne contiennent aucunes céramiques, amènent la majorité des chercheurs à s'accorder pour dire que les *terra mulata* sont associées aux activités traditionnelles d'agriculture (Sombroek 1966; Woods & McCann 1999; Denevan 2009; Arroyo-Kalin 2010; Costa et al. 2013). Woods & McCann (1999) ont suggéré que ce serait la combinaison, sur le long terme, d'activités agricoles telles que les activités d'abattis-brûlis associées à de fréquents feux anthropiques qui auraient fourni cette quantité relativement élevée de particules charbonneuses. Cela aurait permis d'apporter des charbons et des cendres au sol, augmentant ainsi le pH et supprimant la toxicité des ions aluminium, favorisant d'autant l'activité biologique et la croissance des plantes (Woods & McCann 1999; Denevan 2009). Toutefois, Denevan (2009) en accord avec certains résultats de Woods & McCann, revient davantage sur la pratique originelle des feux. En effet, d'après lui la fertilité des *terra mulata* est liée à une activité de combustion productrice surtout de charbons, qui, à la différence des cendres, ne sont que très peu dégradables. Ainsi, il parle d'activités de *slash-and-char («picar e chamuscar»),* où les restes végétaux brûlés sont encore humides, produisant des charbons issus de combustions incomplètes (Denevan 2009). Le principe du défrichage actuel par brûlis (*slash-and-burn*) consiste à brûler des restes végétaux préalablement séchés, relarguant alors dans l'atmosphère environ 97 % du carbone accumulé par la végétation quant le *slash-and-char* n'en relâche qu'environ 50 %. Les études d'Arroyo-Kalin (2010) confirment que les *terra mulata* sont le résultat de combustions continues à basse température près de la surface du sol, couplées à des amendements organiques.

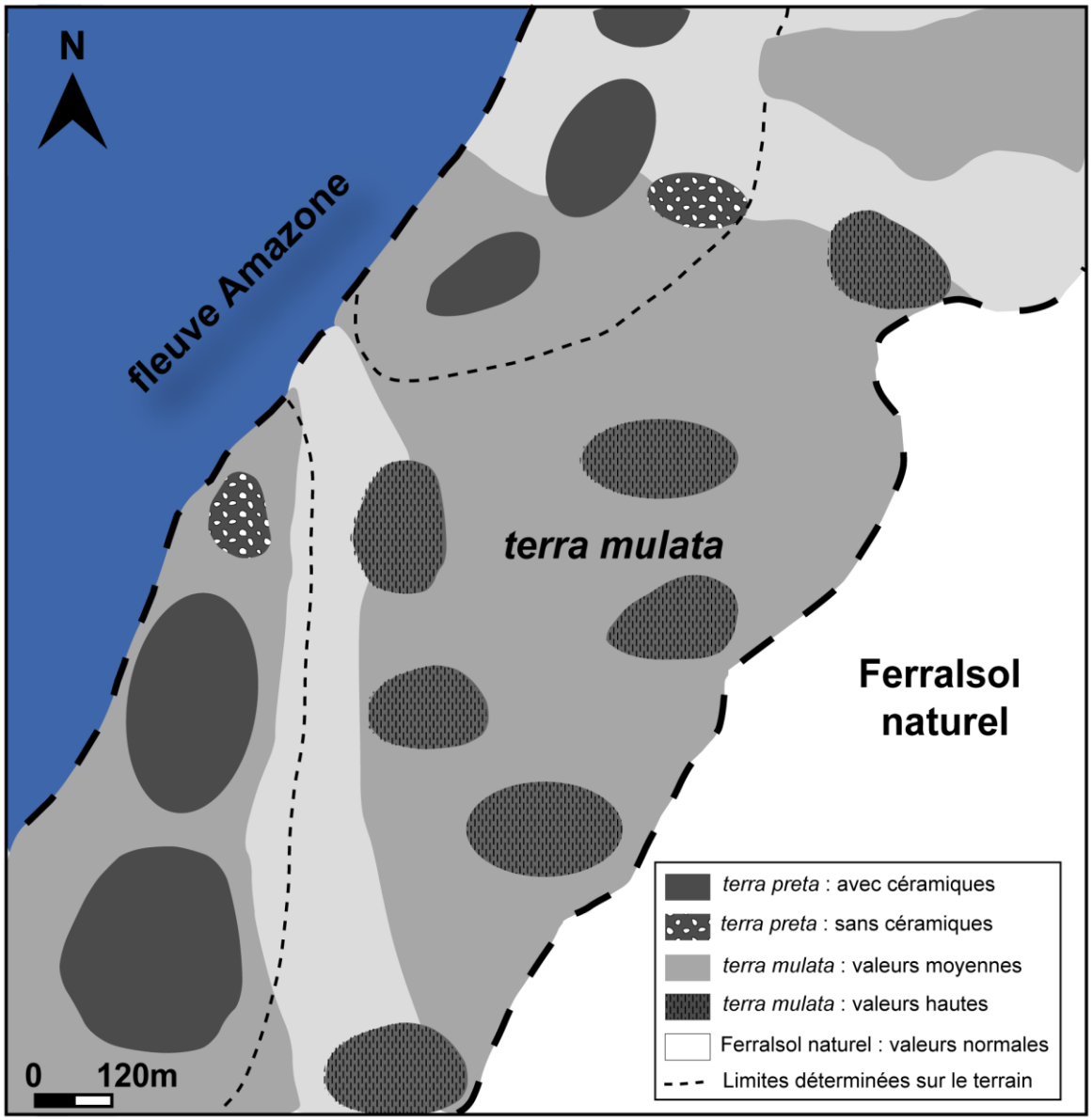
En effet, la teneur élevée en matière organique dans les *terra mulata* pourrait être également liée à un possible déplacement de la matière organique présente au niveau des habitations, dans les zones de cultures, afin de fertiliser les sols. Les populations amérindiennes anciennes auraient ainsi utilisé des fertilisants naturels en collectant, de manière intentionnelle, leurs déchets domestiques, principalement les charbons et les cendres, dans le but de les épandre sur des sols à visée agricole, afin de fertiliser le terrain

(Woods & McCann 1999). Ce principe du compostage serait par la suite maintenu à des niveaux élevés grâce à l'activité microbienne du sol (Denevan 2009). D'après l'auteur, les cultures permettant de former les *terra mulata* proviendraient d'une agriculture semi-permanente du fait d'un envahissement rapide par les mauvaises herbes sur ces sols fertiles, impliquant un abandon tout aussi rapide des zones agricoles (ibid.). En outre, il est intéressant de noter que les concentrations en matière organique et en phosphore obtenues dans les *terra mulata* correspondent aux concentrations enregistrées dans les anciennes terrasses agricoles construites dans les Andes péruviennes pour la culture du maïs (Branch et al. 2007, cité par Costa et al. 2013).

En outre, historiquement, une pratique agricole telle que l'écobuage peut permettre de mieux comprendre l'origine de la matière organique présente dans les *terra mulata*. Couramment pratiquée en France, au cours des 16ème et 17ème siècles, cette technique consiste en une semi-combustion de la couche superficielle de l'humus des sols, des végétaux herbacés et ligneux, contenus dans une parcelle à défricher (Naisse 2014). Certains auteurs remarquent la nécessité d'un feu lent et couvert, qui va laisser des cendres noires ou grises plutôt que rouges et blanches (Sigaut 1975 cité par Naisse 2014). L'écobuage correspond donc à une technique de production de matériaux charbonneux, à partir de biomasse végétale non exclusivement ligneuse, avec pour objectif de fournir un amendement aux cultures, ce qui correspond à la définition moderne du biochar (Naisse 2014).
L'écobuage présentait de nombreux intérêts dans une agriculture dépourvue d'herbicides, de fongicides et d'insecticides, puisqu'elle permettait d'éliminer pendant plusieurs années les adventices et leurs graines, les insectes nuisibles et leurs larves, ainsi que les parasites cryptogamiques (Sigaut 1975 cité par Naisse 2014). Les auteurs du 18ème siècle avaient imputé à cette pratique une diminution de l'acidité du sol, ainsi qu'un rôle important dans l'apport d'éléments nutritifs. Sigaut (1975) signale à ce titre que le rôle fertilisant des cendres est connu depuis Pline l'Ancien (1er siècle) et il faudra attendre près d'un siècle pour que Justus von Liebig (1840) élabore la théorie de nutrition minérale des plantes (cités par Naisse 2014).

Finalement, aujourd'hui, la communauté scientifique s'entend pour considérer ce niveau, beaucoup plus étendu que les *terra preta stricto sensu*, comme étant le produit de pratiques agricoles anciennes intensives (Denevan 2004). Les occurrences de *terra mulata* enregistrées indiquent une vaste expansion géographique du phénomène sur le territoire amazonien. L'association spatiale entre *terra mulata* et *terra preta stricto sensu* apporte un modèle d'occupation ancien : les aires restreintes de *terra preta* correspondent aux

vestiges des anciennes zones d'habitat, entourées par des zones plus étendues de *terra mulata*, qui représenteraient les terres agricoles (**Figure 31**).



Légende : valeurs moyennes et hautes : enrichissement relatif par rapport au Ferralsol naturel adjacent qui présente des valeurs normales (cf. **Tableau 6**).

Figure 31 : Reconstitution de l'occupation des sols sur le site de Juruti, en fonction des résultats chimiques et de la présence ou non des céramiques (modifié d'après Costa et al. 2013).

Il est intéressant de noter que les conclusions auxquelles aboutissent les chercheurs s'avèrent vérifiées sur le terrain par les agriculteurs brésiliens actuels. En effet, la *Terra Preta lato sensu* est perçue comme la terre la plus fertile par rapport aux sols naturels, au sein desquels deux variétés sont reconnues : une supérieure (*legitima*) et une inférieure

(*ifraca*) d'un point de vu de la fertilité des sols (Woods & McCann 1999). Ces deux variétés de sol pourraient correspondre respectivement aux *terra preta stricto sensu* et aux *terra mulata* (ibid.).

Il convient néanmoins de modérer la classification de ces anthroposols amazoniens en seulement deux catégories distinctes. En effet, d'après les travaux de Fraser et al. (2011) les ADE sont bien plus diversifiées et révèlent un gradient de fertilité hétérogène, formant alors un continuum entre sols naturels et *terra preta stricto sensu*.

V. Des données plus récentes sur les ADE

V.1. Le rôle des microorganismes et de la macrofaune du sol

Les microorganismes du sol, composés de bactéries, d'archéobactéries et de champignons, assurent des fonctions essentielles. Ils minéralisent en partie la litière décomposée soit la matière organique du sol et immobilisent l'azote inorganique prévenant ainsi les pertes en nutriments lors d'infiltration d'eau, en périodes de saisons des pluies par exemple (Gobat et al. 1998). Il a été observé par Glaser et al. (2003) que l'ajout de charbons à un Ferralsol augmente sa biomasse microbienne. En effet, Kim et al. (2007) ont démontré que dans un sol de *terra preta stricto sensu* il y a une diversité microbienne qui est 25 % plus importante que dans les sols adjacents naturels. De la même manière, les microorganismes ont une vitesse de croissance qui augmente après l'apport de charbons à un Ferralsol (Steiner et al. 2004, cité par Glaser 2007). Il semble fort probable que la structure poreuse des charbons serve d'habitat à ces microorganismes (Glaser 2007). D'après Grossmann et al. (2010) il est évident que les transformations que le sol naturel a subi lors des activités anthropiques anciennes ont grandement modifié les communautés de microorganismes.
Les invertébrés de la macrofaune jouent également un rôle clé dans le fonctionnement des sols. Ils décomposent la litière et l'incorporent au sol, ils construisent et maintiennent la structure du sol en creusant des galeries et en modifiant l'agrégation du sol, ils contrôlent en partie la diversité et les activités microbiennes, et protègent les plantes contre les maladies et les pathogènes (Blanchart 1992; Blanchart et al. 2004). Les travaux de Topoliantz & Ponge (2003 et 2005), Ponge & Topoliantz (2006) et Marichal et al. (2012) portant sur *Pontoscolex corethrurus* (*Annelida: Oligocheata: Glossoscolecidae*), vers de terre endogés vivant dans le bassin Amazonien, indiquent qu'il pourrait être le principal

agent responsable de l'incorporation des microparticules charbonneuses (de la taille des limons) dans l'horizon A des ADE, favorisant d'autant la formation d'humus stable.

V.2. La micromorphologie des sols

La micromorphologie des sols permet d'appuyer, ou non, certaines des hypothèses émises par les chercheurs concernant la genèse des ADE, par l'analyse de ces anthroposols à l'échelle microscopique.

Ce sont tout d'abord des pédologues (Lima et al. 2002; Schaefer et al. 2004) qui utilisèrent les premiers la micromorphologie des sols pour étudier les ADE, en les comparant aux Ferralsols naturels. Lima et al. (2002) ont ainsi analysé les sols le long d'un transect allant des sols de *terra firme* jusqu'à la plaine alluviale de l'Amazonie, dans la région de Manaus. Grâce à la micromorphologie, ils tentent d'identifier la variabilité entre les profils de Terra Preta *lato sensu* en fonction du matériel originel et de la topographie. Leurs résultats indiquent que l'horizon A des Terra Preta *lato sensu* présente une structure agrégée typique, avec des microagrégats < 50 µm, et des macroagrégats > 250 µm, ainsi que des terriers et des chenaux, provenant de l'action de la faune du sol (vers de terre, termites). Ils mettent en parallèles cette agrégation, avec les teneurs en calcium disponible dans l'horizon A, du fait de l'humification importante, favorisant l'activité de la faune du sol. De plus, les agrégats ainsi formés sont assez stables, rendant la matière organique moins soluble. Les auteurs remarquent, en outre, l'efficacité de la bioturbation pour mélanger les horizons A et B sous-jacent comme l'indiquent les chenaux de vers de terre remplis de matrice sombre dans l'horizon B, et inversement avec du matériel de l'horizon sous-jacent B dans l'horizon organique A. Dans l'horizon B, ils font le lien entre la présence d'agrégats oxydés et les figures de lessivage des argiles (argillanes[21]) le long des terriers, des chenaux et des agrégats. Enfin, d'après leurs observations, la concentration des fragments de charbons dans l'horizon A indique une longue période d'occupation du site, suivie d'une période d'intense bioturbation par la faune du sol (Lima et al. 2002).

A la suite de ces travaux, Ruivo et al. (2003) font une synthèse de l'intérêt que peut apporter l'étude micromorphologique des ADE pour répondre plus particulièrement aux questionnements archéologiques. Par exemple, l'étude des variations spatiales au sein d'un site, déjà démontrées par la présence de *terra preta* et de *terra mulata,* peut être plus approfondie par cette méthode. Les liens entre processus pédogénétiques et anthropiques, permettant la formation des ADE, peuvent également être appréhendés

[21] Revêtements argileux dans la porosité d'un sol (Lozet & Mathieu 1990).

grâce à la micromorphologie, aussi bien au sein d'un même site, que plus largement entre les sites. De plus, d'après les auteurs, les lames minces des profils des ADE sont en elles-mêmes des vestiges archéologiques qu'il est essentiel de préserver (Ruivo et al. 2003).

Ainsi, les travaux géoarchéologiques de M. Arroyo-Kalin (2008, 2009, 2010, 2012, Arroyo-Kalin et al. 2009; Arroyo-Kalin 2014) viennent s'insérer dans cette perspective permettant de compléter les premières observations des pédologues en les élargissant à divers profils d'ADE provenant de six sites archéologiques du projet *Central Amazônia*, répartie autour de la ville de Manaus. L'auteur allie la micromorphologie aux analyses physico-chimiques et à des mesures de susceptibilité magnétique des sols. Les travaux présentés ici sont inspirés de ses analyses. Il a pu observer une hétérogénéité significative entre les anthroposols, aussi bien en terme de variation de texture, plutôt argileuse ou sableuse, qu'entre *terra preta stricto sensu* et *terra mulata*. Selon ses observations, il semblerait que les profils plus sableux ne soient pas favorables à la préservation des petites particules, résultat d'un processus d'érosion différentielle où les matériaux fins vont être entrainés plus facilement. Ce type de profil possède alors un appauvrissement en fraction fine argileuse, diminuant le volume de sédiment sur lequel peuvent se concentrer les divers nutriments essentiels à la fertilisation d'un sol (ibid.). Ses observations micromorphologiques l'amènent à décrire les *Terra Preta lato sensu* comme des sols cumuliques, présentant d'importantes inclusions microscopiques d'origine anthropique, le tout mélangé par la bioturbation. Il a pu corréler les concentrations en nutriments dans les horizons A des *terra preta stricto sensu* argileuses à la présence de constituants anthropiques microscopiques tels que des os, des charbons, des spicules d'éponge, des céramiques, ou encore des agrégats d'argiles rubéfiées. Concernant les apports cendreux il rapporte que les figures de revêtements argileux observées dans l'horizon A seraient liées aux concentrations en potassium provenant du lessivage des cendres, encourageant l'illuviation des argiles dans des sols plutôt acides. En effet, les micromorphologues interprètent souvent ces figures d'illuviation comme des évidences de la présence ancienne de cendres (Courty et al. 1989; Macphail 2003; Arroyo-Kalin 2008). En outre, il remarque des concentrations plus importantes en aluminium dans les horizons de *terra preta* par rapport aux sols sous-jacents, qu'il explique par le fait que les cendres des plantes présentent une moyenne en Ca:Al de 11:1. En considérant que la majorité du calcium concentré dans ces anthroposols provient des cendres, alors le « gain » en aluminium est d'autant proportionnel et donc d'autant plus important dans les horizons anciennement cendreux (Arroyo-Kalin 2008).

Par ailleurs, selon cet auteur, la mélanisation, conférant cette couleur noire si caractéristique aux sédiments, ne provient pas uniquement des microparticules de

charbons mais tiendrait son origine des teneurs en matière organique. En effet, si cette dernière se retrouve dans les sols sous forme de cendres, faisant ainsi augmenter le pH, cela pourrait amener à concentrer le manganèse sous forme d'oxydes, apportant une couleur noir à la fraction fine de la matrice des sols observée en lame mince, et expliquant les divergences de couleur plus ou moins foncés, entre les profils de Terra Preta *lato sensu* (ibid.).

De plus, il est intéressant de noter que la susceptibilité magnétique mesurée dans ces anthroposols vient étayer les informations micromorphologiques et physico-chimiques et permet de manière empirique de distinguer les *terra preta stricto sensu* des *terra mulata*. Il démontre, en effet, que les *terra mulata* contiennent un volume significatif de microcharbons, toutefois inférieur à celui des *terra preta*, pour une quantité négligeable de microfragments d'os, de poteries et d'argiles brûlées. Les valeurs de susceptibilité magnétique des profils de *terra mulata* sont interprétées, grâce aux observations micromorphologiques, par les concentrations en microcharbons qui proviendraient de feux de surface du sol répétés *in situ*, couplés aux activités humaines anciennes de travail du sol. Ces résultats, associés à d'autres observations micromorphologiques, dévoilant des traces liées au grattage, décapage, balayage et mélange du sol, viennent apporter un support important à l'idée de Denevan (2004), suggérant que les *terra mulata* sont le résultat de concentration spatiale de pratiques de feu intensif pour les activités agricoles durant l'époque précolombienne (Arroyo-Kalin 2014).

VI. Distinction entre Terra Preta amazonienne et Terre Noire européenne

La question du lien entre *Terra Preta* et Terre Noire européenne a souvent été posée. En effet, les Terres Noires sont des anthroposols urbains européens, datant entre l'Antiquité tardive et le Haut Moyen Age, soit du 3ème au 11ème siècle de notre ère (Cammas 2004). La fourchette chronologique de création des *Terra Preta* étant assez étendue dans le temps, les processus de formation sont plus longs, avec des apparitions à différentes périodes en fonction des régions amazoniennes. Pour les Terres Noires, il existe un calage des processus de formation grâce à la datation des couches archéologiques plus fine en contexte archéologique urbain européen. Ces deux types d'anthroposols ne peuvent pas être comparés dans les faits, puisque les peuplements humains à l'origine de leur genèse n'étaient pas les mêmes (activités domestiques, artisanat, matières premières disponibles, etc.), tout comme les conditions environnementales originelles.

Toutefois, la micromorphologie a permis de caractériser ces anthroposols urbains et leurs processus de formations (Macphail & Courty 1985; Courty et al. 1989; Macphail 1994; Cammas et al. 1998; Cammas 2004; Goldberg & Macphail 2006; Fondrillon 2007; Fondrillon et al. 2009; Borderie 2011; Cammas et al. 2011; Cammas 2015) en les décrivant notamment comme des sols de couleur sombre, homogène, puisque peu voire pas du tout stratifiés, donc massifs, bioturbés et riches en matière organique. Au sein des Terres Noires, la micromorphologie a permis de mettre en évidence des résidus d'activités, principalement des matériaux de construction comme de la terre cuite architecturale, des rejets de type organique (excréments animaux) et des restes d'activités domestiques (coquille d'oeuf, os cuits, déjections) dans une moindre mesure.
Ces terres noires urbaines étaient globalement interprétées comme des zones d'abandon de la ville à une période politico-historique difficile (invasions) avant les analyses micromorphologiques. Aujourd'hui, elles sont interprétées comme des zones d'activités, telles que des emplacements de parcages d'animaux, des zones de piétinement (passage), ou bien l'intérieur d'une maison, recevant de forts apports organiques de type rejets (Macphail 1994; Fondrillon 2009; Borderie 2011; Cammas 2015).

Terra Preta et Terre Noire sont ainsi des vestiges archéologiques à part entière, témoins des activités humaines passées. Elles ont comme principaux points communs d'être des anthroposols cumuliques, sombres et enrichis en rejets anthropiques organiques (charbons, os) et en restes d'activités de type domestiques (céramiques).

VII. La *terra preta* aujourd'hui

En Amazonie brésilienne, les *Terra Preta lato sensu* sont aujourd'hui cultivées par les petits paysans, pour l'agriculture de subsistance dans les systèmes d'abattis-brûlis (Teixeira et al. 2009). Ils l'utilisent pour produire des fruits et des légumes sans utiliser d'engrais et sans observer de diminution de la fertilité du sol (**Figure 32)**. Ils peuvent récolter pendant plusieurs années (Glaser et al. 2004). En effet, ces sols donnent un meilleur rendement puisque les plantes poussent plus vite que sur les sols infertiles alentours (Woods & McCann 1999). Les périodes de jachère sur ces derniers durent entre 8 et 10 ans quant un sol de *Terra Preta* peut recouvrer sa fertilité en 6 mois (German 2001). La période de récolte est globalement plus courte : elle peut aller de 4 mois à 2 ans contre 2 à 3 ans pour les sols naturels, notamment à cause des invasions des mauvaises herbes sur les sols fertiles (Glaser et al. 2004; Denevan 2009). Toutefois les aires de *Terra Preta lato*

sensu ayant subit une agriculture particulièrement intensive et longue montrent un déclin de la productivité avec une diminution du potassium ou des micronutriments, tels que le bore, causant des déformations aux plantes. Il est par exemple localement connu que les fruits de la papaye peuvent présenter le mal de *cara-de-gato* (le mal de « tête de chat ») (Sombroek et al. 2002).



Figure 32 : Cultures successives sur ADE, site expérimental de Caldeirão – Embrapa, Amazonie Occidental, région de Manaus (tiré de Teixeira et al. 2009).

L'intérêt majeur que représentent les ADE aujourd'hui pour le bassin Amazonien, et plus largement pour la zone intertropical humide du globe réside dans leur incroyable fertilité dans une aire géographique qui *a priori* ne permet pas une véritable agriculture de subsistance. Ainsi, l'idée de reproduire ces anthroposols *(terra preta nova)* dans une optique d'agriculture durable dans tout le bassin Amazonien pourrait représenter une véritable révolution agricole pour les paysans vivant actuellement sur le territoire amazonien et plus globalement dans les régions tropicales humides où les sols infertiles dominent (Glaser 2007). En effet, approximativement les trois-quarts de la population mondiale vivent dans la zone intertropicale, dont une partie non négligeable n'a pas de quoi se nourrir (ibid.). D'autre part, d'un point de vu environnemental, la création volontaire de zone d'ADE permettrait de combattre la désertification liée à la déforestation massive, de séquestrer sur le long terme le carbone atmosphérique, tout en maintenant cette incroyable zone de biodiversité qu'est la forêt tropicale humide (Glaser

2007). Le problème écologique majeure de déforestation que subit le territoire amazonien à l'heure actuelle est lié principalement à l'agro-industrie (champs de soja, de palmier à huile, etc.). Ainsi imaginer restructurer cette région en offrant à des groupes humains des terres arables et fertiles pour leur subsistance pourrait donner lieu à un nouveau modèle agro-écologique durable.

VIII. Bilan des recherches menées sur les Amazonian Dark Earth

L'existence des ADE prouve qu'il est possible de convertir des Ferralsols (Oxisols) acides et infertiles, typiques des sols amazoniens, en des sols fertiles, et ce de manière durable.
En résumé, les processus identifiés et responsables de la formation des ADE sont étroitement liés aux diverses activités humaines anciennes (**Tableau 4**). Leur formation résulterait de la combinaison d'apports de rejets organiques, tels que excréments humains, restes de nourriture (os de mammifères et de poissons) et/ou de constructions organiques (feuilles de palmier), restes de feux domestiques (cendres et charbons), qui se seraient mixés au sol naturel préexistant, et auraient évolué avec la pédogénèse tropicale (bioturbation, lessivage, lixiviation, etc.) (**Figure 33**).
L'augmentation du pH associée aux déchets organiques va ainsi créer des complexes organo-minéraux dans le sol, augmentant la rétention de la matière organique (Sombroek 1966; Arroyo-Kalin 2014). Les quantités importantes de carbone organique permettent d'apporter des sites de sorption des métaux un peu partout dans les sols ; l'association entre illuviation et bioturbation (faune et flore) des sols est responsable de l'homogénéisation des constituants et de l'importante mélanisation qui caractérise ces sols (Vacher et al. 1998; Kern et al. 2004; Topoliantz & Ponge 2005; Arroyo-Kalin 2014) ; les éléments organiques et inorganiques sont métabolisés par l'activité microbienne du sol puis stabilisés via le processus d'humification (Glaser & Birk 2012).

La question qui reste toutefois irrésolue est de savoir si les populations anciennes amazoniennes avaient connaissances des propriétés nutritives de leurs déchets domestiques et des charbons, pour les sols et si leurs rejets ont été intentionnels ? Il est fort probable que l'intentionnalité ait découlé d'observations empiriques, par exemple suite à des rejets spontanés de certains groupes précolombiens à des endroits donnés, lors de leur passage. Une possible réponse à cette question réside dans les observations des pratiques actuelles des indiens Kayapó, de la région centrale du Brésil. Par exemple, durant les trois premières années de mise en culture d'un terrain, ce peuple contrôle avec

une grande attention la fréquence, la localisation et l'extension des petites zones brûlées, ainsi que le volume de biomasse, la saison, le moment de la journée et la température de combustion ; ces paramètres étant spécifiques à chaque culture (Denevan 2009). Les cendres et les matières organiques brûlées ainsi obtenues sont épandues de manière intentionnelle sur les parcelles destinées à la mise en culture. Les vertus fertilisantes des cendres sur les sols pour la croissance des cultures sont connues des Kayapós, ainsi que d'autres peuples vivant dans ces régions, comme les Machiguenga (sud-est du Pérou) (ibid.).

En outre, les populations actuelles *caboclos* voient dans les *Terra Preta lato sensu* des emplacements où les amérindiens anciens habitaient (Fraser et al. 2011). Ils reconnaissent empiriquement le rôle du brûlage de la végétation comme moteur de formation de ces sols noirs, et décrivent même assez précisément les variations de texture et de composition qu'ils observent, apparentés aux sols décrits scientifiquement comme *terra preta*, *terra mulata* et sols naturels (ibid.). Ainsi, il est tout à fait possible d'imaginer que les populations précolombiennes étaient elles aussi assez observatrices de leur environnement pour finir par utiliser à bon escient leurs déchets (nourritures, brûlage, céramiques, etc.) afin d'amender les sols infertiles du bassin Amazonien.

Propriétés	**Brésil**		**Origines** (d'après Costa & Kern 1999; Sombroek et al. 2002; Kern et al. 2004; Arroyo-Kalin 2008; Teixeira et al. 2009; Birk et al. 2011; Glaser & Birk 2012)
	terra preta stricto sensu	***terra mulata***	
pH	**+++**	**++**	**Cendres**
Corg	**+++**	**++++**	**Biochars, charbons, suies**
CEC	**+++**	**++**	**Biomasse des plantes (restes des habitations en palmiers), restes de petits mammifères (os, carapaces), arêtes de poissons, cendres, excréments animaux et humains.**
P	**++++**	**+++**	
Ca	**+++**	**+/-**	
Mn	**++**	**+/-**	
Mg	**++**	**+/-**	
K	**++**	**+/-**	

Tableau 5 : Enrichissement relatif des *terra preta stricto sensu* et des *terra mulata* par rapport aux sols naturels (Ferralsols / Oxisols) et origines anthropiques de cet enrichissement.

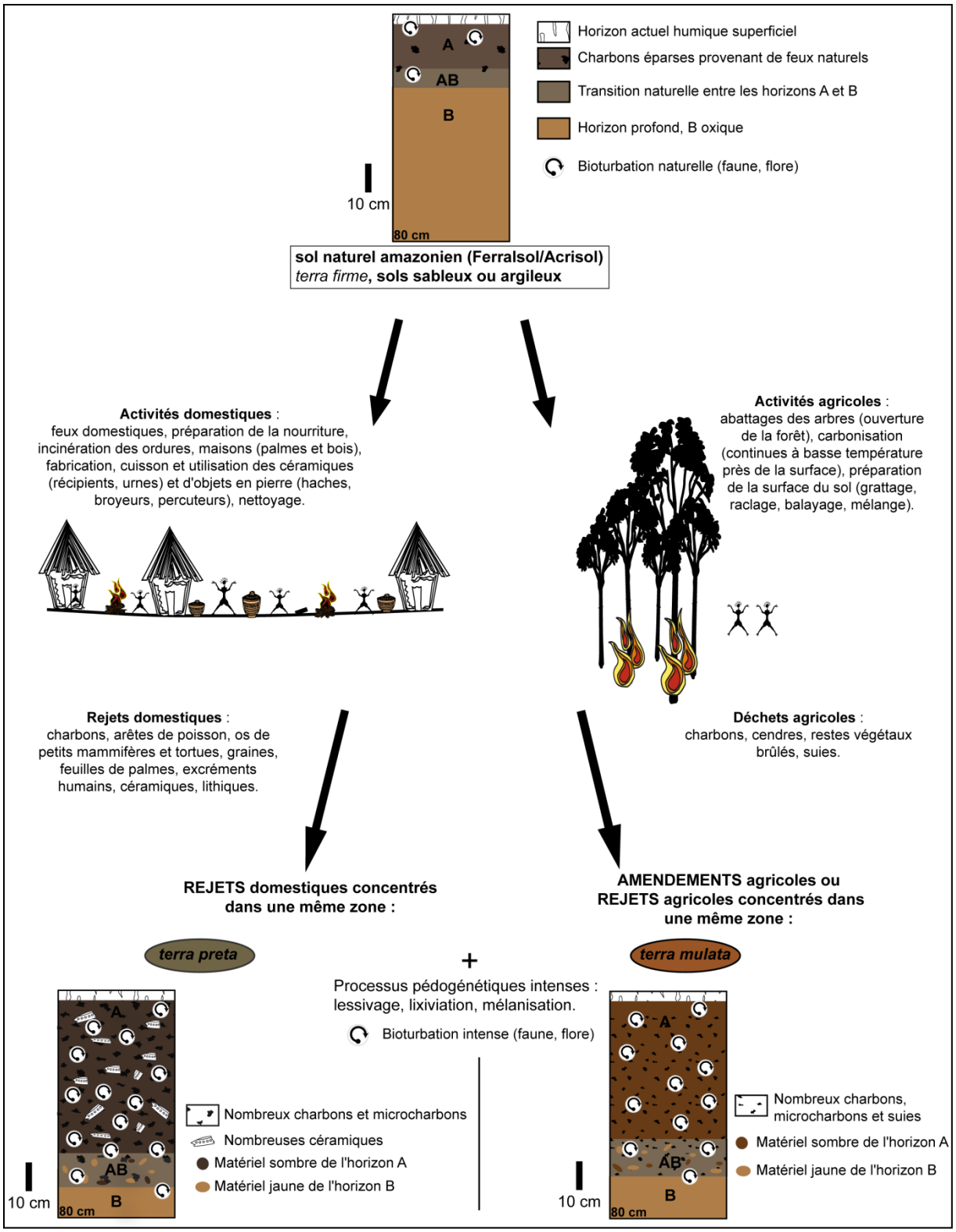


Figure 33 : Schéma de la genèse des *terra preta stricto sensu* et des *terra mulata* en fonction de la bibliographie.

Partie II. Matériel & Méthode

Problématique et objectifs

La première partie de ce travail a permis d'identifier le cadre environnemental et archéologique propre au bassin Amazonien et à la Guyane française plus spécifiquement. Cet état des lieux dresse un tableau des principaux travaux en cours, en précisant les grands questionnements qui lient étroitement l'archéologie à l'environnement dans le contexte précolombien amazonien, en s'interrogeant sur le rapport des populations amérindiennes anciennes à leur milieu. Ainsi, il a pu être mis en évidence que si l'anthropisation ancienne du bassin Amazonien commence à être de plus en plus connue, il n'en demeure pas moins que le territoire des Guyanes, et la Guyane française plus particulièrement, est une région où la recherche archéologique est en plein essor, offrant de nombreuses opportunités d'investigation.

La présente recherche, de par sa problématique, son objectif général, ses objectifs spécifiques et la démarche utilisée, s'insère naturellement dans le champ d'étude de l'archéologie environnementale, appliquée au contexte tropical guyanais. Elle s'inscrit plus particulièrement dans les problématiques actuelles de la recherche géoarchéologique, en s'intéressant à la relation Homme/Milieu et au forçage anthropique.

La problématique de cette thèse s'insère dans un questionnement concernant les modalités d''anthropisation, à l'époque précolombienne, des paysages guyanais et les indices géoarchéologiques de celle-ci dans les sites archéologiques. L'objectif général choisi pour répondre, du moins en partie, à cette problématique porte sur l'étude des marqueurs de l'anthropisation précolombienne dans les archives pédo-sédimentaires archéologiques de Guyane française. Plusieurs objectifs spécifiques se déclinent alors :

1. Identifier et caractériser les indices micromorphologiques de l'anthropisation du milieu guyanais ;
2. Identifier et caractériser les indices physico-chimiques de l'anthropisation du milieu guyanais ;
3. Identifier et décrire les processus à l'origine de ces marqueurs d'anthropisation dans des contextes archéologiques et géomorphologiques différents – sites de plein air sur terrasse alluviale et sites fossoyés sur collines latéritiques sous forêt ombrophile ;
4. Confronter ces résultats avec la nomenclature préexistante en établissant notamment une comparaison entre les anthroposols guyanais et les Amazonian Dark

Earth, en terme de processus de formation, de propriétés intrinsèques (tels les constituants), ou physico-chimiques.

Les deux premiers objectifs se regroupent globalement sous la détermination des signatures des activités anthropiques propres aux populations précolombiennes, et qui se sont inscrites dans les anthroposols guyanais. Ces informations témoignent de l'histoire du dépôt, et leur considération permet d'apporter des éléments importants quant à l'interprétation des processus anthropiques et naturels passés, voire présents, ainsi que les usages anciens des sols par les populations précolombiennes. Le troisième objectif vise la caractérisation des différentes occupations humaines en fonction du contexte géomorphologique, tout en répondant à des questionnements archéologiques et pédologiques sur les modes d'occupation des sites, et leur intensité. Le dernier objectif élargi géographiquement le champ d'investigation pour mettre cette étude dans une perspective plus globale, celle de l'anthropisation des sols dans le bassin Amazonien.
La démarche géoarchéologique adoptée dans ce travail de recherche correspond à une étude pédo-archéologique, intra- et inter-sites, en utilisant deux outils principaux d'exploration des sols, que sont la micromorphologie et la physico-chimie. Plusieurs autres outils annexes ont été utilisés pour compléter l'analyse géoarchéologique (susceptibilité magnétique des sols, anthracologie, etc.).

Chapitre 1. MATERIEL

I. Les sites de plein air en contexte de plaine alluviale

Chemin Saint-Louis et Balaté sont deux sites de plein air, ayant fait l'objet d'un diagnostic puis d'une fouille archéologique par les équipes de l'Inrap-Guyane, dont les responsables des fouilles étaient respectivement Martijn van den Bel et Jérôme Briand.
Les parcelles concernées par ces travaux archéologiques se situent dans la commune de Saint-Laurent du Maroni, au niveau de la plaine alluviale du fleuve Maroni, sur la rive droite (côté Guyane française), de part et d'autre de l'embouchure de la crique Balaté ; Chemin Saint-Louis se trouvant au sud, alors que Balaté est au nord (**Figure 34**).

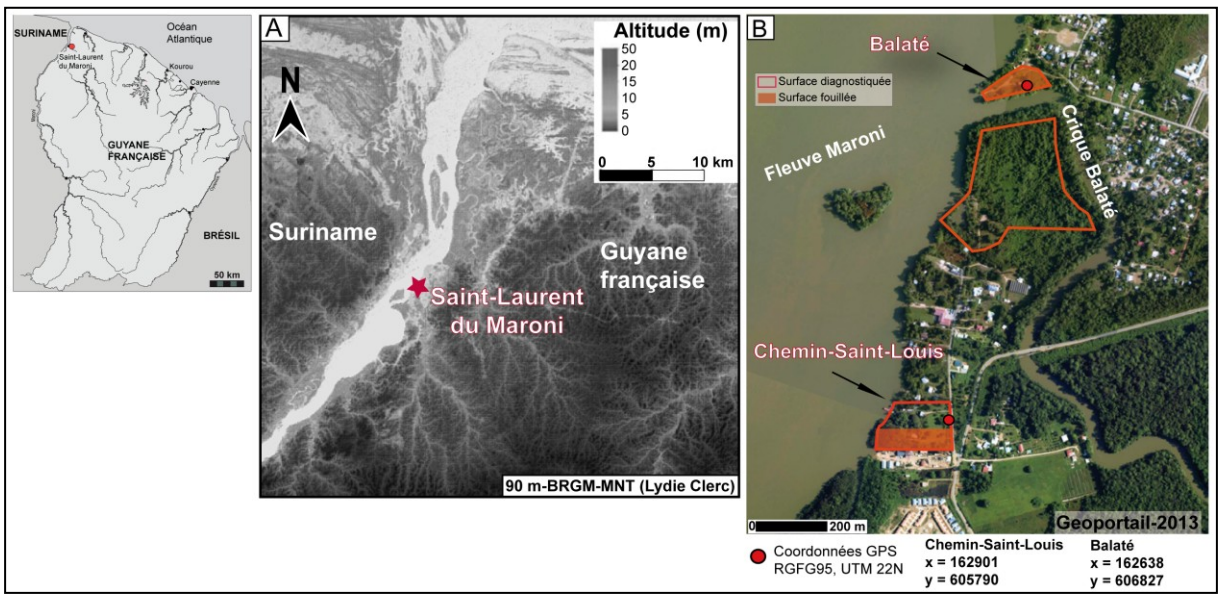


Figure 34 : Localisation de l'emplacement des sites Chemin Saint-Louis et Balaté, dans la commune de Saint-Laurent du Maroni en Guyane française.

I.1. La région du Maroni

I.1.1. Cadre environnemental

I.1.1.1. Le fleuve Maroni

Les sites de Chemin Saint-Louis et Balaté se situent à l'ouest de la Guyane française, à proximité du fleuve Maroni, au sud de la ville de Saint-Laurent du Maroni où la

température annuelle moyenne est de 26.5°C et la moyenne annuelle des précipitations est autour de 2500 mm (Météo France DOM-TOM). Frontière naturelle avec le Suriname (en rive gauche), le fleuve Maroni est le plus important de Guyane française s'écoulant sur environ 680 km, du sud vers le nord, avec un bassin versant d'une superficie de 65.830 km^2, dont 28.665 km^2 pour la Guyane française et un débit d'environ 1700 m^3/s (Palvadeau 1999). Prenant sa source dans les Monts Tumuc Humac, à environ 500 m d'altitude, le Maroni se jette dans l'océan Atlantique à une trentaine de kilomètres au nord de la ville de Saint-Laurent du Maroni, environ 800 km au NW de l'embouchure de l'Amazone. Ces principaux affluents inclus les rivières Abounami, Tampock et Marouini, côté français, et les rivières Oelemari et Tapanahoni, côté Suriname (ibid.**).** La marée se fait sentir très loin, y compris au niveau de la crique Balaté (Todisco in Briand en préparation).

On trouve aujourd'hui une succession de villages amérindiens *Kalin'a* le long des berges du fleuve : Village Pierre, Terre Rouge et Espérance, Paddock, à l'extrémité aval du fleuve, à la sortie de Saint-Laurent du Maroni. Les amérindiens *Lokono* habitent le village de Balaté, limitrophe de la commune. Les Noirs-Marrons vivent quant à eux dans des villages ou des quartiers en périphérie du centre-ville (Mestre & Delpech 2008). Aujourd'hui, le fleuve Maroni forme un lien entre les groupes humains, reliant les villages et les hameaux isolés qui s'échelonnent pour former un habitat dispersé entre les villes d'Apatou et de Saint-Jean. Il est ainsi le fleuve le plus fréquenté, utilisé également comme voie de pénétration vers l'intérieur de la Guyane française.

I.1.1.2. Géologie de la région et mise en place de la terrasse

La région de Saint-Laurent du Maroni regroupe, dans un périmètre relativement restreint, plusieurs formations quaternaires (**Figure 35-haut**).

Les sables blancs sont des dépôts datant du Quaternaire inférieur et peut-être même du Tertiaire supérieur (Moguedet 1977, cité par Palvadeau 1999). Ils correspondant à la "série détritique de base" (SDB), constituée de sables blancs, riches en staurotide et en grenat. Ces sables blancs forment de vastes placages entre les villes de Sinnamary et Saint-Laurent du Maroni. Ils recouvrent un plateau incliné vers le nord, taillé dans le socle protérozoïque Précambrien.

La série de Coswine, aussi appelée série de "Coropina-Coswine" est datée du Pléistocène soit du Quaternaire moyen.

Puis après une période d'exondation et d'érosion, une plaine côtière récente se forme, représentée par la série flandrienne du Démérara (Palvadeau 1999). Elle s'étend à l'est du Suriname et à l'ouest de la Guyane française (De Boer 1972 ; Palvadeau 1999).

Les travaux de De Boer (1972) et de Palvadeau (1999) ont permis d'identifier et de dater les terrasses alluviales du fleuve Maroni en fonction de leur nature sédimentologique et de leur position morphologique. Au nombre de quatre, elles sont décrites ci-après, de la plus ancienne à la plus récente (**Figure 35-bas**) :

T1 : il s'agit des terrasses hautes qui dominent le lit mineur de 20 à 30 mètres. Elles sont constituées à la base d'une séquence graveleuse conglomératique, datée vers 350 ka BP recouverte par une formation argilo-sableuse estimée autour de 330 ka BP.

T2 : ce sont les terrasses moyennes qui se situent entre 5 et 15 m au-dessus du niveau actuel du Maroni. Elles sont également formées d'une séquence plus grossière, graveleuse à la base, datée vers 150 ou 250 ka BP, surmontée d'un niveau de sédiments fluviatiles argilo-sableux plus fins, dont l'âge estimé se situe autour 130 ka BP.

T3 : le niveau des terrasses intermédiaires se trouve emboîté dans la moyenne terrasse (T2). Il a pu être distingué vers 14 mètres d'altitude. Cette formation alluviale d'une épaisseur de trois mètres environ, correspond à des dépôts sablo-argileux, constitués de sables blancs et d'argiles blanches à bariolées. L'âge des terrasses intermédiaires est compris entre 43070 +1350/-1100 ans BP et 17115 +/- 150 BP. Elles se sont donc mises en place un peu avant et pendant le dernier maximum glaciaire.

T4 : la basse terrasse Holocène s'est formée entre 10 000 et 6 000 ans BP. Son altitude n'excède pas 5 mètres, lui conférant une position topographique non inondable comme l'indiquent, à l'échelle locale, les nombreux villages installés dessus (Pilima Pata, Nasson, Bossou, Balaté, etc.). L'extension latérale de cette basse terrasse, perpendiculairement à la berge du Maroni, est limitée ($\leq$ 1 km). La séquence stratigraphique typique se compose d'un sédiment argilo-sableux non cohésif, de 1,5 à 2,5 mètres, jusqu'à 6 mètres d'épaisseur, recouvrant partiellement la roche-mère ou les dépôts anciens de la terrasse sous-jacente T3 datant du Pléistocène. Les sols naturels sont lessivés. Les deux sites sont implantés sur cette dernière terrasse, de part de d'autre de la crique Balaté. Il est intéressant de remarquer que celle-ci a érodé cette terrasse afin de trouver son chemin vers le fleuve Maroni.

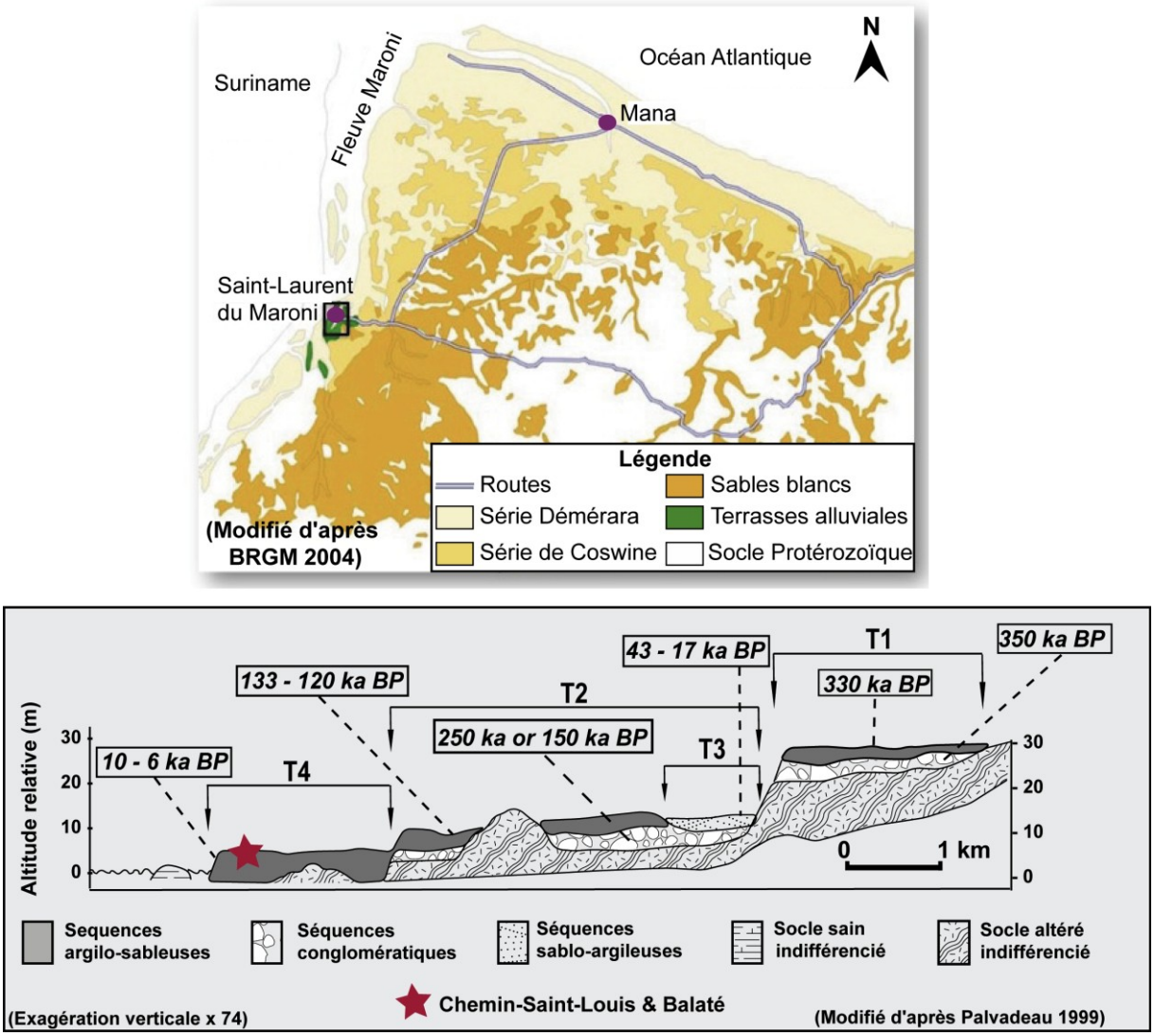


Figure 35 : Haut - formations Quaternaires de la plaine alluviale du bas Maroni. Bas - les quatre terrasses alluviales distinguées sur la plaine alluviale du Maroni.

I.1.2. L'archéologie dans la région de Saint-Laurent du Maroni

L'époque précolombienne est encore assez mal connue dans la région du bas Maroni (van den Bel 2015). Toutefois, deux complexes céramiques ont été décrits sur ce littoral. D'une part le complexe Barbakoeba, défini à l'origine par Boomert, sur le site de Criques Jacques, d'après un mobilier céramique provenant de neuf sites du Suriname. Il serait daté aux alentours de 1100 AD mais une seule datation 14C existe (Boomert 1993).

Le second est le complexe Koriabo, attesté sur plusieurs sites des rives et affluents du Maroni en Guyane française tels que Saut-Saillat, Crique Sparouine, Crique Hermina, et Kormontibo, et au Suriname, à Piste de Papaïchton et Bigiston. Défini dans les années 50 par Evans & Meggers suite aux fouilles qu'ils réalisèrent sur le site de Koriabo-Point, sur le littoral occidental du Guyana, ce complexe est aujourd'hui reconnu pour la quasi-

intégralité du Plateau des Guyanes (Meggers & Evans 1957; Boomert 2004). Le complexe Koriabo est daté dans une fourchette assez large entre 750 et 1600 AD, avec un plus gros volume de date entre 1000 et 1500 AD (Boomert 1993, cité par van den Bel 2015).

Aujourd'hui, il est *a priori* admis que les populations précolombiennes étaient installées sur la frange littorale de la Guyane française autour de 500 AD (van den Bel 2015). Il est intéressant de remarquer que, de manière générale, les sites du littoral sont plus récents en Guyane française qu'au Suriname (van den Bel 2012). Ceci semble s'expliquer par la géomorphologie et la dynamique littorale holocène avec notamment la formation des cheniers. En effet, les sédiments, provenant de l'Amazone, vont être charriés via les courants marins, sous forme de bancs de vase, le long de la côte, jusqu'au Suriname et se diffuser ensuite vers l'ouest. Le littoral guyanais va voir alterner bancs de vase et espaces interbancs dans lesquels des cheniers vont se former. Cette dynamique va conditionner des accrétions sédimentaires qui vont faire prograder la plaine côtière de Guyane française à l'échelle de l'Holocène. Des processus diachrones d'accrétion et d'érosion côtière pourraient expliquer la présence de sites plus anciens au Suriname alors que le calage chronologique des cheniers de Guyane française mériterait d'être mieux définit.

I.2. Etude de cas

I.2.1. Le site de Chemin Saint-Louis (CSL)

I.2.1.1. Synthèse des occupations précolombiennes

Trois phases distinctes d'occupation ont été caractérisées durant la fouille puis confirmées par trente datations radiocarbones s'étendant entre 3000 BC et 1300 cal. AD, soit comprises entre le premier âge céramique (*Early Ceramic Age* : ECA) et le dernier âge céramique (*Late Ceramic Age* : LCA) (van den Bel 2015). Les hiatus chronologiques notamment entre les phases 1 et 2, laissent à penser qu'il n'y a pas de preuves directes d'occupations continues sur ce site (ibid.). Il semble fort probable, d'après les données archéologiques, que durant ces 5 000 ans d'occupation, le site ait subi des modifications morphologiques, en s'agrandissant ou en diminuant, selon la situation économique et/ou politique (van den Bel 2012, 2015).

La première phase, datée entre 3 300 et 1 900 ans BC, permet de faire remonter l'ancienneté de la présence humaine, même ponctuelle, sur ce site. Deux phases distinctes ont été définies, la première, phase 1A est une occupation du dernier âge archaïque (*Late*

Archaic Age : LAA) datée de 3000 cal. BC, et la seconde, phase 1B, témoigne du premier âge céramique (ECA) à 2400 cal. BC (van den Bel 2015).
Les structures attribuées à cette phase se localisent principalement sur la partie haute de la terrasse, plutôt vers le talus de la berge ou en bordure du fleuve Maroni (**Figures 36 et 37**). En effet, suite à l'incision du fleuve Maroni, l'apport en alluvions lors des différentes crues a progressivement engraissé la basse terrasse Holocène T4 et favorisé la formation d'une petite berge avec un talus (van den Bel 2012). La dynamique sédimentaire alluviale a également induit la formation d'une zone basse derrière la berge ainsi constituée. Suite à la diminution des apports alluviaux sur le terrasse et de l'incision du Maroni, les premiers amérindiens commencèrent à fréquenter les berges (Phase 1A) (ibid.). Cette berge du Maroni fut ainsi occupée peu après les dernières phases d'accrétion sédimentaire, avec environ 1 000 ans, entre la fin de la formation de la terrasse T4 et les premières traces de l'occupation (van den Bel 2012, 2015).

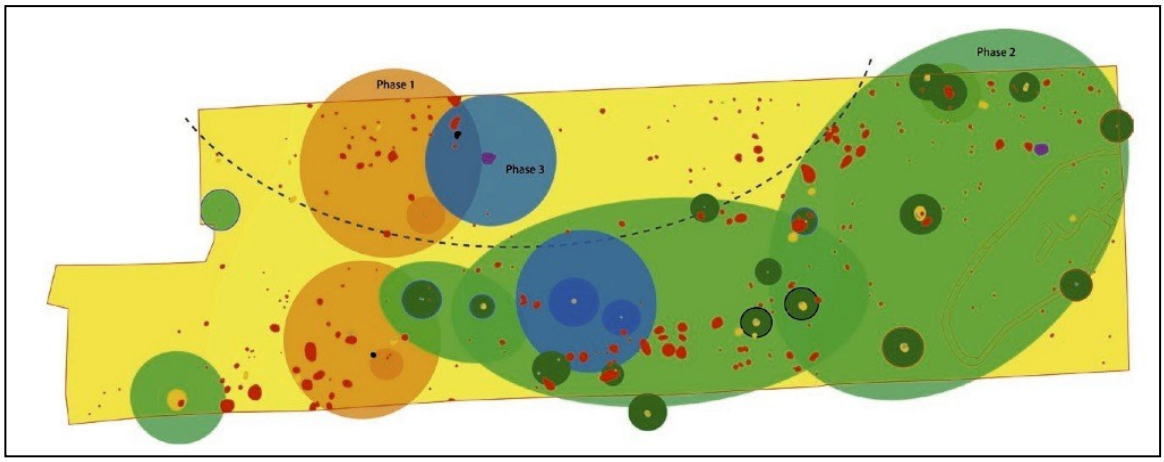
La céramique trouvée dans les structures de cette 1ère phase est considérée, à ce jour, comme la plus ancienne définie sur le Plateau des Guyanes, avec des formes rondes et ouvertes, composée de grains de quartz concassés. Son usage, *a priori* uniquement pour la nourriture, peut expliquer la simplicité de ses formes et l'absence d'éléments décoratifs. L'industrie lithique, avec la production d'outils sur éclats, semble également fondée sur le quartz, disponible sous forme de galets, à marée basse (Knippenberg in van den Bel 2012). Les analyses d'amidon pratiquées sur une meule, un pot et au sein d'un foyer ont révélé l'utilisation de plantes telles que maïs (*Zea mays*), patate douce (*Ipomoea batatas*), haricot/Fabaceae (*Phaseolus sp.*), Marantaceae (*Maranta arundinacea*) et manioc (*Manihot esculenta*) (Pagan Jiménez in van den Bel 2012). La nature des foyers (fosses à charbons) et des fosses à céramique, probablement des inhumations, correspondent à la phase 1B. Elles font référence à une zone d'habitat, indiquant une occupation sédentaire du site dans la deuxième moitié du 3ème millénaire avt. J.-C (van den Bel 2012).

La seconde phase d'occupation du site aurait été longue et persistante. Elle se distingue au niveau stratigraphique par un niveau épais et sombre. Elle est datée entre 260 BC et 400 AD (11 datations radiocarbones calibrées), soit une occupation sur environ 700 ans (van den Bel 2015). Cette phase présente les résultats chronologiques les plus cohérents (van den Bel 2012). Les datations obtenues ont été subdivisées en trois périodes distinctes,

corrélées en trois zones d'habitat[1] où les structures se regroupent spatialement : entre 260 BC et 0 (phase 2A), entre 0 et 200 AD (phase 2B), et entre 200 et 400 AD (phase 2C) (ibid.). Les structures attribuées à cette phase 2 se localisent sur toute la zone décapée, toutefois en nombre moins important dans la zone hydromorphe et le long du fleuve (**Figures 36 et 37- Haut**). Il s'agit de multiples trous de poteaux, de fosses à dépôts de céramiques et d'un canal. Ce dernier aurait probablement servi de drain pour enlever le surplus d'eau présent dans les sols au niveau de la zone hydromorphe du village (van den Bel 2015). Cette succession d'habitats, entrainant l'accumulation du mobilier céramique, lithique et des matériaux périssables (excréments, bois, déchets animaux, végétaux, etc.) aurait ainsi enrichi le sol de l'espace occupé, engendrant la formation de cet horizon noir. Des plaques à cuire et des écuelles ont révélé l'usage du piment domestiqué (*Capsicum sp.*), en plus de la patate douce, du maïs, du manioc, des haricots et des Marantacés. Cette seconde phase évoque la présence d'un village permanent sur au moins six siècles (van den Bel 2012).

Puis il semblerait qu'une phase d'abandon du site ait duré environ 500 ans, avant une troisième et dernière phase d'occupation (ibid.).
Cette phase 3 s'échelonne entre 1000 et 1300 cal. AD (quatre datations radiocarbones). Cette fourchette chronologique apparaît très commune pour le littoral de la Guyane française, d'après M. van den Bel (2012). Les dates, le type de structure et le mobilier céramique présentent une hétérogénéité rendant difficile l'interprétation de cette phase d'occupation, qui se situe principalement au milieu de la fouille et sur le sommet de la terrasse (**Figures 36 et 37**). La céramique dominante ici est à formes ouvertes, avec un dégraissant végétal et une pâte savonneuse. Techniquement et chronologiquement, elle correspond à l'assemblage céramique du site de Balaté (van den Bel 2008 ; Briand en préparation). Il n'est alors pas impossible que ces deux sites que sont Chemin Saint-Louis et Balaté puissent former un ensemble contemporain durant la période du LCA (van den Bel 2012).

[1]« *En l'absence de plan de carbets matérialisés par les trous de poteaux, la répartition des fosses à céramiques et des trous de poteaux permet d'envisager des zones d'habitat* » (van den Bel 2012 : 75).



Légende : phase 1 en orange, phase 2 en vert et phase 3 en bleu. Les dépôts de céramique correspondent aux petits cercles, la ligne pointillée représente la limite spatiale d'apparition des céramiques de la phase 2. L'attribution des structures par phase est basée sur les datations radiocarbones ainsi que sur le mobilier céramique.

Figure 36 : Distribution spatiale des principales structures discriminées pour chaque phase d'occupation archéologique (d'après van den Bel 2012).

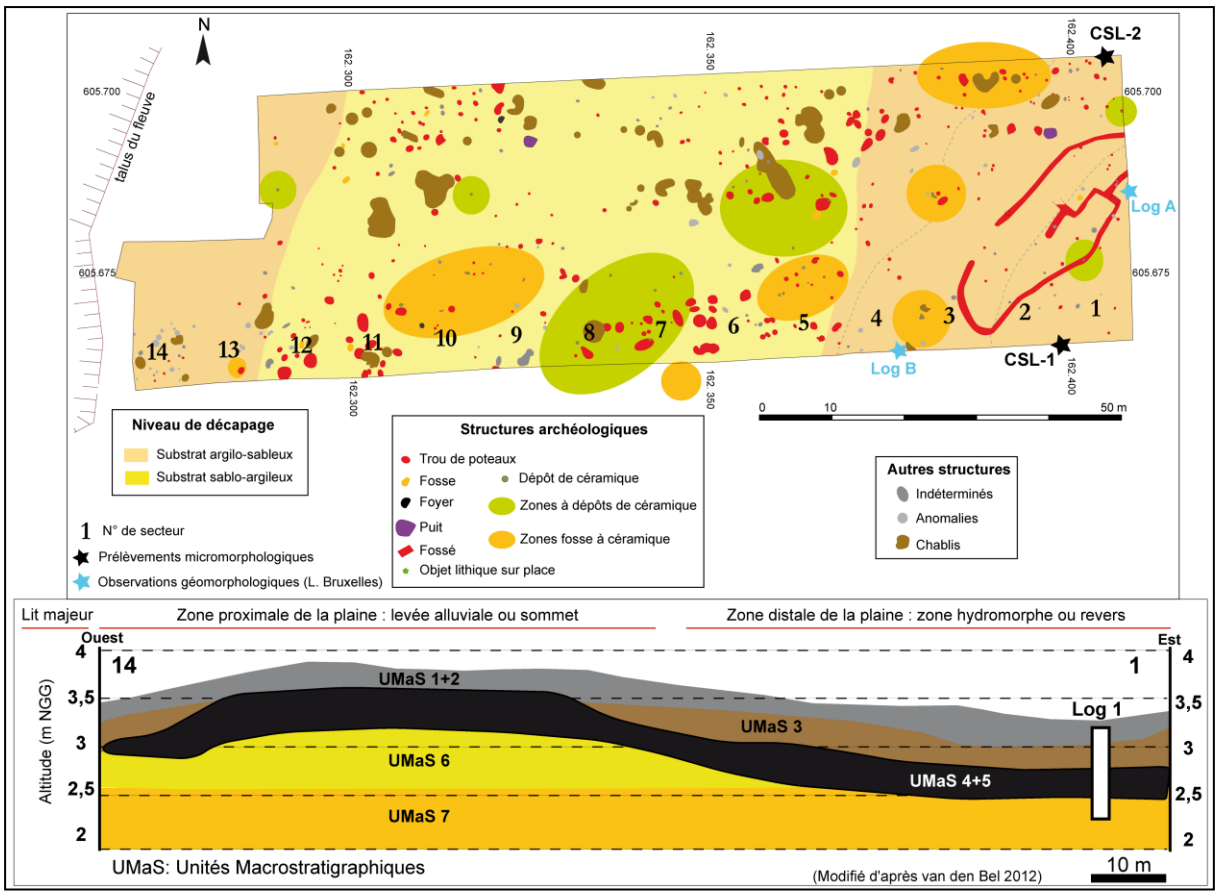


Figure 37 : Haut - plan des structures archéologiques mises en évidence lors de la fouille du site, ainsi que des profils observés dans ce travail. Bas - topographie du site (modifié d'après van den Bel 2012).

I.2.1.2. Implantation géomorphologique du site

Le site s'étend le long du fleuve Maroni, sur environ 15 hectares parmi lesquels environ 5 000 m² ont pu être fouillés par les équipes de l'Inrap (**Figure 34**). Il est important de préciser que l'espace fouillé constitue une fenêtre au milieu d'un très grand village amérindien aux limites n'ayant pas été atteintes par l'emprise de la fouille, et que les occupations révélées sont diachrones (van den Bel 2012). Selon van den Bel (2015), seulement 3% de la superficie totale du site aurait été fouillée. Ajoutons également que la topographie d'origine du site ancien a subi de profondes modifications du fait de l'implantation de bâtiments du bagne, et plus récemment de la construction de maisons privées. L'aménageur a, de plus, continué des travaux dans la zone consacrée aux recherches archéologiques après la prescription préfectorale. Ces activités illégales ont détruit les niveaux archéologiques dans certaines zones du périmètre archéologique (van den Bel 2012).

Néanmoins, d'après les observations géomorphologiques réalisées par L. Bruxelles, il apparaît que le site archéologique de Chemin Saint-Louis est implanté sur la basse terrasse alluviale (T4) Holocène du Maroni, sur un lambeau de la plaine d'inondation, ou flat, compris entre le fleuve et la crique Balaté, qui se réduit progressivement en direction du nord-ouest pour se terminer à la confluence des deux cours d'eau (Palvadeau 1999 ; Bruxelles in van den Bel 2012).

Le décapage a permis de bien observer la topographie du substrat sablo-argileux à argilo-sableux. Ainsi, le flat est bordé le long du fleuve par une petite éminence allongée parallèlement à la berge, d'une centaine de mètres de large et dominant le secteur oriental de 50 à 70 centimètres. Ce relief sablonneux correspond à une levée qui isole le lit mineur de la plaine d'inondation (**Figure 37 - Bas**). Il présente une pente raide du côté du fleuve et une pente douce à l'opposé. Aussi appelé bourrelet alluvial, il se forme lors des crues par l'accumulation des sédiments en suspension (dont des sables). Ce phénomène est lié à la perte d'énergie subie par les écoulements lorsqu'ils débordent du lit mineur du fleuve et viennent s'étaler sur la plaine d'inondation. Ce dispositif sédimentaire se retrouve donc fréquemment le long des cours d'eau (Bruxelles in van den Bel 2012).

I.2.1.3. Stratigraphies et interprétations

La fouille de CSL a permis de mettre en évidence la présence d'un anthroposol dans le faciès sableux de la terrasse avec une épaisseur maximale d'environ 90 centimètres (**Figure 37 - Bas**). Il apparaît que dans la zone distale de la terrasse, dans la zone hydromorphe, ce niveau stratigraphique est plus foncé que sur le « sommet » de la

terrasse (partie proximale). La couleur sombre de cet anthroposol a conduit certains à le classer spontanément comme un sol de *Terra Preta lato sensu*.

L'observation géomorphologique réalisée par L. Bruxelles, lors de la fouille du site, sur deux logs stratigraphiques situés dans la zone hydromorphe et le versant oriental de la levée, a permis de distinguer deux ensembles principaux dans la stratigraphie (Bruxelles in van den Bel 2012) (**Figures 37** et **38**).

Sur le premier profil (log A), à la base, l'horizon B est constitué d'une épaisse formation de sables argileux ocre plus ou moins orangé (UMaS 6 et 7). La texture et la couleur de ce niveau rappellent celles d'un horizon enrichi en argile par illuviation depuis les horizons supérieurs. On trouve des indices d'hydromorphie temporaire, liés à la proximité de la nappe, par des teintes ocres, même légèrement verdâtres dans les parties les plus basses, dues à des phénomènes d'oxydo-réduction du fer (UMaS 7). Puis, on passe de manière très brutale à un niveau de sables gris noirs à vestiges archéologiques. D'après les observations de terrain de L. Bruxelles, il aurait pu y avoir ici une troncature très nette qui aurait fait disparaître l'horizon supérieur de cet ancien sol. Il l'interprète comme une crue possible du Maroni ou de la crique Balaté un peu plus violente que les autres qui aurait pu créer cette troncature. Les horizons supérieurs rendus ainsi plus meubles par le lessivage sont plus sensibles à l'érosion que l'horizon sous-jacent B, plus compact du fait de sa matrice argileuse. Ce niveau supérieur sableux gris noirs (UMaS 4) se serait accumulé progressivement lors des débordements du Maroni, et aurait été remanié par colluvionnements des sables de la levée. Ainsi, on observe, par la conjonction de ces deux phénomènes, un colmatage plus rapide et plus important dans la zone basse/distale du site que sur la partie haute/proximale du bourrelet alluvial. Cet horizon noir traduit l'occupation du site directement sur les sables argileux ocres, après la troncature. Puis il s'est fossilisé par la poursuite de la sédimentation sous forme de sables bruns (UMaS 3), et dont la partie supérieure a été perturbée par une mise en culture (UMaS 2) (Bruxelles in van den Bel 2012).

Dans le second profil (log B), étudié par L. Bruxelles, il apparaît un niveau de sables blancs entre l'horizon B (UMaS 7) et l'horizon d'occupation noir (UMaS 4) (**Figure 38**). Ces sables ont subit un lessivage suite à leur mise en place. En effet, alors que les niveaux sableux bruns et noirs sus-jacents sont très perméables, les sables argileux sous-jacents vont bloquer les infiltrations, l'argile rendant le passage de l'eau difficile dans la matrice du sol (ibid). Ainsi, l'interface entre les deux horizons, soit entre les UMaS 7 et UMaS 4, est soumise à des circulations d'eau latérales favorisant l'exportation de la fraction fine et des éléments solubles (éluviation, lessivage, lixiviation). Une partie du fer transporté va alors

se redéposer au sommet des sables ocres sous-jacents, formant des nodules ferrugineux plus ou moins indurés. Il est très intéressant de remarquer que ce phénomène de podzolisation est localisé dans la partie orientale de la zone fouillée du site, marquée par l'hydromorphie, autour des structures en creux (fosses, fossés) présentes dans le niveau d'occupation (UMaS 4). En réalité, au niveau de ces points bas, la conjonction entre un mauvais drainage, une interface favorable aux circulations latérales d'eau et une source potentielle d'acidité ont probablement favorisé le développement de poches de sables blancs lavés (E) (ibid.).

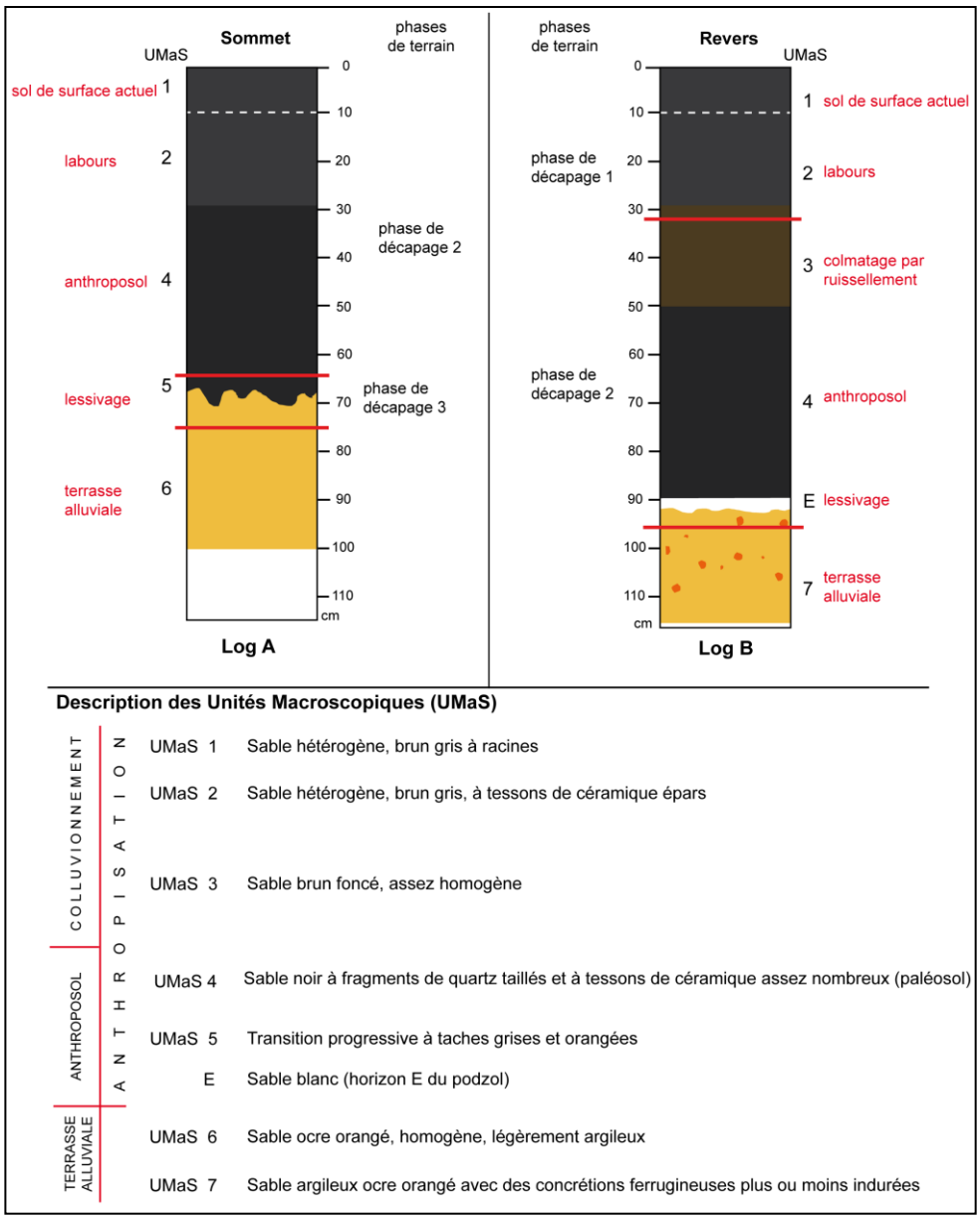


Figure 38 : Relevés schématiques des profils A et B observés par L. Bruxelles pour interpréter la géomorphologie du site et caractérisation des UMaS (modifié d'après van den Bel 2012).

I.2.1.4. Apport de l'analyse géoarchéologique

Les données de terrain et les observations pédo-géomorphologiques soulignent la présence d'un anthroposol noir défini initialement comme un horizon de *Terra Preta* (van den Bel 2012). Or, classifier cet anthroposol noir comme un horizon de *Terra Preta* revient à lui conférer spontanément les caractéristiques définies pour ces dernières, sans que cela n'ait été prouvé ou vérifié par des analyses plus approfondies. Ainsi, ce travail de recherche va s'intéresser aux propriétés intrinsèques et aux caractéristiques pédologiques de cet anthroposol noir, grâce à la micromorphologie des sols et à des analyses physico-chimiques. Cela permettra dans un premier temps de décrire cet anthroposol comme une entité à part entière, puis dans un second temps de le rattacher ou non à un horizon de *Terra Preta lato sensu*.

I.2.1.5. Stratégies d'échantillonnage et prélèvements

Sur le terrain, J. Wattez et C. Cammas (INRAP) ont échantillonné deux profils complets (CSL-1 et CSL-2), des niveaux humifères de surface au substrat alluvial archéologiquement stérile, afin d'appréhender les variations verticales fines des microfaciès. Le choix d'emplacement des prélèvements s'est fait après discussions avec l'archéologue responsable, M. van den Bel (**Figure 37 - Haut**). Les prélèvements ont été faits sous forme de blocs de sol non perturbés, pour les analyses micromorphologiques, associés à des sédiments en vrac (environ 500 grammes) pour les analyses physico-chimiques.
Les deux profils furent observés sur environ 1 mètre de profondeur, et prélevés sur 90 centimètres.

CSL-1, a été observé et prélevé sur la berme sud-est du site, au niveau de la zone distale de la plaine d'inondation du Maroni (**Figure 37-Haut**). Six lames minces ont été fabriquées : SLO 1, SLO 2, SLO 3, SLO 4, SLO 5H et SLO 5B (**Figure 39-Haut**).
Ce profil a fait l'objet d'une première analyse géoarchéologique, dans le cadre d'un Master 2 (Brancier 2009).
Le second profil, CSL-2, a été observé et prélevé sur la berme nord-est, également au niveau de la zone hydromorphe du site (**Figure 37-Haut**). Six lames minces ont été réalisées : SLO 6, SLO 7, SLO 8H, SLO 8B, SLO 9, SLO 10 (**Figure 39-Bas**).

Dans ces deux profils, les échantillons de sol en vrac ont été prélevés de manière systématique tous les 10 cm de profondeurs environ (**Tableaux 6 et 7**).

UMaS	Prof. (cm)	Vracs associés	Lames minces correspondantes
2	0 - 20	V1 (≈ 10 cm)	SLO 1
3	20 - 45	V2 (≈ 20 cm), V3 (≈ 30 cm) et V4 (≈ 40 cm)	SLO 1, SLO 2 et SLO 3
4	45 - 60	V4 (≈ 40 cm) et V5 (≈ 50 cm)	SLO 3 et SLO 4
5	60 - 75	V6 (≈ 65 cm)	SLO 4, SLO 5H et SLO 5B
6	75 …	V7 (≈ 75 cm) et V8 (≈ 85 cm)	SLO 5B

Tableau 6 : Prélèvements sur CSL-1, en fonction des UMaS décrites sur le terrain.

UMaS	Prof. (cm)	Vracs associés	Lames minces correspondantes
1	0 - 20	V1' (≈ 10 cm)	pas de prélèvements
2	20 - 0	V2' (≈ 20 cm	SLO 6
3	30 -50	V3' (≈ 30 cm) et V4' (≈ 40 cm)	SLO 6, SLO 7 et SLO 8H
4	50 - 70	V5' (≈ 50 cm)	SLO 8H et SLO 8B
5	70 - 80	V6' (≈ 60 cm) et V7' (≈ 70 cm)	SLO 8B, SLO 9 et SLO 10
6	80 …	V8' (≈ 80 cm)	SLO 10

Tableau 7 : Prélèvements sur CSL-2, en fonction des UMaS décrites sur le terrain.

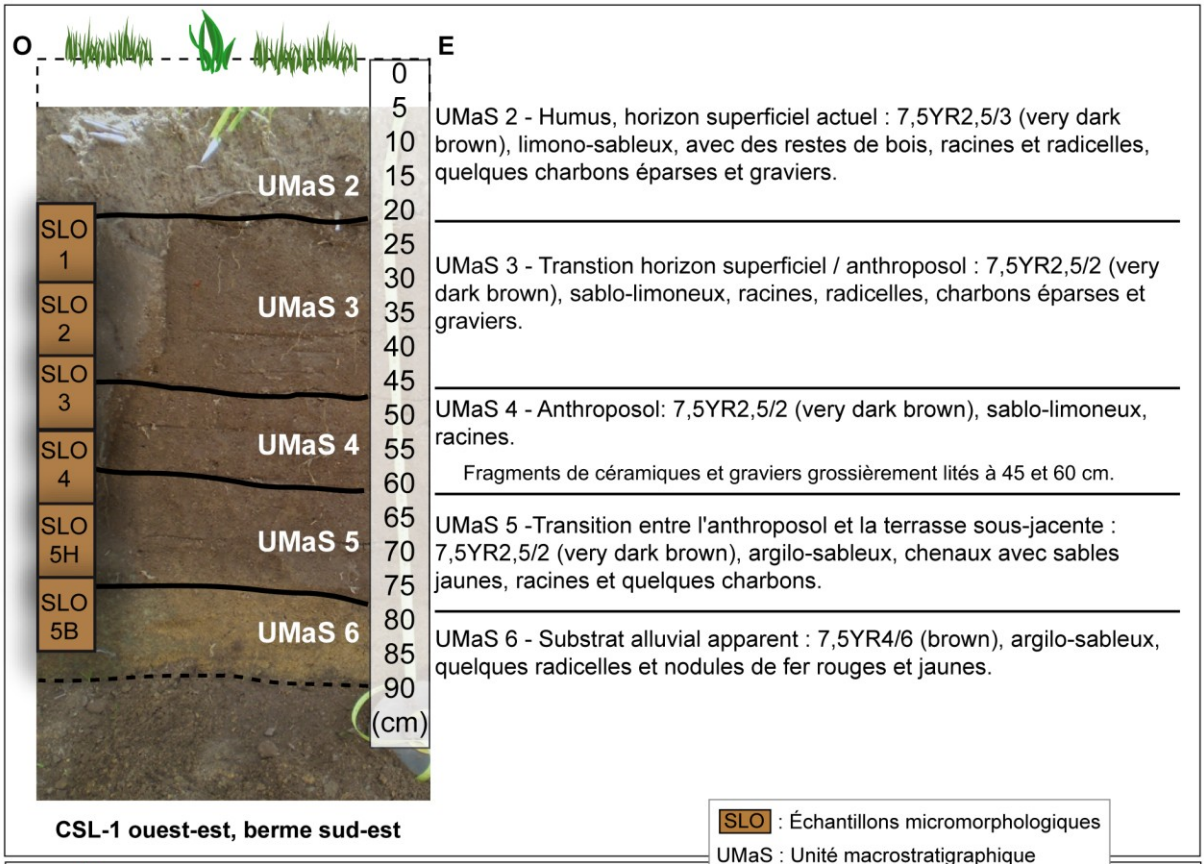


Figure 39 : Descriptions de terrain des profils CSL-1 et CSL-2 étudiés dans ce travail.

I.2.2. Le site de Balaté (BAL)

I.2.2.1. Synthèse des occupations précolombiennes

Le site archéologique se situe sur le village amérindien Arawak actuel de Balaté. La tradition orale, ainsi que les datations (n=4), rapportent une occupation d'époque historique Lokono autour de 1600 et 1850 cal. AD (van den Bel 2008 ; 2015).

Lors de la fouille, une zone de dépôt d'urnes funéraires a été mise en évidence ainsi que des lambeaux d'épandage de céramiques fragmentées, qui correspondent à d'anciennes occupations amérindiennes (Briand en préparation). Ces artefacts ont été trouvés au sein d'un horizon sombre, associé à un anthroposol. Ce dernier a été tronqué dans sa partie supérieure sur la majeure portion du site, du fait des travaux et des remaniements récents survenus au niveau de la Pointe Balaté (usine à graviers, remblais) (Briand en préparation).

Une première occupation ancienne daterait de l'*ECA*), correspondant à la phase 2 du site de Chemin Saint-Louis, autour de la première moitié du premier millénaire AD (van den Bel 2015).

Quinze datations radiocarbones associées à la chronologie céramique indiquent une occupation Arauquinoïde, de culture céramique Barbakoeba essentiellement autour de 1000-1300 cal. AD (van den Bel 2015), associée à la zone funéraire. Cette occupation serait contemporaine de la phase 3 de Chemin Saint-Louis (van den Bel 2008 ; van den Bel 2012 ; van den Bel 2015) (cf. *supra*). Les datations et les céramiques indiquent une occupation autour de 1500 cal.AD, par une population appartenant à la culture Koriabo (van den Bel 2015 ; Briand en préparation). Il est intéressant de noter que la présence de la culture Koriabo sur ce site archéologique vient confirmer le fait que cette population a tendance à s'implanter sur des sites antérieurs appartenant à des cultures différentes (Rostain 2007).

I.2.2.2. Implantation géomorphologique du site

Situé à la confluence de la crique Balaté (au sud) et du fleuve Maroni (à l'ouest et au nord), le site de Balaté occupe une pointe argilo-sableuse, la Pointe Balaté (**Figure 40**). D'orientation NE/SW, cette pointe occupe une surface d'environ 17 000 m^2 en aval des îles Portal et de la Quarantaine. Elle fait face au Suriname, distant d'environ 2 200 mètres (Todisco in Briand en préparation). Le site archéologique de Balaté, identifié sur 20000 m^2, occupe la partie méridionale de la plaine côtière guyanaise (**Figure 34**). Il est implanté sur la basse terrasse Holocène fluvio-estuarienne (T4), au même titre que le site de Chemin Saint-Louis (Palvadeau 1999) (**Figure 35**). Cette terrasse T4 possède ici aussi une levée

naturelle identifiable. Lors de la campagne de fouille, plusieurs sondages profonds ont été ouverts afin de documenter la stratigraphie (Todisco in Briand en préparation) (**Figure 41**).

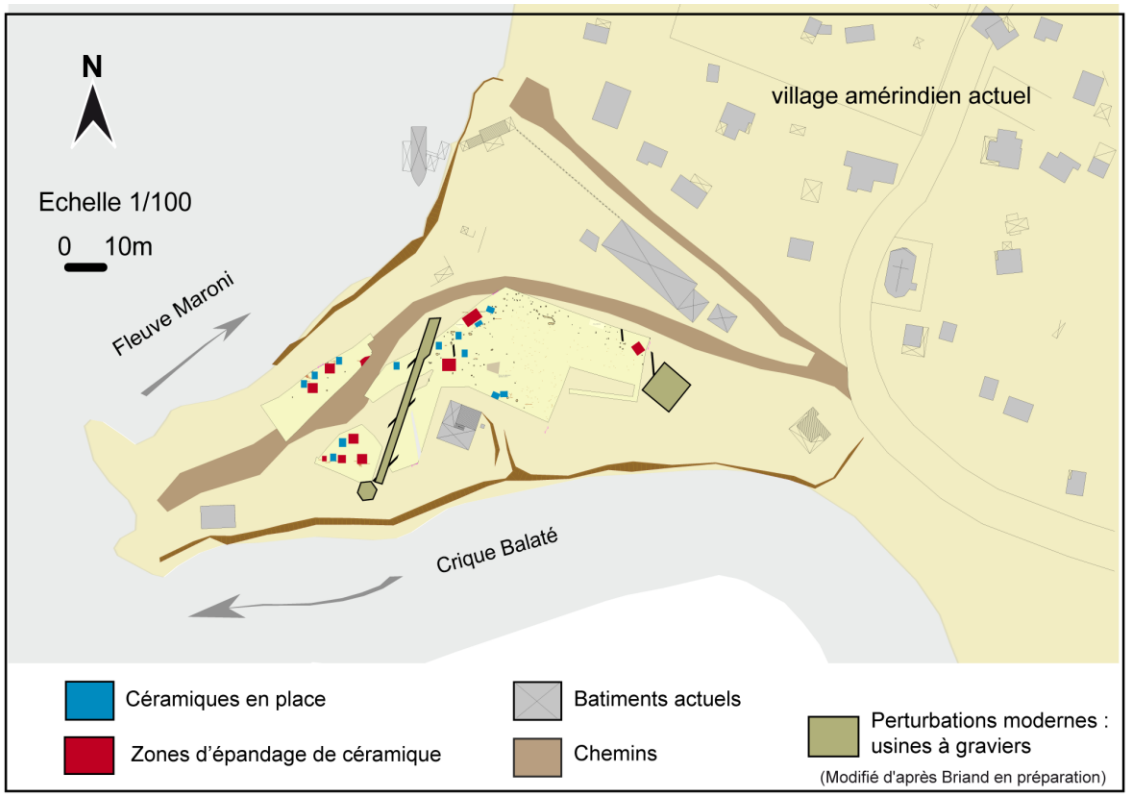


Figure 40 : Emplacement du site de Balaté par rapport au fleuve Maroni, à la crique Balaté et au village amérindien actuel.

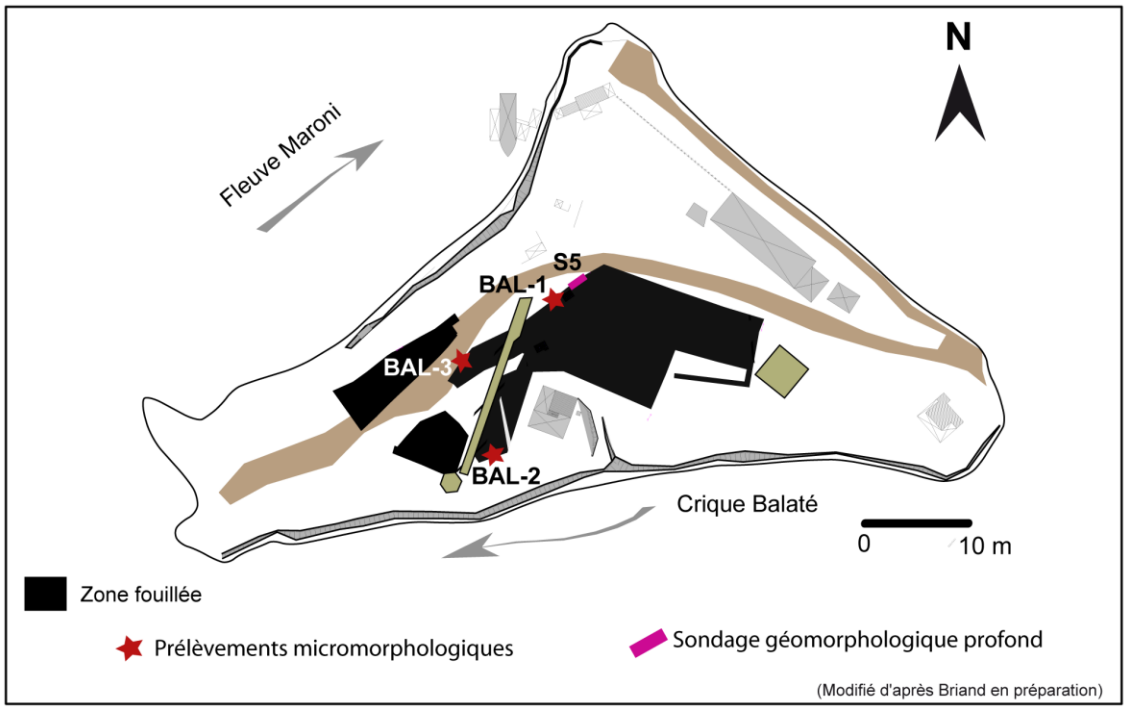
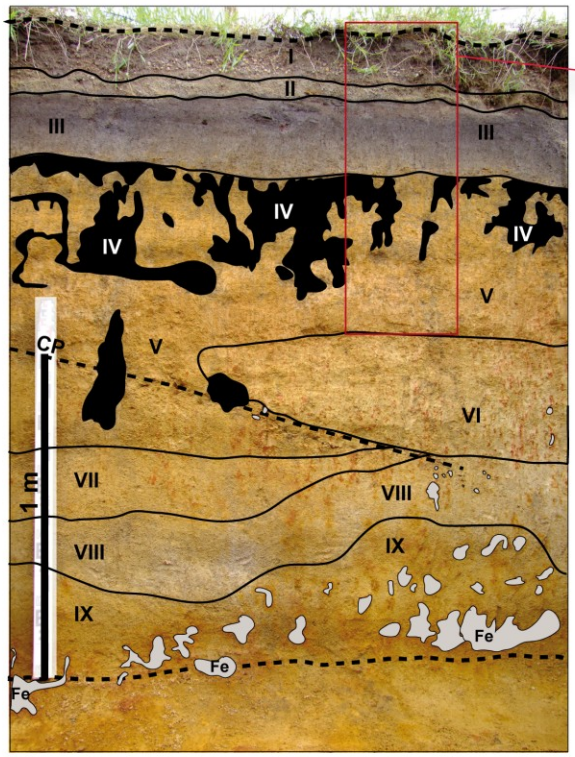


Figure 41 : Zoom sur le zone de la fouille avec les emplacements des trois profils étudiés dans ce travail, ainsi que du sondage géomorphologique profond réalisé par D. Todisco.

I.2.2.3. Stratigraphies et interprétations

Les faciès pédo-sédimentaires de chaque sondage ont été observés en coupe et en sondage profond par le géomorphologue D. Todisco. Uniquement le sondage 5 sera présenté ici, car il est le plus représentatif de la stratigraphie archéologique présente sur le site de Balaté (**Figures 41 et 42**).

Ce sondage a été observé jusqu'à 4,10 m sous la surface, dont l'altitude relative est d'environ 3,50 mètre par rapport au Maroni. Les unités macrostratigraphiques (chiffres romains) définies par le géomorphologue correspondent à différents faciès fluvio-estuariens, marqués par des variations colorimétriques et texturo-structurales (verticales et latérales) (Todisco in Briand en préparation) (**Figure 42**). L'anthroposol archéologique (III), que l'on trouve entre 25 et 45 centimètres de profondeur environ, s'individualise des horizons supérieurs modernes (I et II) grâce notamment à sa couleur brun à gris très foncé (10YR3/2). Au sein de celui-ci, un charbon de bois situé dans le tiers supérieur gauche de l'unité, a donné un âge de 195 +/- 30 BP (Poz-35841) soit 1 729-1 810 cal. AD (P = 95 %), attestant d'un possible fonctionnement historique de l'anthroposol. Il semble alors que les contaminations charbonneuses anthropiques postérieures à l'époque précolombienne soient assez probables (ibid.).Plus bas, la limite diffuse entre l'anthroposol archéologique et les horizons inférieurs est marquée par une bioturbation intense (IV). Ces dépôts sous-jacents correspondent à des alluvions limono-sableuses, jaunes (10YR6/6) (V), bioturbées, marquées par endroits par des traits rédoxiques liés à l'hydromorphie (VI, VII, VIII, IX). De manière globale, les stratigraphies observées sur l'ensemble du site ont révélé la présence de faciès anthropoturbés (anthroposols modernes ou archéologiques) et bioturbés (bioturbation racinaire affectant les alluvions) (Todisco in Briand en préparation).





Sondage S5 observé et prélevé par D. Todisco

S5 : Échantillon micromorphologique
I : Unité macrostratigraphique
- - - - : Limite d'observation du profil

I = Anthroposol moderne humifère, brun (10YR 4/3), sable (moyen à grossier) limoneux, mal trié et hétérogène, à granules et gravillons fréquents, clastes anguleux épars, meuble, bioturbé (racines et pédofaune), fragments de verre épars;

II = Anthroposol moderne, brun jaunâtre léger (2.5Y 6/3), sable (moyen fin à très grossier) à passées limono-sableuses brunes jaunâtres (10YR5/6 à 5/8), clastes anguleux à subanguleux épars, bioturbation racinaire, charbons épars;

III = Anthroposol archéologique humifère, limon sableux à sable (moyen) limoneux, brun grisâtre très foncé à gris très foncé (10YR3/2 à 3/1), matière organique très dégradée, bioturbation racinaire, meuble, tessons de céramique (tiers supérieur de l'unité) et charbons épars ;

IV = Zones de bioturbation racinaire et pédofaunique, brunes grisâtres plus ou moins foncées;

V = Limon sableux à passées plus argileuses (vers la base de l'unité), jaune brunâtre (10YR 6/6 à 6/8), moyennement meuble, petites marbrures rédoxiques rougeâtres, concrétionnements ferriques localisés en plaquettes (CP);

VI = Argile limono-sableuse (à sable moyen), brune très pâle (10YR 7/4) à jaune pâle (2.5Y 7/4), fréquentes petites marbrures rédoxiques rougeâtres, meuble à moyennement meuble avec légers concrétionnements ferriques localisés, signes de bioturbation (veines racinaires éparses);

VII = Sable (moyen) limoneux, jaune brunâtre (10YR 6/6), petites marbrures rédoxiques (ferriques) rougeâtres ;

VIII = Sable (moyen) limoneux à passées plus sableuses, brun pâle à très pâle (10YR 6/3 à 7/4), marbrures rédoxiques (ferriques) orangées à rougeâtres, bioturbation localisée;

IX = Sable (moyen à moyen grossier) peu limoneux, jaune (10YR 7/6), fréquentes marbrures rédoxiques orangées à rougeâtres, concrétionnements ferriques.

Figure 42 : Descriptions macroscopiques du sondage profond (S5) (d'après le géomorphologue D. Todisco).

I.2.2.4. Apport de l'analyse géoarchéologique

L'étude géomorphologique réalisée par D. Todisco, a permis de mettre en évidence, grâce à diverses analyses pédologiques et physico-chimiques associées, qu'*a priori* l'anthroposol archéologique ne montre pas de bonnes qualités agronomiques (faible fertilité), ne permettant ainsi pas de le rattacher à un horizon de *Terra Preta* (*lato sensu*). D'après D.Todisco, « *les investigations géoarchéologiques ultérieures devront systématiser la caractérisation pédologique des anthroposols précolombiens rencontrés sur les terrasses du Maroni, et plus généralement en Guyane française, afin de mieux comprendre la genèse et l'originalité des sols archéologiques amérindiens guyanais* » (Todisco in Briand en préparation). Il semblait ainsi opportun de compléter ces premières données, en utilisant la micromorphologie des sols couplés à des analyses physico-chimiques complémentaires, afin d'avoir un panel complet d'analyse géoarchéologique sur cet anthroposol archéologique guyanais. Cela permet également d'avoir des données géoarchéologiques sur un second site en contexte de plaine alluviale, en l'occurrence ici celle du Maroni, qui peuvent être directement comparées à celles obtenues sur Chemin Saint-Louis.

I.2.2.5. Stratégies d'échantillonnage et prélèvements

Le choix des emplacements des prélèvements s'est fait en discutant avec J. Briand, responsable des opérations de fouille et D. Todisco, géomorphologue en charge de l'étude du site. Trois profils complets ont alors été prélevés, des niveaux humifères de surface au substrat alluvial archéologiquement stérile, afin d'appréhender les variations verticales fines des microfaciès.

Le premier profil, BAL-1, a été prélevé à proximité d'un lambeau d'anthroposol constitué d'un épandage de céramiques fragmentées, non loin du sondage 5 (S5) (**Figure 41**). Il se situe à environ 30 mètres au sud-ouest du fleuve et à 65 mètres au nord de la crique Balaté. Il a été observé sur environ 60 centimètres et prélevé sur 30 cm d'épaisseur. Trois lames minces ont été réalisées, BAL 1-1, BAL 1-2, BAL 1-3 (**Figure 43**). L'analyse micromorphologique du profil 1 va ainsi venir compléter les analyses sédimentologiques réalisées à proximité dans le sondage S5 étudié par D. Todisco. Trois échantillons de sol en vrac ont été prélevés dans ce profil **(Tableau 8)**.

UMaS - D. Todisco	UMaS - J. Brancier	Prof. (cm)	Vracs associés	Lames minces correspondantes
I	1	0 - 20	pas de prélèvements	pas de prélèvements
II	2	20 - 30	V1-1 (≈ 20 cm)	BAL 1-1
III	3	30 - 40	V1-2 (≈ 30 cm)	BAL 1-1 et BAL 1-3
III	4	40 - 45	V1-3 (≈ 45 cm)	BAL 1-2 et BAL 1-3
IV	5	45 - 55	pas de prélèvements	BAL 1-3
V	6	55 …	pas de prélèvements	BAL 1-3

Tableau 8 : Prélèvements en fonction des UMaS décrites sur le terrain, profil BAL-1.

Les prélèvements 2 et 3 (BAL-2 et BAL-3) ont été réalisés à l'ouest de la zone de fouille (**Figure 41**). Ces secteurs ont révélé des structures archéologiques différentes avec la présence d'urnes funéraires à proximité de BAL-3. L'objectif est alors de tenter de discriminer, via la micromorphologie, différents marqueurs d'occupation dans le sol, au sein du site.

UMaS	Prof. (cm) sous 40 cm de remblai	Vracs associés	Lames minces correspondantes
1	0 - 10	V2-1 (≈ 10 cm)	BAL 2-1
2	10 - 20	V2-2 (≈ 20 cm)	BAL 2-1 et BAL 2-2
3	20 - 35	V2-3 (≈ 30 cm)	BAL 2-3 et BAM 2-4H
4	35 - 50	V2-4 (≈ 40 cm)	BAL 2-4B et BAL 2-5
5	50 …	V2-5 (≈ 50 cm) et V2-6 (≈ 60 cm)	BAL 2-5 et BAL 2-6

Tableau 9 : Prélèvements en fonction des UMaS décrites sur le terrain, profil BAL-2.

BAL-2 se situe à environ 60 m au sud sud-ouest du fleuve et à 20 mètres au nord de la crique. D'une épaisseur réelle d'un mètre, ce profil a été observé et prélevé sur 60 cm, sous 40 cm de remblais actuels. Sept lames minces ont été réalisées : BAL 2-1, BAL 2-2, BAL 2-3, BAL 2-4H, BAL 2-4B, BAL 2-5, BAL 2-6 (**Figure 43**). Les échantillons de sol en vrac ont été prélevés de manière systématique tous les 10 cm environ (**Tableau 9**).

UMaS	Prof. (cm) sous 40 cm de remblais	Vracs associés	Lames minces correspondantes
2	0 - 5	V3-1 (≈ 5 cm)	BAL 3-1
3	5 - 15	V3-2 (≈ 10 cm)	BAL 3-1
4	15 - 35	V3-3 (≈ 20 cm) et V3-4 (≈ 30 cm)	BAL 3-2 et BAL 3-3
5	35 - 50	V3-5 (≈ 40 cm) et V3-6 (≈ 50 cm)	BAL 3-3 et BAL 3-4
6	50 - …	V3-7 (≈ 60 cm), V3-8 (≈ 70 cm), V3-9 (≈ 80 cm) et V3-10 (≈ 90 cm)	BAL 3-5

Tableau 10 : Prélèvements en fonction des UMaS décrites sur le terrain, profil BAL-3.

Le dernier profil, BAL-3 se situe à environ 30 mètres à l'ouest du fleuve, et à 50 mètres au nord de la crique (**Figure 41**). Comme pour BAL-2, il a été observé sur 60 cm d'épaisseur, sous 40 cm de remblais actuels. Cinq lames minces ont été fabriquées : BAL 3-1, BAL 3-2, BAL 3-3, BAL 3-4, BAL 3-5 (**Figure 43**).
Les échantillons de sol en vrac ont également été prélevés de manière systématique tous les 10 cm environ (**Tableau 10**).

Dans ce travail, il a également été intégré le prélèvement micromorphologique (une lame mince) réalisé par D. Todisco dans le tiers supérieur de la couche archéologique au sein du sondage S5, ainsi que les résultats physico-chimiques qu'il a obtenu sur les sédiments de ce sondage (**Figure 42**).

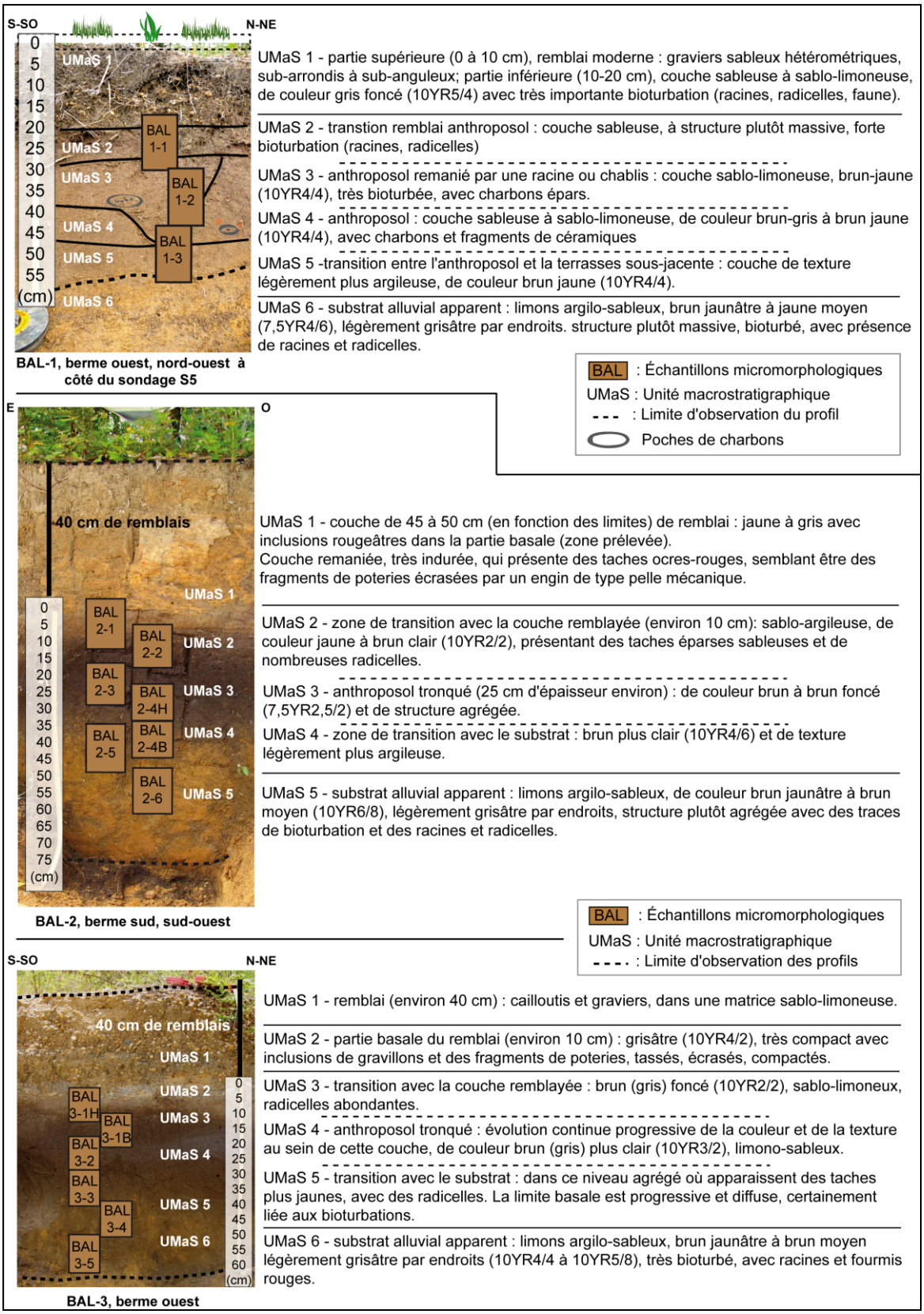


Figure 43 : Descriptions de terrain des profils BAL-1, BAL-2 et BAL-3, étudiés dans ce travail.

II. Les sites fossoyés sous forêt équatoriale humide

Lors de ce travail de recherche, il semblait pertinent de s'intéresser à un autre contexte archéologique, présenté précédemment, à savoir les sites fossoyés. Situés au sommet de collines latéritiques, sous couvert forestier, ces sites sont recensés à une quarantaine aujourd'hui sur le territoire guyanais, bien que ce chiffre semble très en deçà de la réalité (Mestre 2012). Ces sites sont dits fossoyés car ils présentent généralement un profond fossé, volontairement creusé par l'homme, leur conférant le nom vernaculaire de montagne couronnée (MC) en Guyane française. Trois sites fossoyés ont été étudiés grâce à notre participation au projet Couac (Conséquence d'Occupation et de l'Utilisation par les Amérindiens du Couac), pour les sites MC 87 et MC 88, et à notre collaboration avec l'équipe Inrap-Guyane, pour le site de Yaou.

II.1. Montagnes couronnées 87 et 88

II.1.1. Projet COUAC

Issu de la rencontre de l'archéologie et de l'écologie, dont les développements récents conduisent à s'intéresser à l'importance des impacts humains anciens sur les forêts, le projet COUAC avait pour but de s'interroger sur l'« *impact des occupations amérindiennes anciennes sur les propriétés des sols et la diversité des forêts de la frange côtière guyanaise* ». En effet, les écologues des milieux tempérés ont progressivement pris en considération l'impact des activités agricoles anciennes sur les forêts (Dupouey et al. 2002, 2007). Les archéologues, ont, de leur côté, découverts d'anciens sites amérindiens en forêt tropicale guyanaise, suggérant que le paysage forestier actuel pourrait avoir été influencé et marqué par ces anciennes occupations. Ces considérations font écho aux travaux d'écologie historique impulsés en Amazonie par W. Balée et C. L. Erickson, dans lesquels ces auteurs développent l'idée d'une « *domestication du paysage* » par les populations amérindiennes anciennes (Balée & Erickson 2006).

Le projet COUAC a duré de 2008 à 2010. Les trois responsables scientifiques étaient E. Dambrine (Inra Nancy - UR Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers)[2] et S. Jérémie (Inrap) initialement, puis B. Hérault (Université Antilles-Guyane/Cirad-UMR EcoFoG) a repris le

[2] Actuellement, UMR Cartel Inra-Université de Savoie.

flambeau. L'objectif général du projet était de développer une étude sur les conséquences des activités amérindiennes anciennes sur la forêt, et notamment sur le fonctionnement actuel de l'écosystème forestier guyanais (Jérémie & Dambrine 2012).

Les enjeux scientifiques étaient de trois ordres :

- Comprendre jusqu'à quel degré les forêts actuelles ont été anthropisées.

Il n'existe pas, à l'heure actuelle, de véritable typologie des sites archéologiques retrouvés sous forêt tropicale guyanaise permettant de caractériser le degré d'occupation et les pratiques anciennes. Ce projet avait pour mission d'apporter des informations nouvelles sur la nature et l'intensité des activités humaines anciennes, pratiquées sur plusieurs sites archéologiques, en contexte de forêt équatoriale humide.

- Identifier si les usages anciens ont modifié de manière significative la fertilité des sols forestiers.

Les sols des plateaux guyanais étant très pauvres chimiquement, leur enrichissement volontaire par les populations amérindiennes anciennes, à des fins de mise en culture, devrait conduire à une augmentation de la fertilité, susceptible de perdurer sur le long terme (à l'échelle pluriséculaire). En contexte de forêt tempérée, les indicateurs d'enrichissement ancien du sol sont connus et ont été étudiés (Dupouey et al. 2002, 2007).

- Explorer la diversité des espèces floristiques actuelles en lien avec les usages anciens.

On connaît aujourd'hui les mécanismes liés à la dynamique de régénération par trouées des forêts tropicales, qui expliquent une large part de la composition des communautés actuelles. Il se pourrait qu'il existe également des dynamiques à beaucoup plus long terme, liées aux perturbations anthropiques anciennes par le feu ou la mise en culture. Aujourd'hui, d'un point de vu spatial, seule une faible part des variations des compositions dans les communautés végétales s'explique par les contraintes naturelles de l'environnement (climat, topographie, chute d'arbres, nature du substrat, etc.). La prise en compte de la localisation des activités humaines anciennes pourrait permettre d'améliorer cette compréhension de la distribution des espèces végétales en forêt tropicale, ainsi que leurs structures génétiques intra-spécifique.

Pour répondre à ces trois enjeux principaux, une dizaine de sites ont fait l'objet d'études approfondies dans diverses disciplines scientifiques[3].

[3] Partenaires scientifiques du projet : M. van den Bel, M. Mestre & M. Hildebrand – archéologues (Inrap-Guyane), P. Grenand – ethnobotaniste (IRD), B. Ferry & V. Freycon – pédologues

Dans le cadre de ce travail, nous avons travaillé sur deux sites fossoyés que sont MC 87 et MC 88. Grâce à ce projet, il a également été possible d'obtenir des données sur un site considéré comme leur homologue « naturel » (d'après les observations pédologiques) : Saut Lavillette (Ferry & Freycon 2012).

II.1.2. Cadre environnemental

II.1.2.1. Implantation géomorphologique des sites

Ces trois sites sont situés sur la commune de Régina, dans une zone de relief (< 100 m de hauteur), entre les bassins versants des criques Kapiri et Kourouaï, affluents du fleuve Approuague (**Figure 44**).

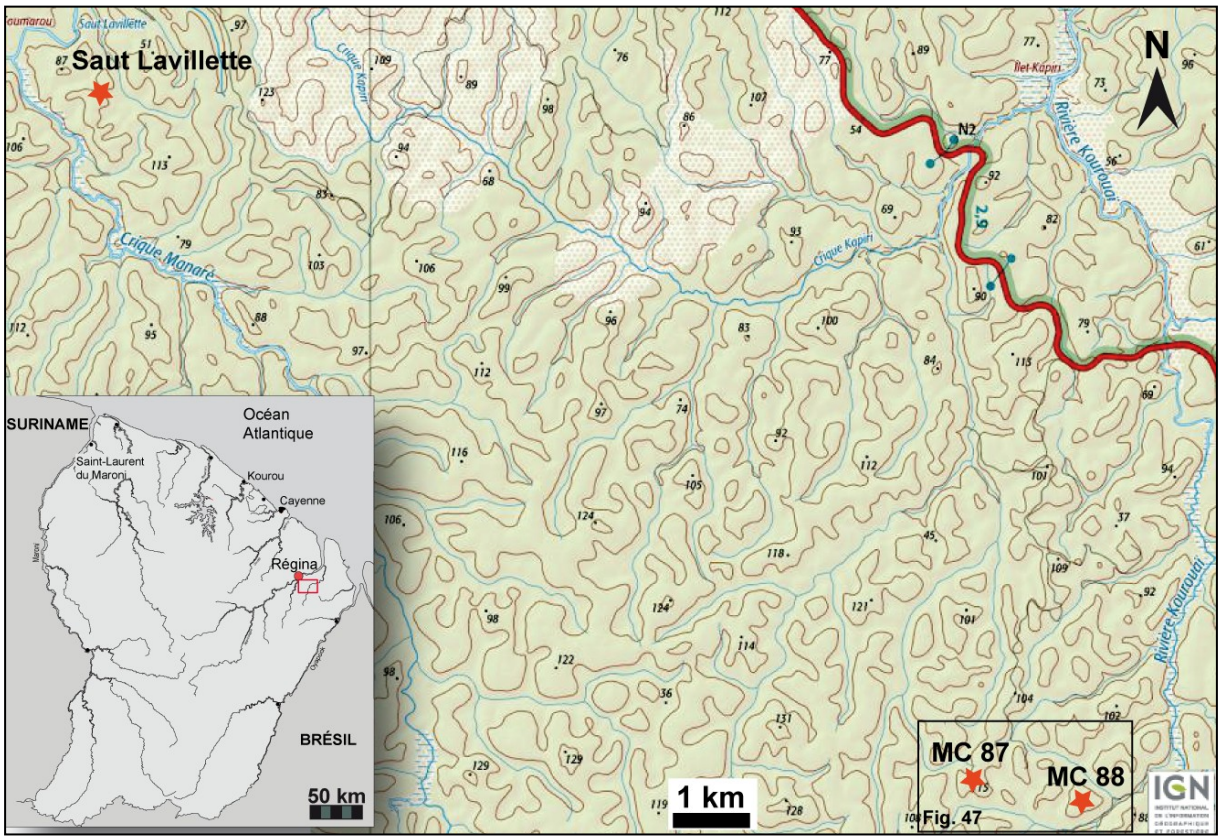


Figure 44 : Situation géographique des sites MC 87, MC 88 et Saut Lavillette.

(AgroParisTech & Cirad), J.-F. Molino & D. Sabatier – botanistes (IRD); I. Scotti – généticien (Inra), J.-L. Dupouey – phytoécologue forestier (Inra) ; ainsi que plusieurs étudiants (M. Burst) et doctorants : S. Barthe – généticienne (thèse soutenue en 2012), J. Brancier.

La topographie générale du secteur est marquée par un ensemble de collines entre 80 et 100 mètres de hauteur, aux pentes très abruptes séparées par des zones de bas-fond, le plus souvent hydromorphes (**Figure 45**).



Figure 45 : Zone de bas fond à proximité de la MC 87 (photo de l'auteure).

La pluviosité moyenne annuelle est comprise entre 3 750 et 4 000 mm (période de 1971/2000 ; d'après Barret 2001). Les sites sont recouverts d'une dense forêt ombrophile dont les espèces végétales ont été répertoriées (cf. **Annexes 1**). Sur la MC 87, c'est essentiellement l'espèce *Oenocarpus bataua* qui a été observée, le genre *Pouteria* et *Protium*, respectivement 77 et 74 individus, et les familles des *Sapotaceae, Burseraceae*, *Arecaceae* et *Lecythidaceae*, avec plus de 50 individus chacune.

Les sites de montagnes couronnées sont souvent découverts par hasard lors de déplacements en forêt ou d'ouverture de routes par l'ONF[4]. Ce fut le cas pour MC 87, découverte par O. Bruneaux (ONF), lors d'une prospection au bout d'une nouvelle piste ONF après la crique Kapiri. MC 88 fut reconnue par B. Hérault, au cours d'une prospection pédestre, dans le cadre d'une mission Couac, sur une colline voisine de la MC 87, à 2 km de distance environ (**Figure 47**).

[4] Office Nationale des Forêts.



Légende : la photo est prise du fond du fossé. On s'aperçoit qu'il est profond d'environ 1m50 à 2m en fonction des endroits. A droite, vers l'extérieur du site, la pente est plus abrupte qu'à gauche, vers l'enceinte du site.

Figure 46 : Fossé de la MC 87 tel qu'il est visible actuellement (photo : M. Burst).

Le site MC 87 correspond au replat sommital, en position d'interfluve, d'une colline de 84[5] m d'altitude, ceinturé par un fossé de 2 à 3 mètres de large et atteignant 2 mètres de profondeur, en position de haut de versant (**Figures 46 et 47**). L'espace ainsi délimité par le fossé couvre environ 1 hectare. Sa surface relativement plane (pente : 5% environ) est isolée du reste du relief par une forte déclivité naturelle sauf en partie médiane où passe une ligne de crête **(**Freycon 2009**).**

Le site MC 88 se trouve, quant à lui, au centre d'un sommet plat de colline de plusieurs dizaines d'hectares, à une altitude de 82[6] mètres. Le fossé entourant le site est à peu près de même dimension que pour la MC 87 (Desprez et al. 2010). L'espace alors délimité par le fossé présente une surface relativement plane (pente : 5% environ) et couvre à peu près la même surface que le site MC 87, à savoir environ 1 hectare. Du côté nord-ouest du site, la pente est assez forte (> 30%) tandis qu'elle est faible et régulière pour les autres côtés (environ 10%) jusqu'en bordure du replat sommital (ibid.).

[5] Il est intéressant de noter qu'en fonction des documents, l'altitude de la colline varie de 84 m (données Couac) à 115 m (données IGN) (Figure 47).

[6] Les données IGN indiquent une hauteur de 106 m pour la colline (Figure 47).

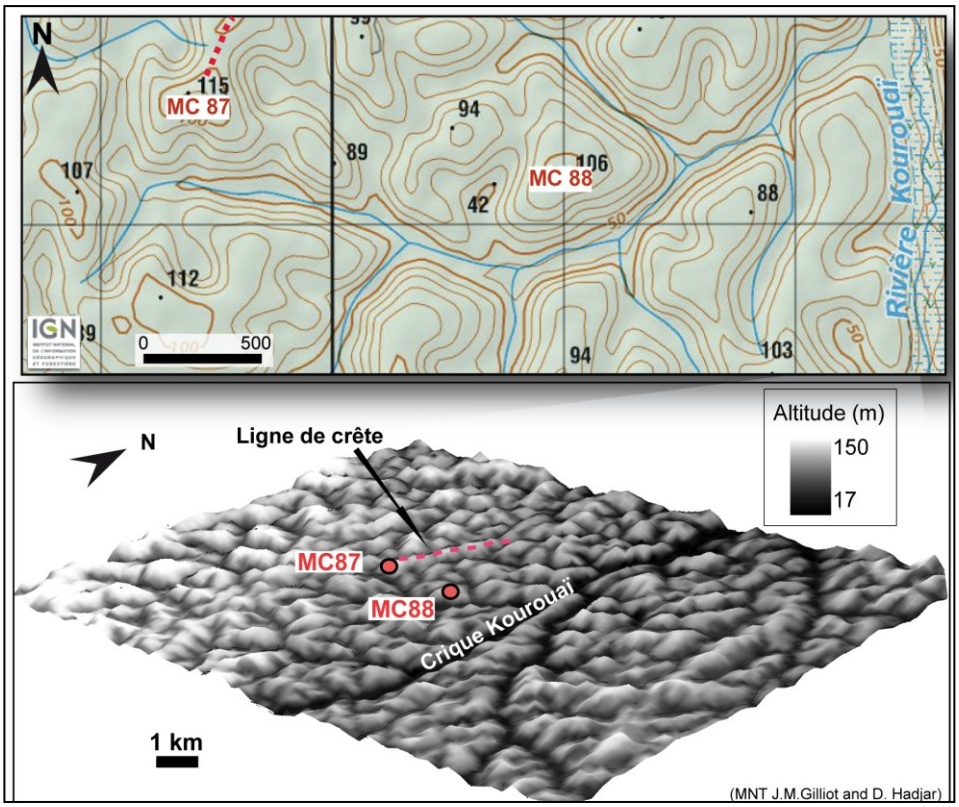


Figure 47 : Haut – emplacement géographique des sites MC 87 et 88 en sommet de colline. Bas – modèle numérique de terrain de ces deux mêmes sites (réalisation J.M. Gilliot et D. Hadjar).

Le site, considéré comme l'homologue naturel de MC 87 et 88 du fait de son substrat géologique et de sa topographie assez identiques, est Saut Lavillette. Il correspond à une placette Guyafor[7], mise en place en 2003, située dans la même zone géographique, à proximité de la rivière Kourouaï (**Figure 47**). Atteignant entre 40 et 75 mètres d'altitude (d'après la carte topographique au 1 : 25 000e), le site de Saut Lavillette représente une superficie de 6 hectares (200 x 300 mètres). Il est installé sur un replat sommital de colline, prolongé au sud par une ligne de crête. Une partie de la placette se trouve sur des pentes faibles à moyennes (20 à 35%) ou fortes (55 à 60%) pour les versants sud-ouest et sud-est. Le côté sud-est de la placette atteint un thalweg (ou bas-fond) (ibid.).

[7] Le projet GUYAFOR (EcoFoG, Cirad, Cnrs, Onf) correspond à un réseau régional dans la moitié nord de la Guyane française, dédié à l'étude, sur le long terme, de la dynamique forestière et de la biodiversité dans cette région. Il est construit à partir de dispositifs permanents préexistants installés depuis les années 1970 et par la mise en place de nouveaux dispositifs depuis 2000. Il compte aujourd'hui 12 dispositifs constitués chacun d'une ou plusieurs placette(s) permanente(s) de suivi, couvrant au total plus de 235 ha de forêt (http://www.ecofog.gf).

II.1.2.2. Géologie et sols naturels

Ces trois sites se trouvent sur des collines latéritiques développées sur un substrat géologique à « migmatites caraïbes », roches très répandues en Guyane, datant d'environ 2 150 Ma. Il s'agit de gneiss contenant des filons de pegmatite (granite à gros cristaux) (Ferry 1995). Du fait de leur âge très ancien, les sols qui se développent ici sont dits « vieux » par opposition aux sols « jeunes » de la plaine alluviale du Maroni décrits plus haut. Les sols sont homogènes et profonds jusqu'à environ 1,20 m. Ils sont classés parmi les Ferralsols/ Oxisols ou sols ferrallitiques fortement désaturés en B typiques des sols appauvris en cations des régions tropicales humides (cf. Partie I-chapitre 1) (**Figure 48**).

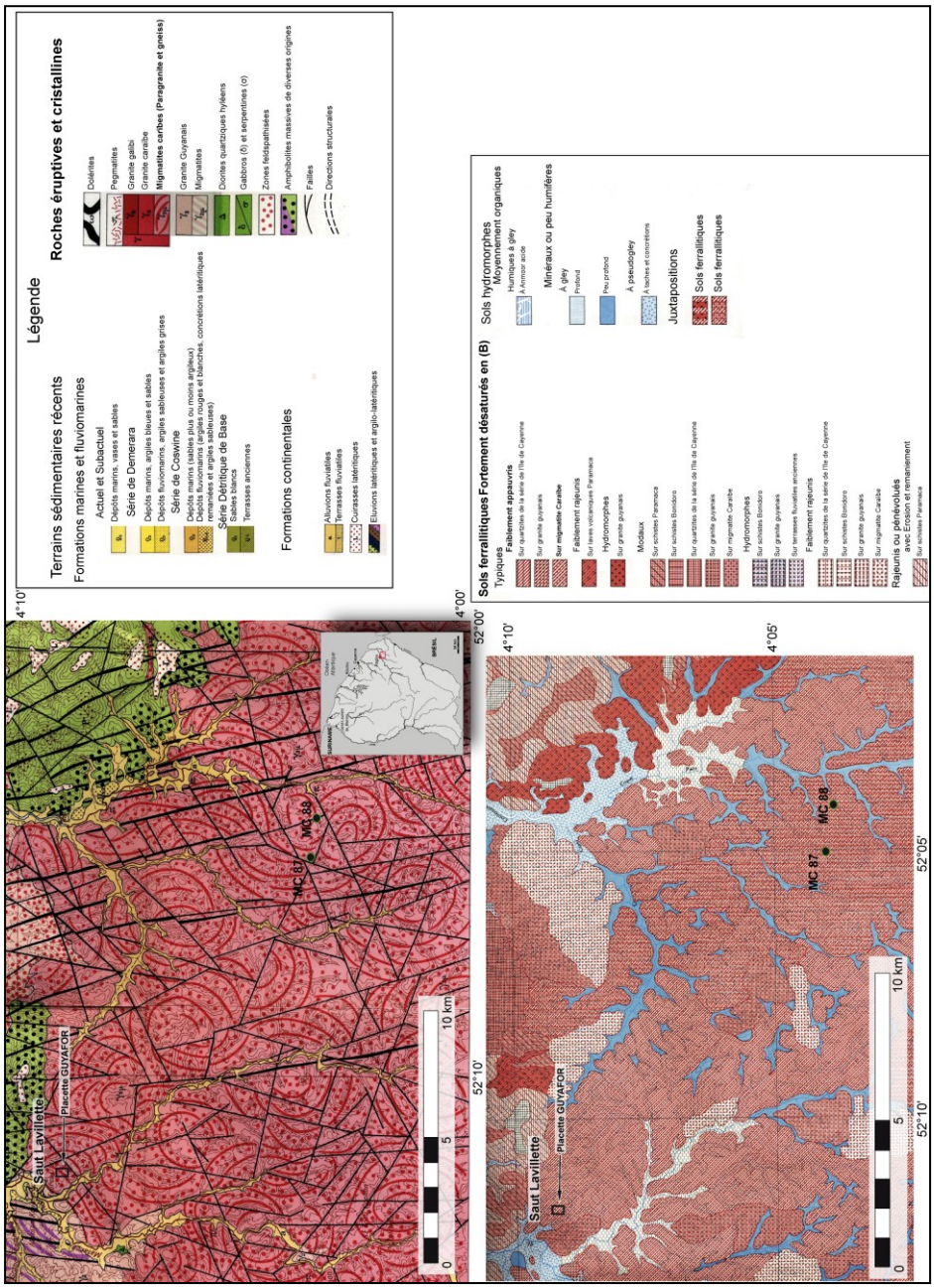


Figure 48 : Haut – carte géologique ; Bas – carte pédologique de la zone étudiée.

II.1.2.3. Observations préliminaires des sols par les pédologues dans le cadre du projet Couac

A. Observations de terrain

À Saut Lavillette, les observations réalisées par les pédologues en 2009 indiquent que les sols sont homogènes sur l'ensemble de la placette, à texture majoritairement argileuse (> 50%) et à structure micro-agrégée dominante sur les trois profils étudiés (Desprez et al. 2010-a). Très peu d'éléments grossiers (moins de 5% du volume total) apparaissent, et il s'agit essentiellement de graviers, lithoreliques ferruginisées à mi-versant, et de quartz en bas de versant. Au sein des profils étudiés, un continuum de couleurs dans les sols a été relevé, de 10YR4/4 (brun jaune foncé) en surface, à 2,5YR4/8 (rouge) en profondeur. Aucune tache d'hydromorphie n'a été observée. Quelques charbons de bois épars ont été relevés entre 5 et 40 cm (ibid.).

Au même titre que sur le site témoin, les sols de la MC 87 présentent une texture argileuse (avec plus de 50% d'argile) avec cette fois, une abondance d'éléments grossiers (morceaux de cuirasse) très variable sur les trois sondages tarière réalisés (Desprez et al. 2010-a). Les sols des deux MC, 87 et 88 sont globalement plus rouges (Hue = 5YR vs 7,5YR) et plus sombres (Value = 3 vs 5) sur les 20 premiers centimètres, à l'intérieur de l'enceinte qu'en périphérie (**Figure 49**) (Freycon 2009 ; Ferry & Freycon 2012 ; Freycon et al. 2013). D'après les pédologues, la couleur de la couche de 20 à 40 cm est très caractéristique des sols anciennement occupés par l'homme : dans un contexte de sol à drainage vertical libre (cas de ces sols), les éléments, dont la matière organique, ont tendance à être lessivés. Or, l'observation d'une couche plus sombre (comme c'est le cas sur les MC 87 et 88), indique la descente de matière organique, et donc une accumulation anormalement importante de celle-ci (Desprez et al. 2010-a). Cela peut être lié à un apport plus conséquent de matière organique, d'origine exogène, potentiellement en lien avec les activités humaines anciennes.

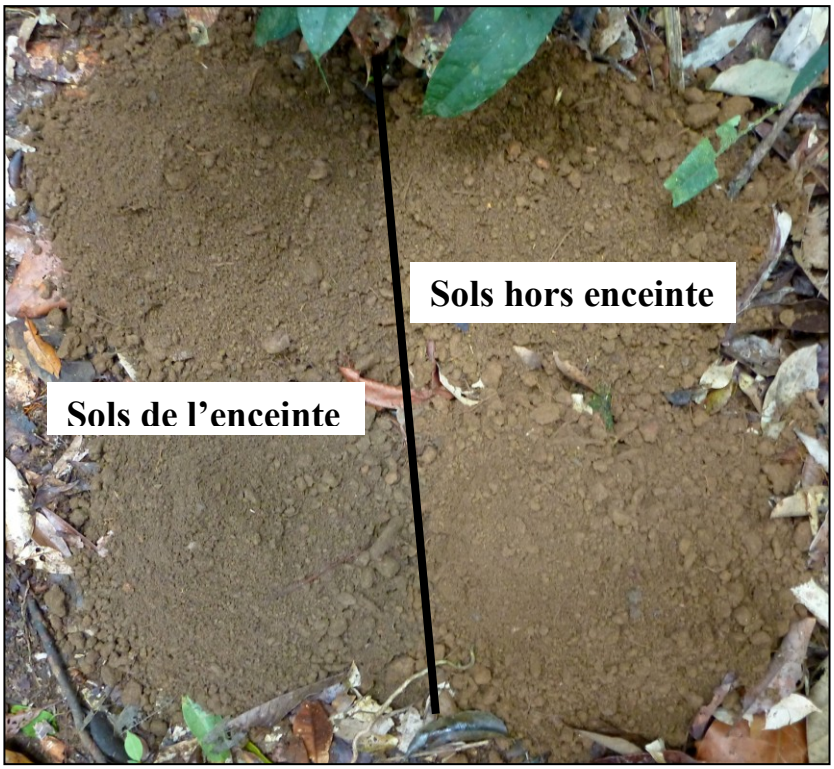


Figure 49 : Couleurs des sols de surface (0-10 cm) de la MC 87 (photo : V. Freycon)

B. Stratégies de prélèvements

Les travaux réalisés par les pédologues, E. Dambrine, M. Desprez, B. Ferry et V. Freycon, avaient pour objet principal de répondre au second enjeu du projet Couac, à savoir évaluer la part des usages anciens sur la fertilité des sols. Ils se sont alors interrogés sur les modifications significatives des sols, liées aux activités précolombiennes, que l'on peut détecter actuellement (Freycon 2009; Desprez 2010; Desprez et al. 2010-a; Ferry & Freycon 2012; Freycon et al. 2013).

Afin de répondre à leurs problématiques, les pédologues ont réalisé des prélèvements de sol, à l'aide d'une tarière, sous forme d'échantillons « normaux » et composites : un échantillon composite correspondant à un mélange de 10 échantillons de sols prélevés à la même profondeur, suivant le protocole Guyafor (Desprez et al. 2010-a) (**Tableau 11**) (**Figures 50, 51 et 52**).

Série	Site	Date	Sondages tarière	Int.	Ext.	Ech. composites	Int.	Ext.	Commentaires
SA2	MC87	oct.-08	10	5	5	14	9	5	Transect traversant MC87, en partie à l'intérieur de l'enceinte et à l'extérieur.
T310	MC87	févr.-09	8	-	8	16	-	16	Transect partant de MC87, azimut 310°. Localisation des sondages par distance (hm).
TB (87-88)	MC87	févr.-09	7	-	7	12	-	12	Transect partant de MC87, en direction de MC88. Localisation des sondages par distance (hm).
TC	MC87	févr.-09	10	-	10	20	-	20	Transect partant de MC87, le long du chemin. Localisation des sondages par distance (hm).
T (88-87)	MC88	févr.-09	6	-	6	11	-	11	Transect partant de MC88, en direction de MC87. Localisation des sondages par distance (hm) (Figure 50).
GF-MC	MC88	févr.-10	5	5	-	5	5	-	Protocole Guyafor enceinte : sols de surface. Localisation sur plan (Figure 50).
GF-SLS	Saut Lavillette	nov.-08	5 + 5	-	-	5	-	-	Protocole Guyafor sur sommet. Localisation sur plan (Figures 51 et 52).

Tableau 11 : Liste de l'échantillonnage réalisé par les pédologues.

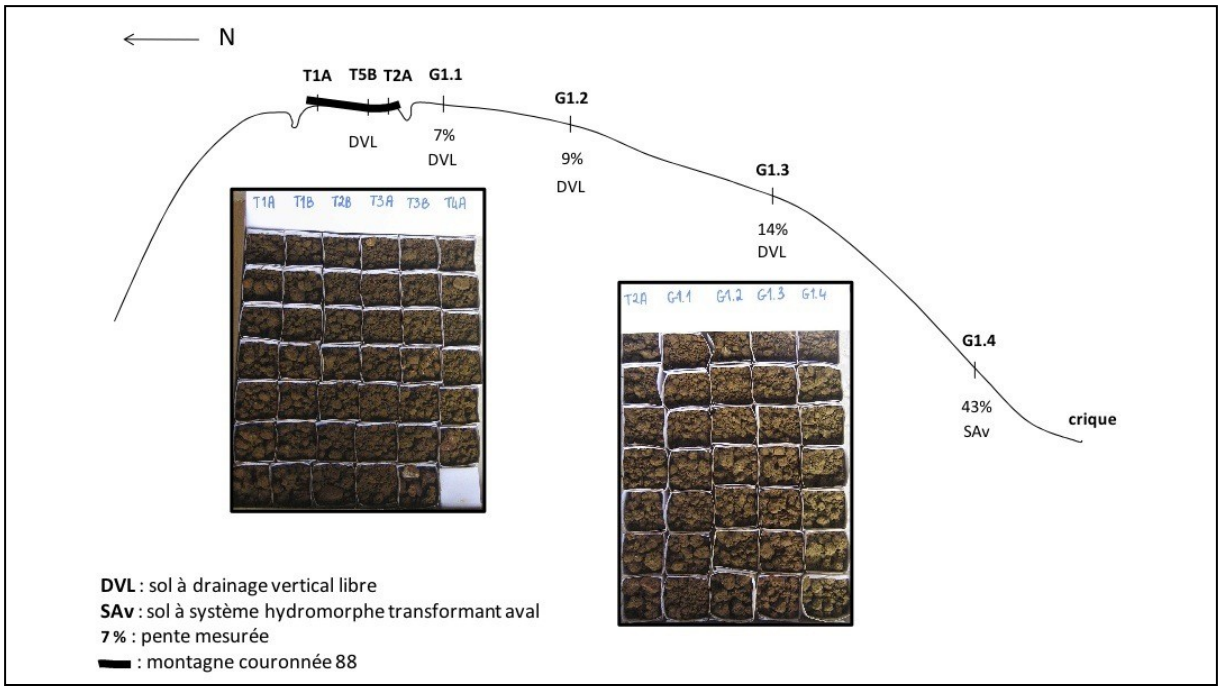


Figure 50 : Emplacements des prélèvements des échantillons des pédologues, depuis la MC 88 (T1A à T5B) jusqu'en bas de versant (G1.1 à G1.4). La couleur, le drainage et la pente des sols sont indiqués sur cette figure (Desprez 2010).

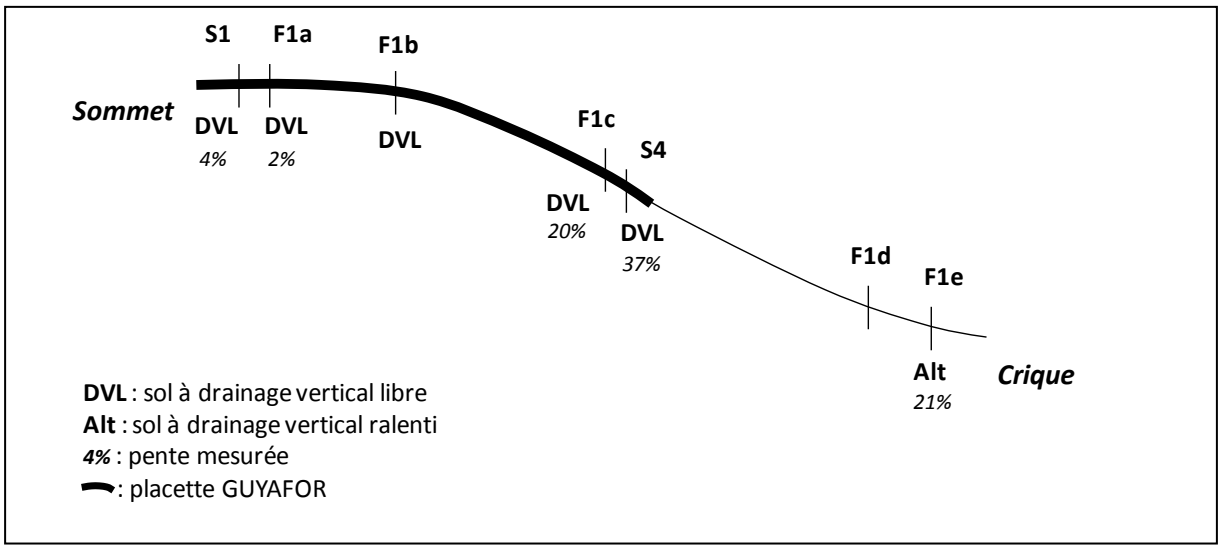


Figure 51 : Schéma synthétique, vu en coupe, du transect des fosses ouvertes sur le site de Saut Lavillette (toposéquence 1) et des sondages tarière (S1). A l'échelle du versant, le type de drainage affecté et la pente mesurée (%) sont indiqués (Desprez et al. 2010-a).

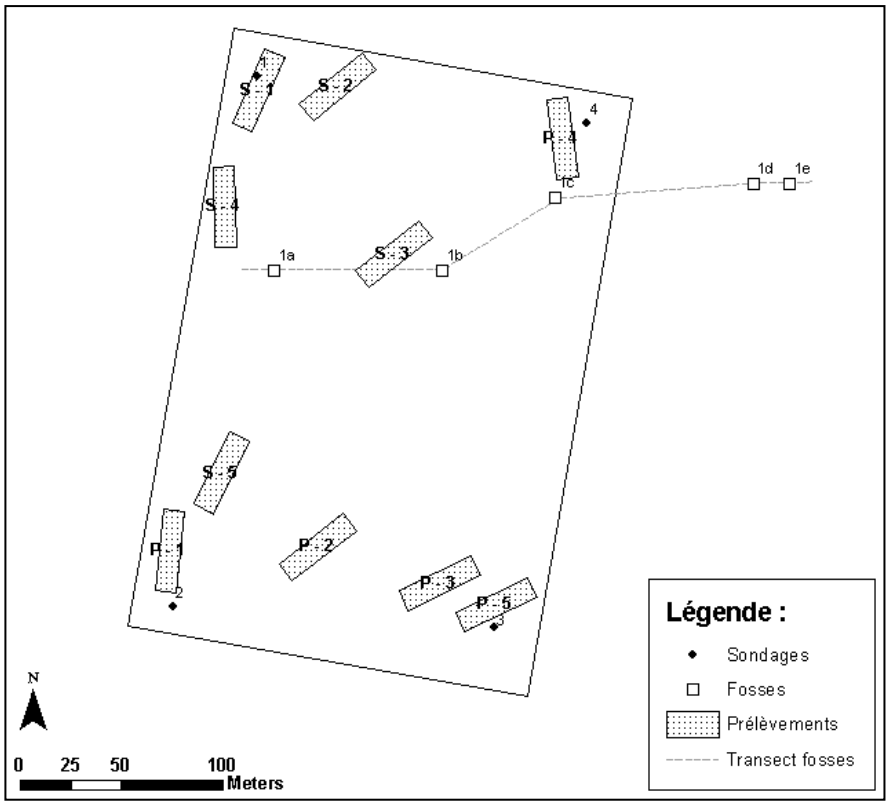


Figure 52 : Carte, vue de haut, de la placette GUYAFOR du site de Saut Lavillette. Localisation des fosses et de leur transect (toposéquence 1), des sondages tarière (S1 à S5), des zones de prélèvement sur les versants à pentes fortes comprises entre 25 et 70% (P1 à 5) (Desprez et al. 2010-a).

Ces prélèvements ont été réalisés selon un mode opératoire propre aux problématiques pédologiques (protocole Guyafor) : les échantillons composites permettent de lisser les variations physico-chimiques d'un point de vue spatial et l'échelle d'observation assez large en terme d'horizon de sol permet d'homogénéiser les sédiments tous les 20 cm (prélèvements à la tarière entre 0-20 cm, 40-60 cm et parfois 80-100 cm de profondeur). Les résultats obtenus sur ces échantillons portent sur le carbone organique, l'azote total, le rapport C/N, le pH eau, le phosphore assimilable (méthode Olsen), quelques cations échangeables majeurs, Ca, K, Mg, Mn, Na, Fe et Al (extractions au cobaltihéxamine), le phosphore total (extraction à l'eau régale), ainsi que les rapports isotopiques de l'azote ($\delta^{15}N$) et du carbone ($\delta^{13}C$). Ces deux dernières analyses permettent de toucher du doigt les effets des occupations anciennes sur les changements de végétation. Leurs données présentent un intérêt majeur dans la caractérisation globale des sols guyanais, notamment pour faire la distinction intra- et extra- site, grâce à des prélèvements pertinents au sein de l'enceinte des sites couronnés, et à l'extérieur de l'enceinte. Leurs résultats seront présentés et utilisés dans le but de confronter les données obtenues dans ce travail sur les anthroposols des MC 87 et 88, à d'autres profils intra-site, et en comparaison également

par rapport au référentiel naturel. Toutefois, certains de ces résultats ne seront utilisés qu'à titre indicatif, plutôt qu'en comparaisons directes avec les données micromorphologiques ou physico-chimiques obtenues dans ce travail et ce, du fait de l'échelle d'analyse pédologique plus large que celle utilisée ici (méthode d'échantillonnage différente).

II.1.3. Contexte archéologique

Comme nous l'avons vu précédemment, les sites de montagnes couronnées correspondent à des sites fossoyés, relevant d'une réelle volonté d'aménagement du territoire de la part des populations anciennes. Au regard des études archéologiques récentes réalisées en Guyane française sur ce type de site, il s'agit d'un phénomène hétérogène, dont le caractère exceptionnel peut-être lié à l'habitat et/ou au funéraire, présentant ou non un caractère défensif (Mestre & Hildebrand 2011 ; Mestre 2012 ; Mestre 2013).

II.1.3.1. MC 87

Le site MC 87 étant localisé dans une réserve de l'ONF, il été impossible, pour les archéologues, d'intervenir avec une pelle mécanique. La prospection pédestre archéologique a duré une semaine et au total une dizaine de sondages manuels (1,5 m x 1,5 m) ont été ouverts: 1 sondage (MC87-5[8]) dans le talus externe du fossé, 2 sondages (MC87-1 et MC87-2) dans le comblement du fossé et 7 sondages (MC87-3 et MC87-4) à l'intérieur de l'enceinte (**Figure 53**). Au total, on peut estimer que 22,5 m^2 ont été ouverts sur le site. Les sondages ont tous atteints les formations stériles du point de vue archéologique, sans vestiges d'occupation ancienne (céramique, charbons) (Hildebrand et al. en préparation).

À l'intérieur de l'enceinte, aucune structure archéologique (trous de poteaux notamment) n'a été repérée lors de l'ouverture des sondages manuels. Ce constat peut s'expliquer en partie du fait des dimensions restreintes des sondages. L'observation des stratigraphies montre en majorité des sols épais, contenant du mobilier archéologique, témoignant probablement d'une occupation humaine importante et durable. La collection céramique (nr[9] = 1311) prélevée sur ce site provient uniquement des sondages et non de ramassage de surface. L'étude céramique réalisée par M. Hildebrand indique que le sondage 7 (= MC87-4) a fourni la plus grande quantité de matériel (7 239 grammes - nr > 100), alors que le

[8] Correspondance avec les profils prélevés dans le cadre de ce travail, présentés plus loin.
[9] Nombre de Restes.

sondage 8 (= MC87-3) est celui qui en contenait le moins (976 grammes – nr < 25). Les pâtes examinées présentent majoritairement une phase non plastique quartzeuse constituée de grains hétérométriques variant entre 0.5 et 3 mm (Hildebrand et al. en préparation). Les quelques éléments remarquables collectés permettent d'entrevoir les premières orientations typologiques de la production céramique du site. Le registre décoratif est constitué de modes très communs dans les corpus archéologiques de Guyane : incisions et cannelures plus ou moins larges et profondes, aplat rouge, noir et brun-noir. Cependant, d'après M. Hildebrand, le corpus reste quantitativement trop faible et qualitativement trop fragmentaire pour établir des comparaisons avec des productions déjà connues.

Deux fragments de plaques à cuire ont fait l'objet d'analyse pour la présence d'amidon dans leurs fissures. On peut ainsi noter l'utilisation, par les populations anciennes, du maïs, de patates douces, de dictame et de Marantaceae (Pagan Jiménez in Hildebrand et al. en préparation).

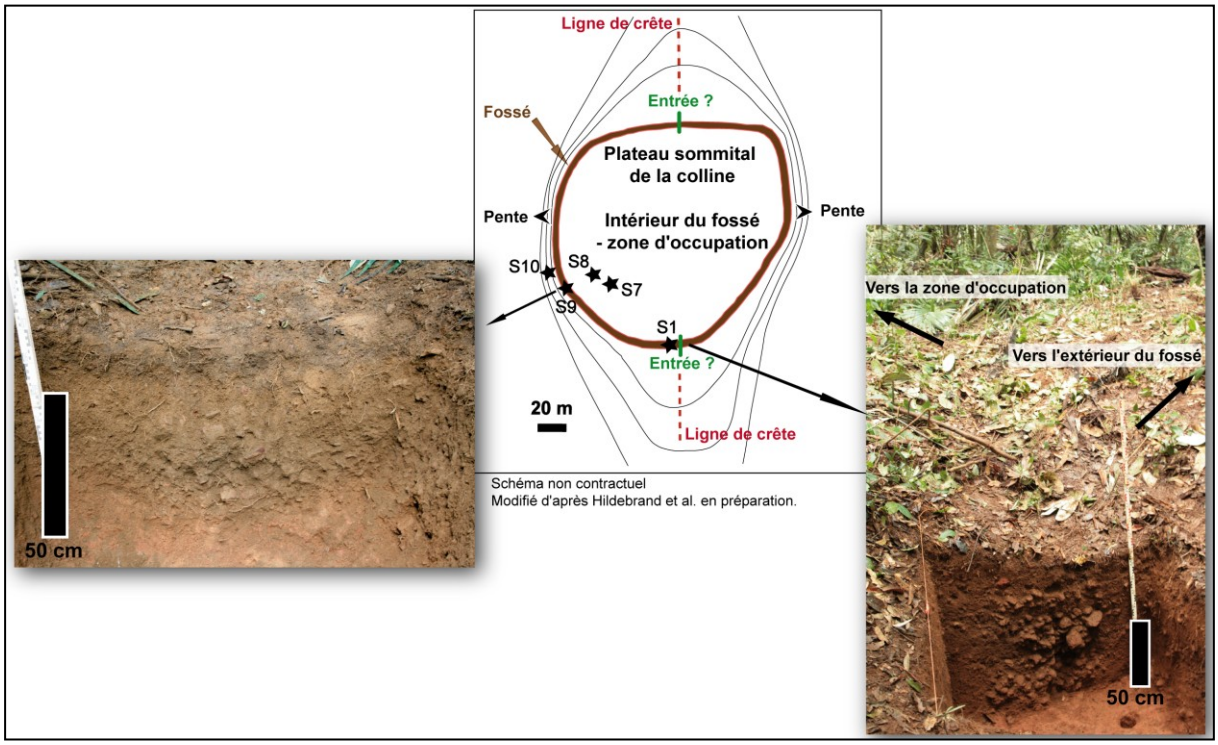


Figure 53 : Emplacements des sondages archéologiques sur le site MC 87 (d'après Hildebrand et al. en préparation).

Le fossé ceinturant le site MC 87 a un tracé qui décrit un cercle de 2 à 3 mètres de profondeur interrompu par deux levées sur 3 à 5 mètres. Les archéologues interprètent ces remblais comme deux entrées probables au sein du site. Orientées dans le prolongement

de la ligne de crête, ces levées de terre apparaissent de fait comme des axes de circulation privilégiés pour le franchissement du fossé (**Figure 53).** Le chemin de crête semble avoir été largement utilisé pour faciliter la circulation des populations anciennes entre les différents massifs collinaires de la région.

L'observation de la coupe du sondage 1 (= MC87-2), implanté à proximité d'une de ces levées, a permis aux archéologues de décrire le remplissage du fossé, profond de 1m20, comme un amoncellement de blocs de latérites (morceaux de la cuirasse ferrallitique) mélangés à des sédiments argilo-limoneux, en partie centrale du remplissage (**Figure 53**). Plutôt qu'un comblement naturel qui se serait alors déposé par gravité ou colluvionnement, ce remplissage évoque aux archéologues un aménagement anthropique. Dans le sondage 9, dans une autre portion du fossé, cette hypothèse est confirmée. Les archéologues assimilent alors le creusement du fossé à une tranchée de fondation au fond de laquelle les populations auraient pu déposer des éléments en bois (ou autre matériau périssable) pouvant former une palissade. Ce type de vestige, s'il a existé, n'a pas été observé sur le terrain, étant *a priori* formé de matériaux périssables. Ainsi, les blocs de latérites et le sédiment de la partie basse du comblement du fossé pourraient correspondre au calage de cette structure de fortification (Hildebrand et al. en préparation). En outre, les dimensions réduites des sondages n'ont pas permis une vision générale des unités stratigraphiques du site, pas plus que d'observer la relation entre les séquences du comblement du fossé et les niveaux archéologiques de l'intérieur de l'enceinte (ibid.).

II.1.3.2. MC 88

Sur le site MC 88, l'intervention archéologique s'est limitée à l'ouverture manuelle d'un sondage réduit dans la partie centrale du comblement du fossé (MC88-6). D'après les observations des archéologues, ce fossé semble très différent du fossé de la MC 87, il est notamment plus profond d'une vingtaine de centimètres, mesurant environ 1m40 (Hildebrand et al. en préparation).
Bien que le tracé de ce fossé ne semble pas présenter d'interruption, en plusieurs endroits son comblement est très important alors que le dénivelé alentour est quasi nul (facteur limitant le colluvionnement). Pour les archéologues, ce comblement du fossé est clairement d'origine anthropique. Cela vient également appuyer l'hypothèse que le fossé

serait, ici aussi, une ancienne tranchée de fondation, qui aurait permis l'installation d'une palissade, assise sur le substrat puis calée par du remblai (ibid.).
Le sondage a révélé un matériel céramique trop limité pour permettre une quelconque comparaison avec le site MC 87 ou pour définir des orientations typologiques ou techniques propres au site (nr = 13). Majoritairement constitué de fragments de corps (nr = 11), ce matériel céramique était composé également de deux bords simples dont un présentait un aplat rouge interne. La phase non plastique est préférentiellement quartzeuse (Hildebrand et al. en préparation).

II.1.3.3. Datations

Des charbons ont été prélevés dans chacun des fossés entourant les sites MC 87 et 88, puis datés au C14, permettant de donner une estimation d'ancienneté de l'occupation humaine. Il est important de préciser que ces datations sont à considérer avec beaucoup de précautions, et qu'en aucun cas elles ne calent l'occupation des sites avec un début et une fin précis (M. Mestre com. pers.)
Néanmoins, les six datations obtenues par C14 décrivent une chronologie s'étalant entre le s5^{ème} et 13ème siècles AD. Bien que des écarts chronologiques importants apparaissent entre les différents prélèvements, deux groupes de datations cohérentes semblent se dégager (Hildebrand et al. en préparation). Les charbons provenant de la base des comblements des deux fossés, où les chances de contamination sont réduites, décrivent une succession continue d'évènements entre les 7ème et 9ème siècles AD. Il est fort probable que les deux sites puissent avoir fonctionné en même temps dans la mesure où l'on observe des recouvrements de proche en proche entre les datations (ibid.). Ainsi, les dates de fondation des fossés se situeraient autour de cette période, correspondant à la fin du 1er millénaire de notre ère. Elles sont cohérentes avec les datations obtenues sur d'autres sites fossoyés de Guyane française (Mestre 2013).
Un second groupe de datations situées entre le début du 11ème et 13ème siècle AD pourrait éventuellement marquer la fin de la période d'occupation de ces sites. Toutefois, comme nous l'avons déjà précisé, le nombre des datations reste encore trop limité pour pouvoir l'affirmer.

II.1.3.4. Données extra-site

Dans le cadre du programme Couac, plusieurs prospections pédestres furent réalisées dans les alentours des deux sites couronnés, afin de répertorier la présence potentielle d'autres sites archéologiques, et d'obtenir ainsi une notion de la distribution spatiale et des types

de sites. Dans une zone rectangulaire de 2 par 3 km autour des montagnes couronnées, bordée par la rivière Kourouaï à l'est, cinq sites, non fossoyés, de plein-air, ont pu être localisés **(Figure 54) (**Hildebrand et al. en préparation). Le premier site, S 50 (centre), avait été découvert dès la première visite sur place puisqu'il se trouve au bout de la piste ONF à proximité du « parking ». Egalement en sommet de colline, ce site a livré beaucoup de mobilier céramique de surface associé à un sol noir, repéré grâce à l'utilisation de tarières**.** Les archéologues estiment que ce site pourrait être assez grand, recouvrant environ un hectare (ibid.). Deux autres sites, S 24 (sud) et S 45 (est), situés sur un replat sommital, représentent d'assez grandes surfaces d'occupation, visibles du fait de la distribution spatiale du mobilier archéologique en surface. Les deux derniers sites, plus petits, S 6 (nord-ouest) et S 46 (est), également situés sur le sommet d'une colline, furent repérés uniquement par le matériel archéologique présent en surface.

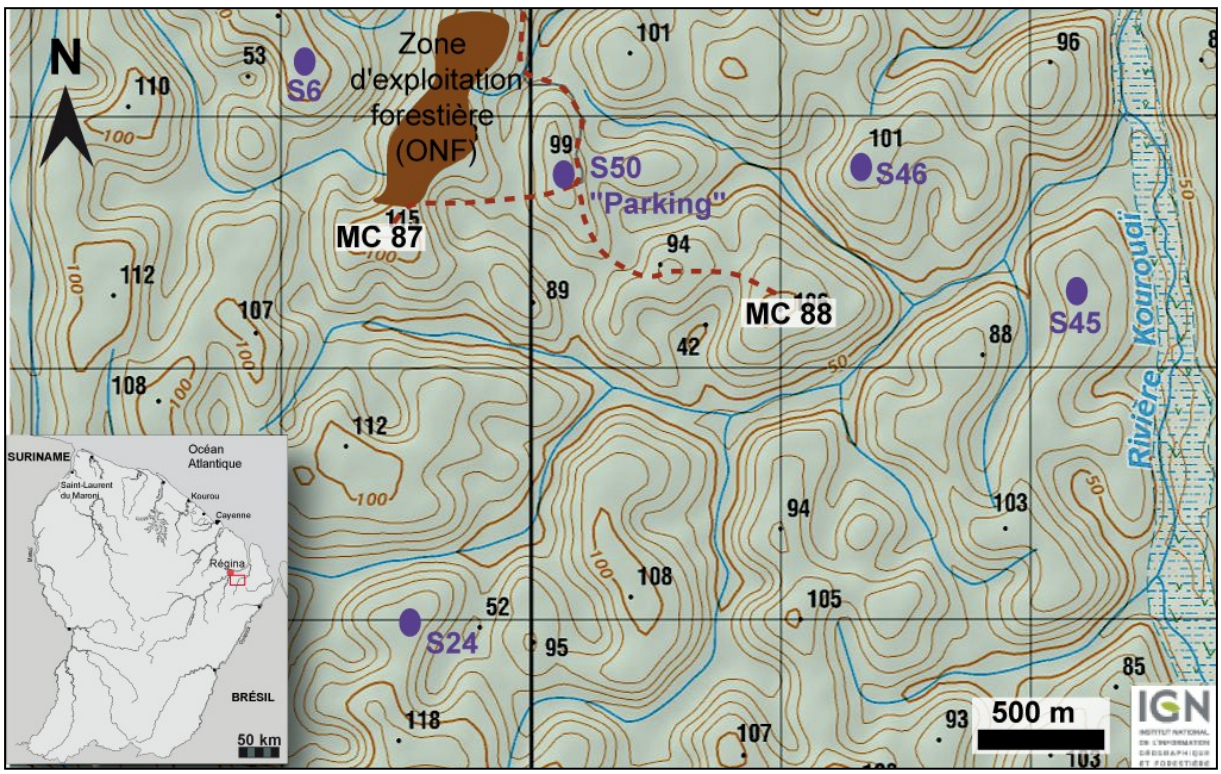


Figure 54 : Localisation des cinq sites non fossoyés, autour des MC 87 et 88.

II.1.4. Apport de l'étude géoarchéologique

Réaliser une étude géoarchéologique poussée sur l'anthroposol de ces montagnes couronnées permet d'aborder les deux premiers enjeux scientifiques du projet Couac, à savoir d'une part caractériser la nature et l'intensité des activités humaines anciennes sur

ces sites, et d'autre part analyser la « mémoire » du sol en réponse au degré d'anthropisation, via la micromorphologie et les analyses physico-chimiques. Au même titre que pour les anthroposols des sites archéologiques de la plaine alluviale, ces anthroposols seront ensuite définis en fonction de la nomenclature préexistante en les comparants notamment aux *Terra Preta lato sensu*.

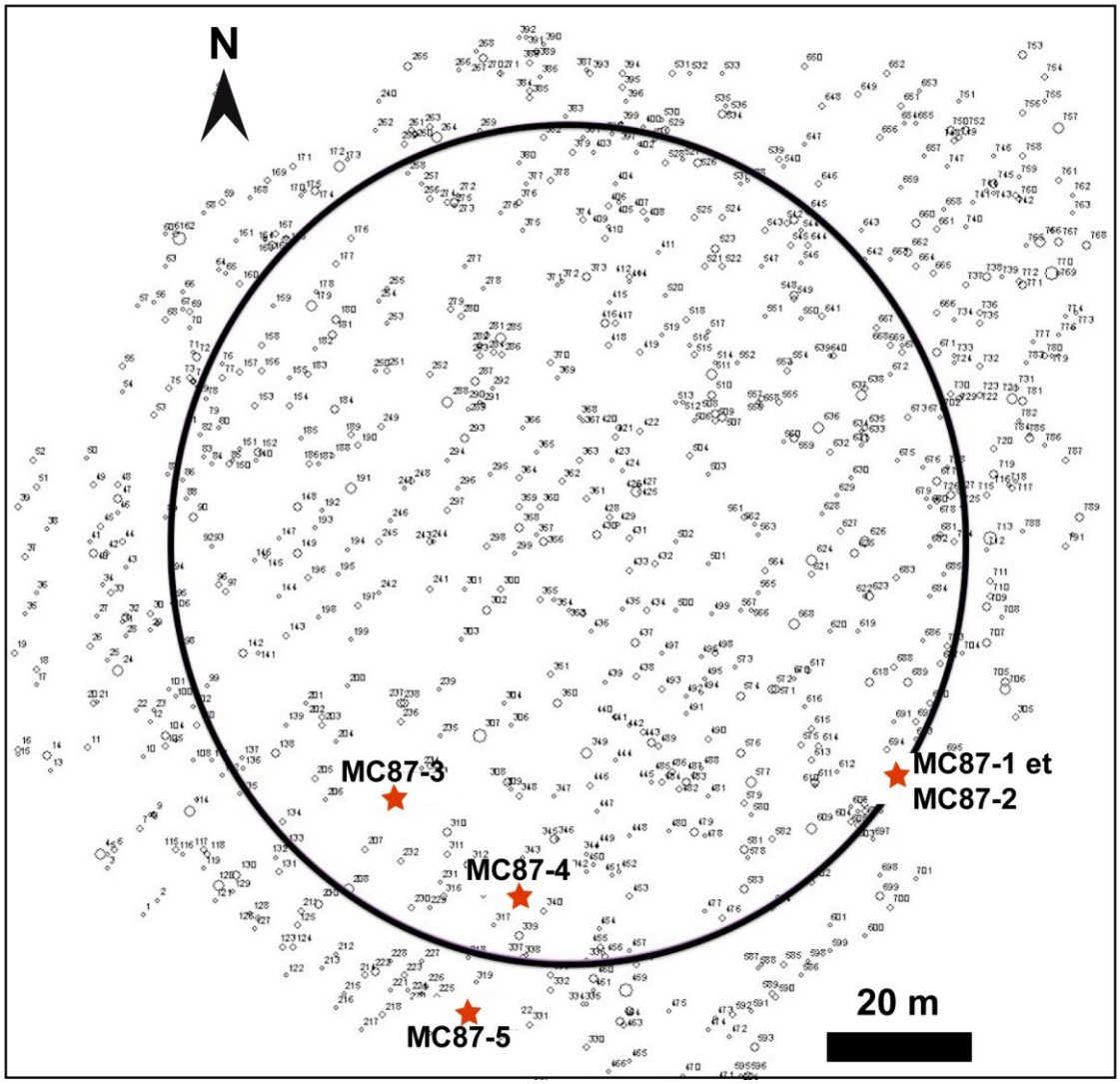
L'intérêt plus particulier de la micromorphologie des sols couplée aux analyses physico-chimiques dans ce contexte d'étude, où les travaux archéologiques n'ont pas pu être réalisés à grande échelle (décapage à la pelle mécanique, tranchée, etc.), réside dans le fait d'apporter des informations complémentaires sur l'anthropisation du milieu.

Là où les analyses physico-chimiques vont permettre de connaître la fertilité des anthroposols, l'analyse micromorphologique peut apporter des informations de plusieurs ordres en fonction des situations.

1) Au sein des fossés, l'observation microscopique des sols permet d'appréhender les rythmes de remplissage, tout en indiquant si ce remplissage est d'origine naturelle, anthropique ou les deux.
2) À l'intérieur de l'enceinte, l'analyse micromorphologique peut apporter des indices sur l'occupation ancienne, par la caractérisation des micro-constituants, tout en établissant les modes de mise en place et le fonctionnement des sols. Ces éléments permettent de mettre en lumière les activités des populations amérindiennes anciennes et idéalement de préciser la fonction de ces sites.

II.1.5. Stratégies d'échantillonnage et prélèvements

Dans un souci de logique scientifique (recoupement des données) et de gain de temps (missions de terrain courtes), les prélèvements ont été réalisés au sein de cinq sondages manuels préalablement ouverts par les archéologues (1,5 m x 1,5 m). Des prélèvements micromorphologiques et de sol en vrac ont été réalisés au sein du remplissage du fossé de chacun des sites, MC 87 et MC 88, et pour le site MC 87 uniquement, à l'intérieur de l'enceinte et sur le talus externe du fossé. Bien qu'il aurait été hautement intéressant de prélever hors de la zone d'emprise des sites fossoyés, cela n'a pas pu être réalisé, compte tenu de problème matériel et logistique rencontrés.



Légende : les chiffres correspondent aux numéros des arbres établis par les botanistes.

Figure 55 : Emplacement des profils étudiés dans ce travail sur la montagne couronnée 87.

II.1.5.1. Enceinte – MC 87

A. MC87-3

Le profil MC87-3 a été prélevé au sein du sondage archéologique n° 8. Il se situe à proximité de l'arbre 233 (donnée botanique) (**Figure 55**). Les relevés GPS effectués par V. Freycon donnent les coordonnées suivants : WGS84, UTM 22N : x = 379415 m E ; y = 448505 m N. Cette fosse se situe en sommet de versant, dont la pente n'excède pas les 5 % (V. Freycon com. pers.).

Ce profil a été observé et prélevé sur les 30 premiers cm depuis la surface actuelle. Au-dessous, les sols sont *a priori* archéologiquement stériles. De manière générale les sédiments ici sont assez homogènes, ils évoluent avec la profondeur vers une charge en

éléments grossiers (fragments de cuirasses latéritiques, galets) qui diminue et une couleur du sédiment moins sombre (Value Munsell : 3 → 4) (V. Freycon com. pers.).
Pour ce profil, trois lames minces ont été réalisées : MC 87 3-1H, MC 87 3-1B et MC 87-2 (**Figure 56**). V. Freycon a pu réaliser pour ce travail six prélèvements supplémentaires de sol en vrac de manière systématique tous les 5 cm[10] (**Tableau 12**).

UMaS	Prof. (cm)	Vracs associés	Lames minces correspondantes
1	0 - 10	V3-1 (≈ 5 cm), V3-2 (≈ 10 cm)	MC 87 3-1H et MC 87 1-B
2	10 -25	V3-3 (≈ 15 cm), V3-4 (≈ 20 cm) et V3-5 (≈ 25 cm)	MC 87 3-1B et MC 87 1-2
3	25 - 30	V3-6 (≈ 30 cm)	MC 87 3-2

Tableau 12 : Dans l'enceinte - MC 87-3 : prélèvements en fonction des UMaS.

B. MC87-4

Le profil MC87-4 a été prélevé au sein du sondage archéologique n° 7. Il se situe entre les arbres 313 et 316 (données botaniques) (**Figure 55**). Les relevés GPS effectués par V. Freycon donnent les coordonnées suivants : WGS84, UTM 22N : x = 379435 m E ; y = 448480 m N. Cette fosse se situe également en sommet de versant, assez proche de la fosse du profil 3. Entre les deux fosses la pente n'excède pas 5 % (V. Freycon com. pers.).
Ce profil a été observé et prélevé sur les 40 premiers cm depuis la surface actuelle. Au-dessous, les sols sont *a priori* archéologiquement stériles.
De manière générale, les sédiments ici sont assez homogènes, ils se distinguent seulement par l'absence d'éléments grossiers (fragments de cuirasse ou galets) dans l'horizon de surface. La couleur reste sombre (Value = 3) jusqu'à 40 cm de profondeur (V. Freycon com. pers.). Pour ce profil, quatre lames minces ont été confectionnées : MC 87 4-1, MC 87 4-2, MC 87 4-2bis[11] et MC 87 4-3 (**Figure 56**). V. Freycon a pu réaliser, pour ce travail,

[10] Lors d'une précédente mission de terrain, nous avions également échantillonné ce profil avec des sols en vrac pour les analyses physico-chimiques. Toutefois, ces prélèvements n'étaient pas assez précis (tous les 10 à 15 cm) compte tenu des premiers résultats micromorphologiques.
[11] Ici, le « bis » signifie que sur le terrain, lors des prélèvements, l'échantillon s'est cassé et un autre échantillon juste à côté a été prélevé.

huit prélèvements supplémentaires de sols en vrac de manière systématique tous les 5 cm[12] (**Tableau 13**).

UMaS	Prof. (cm)	Vracs associés	Lames minces correspondantes
1	0 - 10	V4-1 (≈ 5 cm), V4-2 (≈ 10 cm)	MC 87 4-1
2	10 - 30	V4-3 (≈ 15 cm), V4-4 (≈ 20 cm), V4-5 (≈ 25 cm) et V4-6 (≈ 30 cm)	MC 87 4-1 et MC 87 4-2
3	30 - 40	V4-7 (≈ 35 cm) et V4-8 (≈ 40 cm)	MC 87 4-2bis et MC 87 4-3

Tableau 13 : Dans l'enceinte – MC87-4 : prélèvements en fonction des UMaS.

II.1.5.2. Talus externe du fossé – MC 87-5

Le profil MC87-5 a été prélevé au sein du sondage archéologique n° 10 (**Figure 53**). Il se situe entre les arbres 225 et 226 (données botaniques) (**Figure 55**). Le profil a été observé sur 60 cm de profondeur et prélevé seulement sur les 40 premiers centimètres pour l'analyse micromorphologique. En dessous, de gros blocs latéritiques (environ 10 cm de diamètre) et de nombreux petits galets empêchaient de réaliser de bons prélèvements micromorphologiques (**Figure 56**). Pour ce profil, trois lames minces ont été réalisées : MC 87 5-1, MC 87 5-2 et MC 87 5-3 et quatre échantillons de sols en vrac ont été prélevés **(Tableau 14**).

UMaS	Prof. (cm)	Vracs associés	Lames minces correspondantes
1	**0 - 10**	**V5-1 (≈ 10 cm)**	**MC 87 5-1**
2	10 - 40	V5-2 (≈ 25 cm), V5-3 (≈ 40 cm)	MC 87 5-1, MC 87 5-2 et MC 87 5-3
3	40 - 60	V5-4 (≈ 55 cm)	impossible de prélever

Tableau 14 : Talus externe du fossé - MC 87-5 : prélèvements en fonction des UMaS.

[12] Comme pour le profil MC87-3, des échantillons avaient déjà été prélevés pour les analyses physico-chimiques, mais ils n'étaient pas assez précis (tous les 10 à 15 cm) compte tenu des premiers résultats micromorphologiques.

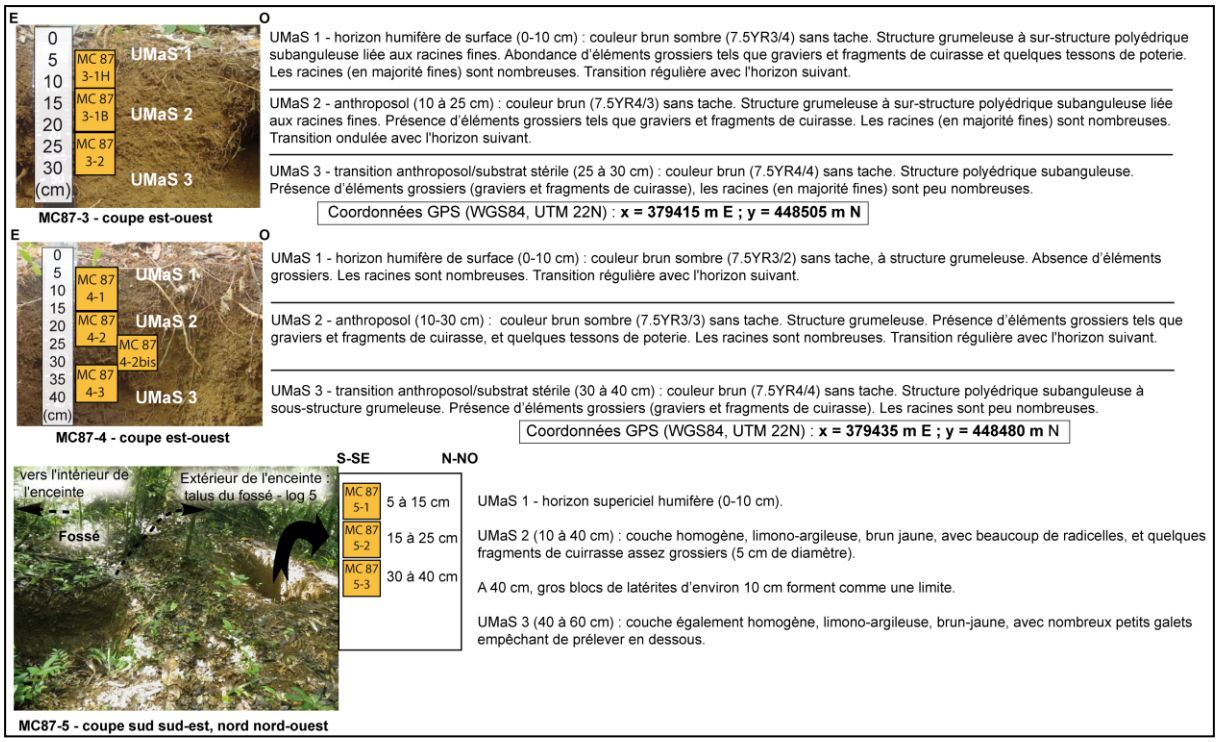


Figure 56 : Descriptions macroscopiques des profils MC87-3, MC87-4 et MC87-5, étudiés au sommet de la MC87.

II.1.5.3. Fossés – MC 87 et MC 88

C. MC87-1 et MC87-2

Au sein du sondage 1 des archéologues, réalisé à proximité de l'entrée hypothétique de la montagne couronnée, les profils MC87-1 et MC87-2 ont été prélevés (**Figures 53 et** 55 Les relevés GPS effectués par V. Freycon donnent les coordonnées suivant pour ce sondage : WGS84, UTM 22N : x = 379445 m E ; y = 448585 m N. Ces deux profils ont été observés sur environ 1m de profondeur et prélevés sur 90 cm (**Figure 57**).

MC87-1 est orienté sud-est, il correspond à la paroi orientée vers l'intérieur de l'enceinte. Huit lames minces ont été fabriquées : MC 87 1-1, MC 87 1-2, MC 87 1-3, MC 87 1-4H[13], MC 87 1-4B et MC 87 1-5a[14], MC 87 1-5b et MC 87 1-6 (**Figure 57**). Les échantillons de sol en vrac ont été prélevés de manière systématique tous les 15 cm environ (**Tableau 15**).

[13] La précision H et B dans le nom des lames minces correspond à Haut et Bas, indiqués lors de la fabrication, si l'échantillon est trop grand et a dû être séparé en deux.

[14] Dans ce cas, « a et b » dans le nom des lames minces, correspond a un échantillon qui s'est cassé en deux lors du prélèvements sur le terrain.

UMaS	Prof. (cm)	Vracs associés	Lames minces correspondantes
1	0 – 20	V1-0 (≈ 5 cm) et V1-1 (≈ 15 cm)	MC 87 1-1, MC 87 1-2
2	20 – 60	V1-2 (≈ 30 cm) et V1-3 (≈ 45 cm)	MC 87 1-3, MC 87 1-4H et MC 87 1-4B
3a	60 - 70	V1-4 (≈ 60 cm)	MC 87 1-5a
3b	70 - 90	V1-5 (≈ 75 cm)	MC 87 1-5b et MC 87 1-6
4	90 - 100	V1-6 (≈ 90 cm)	MC 87 1-6

Tableau 15 : Fossé, MC 87-1 - prélèvements en fonction des UMaS.

Le profil MC87-2 est orienté est-nord, il correspond au remplissage central du fossé. Quatre lames minces ont été réalisées : MC 87 2-1H, MC 87 2-1B, MC 87 2-2, MC 87 2-3 (**Figure 57**). Les échantillons de sol en vrac on été prélevés de manière systématique au sein des UMaS, mais ils n'ont pas fait l'objet d'analyses physico-chimiques (**Tableau 16**).

UMaS	Prof. (cm)	Vracs associés	Lames minces correspondantes
1	0 - 10	pas de vrac de la surface	pas de prélèvements micromorphologiques
2	10 45	V2-1 (≈ 25 cm), V2-2 (≈ 40 cm)	MC 87 2-1H et MC 87 2-1B
3	45 - 60	V2-3 (≈ 60 cm)	MC 87 2-2
4	60 - 90	V2-4 (≈ 70 cm)	MC 87 2-3

Tableau 16 : Fossé – MC87-2 : prélèvements en fonction des UMaS.

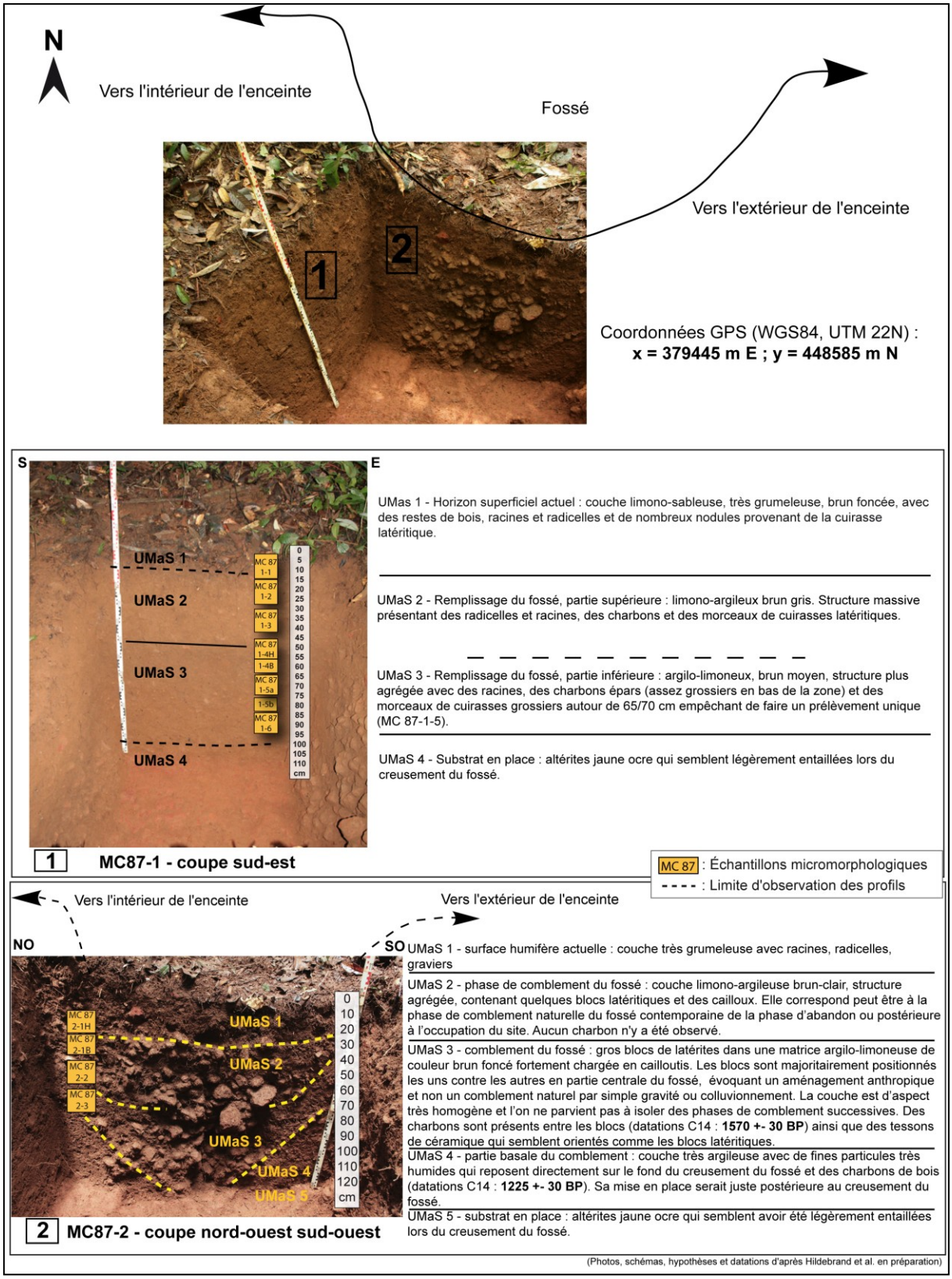


Figure 57 : Descriptions macroscopiques des profils MC87-1 et MC87-2 étudiés dans le remplissage du fossé de la MC 87.

D. MC 88-6

Prélevé au sein du sondage des archéologues, le profil MC88-6 se trouve dans le remplissage du fossé, avec la même orientation que le profil MC87-1, soit en coupe face vers l'intérieur de l'enceinte. Observé et prélevé sur 90 cm, cinq lames minces ont été fabriquées pour ce profil : MC 88 6-1, MC 88 6-2, MC 88 6-3, MC 88 6-4, MC 88 6-5 (**Figure 58**). Des échantillons de sol en vrac ont été prélevés de manière systématique tous les 15 cm environ (**Tableau 17**).

UMaS	Prof. (cm)	Vracs associés	Lames minces correspondantes
1	0 - 15	V6-1 (≈ 90 cm)	MC 88 6-1
2	15 - 45	V6-2 (≈ 30 cm)	MC 88 6-2 et MC 88 6-3
3	45 - 55	V6-3 (≈ 45 cm)	MC 88 6-3
4	55 - 90	V6-4 (≈ 60 cm) et V6-5 (≈ 80 cm)	MC 88 6-4 et MC 88 6-5
substrat	90 …	trop induré pour pouvoir prélever	idem, trop induré

Tableau 17 : Fossé – MC88-6 : prélèvements en fonction des UMaS.

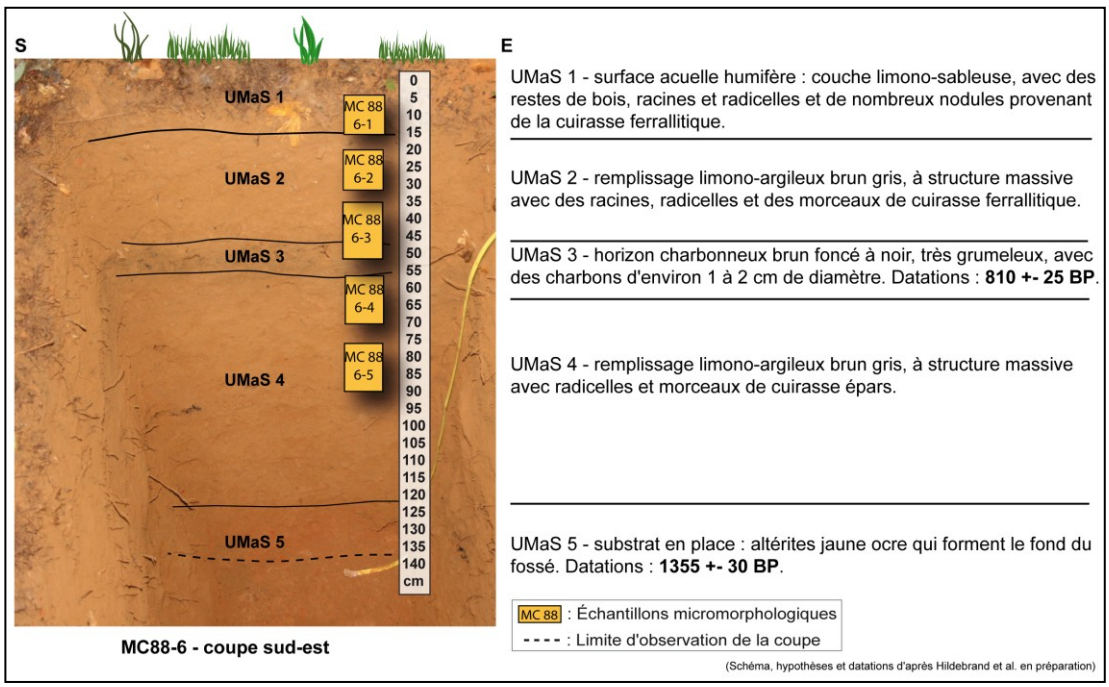


Figure 58 : Descriptions macroscopiques du profil MC88-6 étudié dans le remplissage du fossé de la MC 88.

II.2.Le site de Yaou

Diagnostiqué par une équipe d'archéologue de l'Inrap-Guyane, sous la direction de M. Mestre, entre novembre 2006 et août 2007, le site de Yaou se situe sur une zone minière aurifère[15] de 52 km^2, à 12 km au nord-est de la ville de Maripasoula et 230 km au sud-ouest de la ville de Cayenne (Mestre 2012) (**Figure 59**).

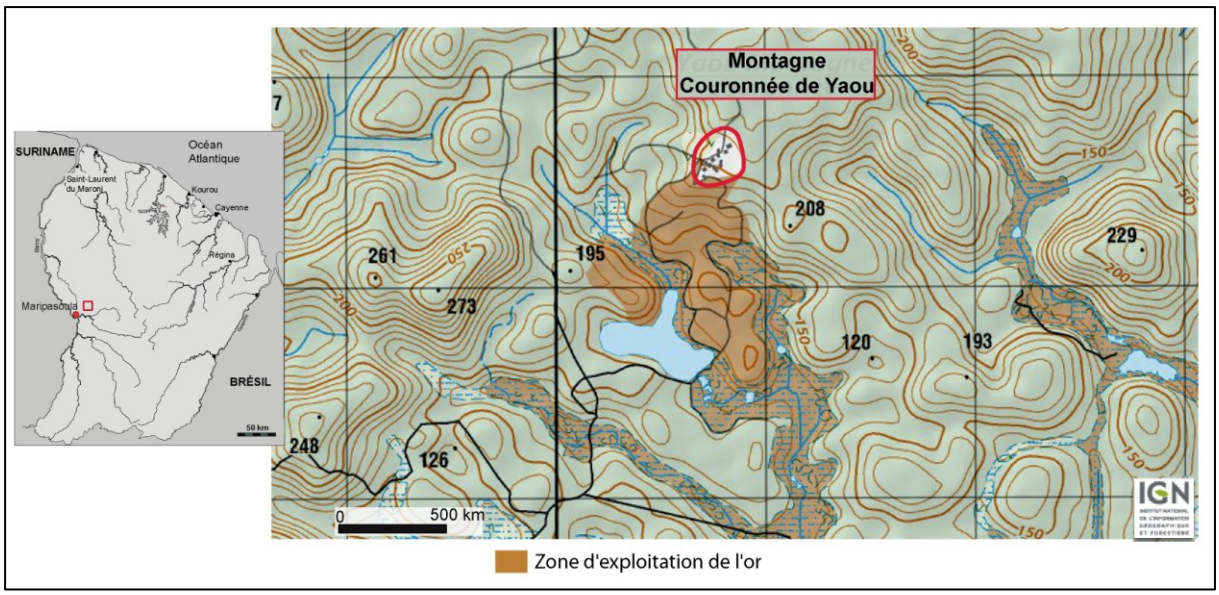


Figure 59 : Emplacement géographique de la montagne couronnée de Yaou.

II.2.1. Cadre environnemental

II.2.1.1. Région de Maripasoula

La commune de Maripasoula se situe dans la partie sud-ouest du département guyanais, à la fois limitrophe du Brésil et du Suriname et s'étend sur environ 18 760 km^2 (représentant environ 21 % du territoire guyanais). C'est la plus vaste commune de France et l'une des moins densément peuplée, avec environ 0,3 hab/km^2. Au sud du bourg de Maripasoula, on rencontre de nombreux villages amérindiens, comme celui d'Antécume Pata, d'Elahé, de Pidima, de Kayodé et de Talhuen-Twenke, tous situés dans une zone à accès réglementé, sur le fleuve Maroni. Le principal moyen de liaison entre les villages reste la pirogue, du fait de l'absence d'un réseau routier. Seules quelques pistes en mauvais état sillonnent le territoire de la commune qui reste relié à Cayenne uniquement par voie aérienne.

[15] Appartenant à 100% à la société Auplata, dont l'activité est tournée vers l'extraction d'or filonien et éluvionnaire. En juillet 2005, Auplata lance la construction de l'usine d'extraction de Yaou dont la première extraction d'or se fait dès le mois d'octobre 2006 (Mestre 2012 : 21).

II.2.1.2. Géomorphologie de la région

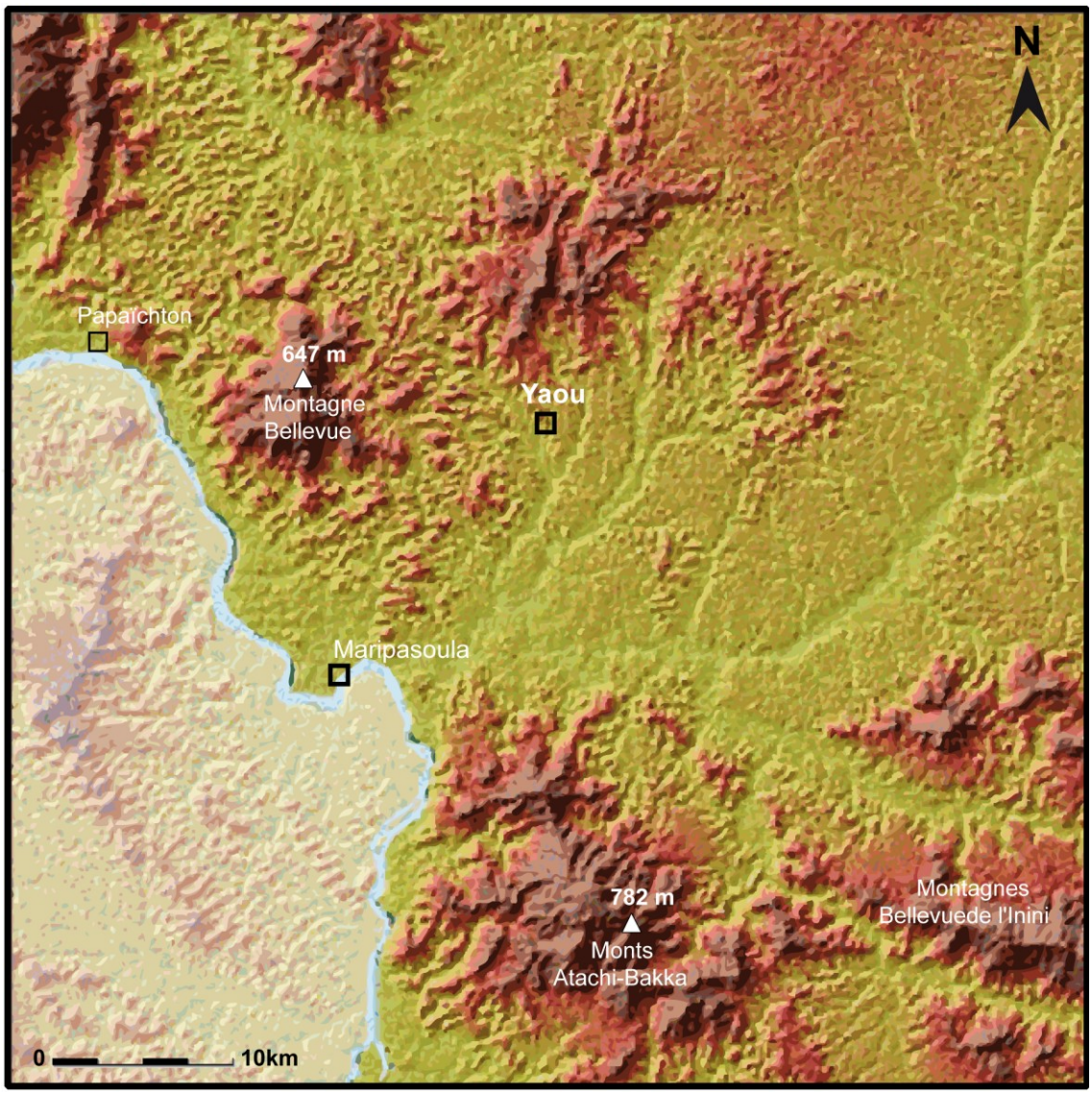


Figure 60 : Topographie de la région de la montagne couronnée de Yaou (tiré de Mestre 2012 adapté du BRGM).

La zone couverte par le permis d'exploitation minier englobe plusieurs zones de relief, comme les monts Attachi-Bakka, hauts de 780 m, à 10 km au sud de l'emprise, correspondant au relief le plus haut de la région. Le secteur nord du permis est localisé sur les flancs sud d'une barrière montagneuse orientée sud-ouest/nord-est, dont le point culminant, situé à l'est de l'exploitation, est la montagne Bellevue de Maripasoula à 647 m d'altitude. Le reste de la zone couverte par le permis minier possède les caractéristiques d'un paysage du plateau des Guyanes dit « en peau d'orange », avec des altitudes comprises entre 100 et 300 m (**Figure 60**). La topographie générale de la zone de prospection est donc caractérisée par une succession de collines peu élevées aux pentes

très abruptes, culminant à plus de 150 m d'altitude et isolées par des dépressions étroites plus ou moins profondes qui s'élargissent progressivement en vallons à l'approche de la zone de confluence avec la rivière principale. Ce relief, assez caractéristique des régions tropicales, s'organise en îlots qui regroupent plusieurs élévations connectées entre-elles par une ligne de crête ou par une courbe de niveau. Les espaces inter-collinaires, dont la déclivité est assez peu marquée, collectent les eaux pluviales et alimentent les nombreux confluents de la rive droite du fleuve Inini. Ainsi, dans ce paysage collinaire, caractéristique du plateau des Guyanes, les replats sommitaux apparaissent de fait comme un lieu propice à l'installation des groupes humains (Mestre 2012).

II.2.1.3. Implantation géomorphologique des sites

L'acquisition de photographies satellites et de données lidar a permis aux archéologues de mieux comprendre la géomorphologie du terrain, ainsi que les choix qui ont pu guider l'implantation des sites archéologiques dans cette zone. Ceux-ci indiquent que la montagne couronnée est implantée sur un rétrécissement naturel, en retrait du replat sommital principal qui présente incontestablement la meilleure topographie naturelle pour l'aménagement d'un fossé (ibid.) (**Figure 61**). Elle est délimitée par des pentes au très fort dénivelé à l'ouest et au sud, et par le resserrement du replat au nord, alors que la limite occidentale est établie légèrement en retrait de la pente, dégageant ainsi un espace de circulation large d'une cinquantaine de mètres (ibid.). Celui-ci s'ouvre sur une ligne de crête d'environ 700 m qui débouche sur l'entrée est de l'enceinte du site, disposée en chicane. Elle apparaît alors instinctivement aux archéologues comme étant une ancienne voie de circulation.

Le site de plein-air (n° 973 53 077) occupe quant à lui un emplacement relativement plan, localisé au sud-est du massif à sommet tabulaire, et ne semble pas avoir été implanté en tenant compte des limites naturelles offertes par le relief (**Figure 61**). Il est cependant disposé, à l'instar du premier site, à proximité d'une ligne de crête naturelle opérant la jonction entre le replat sommital et le lit des criques situé en contrebas.

Ces deux sites paraissent donc positionnés à des endroits relativement stratégiques, ce qui traduit peut être la volonté de contrôler ces rampes d'accès naturelles. Le troisième site (973 53 110) est également localisé sur une autre rampe naturelle au nord-ouest du plateau (**Figure 61**).

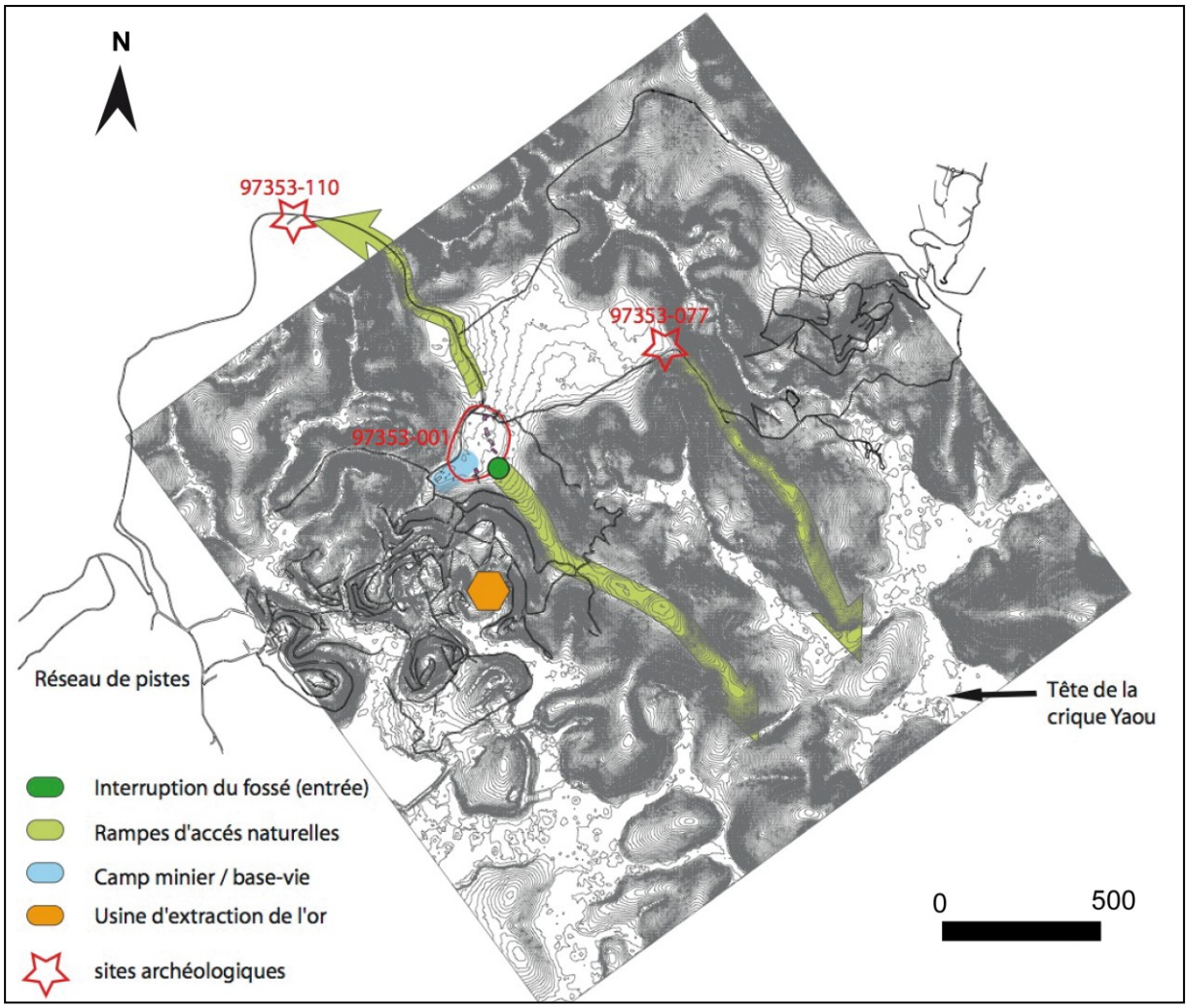


Figure 61 : Implantation des sites archéologiques selon les données LIDAR qui révèlent la topographie fine du terrain (tiré de Mestre 2012).

II.2.1.4. Géologie de la région

La région est principalement située sur le bouclier guyanais, plus vieil ensemble géologique constituant le territoire (cf. Partie I-chapitre 1). Lors des différentes phases d'orogénèse, le volcanisme ainsi que la tectonique ont contribué à l'intrusion de roches éruptives et volcaniques, ainsi qu'à la formation de roches sédimentaires (Orru 2001). Des métaux, comme l'or, ont été entrainés, par des phénomènes érosifs successifs, à la surface, se concentrant en différents types de gisements (Bache 1982, cité par Orru 2001). La région de Maripasoula est ainsi riche en sites d'orpaillage.

Il apparaît que le périmètre d'exploitation minier de Yaou se situe au nord de l'extrémité ouest de la chaîne de l'Inini-Camopi. Au sein de la zone de Yaou, les affleurements sont essentiellement volcaniques, appartenant à la série de Paramaca, mise en place autour de 2 180 Ma (**Figure 62**). La limite est du permis correspond à la limite des formations granitiques, que sont les granites guyanais (source Auplata in Mestre 2012).

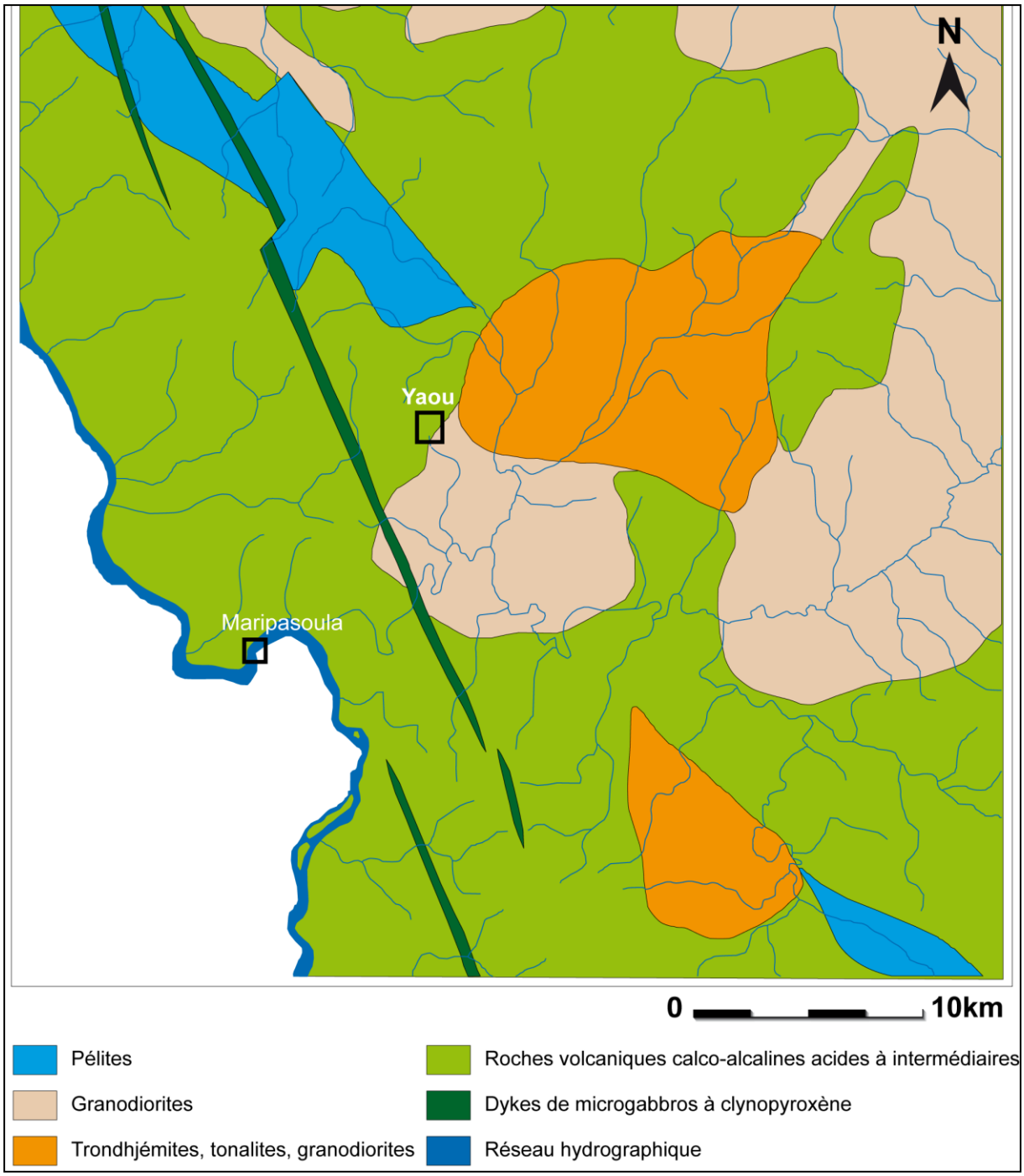


Figure 62 : Carte géologique de la région d'étude de la MC de Yaou (tiré de Mestre 2012, adapté du BRGM).

II.2.1.5. Propriétés des sols naturels

Les sols que l'on retrouve naturellement dans cette zone font partie de la classe des Ferralsols. Ils sont globalement composés de trois horizons : un horizon humifère d'environ 10 cm, puis d'un horizon A (Ah) et d'un horizon B plus ou moins épais en fonction de l'emplacement topographique. De texture argilo-limoneuse, ces sols sont généralement

assez grumeleux agrégés, du fait d'une bioturbation importante, et contiennent des fragments de cuirasses latéritiques en concentration plus ou moins importante en fonction des horizons.

II.2.2. Contexte archéologique

II.2.2.1. Découverte du site et travaux anciens

Ce site appartient à un second type de site fossoyé ou montagne couronnée, caractérisé par un fossé périphérique, établi seulement sur une partie du replat sommital en haut d'une colline (Mestre 2012). Les montagnes couronnées sont extrêmement bien représentées sur la commune de Maripasoula, avec près du quart de l'effectif total actuellement recensé en Guyane française, soit dix sites environ (ibid.).

Celui-ci fut découvert en 1986 par J. P. Richard, lors de prospections de terrain réalisées par des géologues du BRGM[16], afin d'améliorer la connaissance géologique du territoire guyanais. H. Petitjean-Roget réalise les deux premières missions archéologiques sur le site en 1986 et 1987. Selon Mestre (2012), il sera l'un des rares archéologues à avoir vu le site dans son intégralité, avant tout « aménagement destructif ». En 1992 et 1993, G. Mazière, alors conservateur de l'archéologie de Guyane, effectue deux courtes missions afin d'évaluer le potentiel archéologique du site, menacé de destruction par la création d'une base de recherche aurifère. Lorsqu'il arrive sur place, le site est déjà très perturbé avec certaines parties du fossé totalement ou partiellement comblées par des aménagements réalisés au bulldozer. Il décrit tout de même deux horizons archéologiques stratifiés : *le produit du creusement a été ramené à l'intérieur en recouvrant entièrement un ancien niveau d'habitat. Puis, un autre niveau archéologique est venu « buter » contre le bourrelet formé par les déblais du fossé, démontrant ainsi sa postérité à l'aménagement défensif* (Mazière & Mazière 1997). Les datations qu'il effectue situent l'occupation entre cal. 50 BC et 50 AD. D'après lui, la richesse et la diversité du matériel recueilli ainsi que la forte densité de charbons de bois tendent à démontrer qu'il s'agit là d'une occupation pérenne (ibid.). Cependant ses résultats ne permettent aucun rattachement chrono-culturel et ne donnent pas d'information sur la fonction du site (Mestre 2012). En outre, les travaux du BRGM aux alentours du site vont permettre la découverte de nouveaux sites, traduisant le fort potentiel archéologique autour du site de Yaou (ibid.).

[16] Bureau de Recherches Géologiques et Minières.

II.2.2.2. Intervention archéologique récente

La dernière intervention archéologique en date est celle de l'Inrap, en novembre 2006. Elle avait pour but d'investiguer l'ensemble des 52 km^2 soumis au projet d'exploitation d'or afin d'en évaluer le potentiel archéologique et d'identifier les sites amérindiens anciens présents sur la zone.

Cependant, 15 ans après la dernière intervention archéologique, les travaux d'orpaillage ont profondément remodelé le paysage et la topographie de la zone (Mestre 2012) (**Figure 63**). Le fossé a été tronqué et comblé à plusieurs endroits par des aménagements récents, ne donnant pas la possibilité aux archéologues de restituer le périmètre exact de la montagne couronnée. En effet, il ne subsistait plus qu'une seule entrée visible pour accéder dans l'enceinte, sur les trois citées par H. Petitjean-Roget. De plus, l'observation du paysage alentour n'indique plus grand chose, puisque les criques ont été intensément exploitées modifiant le lit naturel des rivières (ibid.).

Afin de couvrir les 52 km^2 soumis à prescription, les archéologues ont entrepris une phase de prospection. Pour circuler, ils ont utilisé des quads, facilitant les déplacements, bien que les anciennes pistes forestières non entretenues en saison des pluies soient assez dangereuses avec ce type d'engin ! La prospection pédestre a permis d'observer le mobilier céramique présent dans des souches de déracinement, ou bien remonté à la surface par l'activité des animaux fouisseurs (Mestre 2012).

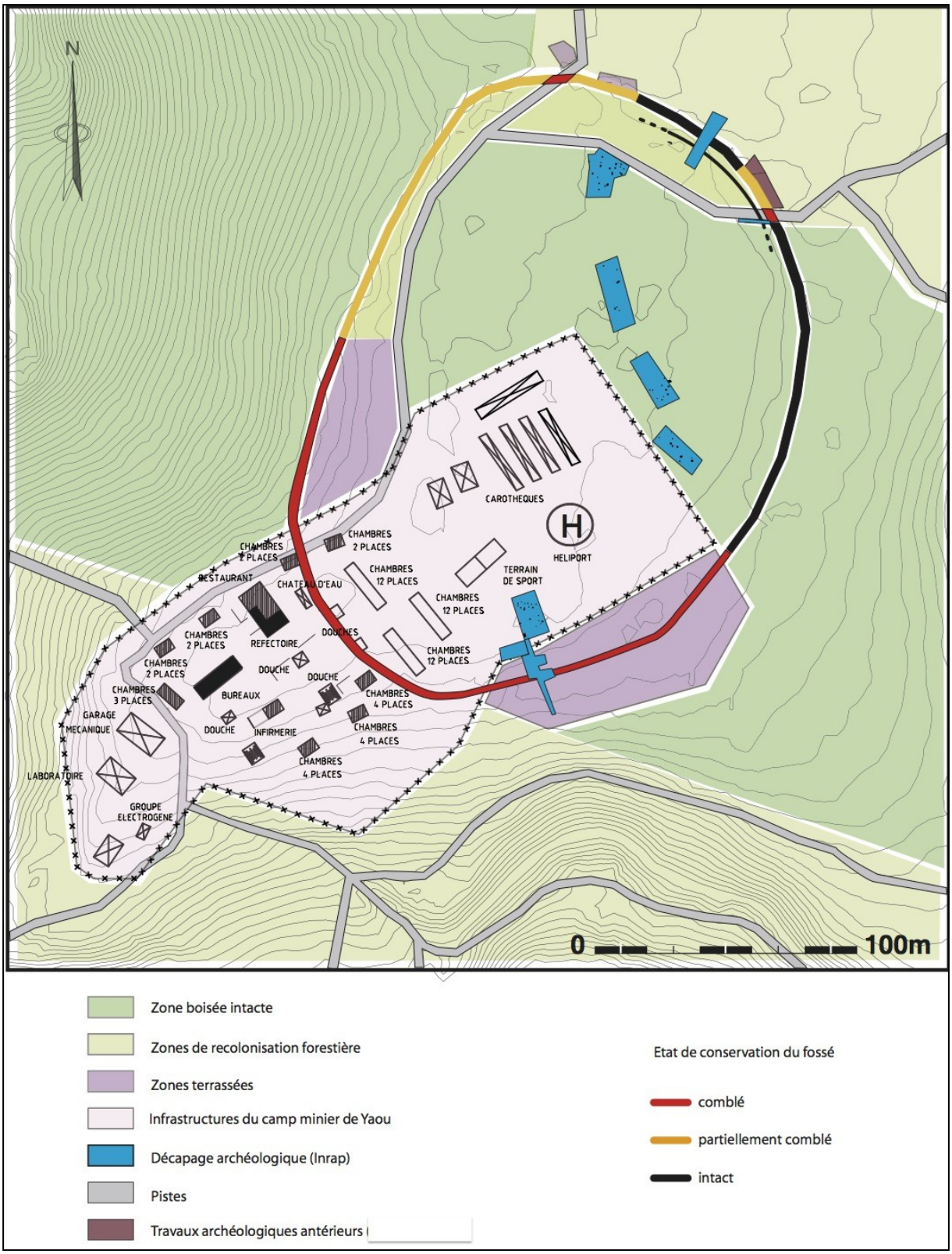


Figure 63 : Etat de conservation de la MC de Yaou et emplacements des travaux archéologiques anciens de Mazière (en rouge foncé) et récents (en bleu), ainsi que des infrastructures liées à l'orpaillage (en blanc et gris) (tiré de Mestre 2012).

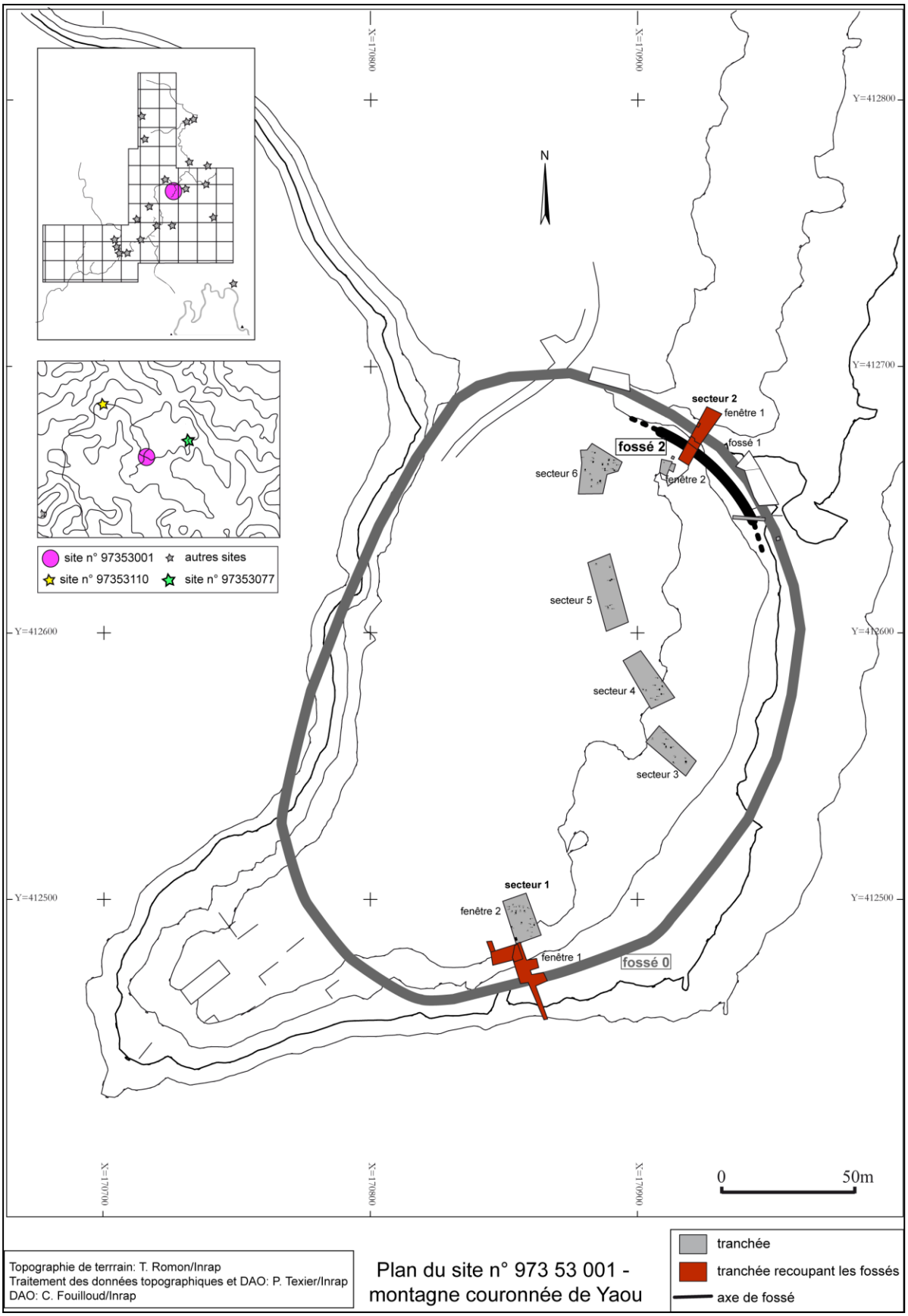


Figure 64 : Plan du site de la MC de Yaou et emplacements des différents sites satellites (encadrés en haut à gauche) reconnus par les prospections archéologiques autour de la montagne couronnée principale (tiré de Mestre 2012).

Treize sites ou indices de sites, ont ainsi été découverts, auxquels il faut ajouter les six sites déjà reconnus lors des missions archéologiques antérieures, dont trois se situent dans l'emprise du permis minier et trois en limite extérieure (Petitjean-Roget 1986, Mazière 1993, cités par Mestre 2012). Les trois principaux sites que les archéologues ont étudiés sont ceux se trouvant dans l'emprise du permis minier : la montagne couronnée de Yaou n° 973 53 001 (pour laquelle nous avons fait des analyses présentées dans ce travail), le site de plein air n° 973 53 077 et un troisième site n° 973 53 110 (**Figure 64**).

II.2.2.3. Principaux résultats archéologiques et datations

Au sein de la montagne couronnée six secteurs ont été fouillés. Le secteur 1, dans la partie sud-ouest du site, et le secteur 2 dans la partie nord du site, nous intéressent ici plus particulièrement (**Figure 64**).

Au sein du secteur 1, deux fenêtres, 1 et 2, ont été ouvertes, recouvrant 182 et 161 m^2 respectivement. La fenêtre 1, positionnée perpendiculairement au fossé, a permis de révéler la stratigraphie de remplissage de ce dernier, ayant fait l'objet de prélèvements sédimentaires (étudiés dans ce travail). Dans cette zone, le fossé porte le nom de fossé 0, du fait de la découverte inattendue d'un second fossé au sein du secteur 2 (Mestre 2012) (**Figures 65 et 66**). Trois datations ont été obtenues au sein du remplissage, révélant un respect dans l'ordre des dépôts chronologiques : le fond du fossé (UMaS 1) est daté autour de 0 cal. AD (1900 +/- 30 BP), puis vers 600 cal. AD le fossé est toujours utilisé (UMaS 4), et enfin le haut du fossé (UMaS 6) révèle une datation autour de 1000 cal. AD (988 +/- 29 BP). Ces dates indiquent un comblement du fossé durant environ 1000 ans.
Il est intéressant de noter que les données acquises en topographie, par les archéologues, donnent une estimation du volume de sédiment extrait par les populations anciennes pour creuser le fossé 0 de la montagne couronnée, aux environ de 11 334 m^3 (ibid.). La fenêtre 2 a permis aux archéologues de mettre au jour plusieurs concentrations de mobilier céramique, ainsi que quelques trous de poteaux qui semblent former un ensemble par un alignement très relatif.

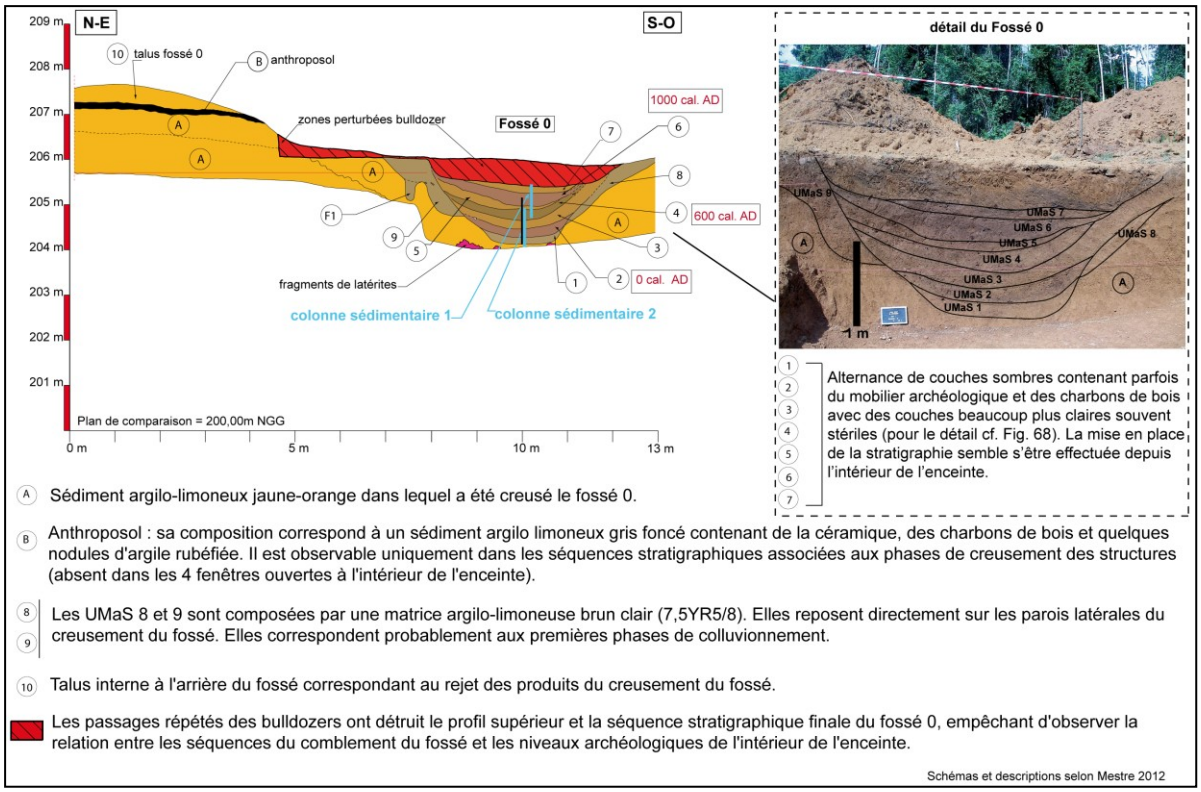


Figure 65 : Secteur 1, fenêtre 1, coupe N-E/S-O du fossé 0 avec son relevé stratigraphique (modifié de Mestre 2012).

Au sein du secteur 2, la fenêtre 1 également ouverte perpendiculairement au fossé, a permis aux archéologues de repérer un aménagement plus ancien, dénommé alors fossé 2, ayant fait l'objet de prélèvements sédimentaires (étudiés dans ce travail) (**Figures 65 et 61**). Ce fossé se situe à l'intérieur du fossé 0 et seule une partie du tracé a pu être restituée par les archéologues. Toutefois, les datations dans le bas de son remplissage donnent une succession chronologique entre 0 cal. AD (1 965 +/- 30 ans cal. BP) et environ 200 cal. AD. (1780 +/- 30 cal BP). D'autre part, dans ce secteur les archéologues ont repéré un ancien niveau de sol d'occupation (anthroposol B) qui a fourni les plus anciennes datations, comprises entre 1 975 +/- 30 ans BP et 1 955 +/- 50 ans BP, soit un peu avant et autour de l'an 0 de notre ère (Mestre 2012). Au vu des datations, cet anthroposol B serait quasiment contemporain du creusement du fossé. Enfin, un niveau de dépotoir (US C) a été identifié sur la périphérie extérieure du site, où il viendrait s'appuyer contre le talus interne du fossé (Mestre 2012) (**Figure 66).** Il semblerait que la formation de ce niveau date de la première phase d'aménagement du fossé 2 interne, aux alentours de 1 680 +/- 30 ans BP, soit vers 300 AD, et se serait prolongée tout au long de l'occupation du site (ibid.).

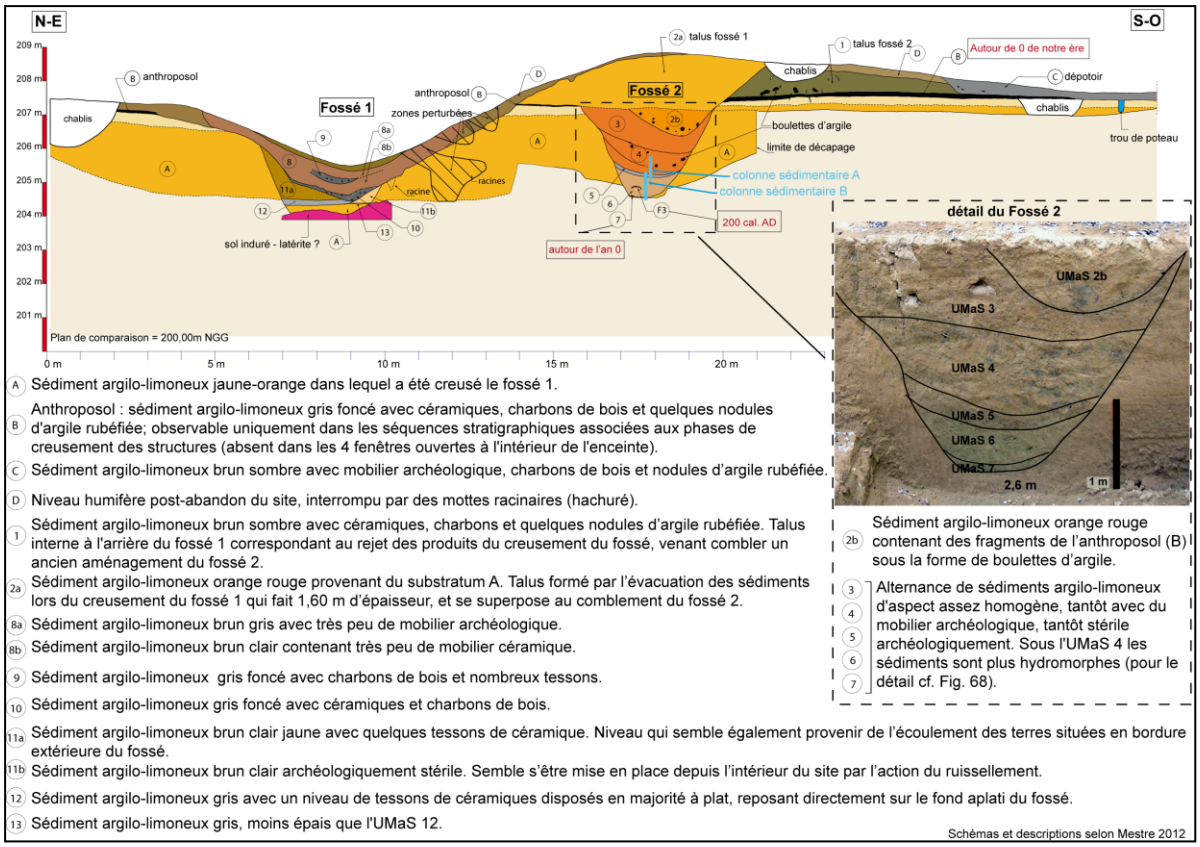


Figure 66 : Secteur 2, fenêtre 1, coupe N-E/S-O du fossé 2 avec son relevé stratigraphique (modifié de Mestre 2012).

De manière générale, au sein de la montagne couronnée de Yaou, site n° 973 53 001, les datations et les faits archéologiques ont permis aux archéologues de retracer une histoire de l'occupation du site (d'après Mestre 2012). Ainsi, le fait le plus ancien du site, l'anthroposol B, correspondrait à un ancien sol lié à l'activité de brûlis pour défricher le terrain afin d'y creuser le fossé. Puis, lors du creusement du fossé 2, par le principe de superposition des dépôts (le plus ancien en-dessous et le plus récent au-dessus) cet anthroposol s'est retrouvé piégé sous les rejets de terre du talus interne et dans une moindre mesure du talus externe, sous les sédiments extraits lors du creusement du fossé 2. Ensuite, les datations réalisées au sein des fossés indiquent une succession de faits archéologiques survenus entre 45 BC et 500 Cal.AD, soit sur une durée d'environ 500 ans, au cours de laquelle deux fossés ont été creusés puis comblés volontairement (fossé 0 et fossé 2). Il est difficile, au vu des résultats archéologiques, de déterminer si cette durée d'occupation fut continue ou le reflet de plusieurs occupations successives. Enfin, une dernière date, dans le haut du fossé 0, semble indiquer une phase d'occupation beaucoup plus tardive du site, autour de 1 000 ans AD qui pourrait correspondre à une période de réoccupation du lieu, suite à un abandon.

En tout état de cause, les résultats du diagnostic archéologique semblent indiquer la présence d'un habitat pérenne durant cette longue période. En effet, les agencements des trous de poteaux formant des groupements de structures et d'espaces vides en fonction des secteurs, évoquent une organisation spatiale des faits archéologiques (ibid.). De plus, l'étude céramique, réalisée par M. Hildebrand sur un corpus de 5 500 individus, va également dans le sens d'un habitat pérenne, indiquant que la production céramique est très homogène culturellement. Il est intéressant de noter que le processus d'oxydation, et donc la cuisson, semble bien maitrisé pour la fabrication de la majorité des céramiques étudiées sur ce site. En outre, un seul fait archéologique (nord du site) correspondrait à un geste volontaire de dépôt de récipients en terre cuite, où des fragments de trois poteries, imbriqués les uns dans les autres, ont été mis au jour. L'étude du matériel lithique, réalisée par S. Delpech sur 180 pièces, reflète également l'existence d'un site d'habitat polyfonctionnel, caractérisé notamment par la présence de fragments de meules, d'éléments de haches polies, avec des traces de débitage de quartz sur enclume, ainsi qu'une multifonctionnalité et une réutilisation de certains objets (nucléus-percuteurs) pour des activités domestiques, de broyage, etc.

Finalement, cette étude récente aura permis la collecte de données archéologiques nouvelles pour le site de montagne couronnée de Yaou et dans la région alentour proche. Les prospections archéologiques dans cette zone collinaire ont ainsi démontré l'existence d'une présence humaine importante, notamment sur les replats sommitaux des collines ; les lignes de crêtes servant vraisemblablement de passerelles/voies de passage entre les sites occupés. Dans l'état actuelle des connaissances, il est impossible de préciser si tous ces sites étaient contemporains et comme « fédérés » autour de la montagne couronnée, ou s'ils reflètent une vision cumulée d'occupations régionales successives sur une très longue période (Mestre 2012). En tout état de cause, le cours supérieur du Maroni était peuplé à l'orée du 1er millénaire par des sociétés amérindiennes probablement nombreuses et structurées. En effet, il semble inévitable que le creusement de tels fossés requière un réel travail de la communauté, soit par la mobilisation de nombreuses personnes sur un laps de temps assez court, soit par un véritable travail collectif, avec moins de main d'œuvre, mais sur une période plus longue (ibid.). Néanmoins, il est encore difficile, à l'heure actuelle, de comprendre la finalité de ces fossés et plus généralement des sites de montagne couronnée.

II.2.3. Apport de l'étude géoarchéologique

Comme pour les sites précédents, une étude géoarchéologique vient compléter les observations de terrain faites par les archéologues. L'observation microscopique des dépôts constituant le remplissage des fossés 0 et 2 va permettre, dans un premier temps, de constater les points de dissemblances et/ou de ressemblances entre ces deux fossés. Dans un second temps, il sera permis d'analyser les rythmes de remplissage. Les données micromorphologiques ont pour but de fournir également une indication sur la nature, anthropique ou naturelle, du remplissage des fossés. Les analyses physico-chimiques vont donner des indications plus précises quant à la nature de ces comblements. *In fine*, ces analyses ont pour objectifs d'apporter de nouvelles informations quant à l'existence et à l'évolution des fossés présents sur les montagnes couronnées, en élargissant le référentiel des MC 87 et 88.

II.2.4. Stratégies d'échantillonnage et prélèvements

Lors des travaux archéologiques de l'Inrap, il a été réalisé des prélèvements au sein des comblements des fossés de la montagne couronnée, sous forme de carottes sédimentaires[17] à l'aide de tube pvc (**Figure 67).**

Le fossé 0 se situe dans le secteur 1, au sein de la fenêtre 1 ouverte par les archéologues, perpendiculairement au fossé visible dans le paysage. Dans son remplissage, deux échantillons se recoupant ont été prélevés : échantillon I = sur 68 cm et échantillon II = sur 83 cm, dont environ 20 cm se recoupent, soit un échantillonnage continu du remplissage du fossé sur environ 1 m 40 (**Figure 68**).

Vingt-trois lames minces ont été fabriquées, dont plusieurs constituaient des doublons (recoupement de l'information et qualité des lames minces) au sein de ces deux échantillons. Quinze d'entre-elles ont été plus particulièrement analysées : F0-1, F0-2, F0-3, F0-4, F0-5, F0-6, F0-7bis ~ F0-8 et F0-10[18], F0-12, F0-13bis, F0-14bis, F0-15, F0-16, F0-17 (**Figure 68).**

Quelques échantillons en vrac, d'environ 100 à 200 grammes, ont été prélevés au sein des carottes sédimentaires, avant la fabrication des lames minces.

Le fossé 2 se situe dans le secteur 2, au niveau de la fenêtre 1 également ouverte perpendiculairement au fossé. Il correspond à un aménagement plus ancien en se situant à l'intérieur du fossé 0. Seule une partie de son tracé a pu être restitué par les

[17] Nous tenons vivement à remercier ici M. Mestre de nous avoir confié ces carottes sédimentaires pour cette étude.

[18] Recoupement des carottes sédimentaires.

archéologues. Au sein du fossé 2, deux échantillons se recoupant ont été prélevés : échantillon A = 75 cm et échantillon B = 82 cm, dont environ 20 cm se recoupent, soit un échantillonnage continu sur environ 1 m 40 également. 20 lames minces ont été fabriquées, dont plusieurs constituaient des doublons (recoupement de l'information et qualité des lames minces) au sein de ces deux échantillons. Quinze d'entre-elles ont été plus particulièrement analysées : F2-1, F2-2, F2-3, F2-4, F2-5, F2-6 ~ F2-10, F2-8 ~ F2-12, F2-13, F2-14, F2-15, F2-16, F2-17, F2-18 (**Figure 68).** Quelques échantillons en vrac, d'environ 100 à 200 grammes, ont été prélevés au sein des carottes sédimentaires.



Figure 67 : Prélèvements en colonne stratigraphique continue réalisés par l'équipe d'archéologue, dans le remplissage du fossé 0 (photo : M. Mestre).

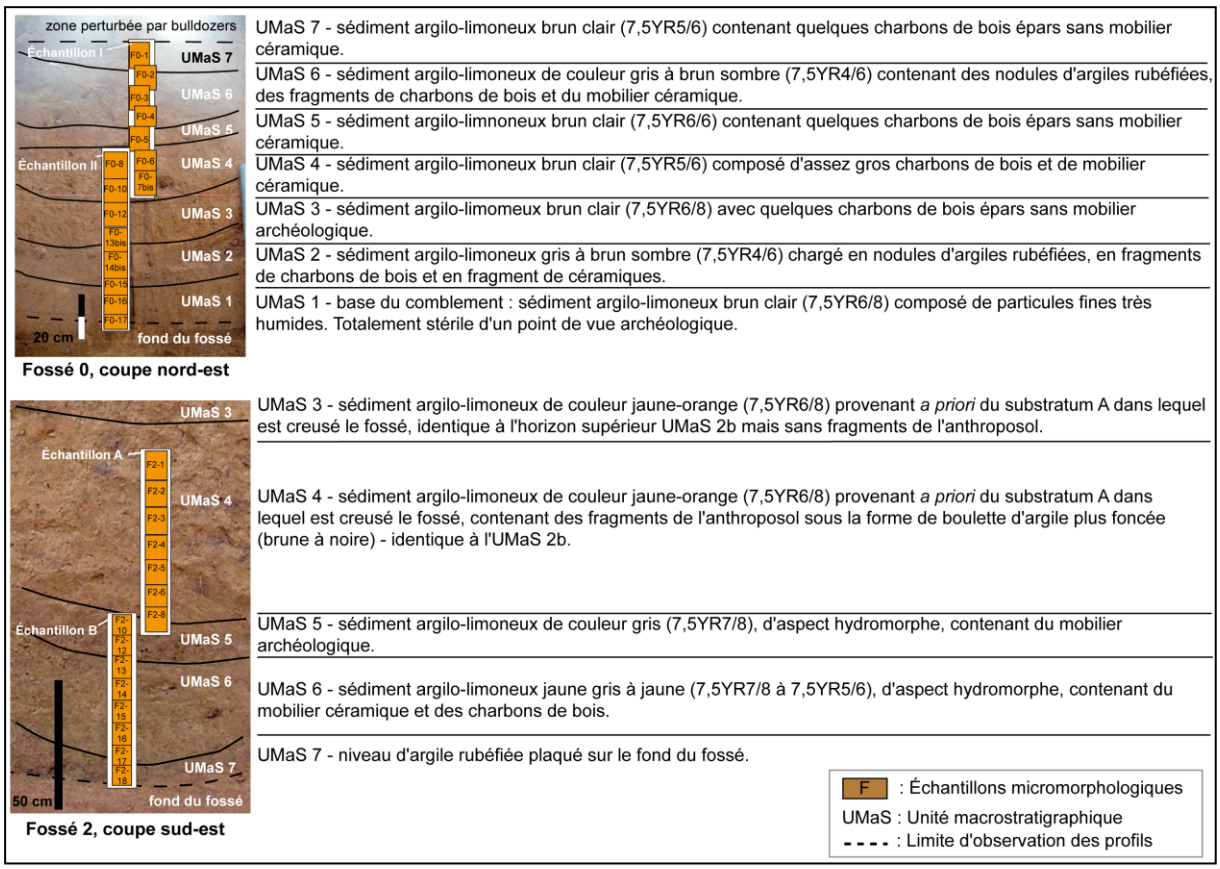


Figure 68 : Descriptions macroscopiques des profils étudiés sur la MC de Yaou, selon les relevés stratigraphiques des archéologues – en haut, fossé 0 et en bas, fossé 2.

Chapitre 2. MÉTHODE GÉNÉRALE

« Finalement la masse même des sédiments, voile que le vieil archéologue s'efforçait d'écarter aussi rapidement que possible, est devenu la source d'une bonne partie de l'information ».

André Leroi-Gourhan (1964)

I. Géoarchéologie

Par cette phrase A. Leroi-Gourhan met bien en exergue combien la conception de l'archéologie a évolué dans les années 60-70. Si les archéologues se sont longtemps intéressés uniquement aux vestiges matériels (céramiques, lithiques) et aux écofacts (os, charbons), un cap a été franchi ces dernières dizaines d'années, puisque les sols en eux-mêmes sont devenus à la fois objets d'études et pourvoyeurs d'informations archéologiques (Brochier 2002 ; Carcaillet & Blanchemanche 2009). En effet, les sols peuvent livrer des renseignements tant sur les activités humaines passées que sur les paléoenvironnements « naturels » ou anthropisés (ibid.). C'est pourquoi, outre leurs fonctions écosystémiques, les sols ont une « pédo-histoire », miroir des sociétés passées, et ils sont, ainsi, des supports d'information importants pour la connaissance des sociétés passées (Pomel 2008 ; Cammas 2015). La géoarchéologie est une sous-discipline de l'archéologie environnementale dont les objets d'étude sont les sols et les sédiments archéologiques (Cammas & Wattez 2009 ; Cammas 2015). Elle vise, ainsi à faire parler les sols, les sédiments, les stratifications, et révéler les « invisibles de l'histoire » (selon les termes de J. Burnouf).

La géoarchéologie correspond à l'utilisation et à l'application d'une variété de méthodes et d'outils des sciences du sol et des géosciences adaptés pour étudier et contextualiser les enregistrements archéologiques, comprendre la taphonomie des sites, et reconstituer les paléoenvironnements en relation avec l'archéologie (Berger et al. 2000 ; Ruivo et al. 2003 ; Goldberg & Macphail 2006 ; Cammas & Wattez 2009 ; Cammas 2015).

I.1. Point de départ de l'étude géoarchéologique

L'impact anthropique a depuis longtemps été reconnu comme jouant un rôle essentiel sur la formation des dépôts sédimentaires et des sols. L'anthropisation est aujourd'hui reconnue comme le principal agent qui aurait influencé l'évolution des sols depuis l'Holocène (Richter 2007 ; Lin 2011). L'émergence puis le développement de la géoarchéologie a contribué à renforcer les recherches sur les marqueurs pédo-sédimentaires de l'activité humaine en contexte archéologique, amorcées au début des années 70 sous l'impulsion des pédologues (Macphail et al. 1990 ; Goldberg & Macphail 2006).

La pédologie, discipline se rattachant aux sciences de la Terre et s'intéressant plus particulièrement aux sols, se focalise sur deux grands aspects distincts et complémentaires : (i) la pédogénèse qui concerne à la fois la formation et la dynamique des sols en fonction du milieu et (ii), l'agronomie et la « fertilité » qui concernent l'ensemble des constituants (minéraux et organiques) et les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols (Poupet 2009). L'application de ces thématiques aux contextes historiques et archéologiques a donc été très bénéfique à la géoarchéologie. Poupet (2009 : 127) décrit d'ailleurs très bien la relation qui existe entre pédologie et archéologie : « *les sociétés qui se sont succédées sur un espace géographique, qui possède lui-même ses propres caractéristiques naturelles à chaque moment de l'échelle chronologique, ont façonné leur environnement, en fonction des capacités techniques qu'elles avaient développées, pour opérer leurs diverses activités et satisfaire leurs multiples besoins* ».

Dans le domaine de la pédologie, le facteur anthropique prend de plus en plus d'importance (Montagne 2006 ; Sauzet et al. 2016). Une nouvelle classe de sols est apparue parmi la classification pédologique: les Anthroposols[19] (Baize & Girard 2008). Ces sols, qui sont plus ou moins fortement modifiés, perturbés, ou fabriqués par l'homme, voient leur dynamique évoluer en fonction des apports en matières organiques ou minérales comme des charbons ou des rejets domestiques (FAO 2014). Il est nécessaire de distinguer les anthroposols entièrement fabriqués par l'homme (avec apports de matériaux artificiels ou terre transportée) de ceux qui ont été si fortement impactés par des processus « anthropo-pédogénétiques » que le solum[20] originel n'est plus reconnaissable ou totalement enfoui (ibid.). Aujourd'hui les pédologues s'accordent pour distinguer

[19] Ou Anthrosols, terme anglo-saxon (FAO 2014).

[20] Du latin « base ». C'est l'ensemble des horizons A, B, C d'un même profil. Succession verticale des horizons telle qu'observable à un endroit précis permettant cette observation.

différents types d'anthroposols, incluant ceux qui sont transformés, artificiels, reconstitués ou construits, considérés comme des sols ayant subit des modifications modernes, et les anthroposols archéologiques. Selon le référentiel pédologique (Baize & Girard 2008), ces derniers sont des sols qui ont subi des modifications anthropiques anciennes (sur plus de 50 cm d'épaisseur depuis la surface), dans lesquels des couches contenant plus de 20% (en volume) de débris d'activités humaines peuvent être observées. Les anthroposols archéologiques, en tant qu'archives de l'histoire des sociétés, se retrouvent sous toutes les latitudes, des pôles à l'équateur (ibid.). L'influence des activités humaines se situent essentiellement dans les horizons supérieurs tels que les horizons A et B (WRB 2014). Ces horizons de sol transformés peuvent être épais, comme pour les *Terra Preta Lato Sensu* qui atteignent parfois 2 mètres (Arroyo-Kalin 2014).

Devenue aujourd'hui une branche de l'archéologie environnementale, la géoarchéologie intègre, l'être humain comme un facteur à part entière de transformation des anthroposols, des sédiments et des paysages, au même titre que les agents naturels. Ainsi, elle met en œuvre les techniques de détermination et les principes d'interprétation de la micro-pédologie à des fins archéologiques (Cammas & Wattez 2009). D'après les travaux micromorphologiques de Cammas & Wattez (2009) et selon le référentiel pédologique français (Baize & Girard 2008), il existe quatre grandes catégories d'anthroposols archéologiques repérables, notamment en fonction de leurs structures et de leurs compositions : (i) Arique, lorsque les horizons sont perturbés par des labours profonds, (ii) Fimique, où l'horizon A mesure au moins 50 cm d'épaisseur, avec un apport de fumure organique caractéristique, (iii) Cumulique, résultant de l'irrigation longue durée et/ou d'un rehaussement artificiel, ou encore d'une accumulation progressive et (iv), Urbique, résultant d'une accumulation de déchets urbains.

L'intérêt des chercheurs pour les anthroposols tropicaux amazoniens, dont la Guyane française fait partie, est croissante, notamment du fait de l'existence des *Terra Preta Lato Sensu* (*cf. Partie I Chapitre 4*). L'utilisation de la géoarchéologie est alors un outil nécessaire pour appréhender les modes d'occupation des sols par les populations amérindiennes anciennes et leurs impacts sur les pédo-paysages. Sur le territoire guyanais, cette thématique est encore très peu documentée et commence à peine à émerger (Brancier 2009 ; Brancier et al. 2014).

L'observation des coupes de terrain reste l'outil premier et privilégié du géoarchéologue. Une description minutieuse des caractéristiques des profils (logs) et des coupes, permettra

d'identifier des variations de couleur, de texture (granulométrie), de structure (ex. types et taille d'agrégats) et de composants (éléments plus ou moins grossiers, naturelles ou anthropiques), caractérisant les faciès dans différentes unités stratigraphiques (US), ou unités macrostratigraphiques (UMaS). Les troncatures, hiatus, et les relations géométriques et génétiques qu'entretiennent les différents dépôts, peuvent également être repérés sur le terrain, et aider à établir une chronologie pédo-sédimentaire relative.

Concernant la couleur des sédiments, le code Munsell, avec plus de 450 possibilités chromatiques, est l'outil le plus largement utilisé. Il s'appuie sur trois caractères principaux induisant la couleur du sol : la teinte (*hue*), variant du jaune au rouge, du bleu au violet, aide à l'identification des traits redox (ex. degré d'oxydation) ; la clarté (*value*) allant du sombre au clair, est un indice de la présence de matière organique dans la sol, et enfin « l'homogénéité » du sol (*chroma*), du gris au coloré, est un témoin de la présence de particules (Munsell 1964) .

II. Micromorphologie des sols

Il est possible par la suite de prolonger les observations faites sur le terrain, en considérant alors le sol à une toute autre échelle de l'ordre du micromètre, grâce à la micromorphologie des sols.
Cette discipline fait partie des méthodes analytiques dites de « microarchéologie » (*sensu* Weiner 2010 cité par Mentzer 2014).

II.1.Principes

La micromorphologie des sédiments archéologiques est définie comme l'étude, au microscope polarisant, de l'organisation des sols à l'échelle microscopique, où l'analyse de leurs constituants biotiques et abiotiques s'intègre dans une démarche analytique (Fedoroff 1979 ; Courty et al. 1989 ; Macphail et al. 1990 ; Gé et al. 1993). La démarche adoptée se fonde ainsi sur les concepts interprétatifs de la pétrographie sédimentaire et de la pédologie, pour lesquel l'organisation des constituants est significative de la dynamique des milieux de sédimentation et de l'évolution des couvertures pédologiques et des formations superficielles (Courty et al. 1989). L'originalité de la micromorphologie en archéologie est d'appliquer cette démarche à l'étude de l'expression sédimentaire des comportements humains (Cammas & Wattez 2009). Non destructive et descriptive, la

micromorphologie présente l'intérêt de poursuivre, à l'échelle microscopique, les observations débutées sur le terrain grâce à son support principal qu'est la lame mince (ibid.).

La micromorphologie participe à la restitution de la genèse d'un sol, car elle permet de reconstituer son évolution et de préciser son fonctionnement (Ruivo et al. 2003). Dans la plupart des cas, la micromorphologie peut être utilisée pour déduire les dynamiques pédo-sédimentaires diachrones (ibid.). En outre, elle permet d'aborder le site archéologique comme un système, avec des lois pédo-sédimentaires spécifiques, corrélées à la nature des matériaux, à la topographie locale, au climat et aux activités humaines, grâce à la détermination des processus, naturels et anthropiques, de mise en place et d'évolution des formations superficielles (Cammas & Wattez 2009).

II.2. Historique

La micromorphologie des sols est à l'origine née de la pétrographie, puis a été adaptée à l'étude des formations meubles au début du 20ème siècle. A partir des années 1930, la micromorphologie fut plus particulièrement développée en pédologie, en s'axant principalement sur l'étude de la genèse et du comportement des sols (Kubiena 1938, cité par Cammas & Wattez 2009). Introduite en archéologie dès la fin des années 70, ses premières applications ont abouti à la différenciation d'horizons pédologiques et de couches d'occupation humaine (Cornwall 1958, 1963, Dalrymple 1958, cités par Sordoillet 2009). Dès lors, l'utilisation de cette méthode s'est peu à peu développée permettant une évolution méthodologique, et l'extension des collections de référence de l'impact des activités humaines sur les sols dans le domaine de l'archéologie, en différents contextes culturels et pédo-sédimentaires (Macphail & Courty 1985 ; Courty et al. 1989 ; Macphail et al. 1990 ; Wattez 1992, Gé et al. 1993 ; Fedoroff & Courty 1994 ; Macphail 1994 ; Cammas et al. 1998 ; Cammas 1994, 1995, 1999, 2001, 2004 ; Courty & Fedoroff 2002 ; Ruivo et al. 2003 ; Wattez 2000 ; Goldberg & Macphail 2006 ; Cammas & Wattez 2009 ; Sordoillet 2009 ; Arroyo-Kalin 2008, 2009, 2014 ; Borderie 2011 ; Cammas et al. 2001, 2014 ; Cammas 2015**).**

Certaines activités élémentaires ont ainsi été documentées par de nombreuses études de cas, incluant par exemple : le piétinement (Gé et al. 1993), la chauffe (Wattez 1992, 2000), le malaxage (Courty et al. 1989 ; Cammas 1994), ou encore différents modes d'aménagement et d'exploitation des sols (Gebhardt 1992 ; Cammas et al. 1998 ; Cammas 2004 ; Cammas 2015).

L'accroissement des référentiels micromorphologiques à divers contextes culturels et géographiques, grâce, entre autres, à l'essor de l'archéologie préventive, a mis en évidence la difficulté de décrire l'ensemble des manifestations anthropiques enregistrées à l'échelle du sédiment en termes uniquement de processus d'accumulation, transformation ou redistribution (Cammas & Wattez 2009). En effet, à de rares exceptions près, l'anthropisation à l'échelle du sédiment ne se traduit pas par des organisations et des traits *a priori* univoques, comme c'est généralement le cas pour beaucoup d'artefacts ou d'écofacts. La plupart des actions humaines susceptibles d'affecter les sédiments opèrent à travers des processus élémentaires qui sont parfois similaires à ceux contrôlées par des facteurs naturels. Face à la difficulté de saisir l'anthropisation à l'échelle du sédiment sous toutes ses formes, la micromorphologie des sols appliquée à l'archéologie a préféré adopter un point de vu souple. Les termes génériques de *processus* et *traits anthropiques* regroupent alors tous les mécanismes liés à l'action de l'homme, et tous les faciès, micro-organisations ou constituants qui en résultent (ibid.). *Processus* et *traits anthropiques* étant définis par opposition aux processus naturels. La micromorphologie des sols apparaît ainsi, comme un outil indispensable de reconnaissance des pratiques anciennes et des modes d'occupation des sols (Cammas et al. 2014).

Enfin, un aspect de la micromorphologie qui n'est que peu abordé, réside dans son caractère de sauvegarde de l'héritage culturel que représentent les lames minces ainsi fabriquées pour les études (Ruivo et al. 2003). En effet, les prélèvements micromorphologiques, vus comme fragments de patrimoine, sont des enregistrements des stratigraphies archéologiques. Or, le fait même de les extraire d'un site pour les étudier permet, par la même occasion, de les préserver pour les générations futures. La micromorphothèque dont le laboratoire de micromorphologie des sols de Grignon est doté est ainsi une source d'archives sédimentaires de l'humanité. Ainsi, dans de nombreuses parties du monde, les profils de sols prélevés sont les seules évidences de restes «non perturbés» de dépôts archéologiques aujourd'hui détruits (Ruivo et al. 2003).

II.3. Démarche

II.3.1. Echantillonnage

Le choix de l'échantillonnage micromorphologique se fait en premier lieu pour répondre aux problématiques géoarchéologiques et archéologiques élaborées en amont. Les stratégies d'échantillonnages s'adaptent aux contraintes morpho-sédimentaires et environnementales du site (topographie, fossés, engorgement, texture des sols, etc.). De

cette réflexion archéologique et des différentes contraintes environnementales, le choix de l'emplacement des échantillons à prélever pourra être fait.

La stratégie d'échantillonnage des sols archéologiques dites « non perturbées » a été formalisée par Courty et al. (1989), Courty & Fedoroff (2002) et Goldberg & Macphail (2006). Il est suggéré notamment que ce soit la même personne qui réalise les prélèvements puis qui procède ultérieurement aux analyses micromorphologiques, afin de diminuer la perte d'information relative entre le terrain et le laboratoire. De plus, il est important que le micromorphologue connaisse les processus pédo-sédimentaires généraux de formation du site étudié ainsi que les problématiques de l'investigation archéologique.

Le cas des échantillons d'anthroposol prélevés en Guyane française diffère peu du cas général. En effet, après une description macroscopique de chacun des profils étudiés, des blocs de sédiment (environ 12 cm de haut par 10 cm de large et de profondeur[21]) ont été extraits des coupes archéologiques, puis bien empaquetés [22] afin d'éviter toute perturbation dommageable. Ce prélèvement en bloc permet de conserver la structure du sol, ainsi que les limites entre les unités macrostratigraphiques (UMaS) qui ont pu être discriminés sur le terrain.

Ce travail étant pionnier pour les anthroposols guyanais, et du fait de la relative homogénéité des horizons discriminés sur le terrain, il a été décidé de réaliser un échantillonnage systématique en colonne continue, du haut de l'anthroposol (horizon de sub-surface) au substrat archéologiquement stérile, afin de pouvoir suivre les variations fines de microstructure et de microfaciès dans toute l'épaisseur des profils.

II.3.2. Fabrication des lames minces

Dans ce travail, toutes les lames minces ont été fabriquées par l'auteure, sous la responsabilité de C. Cammas, au sein de l'Unité de Micromorphologie de l'INRAP, hébergée par l'UFR *DMOS (Dynamique des Milieux et Organisations Spatiales)* du département SIAFEE d'*AgroParisTech* à Grignon (78).

Le protocole standard de fabrication est celui décrit par Guilloré (1985) : (i) une fois au laboratoire, les sols sont séchés dans une étuve à 50°C maximum (environ une semaine) ; (ii) puis ils sont imprégnés de résine polyester synthétique sous vide afin de les indurer (environ 1 mois) ; (iii) les blocs solides alors formés sont découpés à la scie pour former

[21] Taille maximum d'un bloc.

[22] Une fois dégagé au couteau, l'échantillon non perturbé est emballé dans du papier essuie-tout ou du journal, et consolidé avec du ruban adhésif bien serré sur toutes les faces.

une plaquette d'environ 1 cm d'épaisseur, qui sera provisoirement fixée sur un porte-objet ; (iv) la face découverte de la plaquette est ensuite aplanie et polie à l'amincisseuse, puis collée définitivement sur une lame de verre ; (v) la seconde face est amincie jusqu'à une épaisseur de 25 à 30 microns et recouverte d'une lamelle de verre. Les lames minces ainsi terminées mesurent 12 x 6 cm environ.

Au cours de ce travail, **88 lames minces** ont été confectionnées et analysées. Une vingtaine de lames complémentaires ont été également étudiées par l'auteure[23].

II.3.3. Analyses

II.3.3.1. Observations

La grande taille des lames minces fabriquées permet d'observer les sédiments sur des surfaces larges. Elles sont ensuite observées au microscope pétrographique polarisant (Nikon E200 Pol – x 20 à x 400), en lumière polarisée non analysée ou lumière naturelle (LN), en lumière polarisée analysée (LPA) et en lumière oblique incidente (LOI)[24]. L'observation via une lumière oblique incidente est intéressante dans le cas des sols archéologiques guyanais, car elle permet de bien faire la distinction entre charbons et nodules de fer, ou entre matières organiques brûlées (comme les charbons) et non brûlées (tels que du bois) lorsqu'ils sont inclus dans la masse sédimentaire et qu'ils sont difficilement discernables car noirs et amorphes en lumière naturelle. Il est également préférable de décrire la couleur des sédiments avec ce type de lumière car les couleurs apparaissent plus contrastées.

II.3.3.2. Descriptions

L'analyse micromorphologique nécessite d'adopter un système descriptif standardisé indispensable pour définir des objets similaires dans des termes formalisés (Fedoroff & Courty 1994). Il a été choisi pour ce travail d'adopter un ouvrage communément utilisé par les micromorphologues, élaboré par une commission internationale, le *Handbook for soil thin section description* de Bullock et al. (1985). Ce dernier décrit la micromorphologie comme une branche des sciences du sol concernée par les descriptions et leurs interprétations. Plus largement, elle permet d'observer les composants élémentaires et les traits dans les sols, au niveau microscopique. Les constituants élémentaires correspondent

---

[23] Que soit ici remercié M. Grimaldi pour sa confiance et le prêt des lames minces.

[24] Termes anglophones : *plane-polarized light* (PPL), *cross-polarized light* (XPL), and *oblique incident light* (OIL).

à des particules individuelles, reconnaissables en lames minces, qui forment la base de la matrice et de la structure d'un sol (fragments de roche, minéraux, fragments de plante).

Selon leur origine, ces constituants élémentaires hérités et parfois altérés, apportent des indications sur la provenance des matériaux du sol, et sur son histoire fonctionnelle (ibid.). Les traits (ou *pedofeatures*) sont des unités d'assemblage discrètes, discernables du matériel adjacent, par une différence de concentration d'un ou plusieurs composants (fraction granulométrique, matière organique), ou grâce à un arrangement interne spécifique des constituants. D'après Fedoroff (1979), les traits sont considérés comme des entités qui donnent au sol ses propriétés spécifiques. Ils constituent des signatures diagnostiques de processus pédologiques élémentaires, regroupant les accumulations, les transferts de matière en suspension et en solution, ainsi que les altérations physiques, chimiques et biochimiques (biologiques). Ainsi, la hiérarchisation des signatures des différents traits pédologiques reconnus dans un sol, selon les principes de chronologie relative utilisés en pédologie et en géologie, permet de reconstituer la chronologie événementielle des phénomènes naturels et des actions anthropiques qui ont marqué le sol au cours de son développement (Courty et al. 1989, Fedoroff & Courty 1994, Wattez 1992, Gé et al. 1993, Cammas 1994, Cammas & Wattez 2009 ; Cammas 2015).

Lors de l'observation des sols guyanais, il est apparu opportun de privilégier certains constituants élémentaires et traits qui s'avèrent être des marqueurs des activités humaines, du milieu et de la pédogénèse tropicale humide. Ils seront présentés spécifiquement dans les résultats, pour chaque contexte environnemental étudié dans ce travail.
Ils sont ici décrits de manière générale selon le Bullock et al. (1985).

A. Microstructure

Elle correspond à l'agencement des principaux constituants de la matrice d'un sol, que sont, le squelette minéralogique aussi appelé fraction grossière, et la masse fine. Le squelette correspond aux éléments de plus de 50 micromètres, qui constituent le cortège minéralogique (taille des sables, graviers). Les pedo et lytho reliques observées dans les sédiments des MC font partie de ces constituants.
La masse fine est constituée des particules inférieures à 50 micromètres telles que les limons et les argiles. Cette limite de taille est assez aisément repérable au microscope polarisant. La microstructure reflète l'agencement de la masse fine par rapport à la

fraction grossière (ratio c/f), en prenant en compte la porosité (types de vides) et l'agrégation des particules (macro/microagrégats).

B. Traits pédologiques

Dans les sols guyanais, quatre grands types de traits pédologiques reconnus par Bullock et al. (1985) ont été observés.

- Traits texturaux (*textural pedofeatures*)

Ces traits sont la conséquence de la redistribution verticale et/ou latérale, soit de particules micro-érodées à la surface du sol ou dans un horizon de sub-surface, qui sont ensuite piégées en profondeur, soit de particules déplacées par des mouvements liés à l'eau. Ainsi, l'étude des traits texturaux vise à déterminer l'origine des particules piégées ainsi que les conditions de leur défloculation, de leur transport et de leur accumulation. Ils peuvent être composés d'argiles, pures ou impures, de limons et/ou de sables.

Plusieurs types de revêtements argileux, ont été observés dans ce travail : (i) revêtements (cutanes) et rares hyporevêtements argileux ou en impregnations, en lien avec la porosité, au sein des chenaux ou des vides, qui peuvent être soit jaune (argile hyaline pure), soit microlaminés, avec une alternance de lamines jaune et noir (argiles poussiéreuses et argiles pures), ou jaune et orangé (argiles pures et argiles légèrement ferruginisées). Ce type de revêtements est connu pour se former par translocation verticale de particules fines (< 10 micromètres) des niveaux supérieurs vers les niveaux inférieurs d'un sol (Quénard et al. 2011) ; (ii) papules argileuses sub-arrondies (< 100 micromètres) jaune à orange (en fonction de la profondeur et du contexte micro-local) prises généralement dans la masse fine ; (iii) colmatage par des sables lavés, typiques de zones de circulation préférentielle de l'eau dans les sols, en relation directe avec un horizon éluvial appauvri suite à un lessivage, comme ce sera globalement le cas dans les sédiments étudiés de la plaine alluviale du Maroni.

- Traits amorphes et cristallins (*amorphous and crystalline pedofeatures*)

Dans les sols guyanais, ce sont essentiellement des concentrations de produits ferrugineux, conséquence d'une hydromorphie actuelle ou passée (traits redoxiques). Les couleurs des traits ferrugineux dépendent de la composition minéralogique tandis que l'opacité traduit surtout une abondance. Ainsi, la couleur rouge est généralement associée à l'hématite, le jaune et le brun à la goethite, la couleur orange à la lépidocrocite tandis que la couleur noire résulte souvent de la présence d'oxydes de manganèse. Les composés ferrugineux apparaissent soit,

1) en pseudomorphose de fragments végétaux et de minéraux primaires altérés (runiquartz) ;
2) en porosité en position d'imprégnation dans les vides de la matrice.

- Traits d'appauvrissement (*depletion pedofeatures*)

Un trait d'appauvrissement s'identifie par la perte d'un constituant dans une partie de la masse fine. Ce sont des éclaircissements dans la masse fine, en taches de tailles diverses ou autour de chenaux dus soit à un départ d'oxy-hydroxydes de fer en milieu réducteur provoqué par un engorgement saisonnier, soit à un lessivage de la masse fine, soit le fait d'actions anthropiques sur les sols.

- Traits biologiques (*excrement pedofeatures*)

Les principaux traits biologiques observés sont des traits excrémentaux. Plusieurs espèces peuvent être à l'origine de ces traits.

Dans les sols, il existe une incroyable diversité d'organismes animaux. Classiquement, on les distingue en trois catégories en fonction de leur taille (Deprince 2003). La microfaune avec des espèces de diamètre inférieur à 0,2 mm : protozoaires, nématodes, etc. Ces organismes vivent souvent dans l'eau interstitielle du sol ; ils présentent certaines résistances à la sécheresse. Puis vient la mésofaune, qui rassemble les invertébrés entre 0,2 et 4 mm : il s'agit des acariens, des collemboles ou de petits myriapodes, de nématodes de plus grande taille et d'**enchytraeides**. Enfin, la macrofaune est composée des animaux supérieurs à 4 mm, ceux facilement visibles à l'œil nu. Ce sont les vers de terre (Annélides), les myriapodes, les arachnides, les crustacés, les mollusques et les insectes. Vers de terre exceptés, la macrofaune occupe principalement la litière (ibid.)

Parmi les organismes animaux qui vivent dans le sol, les vers de terre correspondent au groupe dominant, en contexte tropical humide (Fragoso et al. 1999). Ils représentent la première biomasse animale terrestre. On en distingue trois principaux selon leur taille, leur écologie et leurs habitudes alimentaires :

- Les épigés, les plus petits (1 à 5 cm), vivent en surface et se nourrissent directement de matières organiques fraiches et de végétaux en décomposition (Blanchart et al. 2004). Ils creusent peu ou pas de galeries ; ils sont saprophages.
- Les endogés, de taille moyenne (1 à 20 cm), vivent dans le sol et ne remontent que rarement à la surface. Ils creusent de profondes galeries sub-horizontales très ramifiées, et se nourrissent principalement de matières organiques plus ou moins dégradées, ce sont des géophages.

Les anéciques, les plus gros (10 à 110 cm), vivent dans l'ensemble du sol, en creusant des galeries permanentes, orientées sub-verticalement et ouvertes en surface. Ils récupèrent leur nourriture à la surface du sol puis la distribuent en profondeur via leurs galeries. Ils ingèrent ainsi de la litière de la surface mélangée à des minéraux du sol (Blanchart et al. 2004). Ils sont sapro-géophages.

Dans les zones tropicales, ce sont les vers de terre endogés qui dominent les peuplements (Lavelle, 1978). Ces organismes sont capables d'ingérer de grandes quantités de terre (jusqu'à 35 fois leur poids de terre/individu). Certaines espèces augmentent la densité apparente des sols, on les appelle des « compactants », alors que d'autres diminuent cette densité apparente, ce sont les « décompactants » (Blanchart et al. 1997). Les travaux de Blanchart et al. (2004) ont démontré que les vers de terre peuvent modifier la structure des sols ferrallitiques tropicaux, en modifiant l'agrégation, ce qui aura un impact direct sur la rétention et l'infiltration de l'eau, ainsi que sur l'érosion des sols (Blanchart 1992 ; Blanchart et al. 2004).
L'exemple du vers de terre endogé qu'est *Pontoscolex corethrurus* est particulièrement intéressant pour les anthroposols guyanais. En effet, cette espèce est connue pour être abondante dans les prairies et les zones forestières déboisées d'Amazonie (Römbke & Verhaag 1992). Elle intéresse notamment les chercheurs car elle s'adapte bien dans ces milieux aux sols déboisés et/ou brûlés (activités agricoles de type brûlis) où les charbons de bois jouent un rôle prépondérant dans la fertilisation des sols (Topoliantz & Ponge 2003). Il est classé parmi les vers de terre « compactants » du fait de sa production de larges macroagrégats (> 1cm), qui augmentent la densité volumique et diminuent l'infiltration de l'eau dans le sol, essentiellement dans les 10 premiers centimètres (Alegre et al. 1996; Lavelle et al. 1998). À la différence des autres vers de terre, P. *corethrurus* a la capacité de descendre assez profondément dans un sol, tant que la matière organique est présente (J.-F. Ponge com. pers.). De plus, dès qu'un milieu est ouvert, notamment par les activités humaines (déforestation), il pourra proliférer puisqu'il tolère très bien lorsqu'il y a peu d'apport de matière organique. Néanmoins, sa multiplication dans les sols vient à poser certains problèmes car ces vers de terre favorisent la formation d'une croûte de battance imperméable à la surface des sols. Les sols deviennent alors impropres aux cultures (J.-F. Ponge com. pers.). L'activité de ce vers de terre va favoriser le mélange des différents horizons pédologiques d'un sol et l'enterrement, en profondeur, des artefacts archéologiques (Araujo 2013).

En lames minces, dans le cas des sols guyanais deux types principaux d'excréments ont été observés. Ils sont fonction du type d'organisme pédofaunique présent, de la profondeur et du contexte stationnel (micro-local) des horizons étudiés. Il s'agit d'une part des micro-boulettes, de l'ordre de 50 à 100 micromètres, formant ce qui est considéré ici comme la microagrégation des sols, qui correspondent à des déjections d'enchytraeides. D'autre part des macroagrégats (> 1cm) avec des orientations préférentielles de la matrice (grains de quartz par exemple pour les sols sableux de la plaine alluviale) correspondant à des déjections de vers de terre endogés (géophages) ont été observés.
Il est intéressant de noter que la morphologie des déjections est significative, de manière relative, à leur temps de résidence dans les sols (J.-F. Ponge com. pers.). Par exemple, si les microboulettes ont des formes mamelonnées bien dessinées, elles sont *a priori* assez récentes (époque moderne). Leur présence est alors un indicateur d'activité de faune moderne. À l'inverse, la bioturbation est considérée comme relativement ancienne, si les déjections présentent des formes moins bien définies et même cassées (sub-anguleuses).

C. Constituants

- Organiques

Les constituants organiques proviennent essentiellement de la flore. Ils sont classés en deux grands types principaux, définis, avec l'aide de J. Morin[25], pour ce qui est des sites de la plaine alluviale du Maroni. Cette classification s'avère également valable pour les autres sites étudiés. D'une part, se distinguent les restes végétaux non carbonisés, parmi lesquels des fragments de tiges, de racines, de feuilles, avec des cellules végétales plus ou moins bien préservées en fonction du contexte micro-locale et de la profondeur, ainsi que des spores indéterminés. D'autre part, ont été identifiés des restes carbonisés, parmi lesquels les charbons, de bois, de feuilles, ou d'origine indéterminée. Dans les sols observés dans ce travail, ces restes carbonisés sont majoritairement associés aux fragments de céramique et/ou aux agrégats argileux d'origine anthropique. Ils sont donc ici considérés comme des constituants anthropiques.

[25] Doctorante en anthracologie, dendrochronologie et archéologie - Université de Liège, Gembloux, Agro-Bio Tech, Gestion des ressources forestières et des milieux naturels. Qu'elle soit ici ,grandement remerciée pour son aide.

- Anthropiques

Les constituants d'origine anthropique peuvent nous renseigner sur les anciennes activités humaines pratiquées directement ou indirectement au niveau des sols observés. Dans le cas des sols guyanais, les restes anthropiques définis en lames minces ne sont pas très nombreux. Ils sont majoritairement de trois ordres et minoritairement de deux ordres.

Les trois constituants anthropiques principaux que sont fragments de céramiques, charbons et agrégats argileux anthropiques sont souvent associés dans les anthroposols. Ils font partie intégrante des constituants du sol une fois déposés à terre. Ils vont, après leur dépôt, subir les processus pédogénétiques *in situ* d'évolution des sols.

- Les céramiques : elles se repèrent aisément dans les sédiments de par leurs tailles souvent importantes (> 2 cm), leurs formes, leurs couleurs, leurs structures et leurs textures. Leur observation en LPA permet de bien les distinguer de la matrice adjacente. Les fragments de céramique orientés sub-horizontalement résultent d'un dépôt gravitaire via les activités humaines sur d'anciens niveaux de sol de surface. D'autres orientations plus aléatoires témoignent d'une évolution taphonomique sous l'effet de la bioturbation ou des activités humaines (creusement de fosse, remaniement du sol), aussi bien en profondeur qu'en surface.

- Les charbons : en lames minces, ils sont noirs en lumière naturelle, ce qui les rend, par endroits, difficilement décelables par rapport à d'autres constituants amorphes noirs telles que certaines pédo/litho reliques dans les sols des montagnes couronnées. L'utilisation de la LOI permet alors de les individualiser, et de préciser leur degré de carbonisation, grâce aux ponctuations brillantes qui apparaissent sous cet éclairage. Ainsi, en LOI, plus ils sont brillants, plus ils sont bien carbonisés. Parmi ces restes végétaux carbonisés, deux classes de taille principales ont été définies : les microcharbons (< 1 cm) et les macrocharbons (> 1 cm). Les premiers constituent les charbons finement mixés à la fraction fine, dont l'abondance contribue très fortement à l'empoussièrement, conférant aux sédiments des anthroposols une couleur brun foncé à noir. Les macrocharbons, peuvent, au même titre que les fragments de céramiques, présenter une orientation préférentielle dans la matrice, comme être orientés sub-horizontalement, suggérant une redistribution des matériaux allochtones en lien avec l'occupation humaine ancienne. Les micro- et macrocharbons ont fait l'objet de comptages d'estimation

de leur abondance, permettant de réaliser des microanthraco séquences dans chacun des profils étudiés dans ce travail.

- Les agrégats argileux : ils ne se révèlent que dans le contexte des montagnes couronnées, et possèdent des propriétés intrinsèques propres, essentiellement observables en LOI. Ils sont majoritairement observés en association avec les charbons. Ils ont également fait l'objet de comptages de leur abondance dans les profils des montagnes couronnées.

Les deux constituants que l'on trouve de manière assez ponctuelle ou bien qu'il est difficile de discriminer, correspondent respectivement aux microesquilles d'os et aux phytolithes.

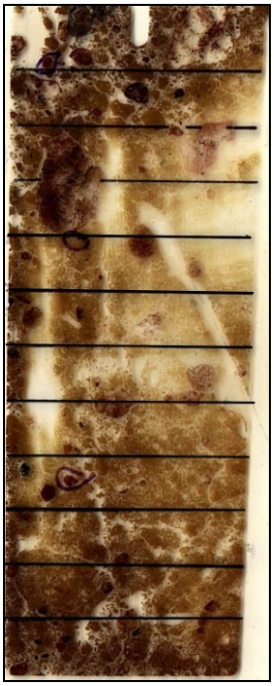
- Les microesquilles d'os : leurs formes et leurs couleurs amènent à les considérer comme des microrestes osseux, *a priori* en lien avec les activités anthropiques, du fait de leur emplacement dans l'anthroposol, à proximité des céramiques et des charbons. Toutefois, ces restes sont rares, ponctuels, et très abimés. Les conditions acides de milieu et la pédogénèse étant défavorables à leur conservation dans les sols guyanais.

- Les phytolithes : ces résidus végétaux sont des poussières de silice amorphe (opale) de l'ordre de quelques micromètres qui se décèlent aux plus forts grossissements dans notre cas (x200 et x400). Ils sont visibles à la fois dans la porosité grâce à leur microrelief important (cas des sols de la plaine alluviale), ainsi que dans certains agrégats de sol (cas des montagnes couronnées). Parfois en connexion anatomique et/ou encore reliés à un fragment végétal, ils sont, de manière générale, assez érodés et abimés, ne permettant que difficilement leur identification (A. Emery-Barbier et R. Thomas com. pers.).

Ces constituants et ces marqueurs de la dynamique pédo-sédimentaire des sols guyanais vont permettre de décrire des organisations pédologiques liées aux processus induits par les conditions naturelles du milieu (hydriques, activité biologique, etc.) et/ou l'activité humaine (Fedoroff & Courty 1994) propres aux différents contextes étudiés.

II.3.3.3. Comptages

Les comptages sont entrepris après la lecture et la compréhension globale des lames minces. Ils permettent d'apporter des précisions aux observations tout en facilitant la comparaison des descriptions micromorphologiques (Borderie 2011). Ils concernent certains constituants élémentaires qui sont apparus comme des indicateurs privilégiés de traits pédologiques et/ou anthropiques, caractéristiques des contextes à l'étude. Ainsi, chaque lame mince a été investiguée de manière semi-quantitative par des estimations visuelles de l'abondance de certains constituants suivant les chartes (en %) décrites dans Bullock et al. (1985) (**Figure 70**).



Pour cela, une délimitation tous les 1 cm par des lignes horizontales formant une grille, fut réalisée sur chaque lame mince, permettant une estimation systématique **(Figure 69).**

Figure 69 : Exemple de lame mince avec une grille pour les comptages micromorphologiques.

Ces comptages ont pris en considération la taille des éléments discriminés (**Tableau 18**).
Ce travail a permis une description très fine de la distribution spatiale de ces constituants, au sein de chaque profil, amenant à repérer des micro-unités aidant à la compréhension de la mise en place de ces dépôts archéologiques. Ces comptages complètent les observations micromorphologiques.

Termes français	Termes anglo-saxon	Tailles en mm (équivalent en μm)
Graviers fins (GF)	Fine gravel (FG)	> 2 mm (= 2000 μm)
Sables très grossiers (StG)	Very coarse sand (VCS)	Entre 2 et 1 mm (2000 à 1000 μm)
Sables grossiers (SG)	Coarse sand (CS)	Entre 1 et 0,5 mm (1000 à 500 μm)
Sables fins ou moyens (Sf)	Medium sand (MS)	Entre 0,5 et 0,2 mm (500 à 200 μm)
Limons fins (LF)	Fine silt (FS)	Entre 0,2 et 0,1 mm (200-100 μm)
Limons très fins (LtF)	Very fine silt (VFS)	Entre 0,1 et 0,02 mm (100-20 μm)
Limons (L)	Silt (S)	Entre 0,02 et 0,002 mm (20-2 μm)

Légende : Pour les agrégats argileux, seules les quatre premières classes ont été utilisées (sur fond gris), alors que pour les charbons les sept classes ont été discriminées.

Tableau 18 : Classes de taille des constituants discriminées dans les comptages (d'après Stoops 2003).

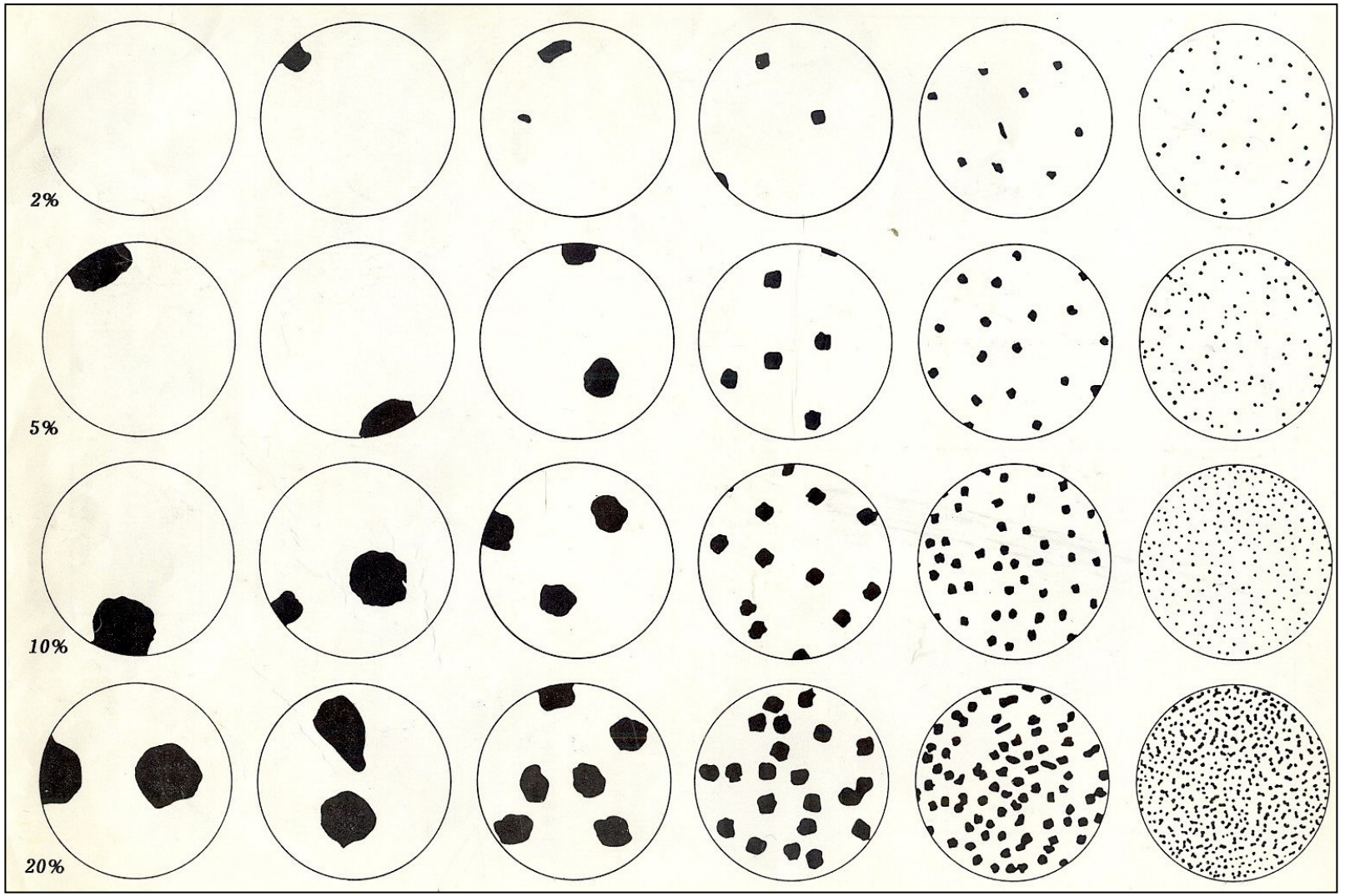


Figure 70 : Charte d'abondance des constituants selon Bullock et al. (1985 : 24).

Dans le cas des sites de la plaine alluviale du Maroni, ce sont uniquement les charbons qui ont été comptés ; sur les montagnes couronnées, les charbons, les agrégats argileux anthropiques ainsi que les pédo/litho reliques et les runiquartz ont également été comptabilisés.

II.3.3.4. Interprétations

Les interprétations sont faites selon Courty et al. (1989), Fitzpatrick (1993) Goldberg & Macphail (2006), Cammas & Wattez (2009) et Stoops et al. (2010). De plus, les nombreuses discussions entretenues avec d'autres micromorphologues du laboratoire ont permis d'apporter des précisions à ces descriptions et interprétations. Certaines collaborations avec des chercheurs [26] travaillant en contexte tropical plus ou moins humide, ont également été utiles dans la reconnaissance de certains constituants typiques de ces sols. Les données utilisées pour les comparaisons avec les *Terra Preta lato sensu* proviennent essentiellement des travaux de Lima et al. (2002) et Arroyo-Kalin (2008, 2009, 2010, 2014).

II.3.4. Présentation des résultats

Les résultats des observations micromorphologiques sont présentés séparément pour chaque profil de chaque site. Les descriptions sont faites de la surface vers le bas du profil (**Tableau 19**). Une planche photographique vient compléter visuellement ces descriptions, où chaque UMiS définie est illustrée par un trait principal qui la caractérise (cf. Partie III-Résultats).

L'entrée « UMaS » correspond aux unités macrostratigraphiques ou pédologiques de terrain ; « UMiS » correspond aux unités microstratigraphiques identifiées en lames minces ; « Horizon/Niveau » indique un positionnement pédologique et stratigraphique ; puis la « Microstructure » est décrite selon sept critères sélectionnés d'après les observations ; la composition de la « Matrice » est déclinée par les deux fractions principales la composant, la « fraction grossière » d'une part, et la « fraction fine » d'autre part ; enfin les « Principaux Traits Pédologiques » observés sont de trois ordres, « biologiques », « argileux » et « ferrugineux », comme précisé précédemment (cf. *supra)*. Les abondances relatives relèvent des chartes décrites dans Bullock et al. (1985) (**Figure 70**).

[26] Que soit ici remercié E. Fritsch, J-F. Ponge et M. Grimaldi.

UMaS	UMiS	Horizon/Niveau	Profondeur (cm)	MICROSTRUCTURE					MATRICE			PRINCIPAUX TRAITS PEDOLOGIQUES					
				Type de microstructure	Empoussièrement de C/f distribution relative	Porosité	Abondance des vides	Degré d'agrégation	Classement	Fraction grossière	Abondance relative	Fraction fine	Abondance relative	Biologiques		Argileux		Ferrugineux	
														Type d'excrément	Abondance relative	Type	Caractères descriptifs Abondance relative	Type	Abondance relative

Tableau 19 : Entrées des tableaux des descriptions micromorphologiques.

Les comptages, faisant partie intégrante des descriptions micromorphologiques, sont présentés sous la forme de diagrammes de pourcentage de présence, constituant par constituant, établis le long du profil en fonction de la profondeur (**Figure 71**). Ce sont des diagrammes cumulés des différentes classes de tailles comptabilisées. Les diagrammes d'abondance des charbons sont appelés microanthraco séquences.

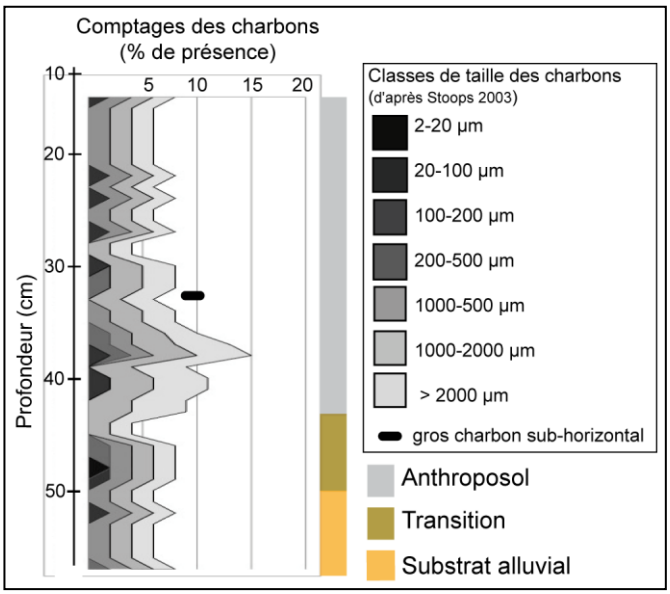


Figure 71 : Exemple de la microanthraco séquence sur le site de Balaté, profil BAL-1.

Enfin, dans la partie interprétative, chaque profil est interprété dans l'ordre chronologique des dépôts, du bas vers le haut de la séquence, en mettant en lien les résultats micromorphologiques, physico-chimiques associés aux données complémentaires et archéologiques.

II.3.5. Collection de référence consultée pour cette recherche.

L'observation des anthroposols guyanais d'un point de vu micromorphologique est novateur pour la Guyane française. A notre connaissance, il n'existe pas de collection de référence accessible pour les anthroposols guyanais, et très peu de collections de référence pour les *Terra Preta lato sensu* (Lima et al. 2002 et Arroyo-Kalin 2008, 2014).

Il a donc été nécessaire de chercher des référentiels naturels, permettant de dresser des comparaisons entre sols naturels et sols anthropisés.

II.3.5.1. Contexte

Le dispositif ECEREX (ÉCologie, ÉRosion, EXpérimentation), mis en place par les pédologues de l'ORSTOM (Fritsch 1981; Roche 1982 ; Sarrailh 1984), avait, entre autres comme problématique de déterminer l'espace poral d'une couverture pédologique sur socle de Guyane française. Cela dans le but de caractériser le comportement hydrodynamique des sols, afin de mieux maîtriser les ressources en eau des plantes (Grimaldi & Boulet 1990).

Le site ECEREX se situe dans la commune de Sinnamary, sur les hautes terres guyanaises, où le relief très caractéristique est formé d'un ensemble d'unités hydrographiques très petites, de quelques hectares (Sarrailh 1990) (**Figure 72)**. Dix petits bassins-versants élémentaires ont alors été individualisés pour faire l'objet d'études pédologiques détaillées (Boulet 1983), associées à un suivi hydrologique avant et après défrichement entre les années 80 et 90 (Fritsch 1981; Roche 1982). Les pentes fortes et les faibles superficies (de l'ordre de l'hectare) de ces bassins-versants sont caractéristiques du paysage sur socle en Guyane septentrionale (Grimaldi & Boulet 1990). Sur ce site, le substrat géologique appartient à la série des schistes du Bonidoro présentant des filons de pegmatite, de taille très variable. Le climat est de type équatorial humide, avec une pluviométrie moyenne annuelle de 3 000 mm, inégalement répartie (saison sèche d'août à novembre) (ibid.). La végétation y est de type forestière.

Parmi les dix bassins-versants du site, ce sont les bassins B et I, qui ont fait l'objet de prélèvements et d'observations micromorphologiques (Grimaldi & Boulet 1990). Ils correspondent à deux grands faciès de développement du sol, typique pour le milieu guyanais : le bassin B se développe sur schiste et le bassin I sur pegmatite (ibid.).

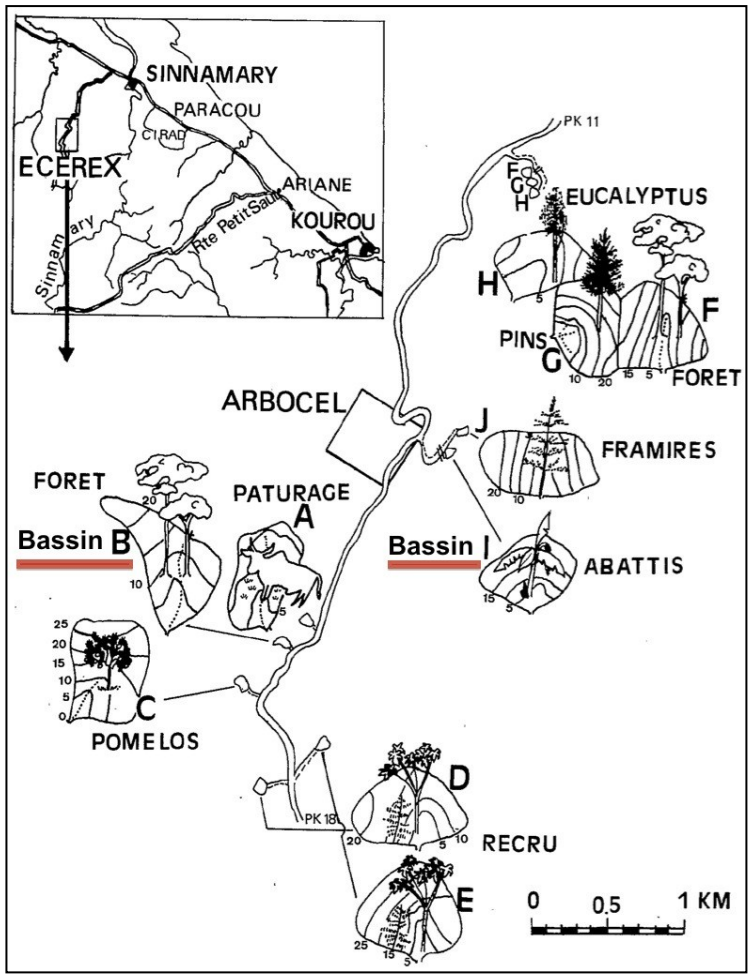


Figure 72 : Localisation géographique du site Ecerex, commune de Sinnamary (tiré de Grimaldi & Boulet 1990).

II.3.5.2. Description macromorphologique des sols

Le bassin I, situé sur de larges filons de pegmatite, correspondant à de gros granites, présente une texture plus grossière avec un squelette quartzeux, et moins de fer disponible, ce qui engendre moins de nodules de fer dans les sols (ibid.). Le faciès observé est souvent hydromorphe, entrainant une transformation/dégradation rapide du sol. L'organisation pédologique qui se substitue progressivement à l'organisation du matériau d'altération est d'abord massive, ensuite fragmentée en petits polyèdres serrés, puis apparaissent - autour et entre ces polyèdres - des microagrégats arrondis (M. Grimaldi com. pers.).

L'observation de l'organisation tridimensionnelle de la couverture pédologique, sur les deux bassins-versants, a permis aux pédologues de distinguer plusieurs stades de transformation d'une couverture ferrallitique en déséquilibre (Boulet et al. 1982). La couverture ferrallitique initiale est encore présente à l'amont des bassins B et I, avec des

horizons microagrégés épais, sablo-argileux à argileux. Sa transformation se traduit par deux phénomène principaux qui sont, de l'amont vers l'aval (Grimaldi & Boulet 1990):
- l'amincissement progressif puis la disparition des horizons microagrégés (**Figure 73**, horizons 1 et 2) qui sont remplacés par des horizons à structure polyédrique, peu épais et sablo- argileux ;
- le rapprochement de la surface topographique (à moins d'un mètre de profondeur) d'un horizon d'altération (altérite) de la roche-mère (**Figure 73,** horizon 6), moins argileux et plus limoneux que les horizons microagrégés, d'aspect nettement plus compact et présentant en toute saison un caractère « sec au toucher ».

Le bassin B, formé sur roches schisteuses, présente un faciès pédologique de texture assez fine, une couleur rouge dense avec beaucoup de nodules de fer, du fait de l'importante disponibilité en fer dans ce contexte de sol (M. Grimaldi com. pers.). Les sols correspondent à des altérites. Ils présentent une organisation générale plus ou moins proche des constituants de la roche mère et peuvent se décliner en deux variantes, avec un horizon isaltéritique dont la structure apparente conserve celle de la roche mère, et un horizon allotéritique dont les traits majeurs de la structure de la roche mère ont disparu (Lozet & Mathieu 1990; Baize & Girard 2008). Ces sols ont la particularité d'empêcher ou de limiter la percolation et l'infiltration lorsqu'il pleut, générant ainsi du ruissellement sur les pentes. Ils sont dominants dans la partie septentrionale de la Guyane.

II.3.5.3. Prélèvements

A. BASSIN I

Les échantillons prélevés pour la fabrication des lames minces correspondent aux horizons 1, 2 et 3 prélevés à l'amont, et aux horizons 6 et 8 prélevés sur le versant (**Figure 73**) (Grimaldi & Boulet 1990).
Deux fosses ont fait l'objet de prélèvements spécifiques dans ce bassin.
La fosse 1 se trouve sur le versant, et correspond à un Ferralsol à drainage vertical profond. Quatre lames minces ont été fabriquées, entre la surface et 1m15 de profondeur, avec des hiatus, entre 8-30 cm, 45-70 cm et 85-100 cm de profondeur (**Figure 73**).
La fosse 4 correspond à un Acrisol à drainage latéral superficiel. Sept lames minces ont été réalisées, entre la surface et 1m54 de profondeur, avec des hiatus entre 9-25 cm, 40-50 cm, 65-70 cm, 85-95 cm, 110-120 cm et 135-145 cm (**Figure 73**).
Dans le cadre de ce travail, les horizons entre la surface et 100 cm de profondeur seront plus particulièrement observés.

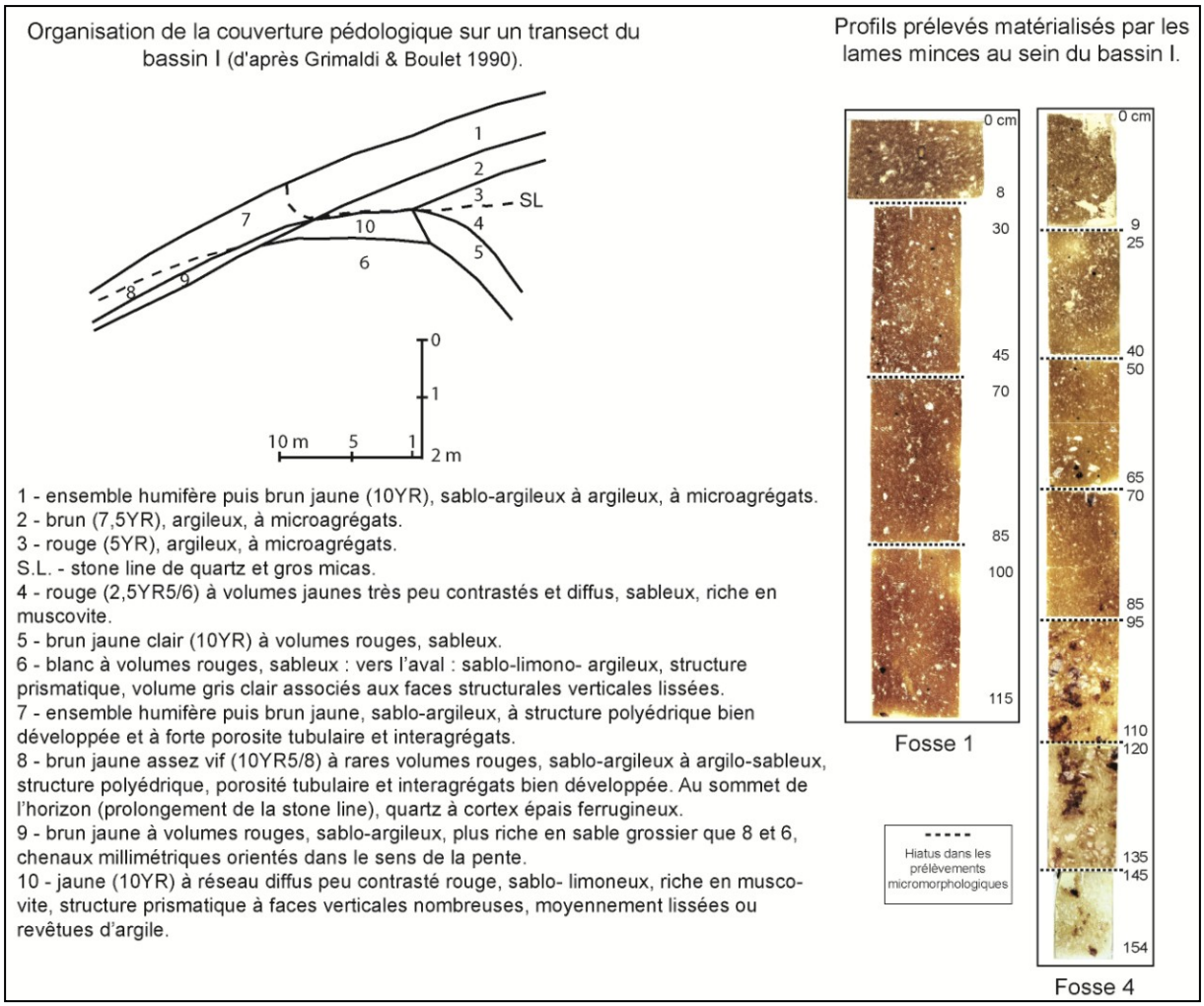


Figure 73 : Schéma et descriptions de la stratigraphie du bassin I (tiré de Grimaldi & Boulet 1990). A droite, lames minces matérialisant les sols des fosses 1 et 4.

B. BASSIN B

Sur ce bassin-versant, deux horizons principaux ont été caractérisés et prélevés pour la fabrication des lames minces. D'une part, un horizon microagrégé, prélevé à l'amont du bassin, à 45 cm de profondeur, brun jaune, argileux mais très riche en nodules ferrugineux. D'autre part une altérite, apparaissant sur le versant entre 80 cm et 1 m de profondeur, rouge, peu structurée (aspect compact), argileuse mais riche en limons fins (Grimaldi & Boulet 1990).

Trois fosses pédologiques ont été réalisées pour procéder aux prélèvements des sols de ce bassin (**Figure 74**).

La fosse 4 se situe à mi-versant. Le sol ici correspond à un Acrisol avec un drainage à composante latérale superficielle. Le profil entier comprend l'horizon d'altérite (M. Grimaldi com. pers.). Dix lames minces ont été fabriquées (dont trois à la même

profondeur, entre 100-109 cm), entre la surface (0 cm) et 1m32 de profondeur, avec des hiatus dans les prélèvements entre 60-70 cm, 85-100 cm et 109-127 cm.

La fosse 5 se trouve en amont du bassin. Ces sols sont classés parmi les Ferralsols à drainage vertical profond. Quatre lames minces ont été réalisées, entre la surface et 75 cm de profondeur, avec un léger hiatus entre 50-60 cm.

La fosse 6, se situe sur une crête, 100 m à l'amont en dehors du bassin. Cinq lames minces ont été fabriquées, entre la surface et 95 cm de profondeur, avec un léger hiatus entre 50-60 cm de profondeur.

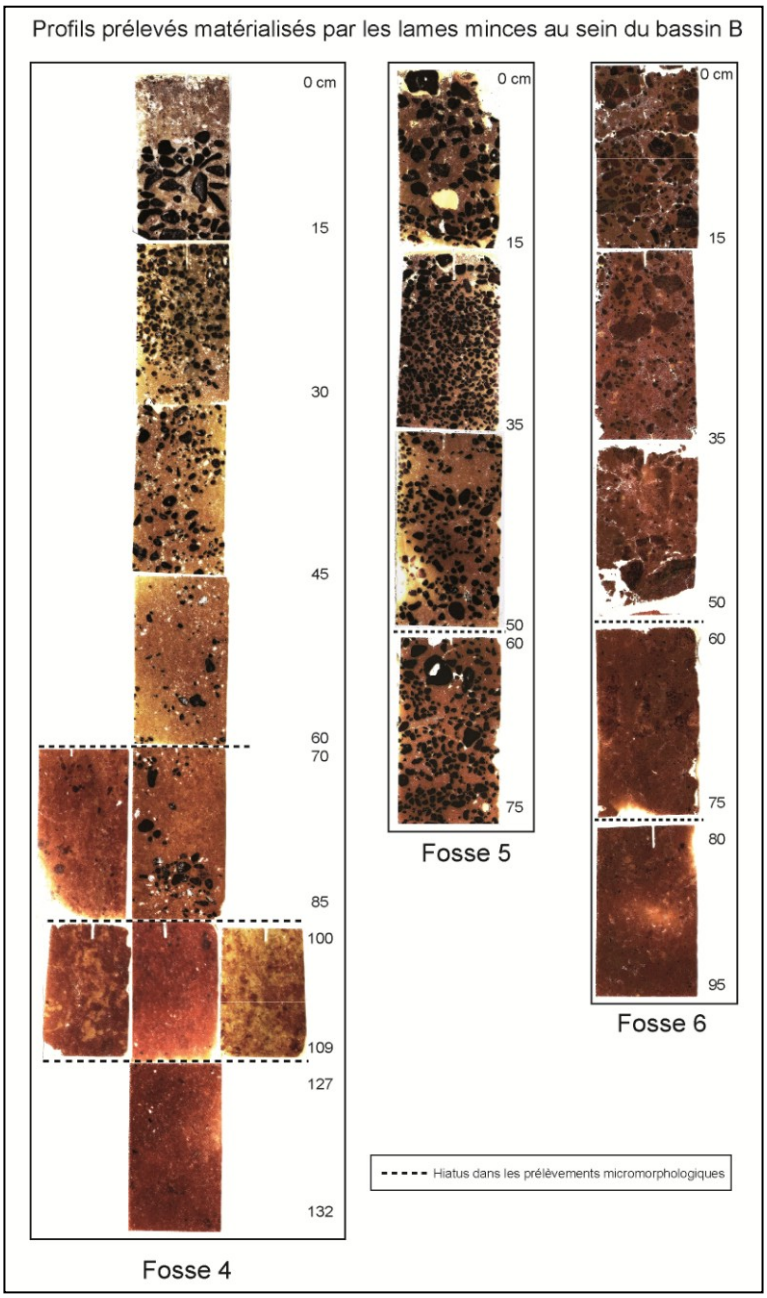


Figure 74 : Lames minces matérialisant les sols des fosses 4, 5 et 6 du bassin B.

III. Analyses physico-chimiques

III.1. Principe

Directement inspirées de l'étude des caractères agronomiques des sols, les analyses physico-chimiques appliquées à l'archéologie font également partie intégrante de la géoarchéologie.

Au départ, dans les années 1930, c'est l'analyse du phosphore des sols qui a été utilisée comme indicateur premier des activités humaines (Arrhenius 1931, 1934 et Lorch 1930, 1939, cités par Holliday 2004). Par la suite, de nombreuses études ont permis d'affiner le potentiel chimique des résidus des activités humaines anciennes, à différents contextes archéologiques, grâce à l'analyse multi-élément (Barba & Ortiz 1992 ; Barba et al. 1995 ; Middleton & Price 1996 ; Entwisle et al. 1998, 2000 ; Costa & Kern 1999 ; Middleton 2004 ; Terry et al. 2004 ; Cook et al. 2006 ; Holliday & Gartner 2007 ; Oonk et al. 2009 ; Dore & Lopez Varela 2010 ; Lopez Varela & Dore 2010 ; Wiedner et al. 2015). Ces analyses mettent en évidence la signature « chimico-anthropique » qu'enregistre un sol. Elles constituent un outil important pour déduire, à un endroit donné, les pratiques d'utilisation de l'espace par les populations anciennes (Wilson et al. 2008 ; Holliday et al. 2010). Par exemple, comme nous l'avons vu précédemment, les analyses physico-chimiques réalisées sur les Amazonian Dark Earth, révèlent des teneurs en éléments chimiques nettement supérieures aux sols environnants naturels, tout en étant assez variables, reflétant différentes aires d'activités au sein d'un même site (cf. Partie I-chapitre 4). On peut ainsi retracer « l'architecture intérieure » d'une zone d'occupation (« espace domestique ») grâce aux éléments chimiques contenus dans le sol (exemples d'éléments : Ca, P, Mg, K, Mn, etc.) et qui se sont conservés jusqu'à aujourd'hui (Kern et al. 2009, 2015).

Toutefois, ces analyses ne conduisent qu'à une appréciation quantitative résiduelle (héritage) des différents apports organiques ou organo-minéraux humains et ne donnent pas l'aspect qualitatif originel, indispensable à la caractérisation des activités humaines (Courty & Miskovsky 2002).

Ainsi, le fait de coupler l'interprétation des propriétés physico-chimiques d'un sol, aux analyses micromorphologiques, a permis d'étendre la portée d'ensemble des recherches, et d'illustrer la remarquable hétérogénéité qui caractérise les anthroposols, en tant qu'archives des activités humaines passées (Brochier 2002 ; Goldberg & Macphail 2006 ; Arroyo-Kalin 2014). Ces analyses permettent alors d'apprécier de manière qualitative et quantitative ces anthroposols, et de confirmer, ou non, certaines hypothèses émanant de

l'analyse micromorphologique, voire d'ouvrir à de nouvelles interprétations ou pistes de recherche.

III.2. Échantillonnage

Environ 500 grammes de sédiments ont été prélevés en vrac sur une épaisseur d'environ 5 cm dans les profils étudiés. Afin de coupler ces résultats aux analyses micromorphologiques, les sédiments ont été prélevés dans les emplacements des blocs destinés à la micromorphologie. De manière à ce que l'échantillon soit le plus représentatif de l'unité macrostratigraphique dont il est issu, le prélèvement a été réalisé au cœur même de chaque UMaS.
Les échantillons de sol ont ensuite été séchés à l'étuve pendant plusieurs jours, à 50 °C maximum, puis tamisés à 2 mm et envoyés au laboratoire pour analyses.

III.3. Les analyses physico-chimiques

Ces analyses ont toutes été réalisées au Laboratoire d'Analyse des Sols (LAS) de l'Inra[27] à Arras.

III.3.1. Choix des analyses

Le choix des analyses repose sur l'étude de la bibliographie concernant les *Terra Preta lato sensu* (Costa & Kern 1999; Arroyo-Kalin 2008; Arroyo-Kalin 2012; Costa et al. 2013) afin de comparer nos résultats aux leurs. De manière plus générale, nous avons utilisé les investigations géoarchéologiques effectuées en France comme à l'étranger (Cammas 2004 ; Goldberg & Macphail 2006 ; Borderie 2011 ; Arroyo-Kalin 2014 ; Cammas 2015). Ainsi, il a été décidé de réaliser des analyses dites de « routine » dans le but de préciser les propriétés physiques et chimiques du sol, et d'obtenir un bilan de fertilité (ibid.) (**Tableau 20**).

[27] Responsable du laboratoire : N. Proix. Qu'il soit ici grandement remercié pour sa patience et ses précieux conseils.

Analyse	Type de méthode	Code analytique Arras	Code norme Afnor
Granulométrie	8 ou 5 fractions sans décarbonatation	SOL-0303 / SOL-0302	NF X 31-107
Matières volatiles	Calcination à 550°C	SOL-0401	Méthode INRA
Perte au feu	Calcination à 1100°C	SOL-0402	Méthode INRA
Rapport C/N	Rapport entre le carbone organique et l'azote total par combustion sèche	SOL-0405	NF ISO 10694 et ISO 13878
pH eau	Mise en suspension dans l'eau dans un rapport terre fine/eau = 1/5	SOL-0501	NF ISO10390
Phosphore assimilable (P_2O_5)	Olsen et Olsen modifié Dabin	SOL-0612	Méthode Olsen NF ISO 11263
Capacité d'échange cationique (CEC)	Cobaltihéxamine (spectrocolorimétrie)	SOL-0710	NF ISO 23470
Cations échangeables : Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Al	Cobaltihexamine (ICP-AES / EAF pour Na)	SOL-0719	NF ISO 23470
Elément totaux : Ca, Mg, K, Mn, P	Eau régale	SOL-4217	ISO 11466/NF ISO 22036
Eléments totaux : Al, Fe, Na, S	Eau régale	SOL-4218	ISO 11466/NF ISO 22036
Phosphore et Fer total	Mise en solution totale par les acides fluorhydrique et perchlorique (HF - HClO4)	SOL-1001	NF X 31-147

Tableau 20 : Analyses effectuées sur les anthroposols guyanais[28].

Dans le cadre de ce travail, il semblait nécessaire de suivre une méthodologie analytique identique pour chaque échantillon prélevé. Cependant, les échantillons n'ayant pas tous été analysés en même temps, il a pu y avoir des évolutions dans les choix analytiques au cours de ces années de recherche (entre le Master 2 et ce travail). De plus, pour certains sites que nous n'avons pas échantillonnés nous même sur le terrain (cas de Yaou), nous ne disposions pas d'une quantité suffisante de sédiments pour réaliser toutes les analyses.

[28] Informations tirées de : laboratoire d'Analyse des sols d'Arras – Méthodes applicables aux sols, http://www6.lille.inra.fr/las/Methodes-d-analyse/Sols - mis à jour Janvier 2014.

Site archéo - profil	UMaS	Granulo.	MO	pH	CEC	P ass	P tot	Fe tot	Cations cobalt.	Eléments tot.
Chemin Saint Louis - 1	Toutes	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Chemin Saint Louis - 2	1, 2, substrat	0	0	0	0	0	0	0	X	X
	3 à 7	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Balaté - 1/S5[29]	1/S5	X	X	X	X	X	0	X	X	X
MC87 - 1	Toutes	X	X	X	X	X	0	0	X	X
MC87 - 2	Toutes	X	X	X	X	X	0	0	X	X
MC87 - 3	Toutes	X	X	X	X	X	0	0	X	X
MC87 - 4	Toutes	X	X	X	X	X	0	0	X	X
MC87 - 5	1, 2 et 3	X	X	X	X	X	0	0	X	X
	4	0	0	0	0	0	0	0	X	X
MC 88 - 6	Toutes	X	X	X	X	X	0	0	X	X
Yaou - F0	1, 3 et 6	0	X	0	X	0	0	0	X	0
	4	0	X	X	X	0	0	0	X	X
	2	0	0	0	X	0	0	0	X	0
Yaou - F2	4a	0	X	0	X	0	0	0	X	X
	4b	0	0	0	X	0	0	0	X	0
	6'	0	X	X	X	0	0	0	X	0
Paracou - P3	Toutes	X	X	X	X	X	0	0	X	X

Légende : MO = Matières organiques (carbone organique, azote total, C/N, matières volatiles, perte au feu), P ass = phosphore assimilable, P tot = phosphore total et Fe tot = fer total ; cations cobalt. = extraits au cobaltihéxamine, éléments tot = éléments totaux extraits à l'eau régale ; 0 = non mesuré; X = mesuré.

Tableau 21 : Récapitulatif de chaque paramètre analysé, mesuré ou non, en fonction du site, du profil et de l'unité macrostratigraphique.

Le **tableau 21** renseigne ainsi sur les échantillons analysés et ceux non analysés en fonction des méthodes, des sites et des profils.

[29] Sur le site de Balaté, pour le sondage S5, les analyses ont été commandées par D. Todisco.

III.3.2. Explications méthodologiques

III.3.2.1. Granulométrie

La granulométrie permet de connaître sous forme pondérale, la répartition des particules minérales fines < 2 mm que contient un sol, selon les classes de grosseur, déterminant ainsi la texture du sol (Baize 2000**).** C'est une donnée primordiale, car elle conditionne directement les comportements et les fonctions du sol, tout en étant la variable la plus fortement corrélée aux autres données analytiques (ibid.). Ces dernières ne pourront être interprétées qu'en référence à la granulométrie de l'échantillon, et plus particulièrement au taux d'argile. En effet, l'argile constitue la fraction granulométrique la plus active dans le comportement d'un sol (Baize 2000). Elle a, entre autres, la capacité de fixer certains cations (mais moins les anions), entretenant ainsi un lien étroit avec la capacité d'échange cationique (CEC). Elle peut également s'associer aux matières organiques humifiées et/ou au fer, et migrer sous certaines conditions pédo-sédimentaires (notamment acides). Certaines argiles sont plus gonflantes (ex. montmorillonite) que d'autres (kaolinite), et selon leur capacité de rétention de l'eau, elles vont plus ou moins favoriser la cohésion des sédiments, notamment pour former des agrégats (ibid.). De manière générale, la taille des particules sédimentaires a un impact direct sur la porosité d'un sol, par conséquent sur le comportement hydrique du sol : il apparaît que les phénomènes de ruissellement et de lessivage sont d'autant plus importants dans des sols sableux, dans lesquels les argiles et les éléments résultants de la matière organique migrent vers les horizons les plus bas (Crowther 1997, cité par Baize 2000**).**

L'analyse granulométrique a pour but, ici, de renseigner sur la texture des sédiments des unités stratigraphiques déterminées, afin d'aider à l'interprétation des traits micromorphologiques discriminés et des processus pédogénétiques (Golberg & Macphail 2006).

La méthode d'analyse choisie est la granulométrie par décarbonatation en cinq ou huit fractions, pour les sols argilo-sableux et sablo-argileux respectivement. Elle est mesurée au granulomètre Granulostat selon le principe de la norme NF X 31-107. Les résultats ont été obtenus par rapport à la phase minérale (somme des 5 fractions = 1000), en g/kg et sont ici traduits en %.

- les cinq fractions correspondent à cinq classes granulométriques. Elles sont mieux adaptées aux sols globalement plus argileux :

- Argiles : < 2 µm
- Limons fins : 2 µm à 20 µm
- Limons grossiers : 20 µm à 50 µm

- Sables fins : 0,050 mm à 0,200 mm (ou 50 µm à 200 µm)
- Sables grossiers : 0,200 mm à 2,00 mm (ou 200 µm à 2000 µm)

➢ les huit fractions ont été effectuées pour les sols plus sableux comme sur la plaine alluviale du Maroni. Cette méthode permet de discriminer des variations plus fines au niveau des textures sableuses puisque les sables fins et grossiers sont rassemblés puis de nouveaux tamisés pour obtenir les classes granulométriques complémentaires suivantes :

- Sables fins 1 : 0,050 à 0,100 mm (ou 50 à 100 µm)
- Sables fins 2 : 0,100 à 0,200 mm (ou 100 à 200 µm)
- Sables grossiers 1 : 0,200 à 0,500 mm (ou 200 à 500 µm)
- Sables grossiers 2 : 0,500 à 1,00 mm (ou 500 à 1000 µm)
- Sables grossiers 3 : 1,00 à 2,00 mm (ou 1000 à 2000 µm)

Pour présenter les résultats granulométriques de tous les sites étudiés, il a été fait le choix d'utiliser un diagramme de texture de type ternaire, sur lequel les trois pôles texturaux principaux, argiles/limons/sables, sont représentés. Cela permet d'avoir une vision globale des données granulométriques entre tous les profils étudiés dans ce travail, et de replacer chaque profil étudié dans un contexte de milieu qui lui est propre.
Pour chaque profil, la granulométrie est présentée sous la forme de courbes en fonction de la profondeur où seules les trois classes granulométriques principales sont représentées, argiles/limons/sables afin de faciliter la lecture des résultats. Ce type de procédé permet d'avoir un aperçu rapide et qualitatif des valeurs de granulométrie (Baize 2000).

III.3.2.2. Matières organiques

D'après la bibliographie géoarchéologique générale et plus particulièrement concernant les Amazonian Dark Earth, les anthroposols archéologiques sont, la plupart du temps, plus riches en matière organique que les sols naturels alentours. De plus, la matière organique est une donnée qu'il convient de prendre largement en considération, car elle joue un rôle important dans de nombreuses fonctions du sol, comme le maintient de sa stabilité structurale, sa résistance face à l'érosion, sa capacité d'amélioration de rétention hydrique, ou encore sa CEC (Silva et al. 2009).
Plusieurs paramètres ont été mesurés pour évaluer les taux de matières organiques dans les sols guyanais : les matières volatiles à 550°C et la perte au feu à 1100°C. Ces deux méthodes permettent d'évaluer la masse perdue par l'échantillon par calcination, donnant

également une estimation de la quantité de matière organique du sol. Le rapport C/N a été utilisé car il permet de juger du degré d'évolution de la matière organique. Il est aussi utilisé pour caractériser les apports et restitutions organiques de type fumiers, pailles, composts (Baize 2000).

A. C/N – carbone organique et azote total

Le carbone organique (C) et l'azote total (N) sont les deux éléments majeurs constituants la matière organique, que l'on peut retrouver dans des résidus d'origine végétale, animale, frais ou en cours de décomposition, dans l'humus et le carbone minéralisé (charbons de bois) (Holliday 2004). L'analyse du carbone organique (exprimé en g/kg), ne comprend pas la fraction minérale de l'échantillon, correspondant principalement aux carbonates. Dans le cadre des sols guyanais en l'absence totale de carbonates, le carbone total se confond alors au carbone organique, et il est corrélé à la perte au feu à 550°C (Baize 2000, N. Proix com. pers.). Il est important de noter que dans la majorité des laboratoires nationaux, un facteur multiplicateur de 1,72 est utilisé pour évaluer le taux de matière organique directement à partir du carbone organique. Cependant, certains chercheurs mettent en garde sur l'utilisation de ce seul facteur multiplicateur, qui n'est pas forcément adapté à toutes les formes de matières organiques qui varient selon le degré d'humification (Baize 2000). Mathieu & Pieltain (2003) note que la valeur 2 est souvent considérée par des chercheurs français comme la mieux adaptée aux sols cultivés, tandis que Baize (2000) la recommande pour des horizons de surface de sols forestiers, et préfèrera 1,72 pour les horizons labourés. Ainsi, il semble plus prudent de raisonner sur le carbone organique, réellement dosé, plutôt que sur la matière organique, seulement estimée (ibid.).

L'analyse de l'azote total (exprimé en g/kg), comprend les formes minérales et organiques de l'azote. Cette donnée renseigne sur le taux de minéralisation et de nitrification d'un sol, en lien avec les micro-organismes et les plantes. Associée à la détermination du carbone organique, elle sert à caractériser les matières organiques et la fertilité chimiques des sols forestiers, en calculant le rapport C/N (Baize 2000). Ce rapport va ainsi fournir des informations sur le degré de l'activité biologique et la vitesse de minéralisation de la matière organique. Il apparaît que le degré de minéralisation dépend de la nature des matières organiques présentes dans le sol : des végétaux qui se décomposent lentement vont engendrer une valeur de C/N plus élevée que des végétaux qui se décomposeront plus rapidement. Un rapport C/N bas (inférieur à 15) semble indiquer une forte décomposition potentielle du carbone organique et une libération d'azote, tandis qu'un rapport C/N fort (supérieur à 20) est marqueur d'une minéralisation lente du fait d'un défaut d'azote

(Duchaufour 2001 ; Holliday 2004 ; Goldberg & Macphail 2006). En contexte tropical humide, il est généralement admis que les matières végétales se dégradent assez rapidement (*turn-over* rapide des litières) sous l'effet du climat et de la pedofaune notamment, induisant théoriquement un rapport C/N assez bas (Baize 2000). Toutefois, l'apport de matière organique par les activités humaines, en contexte archéologique, biaise l'interprétation du rapport C/N. En effet, dans les anthroposols, ce rapport aura tendance à être plus haut que dans les sols naturels, se surimposant aux processus pédologiques naturels, notamment dans les anthroposols à forte concentration en matières organiques carbonisées (Goldberg & Macphail 2006).
Le carbone organique et l'azote total sont déterminés au moyen d'un catharomètre (conductibilité thermique), après que l'échantillon ait été chauffé à environ 1000°C (NF ISO 10694 et NF ISO 13878 respectivement).

B. Matières volatiles – 550°C

La mesure de la perte au feu à 550 °C (unité g/100g), aussi appelée « matières volatiles », est un moyen d'estimer la teneur en matières organiques. Bien que cette méthode semble peu stable sur les sédiments très argileux ou très carbonatés, elle est utilisée en géoarchéologie pour caractériser certains anthroposols comme les terres noires urbaines de Grande-Bretagne (Macphail 2004, cité par Borderie 2011). Le fait de limiter la température à 550°C n'entraîne pas la combustion des charbons. Cela permet alors de préciser la quantification des micro-charbons et/ou de la suie, difficilement discernables l'un de l'autre à partir d'une certaine taille, même au microscope polarisant (Brochier 2002).

C. Perte au feu – 1100°C

Aux pertes enregistrées à 550°C, s'ajoutent celles consécutives à la décomposition de matériaux divers (dont les carbonates) et au départ de l'eau de constitution de certains composants du sol comme les argiles, après calcination à 1100 °C (exprimé en g/kg) (LAS 2014). De manière générale, il semblerait que la justesse de l'estimation de la teneur en matières organiques soit d'autant meilleure que sa concentration dans l'échantillon est élevée, comme c'est le cas dans les litières forestières, et que sa fraction minérale est stable (granulométrie sableuse par exemple) (ibid.).

III.3.2.3. pH

Le pH témoigne de l'acidité actuelle du sol, facteur crucial dans la conservation et la préservation des constituants, notamment organiques (vestiges fauniques - os - et résidus végétaux). C'est une analyse de routine essentielle pour l'interprétation des autres

propriétés du sol, comme la CEC. Notons que la décomposition de la matière organique, entraine une baisse du pH dans le sol, du fait des acides humiques présents alors en quantité importante (Balme & Paterson 2009). En revanche, une occupation humaine intense et/ou longue aura tendance à entrainer la libération de cations dans la matrice du sol, faisant augmenter le pH (Holliday 2004). La présence des cendres et des charbons de bois contribuera également à améliorer le pH (Arroyo-Kalin 2008 ; Balme & Paterson 2009). Au sein d'un même profil, il est possible que différentes valeurs de pH apparaissent, souvent liées à des variations micro-locales de la matrice du sol. Par exemple, des phénomènes de lixiviation vont entrainer les cations des horizons supérieurs vers les horizons inférieurs, déplaçant les ions H+, augmentant alors le pH en profondeur (Goldberg & Macphail 2006). Il est important de garder en tête que le pH mesuré correspond à la valeur actuelle (ou résiduelle), au moment de l'analyse, qui a pu être très différente au cours du temps, notamment dans le cas des sols tropicaux humides très lessivés. Notons, en outre, que le stockage des échantillons sur de longues périodes est susceptible de modifier sensiblement les valeurs de pH, par un séchage excessif des sols ou par la continuité de l'activité microbiologique (ibid.). Nous avons en effet pu le constater dans le cas des échantillons de Chemin Saint-Louis, analysés de nouveau après deux ans de stockage (cf. Annexe 8).

Le pH est mesuré, après mise en suspension de l'échantillon de sol séché à l'air, dans l'eau dans un rapport 1/5 (v/v) (norme NF ISO 10390).

III.3.2.4. Capacité d'Échange Cationique (ou CEC)

La CEC correspond à la quantité totale de cations qu'un sol peut retenir sur son complexe adsorbant, à un pH donné (Baize 2000). Cette valeur sert plus particulièrement à apprécier le niveau de fertilité potentiel d'un sol, en s'intéressant à ses réserves nutritives actuelles (ibid.). Elle est fonction des teneurs en carbone organique du sol, impliquant généralement une corrélation positive avec le taux de matières organiques (Mathieu & Pieltain 2003). La texture du sol va également jouer un rôle sur la CEC. Par exemple, parmi les argiles, la kaolinite, prédominante dans les sols guyanais, a une CEC parmi les plus faibles (de 3 à 15 cmol/kg) (Baize 2000). Enfin, le pH du sol va influencer la CEC, par corrélation négative, impliquant généralement une CEC faible pour les sols acides, donc pour les Ferralsols (Mathieu & Pieltain 2003).

La méthode choisie ici pour mesurer la CEC est l'extraction au chlorure de cobaltihéxamine. Elle serait la mieux adaptée aux sols acides puisque l'extraction se fait avec un pH proche des conditions *in situ* du sol (Baize 2000, N. Proix com. pers.). En effet, une solution de chlorure de cobaltihexammine ($Co(NH_3)6Cl_3$), à 50 mmol+/L affecte peu le

pH de l'échantillon mis en suspension. Ainsi, il est possible d'envisager la détermination de la quasi-totalité des cations échangeables présents dans le sol, quel que soit leur niveau d'acidité, et d'obtenir une CEC dite « effective » (Ciesielski et al. 1997).
Il est intéressant de remarquer que le stockage durant trois années, des échantillons de Chemin Saint-Louis a eu un impact sur la valeur de la CEC et des cations échangeables, en diminuant leurs concentrations (cf. *infra*) (cf. Annexe 8).

III.3.2.5. Phosphore échangeable et total (P_2O_5)

Le phosphore est généralement reconnu comme un indicateur de fertilité des sols tropicaux (Baize 2000 ; Holliday & Gartner 2007). Sa distribution est hétérogène, à l'échelle locale, dans les sols tropicaux. Dans les sols, le phosphore est présent à la fois sous la forme de composés organiques et inorganiques/minérales, qui représentent le phosphore total (P tot). Le phosphore organique est présent dans les macro-molécules organiques. Il représente de 20 à 80% du phosphore total pour un horizon de surface, en fonction du type de sol et des pratiques agricoles qui lui sont attachées (Baize 2000). Il ne sera susceptible de devenir assimilable par les plantes qu'après intervention des micro-organismes et minéralisation des matières organiques (ibid.). Il constituera alors une « réserve assimilable », ou « fraction labile » dans le sol, susceptible d'être absorbée par les racines des plantes (P ass) (Baize 2000). Dans ce travail, l'analyse du P ass et du P tot a été réalisée de manière systématique sur presque tous les échantillons. Plusieurs méthodes ont été utilisées pour extraire le phosphore assimilable :

1) la méthode Olsen est une extraction par une solution ajustée à pH 8,5 avec NaOH, effectuées sur les échantillons de Chemin Saint-Louis et du programme Couac,
2) la méthode Olsen modifiée Dabin, correspondant à une extraction par une solution de FNH_4 – CO_3HNa 0,5 M ajustée à pH 8,5 avec NaOH, dans un rapport sol/solution de 1/50, pour tous les autres échantillons.

La méthode Olsen est bonne pour une large gamme de sols. Elle permet d'extraire le phosphore plus particulièrement lié au fer, à l'aluminium et au calcium (Baize 2000). Il s'agit d'une méthode standard, favorisant ainsi la comparaison des résultats avec d'autres études (comme celle de Desprez et al. 2010). Toutefois, étant donné qu'elle se mesure à un pH basique (= 8,5) qui ne correspond pas aux conditions *in situ* du milieu acide naturel guyanais, la seconde méthode utilisée, Olsen modifiée Dabin, est la mieux adaptée au contexte des Ferralsols tropicaux acides (Dabin 1980). En effet, cette méthode est un peu plus agressive, en augmentant le temps d'extraction par rapport à la méthode Olsen originale (N. Proix com. pers.). Cela permet d'extraire les ions phosphates qui sont liés aux

oxydes de fer, et ainsi de refléter davantage la contribution du phosphore organique au phosphore assimilable dans les sols initialement pauvres en phosphore (Keita & van der Pol 1988, cité par Baize 2000). Certains auteurs estiment néanmoins que ce serait la méthode Bray la mieux adaptée aux sols acides (Baize 2000).

Le phosphore total a été mesuré à l'aide de deux méthodes distinctes : la première n'a été réalisée que sur les échantillons du site de Chemin Saint-Louis, par dosage par spectrocolorimétrie après une mise en solution totale par les acides fluorhydrique et perchlorique (HF - HClO4) ; la seconde, à l'eau régale, a été effectuée systématiquement sur tous les échantillons.

III.3.2.6. Cations échangeables majeurs

Une des fonctions essentielles du sol consiste à fournir à la plante les éléments nutritifs qui lui sont nécessaires pour vivre (Duchaufour 2001). Les cations échangeables correspondent à ces nutriments présents sous forme assimilable, soit ceux immédiatement disponibles pour les plantes (ibid.). Leur analyse permet de préciser quels éléments constituent les réserves nutritives du sol indiquées dans leur globalité par la valeur de la CEC.

Deux grands types de nutriment sont distingués : (i) les nutriments de base, absorbés souvent en quantité élevée par la plante comme l'azote (N), le phosphore (P), le calcium (Ca), le magnésium (Mg), le potassium (K) ; (ii) les éléments traces, aussi appelés micronutriments (ou oligoéléments), indispensables à faible dose tels que le bore (B), le fer (Fe), le zinc (Zn), le manganèse (Mn), le cuivre (Cu) et l'aluminium (Al). Parmi ces derniers, certains peuvent s'avérer toxiques pour les plantes s'ils sont en excès, comme le zinc, le manganèse, le cuivre ou l'aluminium, notamment dans les sols tropicaux (Duchaufour 2001).

D'après la bibliographie, les Amazonian Dark Earth se distinguent des sols naturels par leurs fortes concentrations en phosphore, calcium, potassium, magnésium, et dans une moindre mesure, dans certains sites, en cuivre, manganèse et zinc (Kern 1996; Costa & Kern 1999; Arroyo-Kalin 2008; Falcão et al. 2009; Costa et al. 2013; Kern et al. 2015). En plus du phosphore, dans ce travail, les cations échangeables dosés sont les quatre les plus couramment présents sur le complexe d'échange, à savoir Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+} et Na^{2+}, cations dits alcalins ou alcalino-terreux.

Parmi les éléments traces, ce sont le fer, l'aluminium et le manganèse qui ont été mesurés.

Le premier, entre pour une part importante dans la coloration des sédiments, fournissant dès la phase d'observation de terrain des informations quant à son abondance et à son état, en fonction des processus redox (bruns et ocres : oxydes de fer « hydratés » tels que la goethite ; rouges : oxydes de fer non hydratés ou fer amorphe type hématite ; gris-bleu à gris-vert : fer ferreux, indice d'un milieu réducteur). Il peut être mobilisé et précipité très aisément, comme être associé aux minéraux argileux (Baize 2000 ; Montagne 2006) ou encore fixer le phosphore (Holliday & Gartner 2007). Le fer est donc un indicateur précieux des processus à l'œuvre dans les sols. Le fer dosé ici correspond au fer « extractible » aussi connu sous le terme « fer libre », qui correspond au fer non intégré au réseau cristallin d'un silicate (Baize 2000).
L'aluminium est très abondant dans les sols, notamment dans les réseaux des silicates où il domine largement sur les formes amorphes ou oxydes. Sa forme ionique est l'ion Al^{3+} hydraté, prédominante sous une forme échangeable dans les sols acides à pH < 5 (ibid.). Il est nécessaire de doser l'aluminium dit « libre » dans un sol où le pHeau < 5, ce qui est le cas de tous les sols étudiés dans ce travail. En effet, cette valeur peut fournir une information sur l'altération au sein d'un horizon.
Enfin, le manganèse est présent dans les sols essentiellement sous la forme d'oxydes manganiques, et en plus faible proportion sous forme d'ions échangeables Mn^{2+}. Le dosage du Mn^{2+} est un bon « traceur » de l'hydromorphie des sols, témoignant d'horizons soumis à des phases prolongées d'engorgement, où le rapport Mn^{2+}/Mn tot sera élevé (Baize 2000).

La majorité de ces éléments échangeables ont été extraits des anthroposols guyanais en utilisant la même méthode que pour la CEC, afin de conserver les conditions *in situ* des sols, à la cobaltihéxamine. Calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), potassium (K^{+}), fer (Fe^{2+}), manganèse (Mn^{2+}) et aluminium (Al^{3+}) ont été dosés par ICP-AES (émission atomique en plasma induit d'argon) et l'azote (Na^{2+}) par EAF (émission atomique de flamme). Les résultats sont exprimés en cmol/kg.

III.3.2.7. Concentrations totales des éléments majeurs

Ces concentrations totales sont mesurées grâce à une extraction complète de toutes les formes des éléments dosés, y compris celles intégrées dans les réseaux cristallins des minéraux primaires et secondaires (minéraux argileux, oxydes, etc.) (Baize 2000). Pour cela, la méthode de l'extraction à l'eau régale a été choisie, en accord avec les analyses réalisées par M. Arroyo-Kalin dans sa thèse (2008). Le réactif utilisé est une association d'acide nitrique et d'acide chlorhydrique (HNO_3 + HCl) (Baize 2000). D'après Gatoux (LAS

2014), une extraction à l'eau est en général pratiquée pour s'assurer d'un seuil de salinité, plus rarement pour estimer le niveau de fertilité d'un sol. Les éléments ont été dosés selon quatre procédés différents (exprimé en mg/kg ou ppm) : les cations alcalins (K, Na) par émission atomique de flamme (EAF), les cations alcalino-terreux (Ca, Mg) par absorption atomique de flamme (AAF), le soufre (S) soluble par émission plasma en mode photonique (ICP-AES) et les ions orthophosphates (concentrations exprimées en P_2O_5) par spectrocolorimétrie (ibid.). De plus, les concentrations totales du manganèse (Mn), du fer (Fe) et de l'aluminium (Al) ont également été dosées à l'eau régale.
Notons que l'extraction à l'eau régale ne donnera que 10 à 20 % du total des cations alcalins et de l'aluminium (N. Proix com. pers.). Certains auteurs comme Birk & Glaser (in van den Bel 2012), considèrent l'extraction à l'eau régale comme un dosage pseudo-total des éléments, du fait que cette méthode ne permet pas l'extraction vraiment totale des éléments. Cette méthode d'analyse permettra néanmoins de réaliser une comparaison finale entre les sols de *Terra Preta* étudiés par M. Arroyo-Kalin et les anthroposols guyanais analysés dans ce travail. Dans le cas des dosages réalisés sur les sols du site de Chemin Saint-Louis, il sera permis des comparaisons directes avec les valeurs de Birk & Glaser (in van den Bel 2012).

En outre, le fer total a également été mesuré comme le phosphore, par une mise en solution à l'acide fluorhydrique associée à l'acide perchlorique, méthode la plus courante selon Baize (2000). Cette analyse n'a été pratiquée que sur les échantillons de Chemin Saint-Louis.
Le fer total est une information de base, indispensable notamment pour interpréter les valeurs du fer « libre ». De plus, il est conseillé de confronter les teneurs en fer au taux d'argile, qui peuvent fournir des informations précieuses sur la pédogénèse du milieu (hydromorphie, etc.). Les teneurs en fer total d'un sol sont fonction du matériau parental, ainsi que du type d'horizon. Les valeurs les plus basses sont observées par exemple dans les horizons éluviaux (appauvris en argile et en fer) sableux et limoneux (de 0,05 à 1% de fer élément). Les concentrations les plus fortes vont de 6 à 19% de fer élément, dans des horizons argileux issus de matériaux particuliers, type accumulation « ferro-manganiques » (ibid.).

III.4. Utilisation des données et présentation des résultats

Les résultats physico-chimiques seront présentés de plusieurs manières, afin de les exploiter au mieux, et de rester le plus clair possible dans le raisonnement scientifique.
Pour chaque profil étudié, les résultats physico-chimiques sont pré-traités sous la forme de tableaux où, seules certaines variables ont été sélectionnées, celles caractérisant le mieux les sols étudiés, à savoir la granulométrie selon les trois fractions principales argiles/limons/sables (exprimée en %), le pH, le carbone organique, le rapport C/N, la CEC, les concentrations échangeables et totales des éléments (hormis le soufre pour les totaux), la susceptibilité magnétique et le $\delta^{13}C$ (cf. *infra*). Pour chaque variable, l'étendue des valeurs, minimum (MIN) et maximum (MAX), leur moyenne (MOY) et l'écart type (ET) ont été calculés. Tous les résultats bruts obtenus figurent en annexes, sous la forme de tableaux, profil par profil, où les paramètres physico-chimiques sont en colonnes, et chaque ligne représente un échantillon, superposé selon la profondeur, de la surface vers le bas du profil (cf. Annexe 2).
Pour certains contextes, l'utilisation des moyennes est priorisée, dans le but de comparer nos données avec les résultats de la bibliographie. Cela permet d'apporter une information lissée, qui s'affranchit de la microstratigraphie archéologique et physico-chimique, ainsi que de la micro horizonation pédologique (Birk & Glaser in van den Bel 2012).

Les résultats physico-chimiques sont ensuite représentés sous la forme d'une figure par profil, regroupant tous les graphiques de chaque variable pré-traitée, en fonction de la profondeur. Cette lecture facilite l'observation globale des résultats, en les confrontant les uns aux autres, tout en les associant directement aux comptages micromorphologiques (microanthraco séquences et diagrammes cumulés des agrégats anthropiques).

Dans un second temps, un traitement statistique multivarié de ces résultats a été réalisé par des analyses en composantes principales (ACP) via le logiciel R[30].
Ce type d'analyse est essentiellement descriptif, son objectif premier est de présenter, sous une forme graphique un maximum d'information contenu dans un tableau de données (Philippeau 1986). Cette analyse met en regard des « individus », correspondant ici à chaque échantillon de vrac, sur lesquels sont mesurées des « variables », associées aux paramètres physico-chimiques choisis. Le principe d'une ACP est de représenter les

[30] Avec l'aide de Myriam Germain, ingénieure-agronome, statisticienne –INRA équipe ECOSYS, Thiverval-Grignon (78). Qu'elle soit ici grandement remerciée pour son aide et sa patience.

variables et les individus dans un « espace à plusieurs dimensions » (d). Son but est de trouver des espaces de dimensions petites dans lesquels il est possible d'observer « au mieux » les individus (ibid.). Ici ce sont des espaces à 2 dimensions (d=2), formant des plans qui sont utilisés. Chaque axe a une **valeur propre** et une **inertie cumulée** (en %). Cette dernière correspond au % de l'information porté par chaque axe. Elles sont cumulables entre elles, et on considère généralement qu'à partir de 70%, l'information que l'on peut tirer de l'ACP est suffisante (M. Germain com. pers.). Le 1er axe est déterminé en fonction des individus qui sont le mieux représentés selon lui, c'est la variance des individus ou **contribution des individus**. Puis les axes suivant fournissent également la plus grande information possible selon le jeu de données, complémentaire de la première (Philippeau 1986**).** Le plan 1-2 sur lequel un maximum d'information est visible, est considéré comme le plan principal. La **qualité de représentation** d'un individu est également une donnée à prendre en compte. Elle est visible sur le graphique en fonction de l'emplacement de l'individu par rapport au centre des plans, à savoir que plus il sera éloigné moins il sera bien représenté (M. Germain com. pers.).
En outre, si la corrélation entre un axe et une variable est positive (> 0) cela indique que les flèches vont dans le même sens.
Toutes ces données sont indiquées dans l'Annexe 5.

IV. Analyses complémentaires et exploratoires

Il existe de nombreuses autres disciplines archéo-environnementales permettant de relier les populations anciennes à leur milieu de vie, complétant l'étude géoarchéologique stricte (Miskovski 2002). Sont présentées ici les collaborations avec des spécialistes, ayant mis leur savoir au service d'une meilleure compréhension des anthroposols guyanais et des activités précolombiennes anciennes.

IV.1. L'anthracologie

Les charbons de bois font partie des macrorestes végétaux rencontrés fréquemment sur les sites archéologiques guyanais. Leur étude permet d'apporter, selon les cas, des informations sur l'environnement végétal et son exploitation ou sur les usages du bois (combustible, matériaux de construction...) par les populations anciennes. La contribution de l'anthraco-analyse à l'un ou l'autre de ces deux champs d'investigation est étroitement liée à la fonction originelle des charbons de bois étudiés. Une telle analyse a ici pour

objectif principal de déterminer les essences de bois brûlés retrouvées en concentration dans un horizon du fossé de la MC 88 (UMaS 2 autour de 25 cm de profondeur). Cette analyse anthracologique serait la seconde entreprise en Guyane française après celle de C. Tardy (1998). Une telle étude effectuée sur un site de montagne couronnée permet d'apporter un peu plus d'informations sur les activités humaines anciennes, notamment dans ce site où des fouilles d'envergure n'ont pas pu être réalisées. De plus, connaître les essences d'arbres brûlées par les populations anciennes informe sur le type de végétation présente lors de l'occupation du site, et sur l'évolution de la forêt depuis l'occupation ancienne. Ainsi, douze fragments de charbons de bois ont été prélevés parmi les sédiments en vrac via une loupe binoculaire[31], puis analysés par Lydie Dussol[32] (cf. Annexe 8). Cette analyse a été effectuée au sein du laboratoire d'archéobotanique (UMR 7041 ArScAn, Equipe « Archéologies Environnementales »), à la Maison de l'Archéologie et de l'Ethnologie (MAE) à Nanterre. Les fragments ont été observés au microscope optique à réflexion à des grossissements allant de 50 à 500 fois. Le principe d'une étude anthracologique repose sur le fait que le processus de carbonisation conserve les microstructures anatomiques du bois, y compris les plus fines (ponctuations). Pour cette raison, les déterminations sont effectuées selon le principe de l'analogie anatomique et reposent sur l'examen microscopique des trois plans de coupe du bois : transversal, longitudinal radial et longitudinal tangentiel. Les photographies de ces trois plans ont été réalisées au Service d'Imagerie et de Microscopie Optique (USR 3225) à l'aide d'un microscope métallographique équipé d'une caméra numérique Nikon DSRi1, reliée à un ordinateur et au logiciel d'acquisition et d'analyse d'images Nikon NIS-Element (Dussol 2013 - cf. Annexe 8).

IV.2. Les phytolithes

Sans être nécessairement liées à la présence humaine, les phytolithes ne prennent leur qualificatif d'anthropique que par leur forte concentration ou leur caractère allochtone sur un site archéologique, qu'aucun processus naturel (notamment taphonomique) ne saurait expliquer (Brochier 2002). Il existe trois grands types de phytolithes : les oxaliques ou pseudomorphoses d'oxalate de calcium (CaC_2O_4) en calcite ($CaCo_3$), les siliceux et les

[31] Par l'auteure, au laboratoire de science du sol de l'UMR EGC (Environnement et Grande Culture) d'AgroParisTech, à Grignon (78).
[32] Doctorante à l'Université Paris I - UMR 8096 Archéologie des Amériques. Qu'elle soit ici grandement remerciée pour son travail.

algues siliceuses (ibid.). Nous ne parlerons ici que des phytolithes siliceux, seuls retrouvés dans ces contextes archéologiques tropicaux. Ils correspondent ainsi à des particules d'opale de silice qui se forment à l'intérieur des tissus végétaux vivants, à partir d'acide monosilicique $Si(OH)_4$ présent en solution dans l'eau du sol et absorbé par la plante pour former la sève brute (A. Emery-Barbier cf. Annexe 7). Au niveau des tissus transpirants, et donc principalement des épidermes foliaires, l'eau s'évapore et la silice se concentre à l'intérieur des cellules, contre les parois, pour donner des moulages internes spécifiques à chaque végétale, et/ou partie de végétal (racines, feuilles, tiges, etc.). Leur taille peut aller de quelques µm à une centaine de µm, avec une moyenne fréquemment comprise entre 10 et 50 µm (Brochier 2002). Il est important de préciser que le bois ne donne que très rarement naissance à des phytolithes. Ils sont en effet essentiellement présents dans les Palmiers et les Poacées (graminées) (R. Thomas com. pers.). Dans ce travail, la grande famille des Palmiers va surtout retenir notre attention, étant donné qu'elle fait partie intégrante de la végétation présente en Guyane française.

Les analyses de phytolithes présentées ici ont été réalisées, en partie, par Pascal Verdin[33] pour les sites de la plaine alluviale du Maroni, de Chemin Saint-Louis et de Balaté, dans le cadre des études de l'Inrap. D'autre part, il semblait pertinent d'effectuer ce type d'analyse dans les sites sous forêt (MC 87, 88 et Yaou). Elles ont alors été réalisées par Aline Emery-Barbier[34] (cf. Annexe 7). Elle résume l'analyse des phytolithes comme suit : « *les phytolithes sont des marqueurs paléobotaniques. Extraits des échantillons pédologiques et sédimentaires, identifiés, comptés, et analysés par assemblages, ils permettent de caractériser les formations végétales du passé. À leur intérêt paléoclimatique vient s'ajouter la possibilité d'approfondir la connaissance des structures archéologiques, des comportements culturels et des impacts anthropiques* ».
Les déterminations ont été faites avec l'aide des spécialistes des phytolithes amazoniens (D. Piperno[35] et J. Watling[36]), et des paléo-palmiers (R. Thomas[37]), et en se servant des référentiels existants (Bush et al. 1989; Piperno 1991; Piperno et al. 2000; Eichhorn et al. 2010; Iriarté et al. 2010; Piperno 2011; Thomas 2011; Piperno 2012; Renard et al. 2012; Watling & Iriarte 2012).

---

[33] Chercheur à l'Inrap, CEPAM - UMR 7264. Qu'il soit ici remercié pour son aide.
[34] Chercheuse au sein de l'UMR 7041, ArScan – Équipe d'Éthnologie Préhistorique. Qu'elle soit ici très chaleureusement remerciée pour sa disponibilité et sa précieuse aide.
[35] Professeure, Smithsonian NMNH, Archaebotony et South American Archaeology.
[36] Post-doctorante, Laboratoire d'Archéologie des Tropiques, Université de Sao Paulo
[37] Maitre de conférences, MNHN.

IV.3. La susceptibilité magnétique

La susceptibilité magnétique est avant tout une grandeur physique qui traduit la réaction d'un matériau soumis à un champ magnétique (Lecoanet et al. 1999). Dans le domaine des sciences de la Terre, les mesures de susceptibilité magnétique découlent du domaine du « magnétisme des roches » apparu suite aux travaux de L. Néel sur le ferromagnétisme en 1942. Les premiers travaux de Le Borgne (1955) sur la susceptibilité magnétique du sol, démontrent les propriétés magnétiques particulières des sols : enrichissement magnétique en surface, généré par des minéraux magnétiques. Les processus explicatifs évoqués sont la fermentation des sols (rôle des bactéries), l'enrichissement par altération différentielle et le feu (Le Borgne 1960, 1965). Le domaine du magnétisme environnemental apparaît alors dans les années 70, avec les travaux entre autres de Mullins et Tite (1973). Mullins (1977) vient conforter les hypothèses de Le Borgne sur le rôle que joue la chauffe des sols, qu'elle soit naturelle ou anthropique, dans la susceptibilité magnétique. L'initiation de la prospection géophysique sur les sites archéologiques débute avec les travaux de Scollar dans les années 1970.

Les études récentes sur la chauffe des matériaux au sein des sites archéologiques apportent des informations sur les paléotempératures via l'étude des minéraux ferromagnétiques (Brodard et al. 2012, 2015). Parmi ces derniers, deux minéraux principaux présentent une très forte susceptibilité magnétique, ce sont la magnétite (Fe_3O_4 – état réduit) et la maghémite (Fe_2O_3 – état oxydé) (Mathé & Lévêque 2005). Les deux autres minéraux ferromagnétiques les plus connus représentant un état oxydé du fer sont la goethite (FeOOH) et l'hématite (Fe_2O_3), particulièrement présents dans les sols naturels guyanais.

Dans le cas des sols chauffés, il y a création de grains de magnétite nanométriques (maghémite) potentiellement produite par déshydratation d'un oxy-hydroxyde de fer (goethite par exemple). Ce phénomène peut très aisément être observé par le suivi de la susceptibilité magnétique. L'apparition de phases nanométriques (10^{-9}) se matérialise par d'une sensibilité de la susceptibilité magnétique à la fréquence d'excitation auquel est soumis l'échantillon. En d'autres termes, lorsqu'un échantillon est soumis à un champ magnétique alternatif à une fréquence donnée, sa susceptibilité magnétique diminue avec l'augmentation de la fréquence d'excitation, s'il y a des phases nanométriques (dites superparamagnétiques) (F. Levêque com. pers.). Ces phases superparamagnétiques peuvent également être générées par les processus pédologiques. Il est alors important de considérer l'analyse de susceptibilité magnétique en la confrontant aux autres données.

Les analyses effectuées sur les anthroposols guyanais ont été réalisées par F. Lévêque[38] au sein de chaque profil des sites étudiés. En pratique, des boites en plastique de taille standard (valeurs de susceptibilité magnétique des boites corrigées), compatibles avec les appareils du laboratoire ont été remplies avec les sols prélevés en vrac (**Figure 75)**. Les mesures ont été réalisées avec un SM100 de ZHinstrument, qui permet d'obtenir la susceptibilité magnétique à cinq fréquences (ordres de grandeurs : 500, 1000, 2000, 4000 et 8000 Hz).

Ces données sont incorporées parmi les tableaux et les graphiques des données physico-chimiques, profil par profil, dans les résultats. Elles sont exprimées en x 10^{-9} m^3/kg.



Figure 75 : Exemple des sédiments en vrac mis dans les boites en plastiques pour les analyses de susceptibilité magnétique, profil BAL-1.

IV.4. Diffraction des rayons X (ou DRX)

La connaissance de la fraction granulométrique inférieure à 2 µm est possible grâce à l'utilisation de la diffractométrie des rayons X (Larqué 2002). Du fait de leurs longueurs d'ondes (0,5 à 2,5 Å), de l'ordre des distances entre les plans atomiques des réseaux cristallins, et de leur énergie importante, les rayons X constituent un rayonnement très favorable à l'étude des cristaux et en particulier à l'étude des minéraux argileux (Guiner 1964, cité par Larqué 2002). Plusieurs échantillons (sur poudre) de chaque type d'environnement étudié ici ont été passés aux rayons X afin d'obtenir une caractérisation minéralogique des argiles présentes dans ces sols. Le fait d'analyser le sédiment dans son ensemble, permet d'obtenir un spectre complet des éléments le constituant, représentés

[38] Maître de conférences, HDR à l'Université de La Rochelle, UFR Sciences et Technologie – UMR 7266 « Littoral, Environnement et Sociétés ». Qu'il soit ici grandement remercié pour son accueil, sa disponibilité, et sa superbe curiosité.

sur des graphes par des pics de présence. Il a été permis de réaliser ces analyses à l'UPMC, auprès d' A. Person[39]. Les échantillons de sol ont été broyés sur une meule en agate au préalable afin d'obtenir une poudre (idéalement avec des particules < 2 microns). Puis chacun a été passé dans un diffractomètre de type q/2q BRUKER AXS D2-Phaser. Les fichiers des pics de présence donnés par le diffractomètre sont alors transposés sur un autre ordinateur, possédant une base de données des pics et des éléments s'y rattachant.
Cette mesure permet ainsi de mettre en évidence quels sont les minéraux majeurs constituants les sédiments des sols étudiés dans ce travail. Les graphiques ainsi réalisés sont présentés dans les résultats.

IV.5. Microscopie électqronique à balayage (MEB)

Une analyse au microscope électronique à balayage permet de prendre le relais sur le microscope optique, pour poursuivre la caractérisation minéralogique et physico-chimique des constituants du sol, à une échelle analytique plus fine (Courty & Fedoroff 2002). Les techniques ultra-microscopiques se sont développées autour du canon à électrons sur le principe qu'un objet, lorsqu'il est frappé par ces électrons de haute énergie, lors de l'interaction entre les électrons et la matière, il se produit une réémission de ces électrons par l'échantillon. Ces derniers sont de deux types, les électrons secondaires et les électrons rétrodiffusés, provenant des différentes couches de l'échantillon (Brisset 2008). Leur mesure apporte des informations respectivement sur le relief/la topographie de l'échantillon, et sur les contrastes chimiques qui peuvent exister au sein d'un même échantillon. Ainsi, ces rayons X permettent de faire de la microanalyse X pour accéder à la composition qualitative et/ou quantitative d'un échantillon donné (ibid.). Dans le cas qui nous intéresse ici, le faisceau d'électrons issu du canon effectue un mouvement de balayage, appliqué au faisceau d'électrons, d'où le nom de microscope électronique à balayage (MEB). Ces observations ont été pratiquées par J. Gonand[40]. Ce sont quelques agrégats brûlés des montagnes couronnées 87 et 88, discriminés à la loupe binoculaire, qui ont fait l'objet d'une analyse MEB, afin de tenter de caractériser plus précisément leur composition chimique.

---

[39] Maître de conférences, UMR 7193 Institut des Sciences de la Terre de Paris, équipe Biominéralisations et environnements sédimentaires – Université Paris 6. Qu'il soit ici vivement remercié pour sa disponibilité et son aide.
[40] Ingénieure d'étude – UMR 6143 MC Morphodynamique Continentale et Côtière. Qu'elle soit ici grandement remerciée pour son aide et ses explications.

Pour la manipulation, les échantillons doivent être préalablement métallisés, ici au carbone afin de rendre l'échantillon conducteur. Plusieurs zones ont été ciblées sur chaque agrégat, permettant d'obtenir une image à très haute résolution, de l'ordre de 20 nm ainsi qu'une cartographie des éléments chimiques présents via la microanalyse X (J. Gonand com. pers.). Un microscope électronique Zeiss evo 40 Ep, à l'Université de Rouen a été utilisé. Pour la manipulation, les échantillons doivent être préalablement métallisés, ici au carbone afin de rendre l'échantillon conducteur. Plusieurs zones ont été ciblées sur chaque agrégat, permettant d'obtenir une image à très haute résolution, de l'ordre de 20 nm ainsi qu'une cartographie des éléments chimiques présents via la microanalyse X (J. Gonand com. pers.). Les graphiques de présence des éléments sont présentés dans les résultats, et les tableaux de concentration de ces éléments chimiques sont dans l'Annexe 6.

IV.6. Mesure du $\delta^{13}C$

Dans le milieu naturel, la principale source d'enrichissement de la matière organique d'un sol est générée par la végétation, via la litière et les racines. Le carbone présent dans les sols d'agrosystèmes provient de deux sources majeures qui sont, d'une part, les vestiges de la végétation ancienne qui couvrait un endroit donné, et d'autre part les produits de la décomposition des nouvelles cultures (Bernoux et al. 1999). Il apparaît en effet que la matière organique des horizons de surface des sols possède un rapport isotopique $^{13}C/^{12}C$ très voisin de celui de la végétation dont elle provient (Deines 1980). Or, il est aujourd'hui généralement admis que les valeurs de $\delta^{13}C$ varient en fonction de deux groupes d'espèces végétales majeures, les C3 et les C4 : les plantes à cycle photosynthétique en C4 -savanes, prairies- étant nettement moins appauvries en 13C ($\delta^{13}C$ entre -9 et -17 ‰ avec une moyenne autour de -13 ‰), que les plantes en C3 -forêts- ($\delta^{13}C$ entre -22 et -33‰, avec une moyenne à -27 ‰) (Boutton 1991 ; Fernandes et al. 2007). Bien que ces valeurs aient été définies pour des sols européens, dans le cas des sols forestiers, les valeurs en C3 sont globalement les mêmes que sous les tropiques (Pessenda et al. 1996), alors que pour les sols ayant un couvert végétal qui fonctionne en C4, les valeurs peuvent différer : un sol brésilien actuel sous pâturage a une valeur de δ13C qui atteint -19 ‰ (Silva et al. 2009). Ainsi, la composition isotopique de la matière organique des horizons de surface des sols va refléter les proportions des espèces végétales en C3 et/ou C4 (Dzurec et al. 1985). Par le suivi de ce $\delta^{13}C$, il est possible d'observer des modifications dans le temps et l'espace de la dynamique de la matière organique du sol, lorsque deux couvertures végétales se

succèdent, comme ce fut étudié pour les sols tropicaux par Cerri et al. (1985), Vitorello et al. (1989) et Martin et al. (1990).

La composition isotopique en 13C de la matière organique peut également varier avec la profondeur (Volkoff et al. 1982 ; Dzurec et al. 1985 ; Martin et al. 1990). Lors d'une étude menée au Brésil, sur des Ferralsols, il a été observé un enrichissement en 13C avec la profondeur dans les sols sous forêt (végétation essentiellement en C3), et un appauvrissement dans les sols de savane et de prairie (graminées essentiellement en C4) (Desjardins et al. 1991). Ces variations peuvent être attribuées à la fois à de nouveaux fractionnements isotopiques survenant au cours de l'humification (Volkoff & Cerri 1987, cité par Desjardins et al. 1991), aussi bien qu'à la présence d'une matière organique ancienne dans les horizons de profondeur, témoin d'une végétation antérieure au cycle photosynthétique différent (Schwartz et al. 1986 ; Guillet et al. 1988). Ainsi, il apparaît que la composition isotopique de la matière organique d'un sol pris sur une certaine épaisseur ne dépend pas exclusivement de la végétation actuelle, comme dans les horizons de surface, mais d'un ensemble de facteurs, comme : le type de végétation, lui même déterminé par le climat (forêt, savane ou prairie) ; le mode d'humification des retombées de cette végétation ; ou bien des alternances de végétations, du fait d'actions anthropiques ou de fluctuations climatiques (Desjardins et al. 1991).
S'intéresser aux variations de 13C dans les anthroposols guyanais va ainsi permettre de voir s'il est possible de mettre en évidence des différences de couverture végétale, en lien avec l'occupation ancienne. Les manipulations en laboratoire ont été réalisées par R. Lefèvre[41]. Nous avons privilégié, dans un souci de temps et de disponibilité du laboratoire, la mesure d'un échantillon sur deux environ, par profil.
Les échantillons provenant des sols étudiés ont été incubés pendant un total de 48 jours à un potentiel matriciel (pF) de 2,5 et à une température de 20°C dans des flacons de 125 mL fermés hermétiquement par des septa. Les échantillons ont, dans un premier temps, été incubés deux semaines à 20°C avant la première mesure de la respiration du sol, le temps que les communautés microbiennes recouvrent leurs capacités métaboliques. Ce laps de temps assez long avant la première mesure permet notamment de s'affranchir un peu mieux du signal de respiration initial correspondant au carbone issu de la biomasse microbienne morte, consommée par les survivants (R. Lefèvre com. pers.). En effet, cette biomasse étant généralement enrichie en 13C (-22 ‰ au lieu de -26 ‰ par exemple), ce premier signal pourrait venir perturber les résultats en faisant croire que le carbone dérivé

[41] Docteur ECOSYS, INRA. Qu'il soit ici grandement remercié pour son aide et ses conseils.

des débris végétaux contient plus de résidus en C4 (riches également en 13C) qu'il n'en contient réellement (Lerch et al. 2011). La respiration, ainsi que le ratio 12C/13C du CO_2 émis ont ensuite été mesurés à T0 puis après 7, 14 et 28 jours d'incubation. La concentration en CO_2 dans l'atmosphère des flacons a été mesurée à l'aide d'un micro-GC (Agilent 3000A, Qplot column, Santa Clara, CA, USA). Le ratio 12C/13C du CO_2 émis a été déterminé à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse (Hewlett-Packard 5890) couplé à un spectromètre de masse à ratio isotopique (GC-IRMS; Isochrom Optima, Micromass). Après chaque mesure, l'air des flacons a été entièrement renouvelée par de l'air dépourvu de CO_2 et les flacons ont à nouveau été refermés hermétiquement avec des septa. L'humidité du sol a été contrôlée lors de l'incubation par pesée systématique des flacons contenant les échantillons après chaque mesure de respiration (R. Lefèvre com. pers.). La mesure à T=7 jours a été privilégiée ici selon les conseils de R Lefèvre. Les mesures du delta C13 sont présentées dans les résultats.

Partie III. Résultats

Chapitre 1 - MICROFACIES ET CARACTERES PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS ARCHEOLOGIQUES DE LA PLAINE ALLUVIALE DU MARONI.

I. Les sols de la terrasse alluviale du Maroni : ambiance générale.

Les deux sites étudiés sont situés sur la même terrasse alluviale du Maroni, formée entre 10 000 et 6 500 ans BP (terrasse T4 de Palvadeau 1999). Ces alluvions pédogénéisées sont considérées ici comme le substrat naturel. La micromorphologie et les propriétés physico-chimiques de cette terrasse alluviale, étudiées ici, apportent des indications sur le milieu investi par les populations anciennes, et les conditions de formation des horizons anthropiques qui se sont développés à son sommet.

La partie sommitale du substrat, au contact avec les premières traces archéologiques, a pu être observée au sein des cinq profils étudiés sur les deux sites archéologiques. Le substrat apparaît à des profondeurs différentes par rapport à la surface du sol actuel, en relation avec la situation géomorphologique de chacun des profils : pour CSL-1 il apparaît à environ 76 cm (UMiS 7), pour CSL-2, c'est autour de 85 cm (sous les prélèvements) ; pour BAL-1 il est à environ 55 cm (UMiS 8), pour BAL-2 autour de 83 cm (UMiS 7) et pour BAL-3 vers 90 cm (UMiS 6).

I.1. Caractères et constituants micromorphologiques généraux des sédiments

En lame mince, la terrasse alluviale présente des caractères très similaires sur les deux sites.

I.1.1. Matrice

Sous le microscope, la texture du substrat apparaît à dominante sableuse. Le squelette est composé essentiellement de quartz, et la masse fine est argilo-limoneuse à limono-argileuse (**Annexe 1 - Planche 1**).

I.1.1.1. Fraction grossière ou squelette

En lame mince, l'observation de la taille et de la forme des grains de quartz, ainsi que leur agencement, renseigne sur les conditions de dépôt. Les grains de quartz formant le squelette, sont non triés et hétérométriques (entre 20 et 2000 microns), les plus grossiers

pouvant atteindre 2 à 3 mm. Environ 5% des grains de quartz présentent des fissures comblées par des oxydes de fer, rouge foncé en lumière naturelle et orange foncé en lumière incidente (**Annexe 1 - Planche 1 : 4**). Il s'agit de runiquartz (Eswaran et al. 1975). Ils sont très communs dans les Ferralsols, dans lesquels le matériau comblant les fissures intra-grains diffère de la matrice alentour (Marcelino et al. 2010). Ici, les runiquartz sont hérités de matériaux latéritiques apportés du bassin versant du Maroni. Quelques minéraux d'origine métamorphiques (association grenat/staurolite, andalousite) et magmatiques (association quartz/hornblende, andalousite et apatite) ont également été repérés dans ces sédiments. La morphologie, sub-anguleuse à sub-arrondie, des grains indique qu'ils ont subi un transport, ce qui est cohérent avec la dynamique alluviale du Maroni. L'absence de granoclassement des sédiments suggère un dépôt rapide sur une courte distance ou en milieu turbulent.

I.1.1.2. Masse fine ou fraction fine

La masse fine va conférer leur couleur aux sédiments. Sur le terrain, comme en lames minces, elle oscille entre le jaune (10YR4/4) et le jaune gris pour les traces bioturbées. Les argiles de la masse fine sont globalement faiblement biréfringentes. L'analyse[1] DRX réalisée sur le site de Balaté apporte des précisions quant à la composition minéralogique des sédiments de ces alluvions (Todisco in Briand en préparation). La fraction totale des sédiments est composée de quartz et de kaolinite (argile secondaire de néoformation) en proportions à peu près équivalentes (45 à 50%). Les argiles kaolinitiques forment 80% de la fraction argileuse auxquelles viennent s'ajouter en moindre proportion la gibbsite et la muscovite (ibid). Ce cortège minéralogique, au faible pouvoir de retrait / gonflement, est typique de la partie fluviale de l'estuaire du Maroni (Jounneau & Pujos 1988). Il témoigne d'une origine allochtone des minéraux argileux, typique de l'altération chimique (hydrolyse marquée) des roches du bassin versant, en lien avec le climat tropical (ferrallitisation). La présence à la fois de gibbsite, l'importance des quartz résiduels (fraction totale) et de la kaolinite (fraction argileuse) est typique des sols ferrallitiques (Todisco in Briand en préparation).

I.1.1.3. Distribution fraction fine/grossière et microstructure

Cette fraction fine se répartie entre les grains de quartz de manière chitonique, c'est-à-dire que les particules les plus fines des sédiments se disposent essentiellement autour des grains de quartz formant des microstructures en grains de quartz « seuls » sans quasiment

[1] Par D. Todisco dans le cadre de l'étude géomorphologique du site.

de fraction fine, impliquant une porosité très développée (Bullock et al. 1985). Par endroits, quelques plages assez massives, avec une porosité moins développée, sont également visibles. La répartition entre la fraction fine et les grains de quartz est alors dite gefurique. Lorsque la masse fine est assez agrégée entre les grains de quartz en ne remplissant pas entièrement les vides de la matrice, la répartition est appelée enaulique (ibid.). La masse fine devient graduellement plus massive en profondeur.
La microstructure est définie par la porosité. Celle ci est principalement d'origine biologique (chenaux et chambres). Des vides d'origine physique/pédologique, des fissures, ont également été distingués. Ils sont probablement liées à l'alternance humectation / dessiccation des argiles, témoin des variations pédo-climatiques saisonnières : hautes températures induisant l'assèchement des sols (saison sèche), puis pluies importantes avec engorgement des sols (saisons humides).

I.1.2. Traits pédogénétiques

Trois types principaux de traits pédogénétiques ont été observés dans ce contexte de sol, avec des traits biologiques, texturaux (argileux) et cristallins (ferrugineux).

I.1.2.1. Traits biologiques

Cette activité biologique forme, dans le substrat alluvial jaune, des agrégats bruns composés de sédiments provenant de l'horizon supérieur. Elle entraîne, ainsi, par endroits, un mélange des sédiments inter-horizon, et confère localement une couleur plus grise ou plus brune à la masse fine (**Annexe 1 - Planche 2 : I**). Dans certains chenaux (passage d'anciennes racines ou d'organismes vivants), la présence de formes excrémentales nodulaires, minérales et agrégées indiquent qu'ils ont été utilisés par la pédofaune.

I.1.2.2. Traits argileux

Les traits pédogénétiques argileux rencontrés dans le substrat sont principalement des revêtements argileux assez abondants. Ces revêtements sont composés d'argiles cristallisées, empilées plus ou moins parallèlement aux feuillets formant une « structure litée » (Duchaufour 2001). Certains revêtements présentent des microlaminations jaunes (argile pure), et d'autres présentent une alternance de microlamines jaunes et noires (empoussièrement de la fine en microparticules végétales fraiches et/ou carbonisées) (**Annexe 1 - Planche 1**). La morphologie des revêtements, préférentiellement en croissant à la base des pores, indique une compétence plus grande des circulations des solutions de sol. Ici, les revêtements jaunes sont plutôt localisés en profondeur, alors que les

revêtements microlaminés ou poussiéreux sont situés à la limite avec l'anthroposol. Quelques papules argileuses jaunes et limpides, sub-arrondies, de tailles inférieures à 100 micromètres, sont intégrées dans la masse fine.

I.1.2.3. Traits ferrugineux (redox)

Il s'agit d'hyporevêtements ferrugineux, ou de remplissage dans les fissures, ou encore d'imprégnations concentrées formant des ponctuations dans la matrice (taches rouges-rouilles). Ces traits sont représentés essentiellement sur le site de Balaté (**Annexe 1 - Planche 1 : photos 3, 4 et 5**) où ils sont en lien avec la proximité du fleuve, de la crique Balaté, et avec une nappe alluviale fluctuante. Des nodules ferrugineux, aux bords émoussés, et roulés, sont également présents dans ces sédiments (**Annexe 1 - Planche 5 : H**).

I.1.3. Constituants organiques

Dans le substrat alluvial, de nombreux restes racinaires apparaissent, en lien avec les chenaux observés. Les inclusions de résidus végétaux sont cantonnées à la proximité de ces racines et des chenaux. En regardant attentivement la masse fine, des résidus organiques fortement altérés (microfragments amorphes et très dégradés) sont visibles (**Annexe 1 - Planche 6 : H et I)**. Cette matière organique aurait pu être transportée par le fleuve (matière organique sédimentaire) pour ensuite se déposer sur sa plaine d'inondation lors des différents épisodes de crues (Brancier 2009).

I.1.4. Constituants anthropiques

De rares microcharbons sont aussi visibles dans le substrat alluvial. Surtout présents à la limite avec l'anthroposol, ils disparaissent avec la profondeur (**Annexe 1 - Planche 1 : 1**). Les comptages micromorphologiques indiquent qu'ils ne représentent pas plus de 5% de la totalité de la masse fine **(Figures 77, 81, 92, 95 et 96).** Quelques phytolithes altérés à leur périphérie ont également pu être observés.

I.2. Résultats des analyses physico-chimiques

Les analyses granulométriques indiquent que le sol alluvial est à dominante sableuse (entre 45,6 à 90,6%). Il présente des variations fines de texture selon les profils investigués. Il est notamment plus sableux sur le site de Chemin Saint-Louis que sur le site de Balaté. De plus,

à CSL, la fraction fine des sédiments du substrat alluvial est argilo-limoneuse : 10% de fraction argileuse pour 6% de fraction limoneuse dans le profil 1, 5% de fraction argileuse pour 3% de fraction limoneuse dans le profil 2. Alors que sur le site de Balaté, la fraction fine est limono-argileuse : 12 à 25% de fraction limoneuse pour 10 à 20% de fraction argileuse selon la profondeur (**Tableau 22**).

Dans les tableaux suivants, les valeurs les plus importantes apparaissent en couleurs, et les valeurs les plus basses *en italiques*. Les abréviations « n. m. » signifient que l'échantillon n'a pas été mesuré.

Ech.	Prof. (cm)	Granulométrie (%)									
		Argiles	Limons fins	Limons grossiers	Sables fins1	Sables fins2	Sables grossiers 1	Sables grossiers 2	Sables grossiers 3	Limons totaux (%)	Sables totaux (%)
CSL-1	70	12,1	3,8	2,5	2,8	9,0	**38,4**	24,0	7,4	6,3	81,6
CSL-1	90	15,7	3,3	2,6	3,0	10,2	34,0	22,0	9,2	5,9	78,4
CSL-2	85	*6,4*	*1,6*	*1,4*	*1,9*	6,4	34,9	30,2	**17,2**	*3,0*	**90,6**
CSL-2	95	n. m.									
BAL-S5	100	18,9	15,5	9,2	**10,1**	**13,1**	16,7	*10,2*	6,3	24,7	56,4
BAL-S5	140	**20,1**	**23,4**	**10,9**	8,6	9,2	*14,2*	13,6	*0*	**34,3**	*45,6*
BAL-S5	205	10,0	8,4	3,8	3,1	*4,6*	23,2	**32,8**	14,1	12,2	77,8

Tableau 22 : Granulométrie des sédiments formant le substrat alluvial.

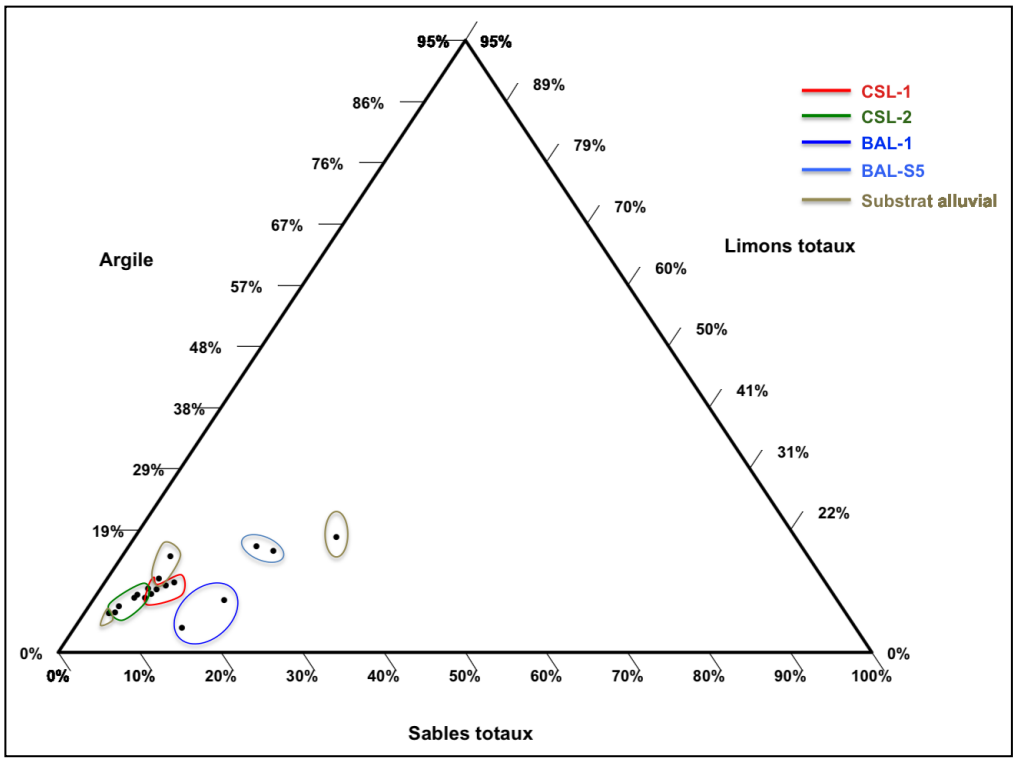


Figure 76 : Représentation dans un diagramme granulométrique trivarié (argiles/limons/sables) des échantillons de CSL et BAL. La granulométrie du substrat alluvial correspond aux profils à proximité.

La **figure 76** permet de placer les profils étudiés sur la terrasse alluviale du Maroni, selon les trois pôles granulométriques principaux. Ils sont globalement regroupés en bas à gauche, du côté du pôle sableux.

Le pH (eau) des sédiments constituants le sol alluvial, est globalement acide, compris entre 4,7 et 5,2. Le pH mesuré sur le site de CSL est identique sur les trois échantillons à 4,7. Sur le site de Balaté, les valeurs du pH sont globalement supérieures au site de Chemin Saint-Louis, atteignant 5,2. Globalement les sédiments du substrat alluvial de CSL présentent un rapport C/N et un taux de carbone organique supérieurs aux sédiments alluviaux de BAL (**Tableau 23**).

Ech.	Prof. (cm)	pH	C/N	C org. (%)
CSL-1	70	4,7	15,7	0,30
CSL-1	90	4,7	10,7	0,18
CSL-2	85	*4,7*	13,8	0,28
CSL-2	95	n. m.		
BAL-S5	100	4,7	10,5	0,29
BAL-S5	140	5,2	*10,2*	0,19
BAL-S5	205	5,0	11,7	*0,06*

Tableau 23 : pH, C/N et carbone organique des sédiments formant le substrat alluvial.

Si l'on s'intéresse aux éléments échangeables et totaux présents dans les subtrats alluviaux, on se rend compte que la CEC oscille entre 1,88 et 0,9 (limite de détection) cmol/kg. Elle est deux fois plus importante à BAL qu'à CSL. Les concentrations des cations échangeables sont assez disparates en fonction des sites et des profondeurs. Néanmoins, calcium, magnésium et manganèse échangeables sont plus concentrés à 140 cm de profondeur dans le profil BAL-S5, en lien avec la fraction argileuse, qui atteint 20%. Concernant le phosphore assimilable, dans le site de BAL les taux sont inférieurs à la limite de détection (5 mg/kg), alors que dans le site de CSL, elles sont autour de 30 mg/kg. Potassium et magnésium échangeables sont globalement supérieurs sur le site de CSL par rapport à BAL (**Tableau 24**). En revanche, les parts du fer libre et total sont supérieurs sur le site de BAL qu'à CSL. D'autre part, les éléments totaux sont globalement plus concentrés dans le substrat alluvial dans CSL-1, à 90 cm de profondeur, sauf pour le phosphore qui l'est davantage dans CSL-2, à 95 cm (**Tableau 25**).

Ech.	Prof. (cm)	P ass (mg/kg)	Cations échangeables : cobaltihéxamine (cmol/kg)							HCl (g/100g)	
			CEC	Ca	Mg	K	Mn	Fe	Al	Fe tot	P tot
CSL-1	70	26	1,06	0,03	0,02	0,01	0,02	0,03	0,01	0,77	0,060
CSL-1	90	28	1,05	0,09	0,02	0,01	0,02	0,05	0,01	**0,90**	**0,064**
CSL-2	85	**38**	*0,9*	0,10	0,02	0,01	0,02	0,03	0,01	*0,37*	*0,060*
CSL-2	95	**38**	n. m.								
BAL-S5	100	< 5	**1,88**	0,52	0,02	0,01	0,02	0,08	0,005	**2,86**	n. m.
BAL-S5	140	< 5	1,46	0,91	0,06	0,02	0,02	0,005	0,01	2,32	
BAL-S5	205	< 5	1	0,07	0,01	0,01	0,02	0,13	0,005	1,66	
MIN		< 5	0,9	0,03	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,37	0,06
MAX		38	1,88	0,91	0,06	0,02	0,02	0,13	0,01	2,86	0,064
MOY		32,5	1,225	0,29	0,025	0,01	0,02	0,064	0,01	1,48	0,061
ET		6,40	0,37	0,35	0,02	0,00	0,00	0,04	0,00	0,97	0,00

Tableau 24 : Concentrations des cations échangeables dans le substrat alluvial.

Ech.	Prof. (cm)	Éléments totaux : eau régale (ppm soit mg/kg)								
		Ca	K	Mg	Mn	P	Al	Fe	Na	S
CSL-1	70	71,7	416	165	**73,5**	179	17300	6880	33	34,3
CSL-1	90	86,4	**529**	**181**	43,8	206	**21400**	**7830**	**41,5**	32,3
CSL-2	85	**104**	*269*	*106*	58,8	166	*8690*	*2870*	*27,2*	*27*
CSL-2	95	*63*	368	125	*29,2*	**461**	14900	3170	39,3	**43,3**
BAL-1		n. m. dans la plaine alluviale								
MIN		63	269	106	29,2	166	8690	2870	27,2	27
MAX		104	529	181	73,5	461	21400	7830	41,5	43,3
MOY		81	396	144	51	253	15573	5188	35	34
ET		17,97	108	34,7	19,1	139,7	5315,6	2535,6	6,5	6,8

Tableau 25 : Concentrations totales des éléments majeurs dans le substrat alluvial.

II. Les anthroposols développés sur la plaine alluviale du Maroni

II.1. Caractères et constituants micromorphologiques des sédiments, communs aux différents anthroposols

Au-dessus du substrat alluvial, l'étude a permis de caractériser l'anthroposol archéologique qui se distingue sur le terrain et en lames minces grâce à sa couleur plus foncée (10YR2/2).

II.1.1. Matrice

La texture de l'anthroposol est sableuse. Les analyses granulométriques indiquent que, dans les deux sites, cet horizon est globalement constitué de sables, en majorité de sables grossiers (entre 500 et 2000 µm), pour la fraction grossière, et dans une moindre mesure de limons et d'argiles, pour la fraction fine (< à environ 20%) (**Figure 76**).

II.1.1.1. Fraction grossière ou squelette

Le cortège minéralogique retrouvé dans l'anthroposol est globalement identique à celui du substrat alluvial apparent, avec environ 50% de grains de quartz hétérométriques, sub-arrondis à sub-anguleux, dont 2% de runiquartz, associés à de rares minéraux métamorphiques et magmatiques.

II.1.1.2. Fraction fine ou masse fine

La fraction fine est brun à brun foncé, argileuse, avec des poussières diverses de la taille des limons (**Annexe 1 - Planche 2**). Ces poussières sont noires et confèrent à la masse fine sa couleur plus ou moins brun foncé. Au sein de cette masse fine, les inclusions d'origine organique sont diverses. Les plus représentées sont les résidus végétaux fragmentés ferruginisés ou carbonisés, plus ou moins bien conservés (**Annexe 1 - Planche 2 : H**).

II.1.1.3. Distribution fraction fine/grossière et microstructure

L'agencement de la masse fine au sein du squelette sableux va définir différentes microstructures. Ces anthroposols formés sur terrasse alluviale, présentent généralement une microstructure complexe, composée de plusieurs microstructures élémentaires. Deux types principaux de microstructures élémentaires ont été repérés : des plages massives à massives fissurales (**Annexe 1 - Planche 2 : A, B, C, D et E**) et des plages microagrégées (**Annexe 1 - Planche 3 : A, B et E**).

L'extension et l'arrangement des différentes microstructures élémentaires entre elles vont permettre de définir des unités microstratigraphiques (UMiS) au sein des différents profils. Par endroit, des lits sub-horizontaux et plus ou moins continus de grains de quartz marquent les limites des unités microstratigraphiques (**Annexe 1 - Planche 2 : G**).

Dans ces unités d'autres traits sont visibles. Des plages lavées en forme de chenal ou des plages d'accumulation de la fraction fine témoignent d'élu-illuviations *per descensum* de la fraction fine sous l'effet des percolations. Certains chenaux sont génétiquement liés à la présence d'une végétation ancienne.

Certaines fissures (*planar voids)* suggèrent un phénomène de compaction suivi d'une agrégation du sol, causé par un remaniement biologique (faune et flore). La présence de larges chambres (Ch) de forme irrégulière associées à des chenaux est fortement liée à l'activité de la macrofaune de type vers de terre endogéique (Stoops al. 2010).

II.1.2. Traits pédogénétiques

Les trois principaux traits pédogénétiques observés dans les anthroposols sont du même ordre que ceux observés dans la plaine alluviale. Néanmoins des différences notables sont visibles. Les traits biologiques sont davantage développés que dans la plaine alluviale, (**Annexe 1 - Planche 3**) alors que les traits argileux et ferrugineux sont nettement moins abondants, voire absents dans certains niveaux anthropiques (**Annexe 1 - Planche 4 et 5**).

II.1.2.1. Traits biologiques

A l'échelle de la lame mince, ce sont principalement les déjections des enchytraeides qui ont été repérées dans ces sols (**Annexe 1 - Planche 3 : A, B, C**). En effet, en règle générale, les vers de terre ne se développent guère dans les sols sableux, alors que les enchytraeides plus petits, ont la capacité de se mouvoir entre les grains de quartz (J.-F. Ponge com. pers.).

Néanmoins, on trouve, de manière plus ponctuelle, un autre type d'excrément, de forme nodulaire, pouvant mesurer plus de 3000 microns (3 mm) de diamètre, dont la composition est homogène et presque identique à la masse adjacente, avec des grains de quartz orientés et plutôt triés. Ce type d'excrément pourrait correspondre à un géophage de type *Lumbricus terrestris* (Stoops et al. 2010 : 410) ou à *Pontoscolex corethrurus* (J.-F. Ponge com. pers.). Sa présence peut suggérer des remaniements verticaux modérés (**Annexe 1 - Planche 3 : D et E**). A certains endroits, on observe également des déjections d'acariens sous forme de boulettes très serrées, au sein de restes végétaux comme des racines ou de l'écorce (CSL-1) (**Annexe 1 - Planche 3 : F**). Les acariens sont les seuls à s'attaquer directement à ce type de matière organique (J.-F. Ponge com. pers.). L'intensité de la bioturbation, liée à la faune et à la flore du sol, conduit, entre autres, à une nette variation de la porosité entre les UMiS.

II.1.2.2. Traits argileux

Globalement, les revêtements argileux sont rares dans les anthroposols, et essentiellement observés sur les profils de Balaté (**Annexe 1 - Planche 4**).

II.1.2.3. Traits ferrugineux

Il est possible d'observer localement, en fonction de l'emplacement des profils par rapport à la proximité du fleuve Maroni, des ferruginisations témoignant de conditions rédoxiques, et quelques nodules ferrugineux aux bords émoussés, probablement roulés (**Annexe 1 - Planche 5**).

II.1.3. Constituants organiques

Dans les sédiments formant les anthroposols, des restes organiques frais et brûlés ont pu être reconnus (**Annexe 1 - Planche 6**). Sur le site de Balaté, l'analyse micropaléontologique réalisée par L. Londeix[2] et son équipe résume globalement bien les restes organiques observés en lames minces dans ces anthroposols : « *une abondante microflore, très diversifiée et, dans l'ensemble, bien préservée, dominée par des débris végétaux sombres, plus ou moins charbonneux, au milieu desquels abondent spores et pollens* » (Londeix et al. in Briand en préparation). Leur étude a mis en évidence un palynofaciès typique d'une végétation de type tropicale humide, dans un contexte d'eau douce à éventuelle connexion avec le domaine marin.

Parmi les restes qu'ils ont identifiés, seuls les pollens sont difficilement observables en lame mince. Les fragments végétaux non brûlés visibles en lames minces comprennent des restes végétaux orangés (cellules, spores), typiques d'horizon de sub-surface, ou encore des tiges et des racines, que l'on peut retrouver jusqu'à 1 m de profondeur. Les charbons, classés parmi les restes végétaux brûlés, font partie des constituants anthropiques.

II.1.4. Constituants anthropiques

Ce sont des éléments qui n'ont pas été observés dans les sédiments de la plaine alluviale. Les céramiques (**Annexe 1 - Planches 10, 12, 16 et 18**) et les charbons (**Annexe 1 - Planche 7**) constituent les marqueurs anthropiques les plus évidents. Les phytolithes se repèrent assez aisément dans les sols, sans toutefois qu'il soit possible de repérer de quelconques connexions anatomiques : ils apparaissent disséminés dans la masse fine (**Annexe 1 - Planche 8 : M, N, O**). Quelques rares microesquilles d'os ont également pu être discernés dans ces sols (**Annexe 1 - Planche 8 : A à F**). Enfin, de rares microfragments de sols brûlés ont été observés (**Annexe 1 - Planche 8 : G à I**).

Finalement, au sein de chacun des anthroposols, l'analyse géoarchéologique a permis de mettre en évidence une succession de microhorizons (UMiS) qui se différencient du

[2] Laboratoire EPOC - Université Bordeaux 1.

substrat alluvial, globalement de par leur microstructure, leurs constituants, ainsi que par leurs propriétés physico-chimiques. Chaque profil étudié va être présenté et décrit individuellement.

II.2. L'anthroposol archéologique du site de Chemin Saint-Louis, caractères géoarchéologiques généraux

Rappelons que deux profils ont été étudiés sur ce site : CSL-1 et CSL-2.

II.2.1. Profil CSL-1

II.2.1.1. Observations micromorphologiques

Sept unités microstratigraphiques ont été définies pour ce profil (**Annexe 1 - Planche 9**). Elles sont ici décrites du haut vers le bas (**Tableaux 26 et 27**). L'anthroposol proprement dit, correspond aux niveaux noirs distingués sur le terrain. Il se caractérise par un fort enrichissement de la masse fine en poussières végétales noires, et la présence de lits sub-horizontaux quasi-continus à l'échelle de la lame, plus foncés, et plus ou moins enrichis en fraction fine. Cinq principaux lits superposés ont été reconnus, correspondant aux cinq UMiS discriminées dans l'anthroposol.

L'UMiS 1 correspond à la partie supérieure de l'anthroposol. Elle est caractérisée par une masse fine abondante et d'une couleur brun foncé, liée à l'abondance des résidus végétaux et aux particules microcontrastées. Sa microstructure microagrégée d'origine biologique coïncide avec un niveau proche de la surface. Des fragments végétaux (spores, cellules végétales) non brûlés, frais, de couleur orangée, en lumière naturelle, apparaissent également. Dans l'UMiS 2 la masse fine est toujours assez abondante, avec une couleur foncée. En revanche sa microstructure est plus massive et fissurale. Certaines zones agrégées résultent des bioturbations de la faune du sol, alors que les phytolithes sont abondants.
L'UMiS 3 est caractérisée par une masse fine qui se fonce encore davantage, pour aller vers un brun foncé à noir. Elle contient un tesson de céramique (**Tableau 27, Annexe 1 - Planche 10-Haut**). On remarque que l'argile de la céramique, bien qu'elle soit cuite, est faiblement biréfringente, alors qu'elle ne l'est pas dans la masse fine de cette séquence. Cela semble indiquer que les argiles du substrat et de la céramique ont subi une évolution pédologique différente. Dans ce microniveau, la masse fine est beaucoup plus agrégée et moins abondante qu'au-dessus. Des résidus végétaux oranges, un peu plus gros sont encore

présents ici. La limite entre les UMiS 3 et 4 témoigne d'un fonctionnement de surface marqué par des ruissellements : des lentilles de sables grossiers lavées (zones d'érosion) et des lentilles avec des enrichissements en particules fines (zones de dépôt) sont imbriquées. L'UMiS 4 est légèrement moins empoussiérée que les niveaux sus-jacents, et présente globalement les mêmes caractères optiques que l'UMiS 3. La limite entre les UMiS 4 et 5 est également bien marquée.

L'UMiS 5 présente une masse fine moyennement abondante, plutôt répartie autour des grains de quartz. Les chenaux repérés sur le terrain sont nettement visibles au niveau microscopique. De nombreux résidus végétaux non brûlés, comme une racine qui traverse l'échantillon sub-verticalement, sont présents. La limite inférieure de l'unité est très nette.

L'UMiS 6, marquant la transition entre l'anthroposol et le substrat alluvial, est nettement moins enrichie en poussières organiques que les UMiS sus-jacentes. Elle est microstratifiée et montre des variations verticales qui sont fonction de l'enrichissement en fraction fine ou du degré d'agrégation. Elle présente des caractères communs avec les UMiS supérieure et inférieure, UMiS 5 et 7. Les quelques revêtements argileux visibles sont assez semblables à ceux du substrat alluvial sous-jacent (UMiS 7), et la bioturbation est plus développée comme dans les UMiS sus-jacentes (**Tableau 26**). De plus, elle contient un microtesson de céramique (**Tableau 27, Annexe 1 - Planche 10-Bas**), indiquant sa proximité avec l'anthroposol. La limite avec l'UMiS 7 est assez nette, marquée par un lit sub-horizontal de grains de quartz. Dans le substrat alluvial, la masse fine est massive, riche en revêtements argileux, à la fois limpides et microlaminés poussiéreux. La bioturbation n'est quasiment pas développée.

UMaS	UMiS	Horizon/Niveau	Profondeur (cm)	MICROSTRUCTURE							MATRICE				PRINCIPAUX TRAITS PEDOLOGIQUES						
															Biologiques		Argileux			Ferrugineux	
				Type de microstructure	Empoussièrement de la matrice	C/f distribution relative	Porosité	Abondance des vides [b]	Degré d'agrégation	Classement	Fraction grossière	Abondance relative [b]	Fraction fine	Abondance relative [b]	Type d'excrément	Abondance relative [b]	Type	Caractères descriptifs	Abondance relative [b]	Type	Abondance relative [b]
3	1	Anthroposol	20-25	Mag	●●	Ch	Fi	●●●	F	Nc	Qz/A	●●●/●	Ar-Li	●●	Ench	●●			(●)	N	●
	2	Anthroposol	25-34	Mag/MaF	●●	En	Fi/Chm	●●	F	Nc	Qz/A	●●●/●	Ar-Li	●●	Ench	●●	Int	L	(●)	N	●
	3	Anthroposol	34-44	Ag	●●●	En	Fi	●	F	Nc	Qz	●●●	Ar-Li	●●	Ench	●			(●)	N	●
4	4	Anthroposol	44-52	Ma/Mag	●●●	Ch	Fi	●●	F	Nc	Qz	●●●	Ar-Li	●●	Ench	●			(●)	N	●
	5	Anthroposol	52-58	MaF/Mag	●●	Ge	Fi/Chm	●	F	Nc	Qz	●●●	Ar-Li	●●	Ench	●●			(●)	N	●
5	6	Transition anthroposol – substrat	58-75	Aut	●	Ge	Fi	●●	P	Pc	Qz	●●●	Ar-Li	●●	Ench	●	R	Ml/P	●	N	●
6	7	Substrat alluvial apparent	75-83	Aut/Ma	●	Ge	Fi	●	P	Pc	Qz	●●●	Ar	●●	Ench	(●)	Pa/R	Ml/P/L/C	●●		(●)

Légende (d'après Bullock et al. 1985) :
b = abondance relative en lames minces : (●) = rare ou absent ; ● = un peu / légèrement développé ; ●● = moyen / fréquent / assez développé ; ●●● = important / abondant / bien développé
Type de microstructure = Ag : agrégée ; Mag : microagrégée; Ma : massive ; MaF : massive fissurale ; Aut : masse fine répartie autour des grains (single grain structure)
C/F distribution relative (éléments grossiers par rapport aux éléments fins) = Ch : chitonique ; En : enaulique ; Ge : gefurique
Degré d'agrégation = P : peu développé ; M : moyennement développé ; F : fortement développé **Porosité** = Fi : fissurale ; Chm : en chambres
Fraction fine (fraction dominante) = Ar : argiles ; Li : limons **Classement** = Pc : peu classé ; Nc : non classé
Fraction grossière = Qz : quartz ; A : autres (runiquartz, autres minéraux)
Traits biologiques (excrémentaux) = Ench : enchytraeides **Traits ferrugineux** = N : nodules roulés
Traits argileux = Int : intercalations ; R : revêtements ; Pa : papules - P : poussiéreux ; L : limpide ; Ml : microlaminé ; C : en croissant

Tableau 26 : Descriptif des UMiS définies par l'observation micromorphologique, profil CSL-1.

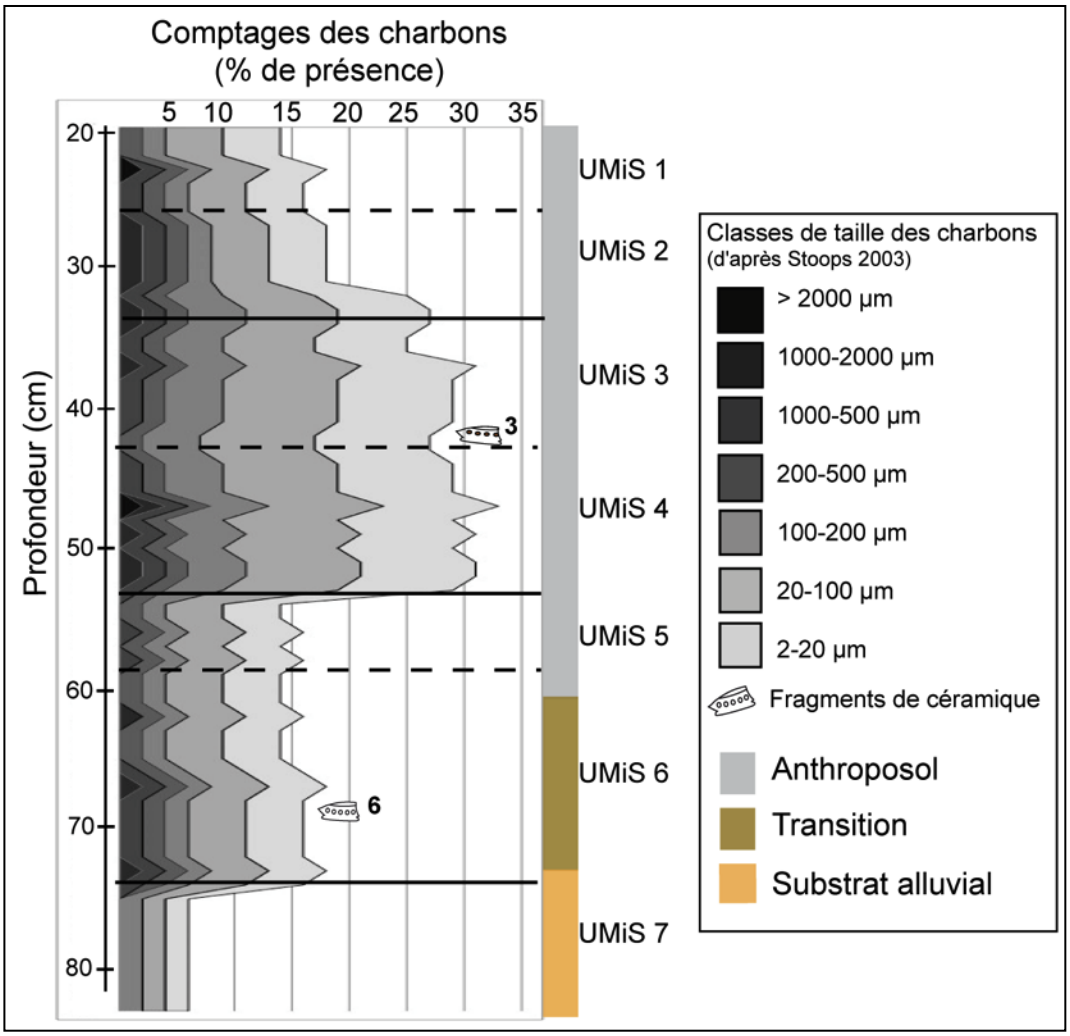
UMaS	UMiS	Horizon/Niveau	Prof. (cm)	Fragments de céramique	Macrocharbons	Phytolithes	Microesquilles d'os	Agrégats rubéfiés
3	1	Anthroposol	20-25	(●)	(●)	●	(●)	(●)
	2	Anthroposol	25-34	(●)	●	●●●	(●)	●
	3	Anthroposol	34-44	●	(●)	●●	(●)	(●)
4	4	Anthroposol	44-52	(●)	(●)	●●	(●)	(●)
	5	Anthroposol	52-58	(●)	(●)	●●	(●)	●
5	6	Transition anthroposol – substrat	58-75	●	(●)	●	(●)	(●)
6	7	Substrat alluvial apparent	75-83	(●)	(●)	●	(●)	(●)

Légende : (●) = rare ou absent ; ● = un peu ; ●● = fréquent ; ●●● = abondant.

Tableau 27 : Abondance relative des constituants anthropiques observés en lames minces, profil CSL-1.

II.2.1.2. Microanthraco séquence dans l'épaisseur du profil CSL-1.

Du haut vers le bas du profil, quatre paliers correspondant à autant de grands ensembles apparaissent en fonction des concentrations charbonneuses (**Figure 77**). Le premier, entre 20-32 cm, présente une moyenne de 18% de charbons avec une prédominance des macrocharbons et un empoussièrement lié aux microcharbons, assez important. En-dessous, entre 32-52 cm de profondeur, c'est la zone où les concentrations en charbons sont les plus importantes, atteignant 30%, avec également une prédominance de macrocharbons. Le troisième niveau s'étend entre 52-75 cm de profondeur, avec une concentration moyenne de charbons qui chute pour atteindre 15%. Enfin, à partir de 75 cm de profondeur, les restes charbonneux diminuent drastiquement autour de 5%.



Légende : pour les numéros des fragments de céramique, se référer à la Annexe 1 - Planche 10, et pour les descriptions plus précises à l'Annexe 3. Les limites entre les UMiS définies sont marquées en pointillés et en traits continus. Ces derniers correspondent également aux limites discriminées par l'abondance des charbons.

Figure 77 : Microanthraco séquence du profil CSL-1.

Ces quatre ensembles se recoupent avec les UMiS micromorphologiques définies précédemment, où le premier ensemble, correspond globalement aux UMiS 1 et 2, le second, aux UMiS 3 et 4, le troisième aux UMiS 5 et 6, et le dernier ensemble à l'UMiS 7. Notons, que les charbons observés dans les UMiS 2 et 3, au sein de l'anthroposol, présentent en lumière oblique incidente, de petits cristaux de graphite, signifiant qu'ils sont bien carbonisés. De plus, les quelques macrocharbons observés dans le bas de l'UMiS 6, sont émoussés, sub-arrondis et ferruginisés, témoins de l'hydromorphie des sols à proximité du substrat alluvial.

II.2.1.3. Caractères physico-chimiques des sédiments de l'anthroposol CSL-1

Ici, ce sont les résultats obtenus dans l'anthroposol, soit entre 10 et 60 cm de profondeur qui sont considérés pour réaliser les statistiques descriptives (**Tableau 28, 29 et 30**).

Les données granulométriques témoignent d'un sol riche en fraction sableuse, qui atteint 83% en moyenne. La fraction sableuse est plus abondante dans l'anthroposol par rapport au substrat alluvial (Annexe 2). Les valeurs du pH caractérisent des sols acides n'excédant pas 5. Le rapport C/N présente un écart assez important entre le min (horizon de surface) et le max (en bas de l'anthroposol), à la différence du carbone organique qui reste très bas, < 1%. Les valeurs de la susceptibilité magnétique sont également basses, n'excédant pas 182 $x10^{-9}$ m^3/kg (F. Lévêque com. pers.). L'unique mesure du δC13, réalisée à 30 cm de profondeur, témoigne d'une végétation de type forêt.

	Argiles	Limons tot	Sables tot	pH	C/N	Corg	S. Mag	$\delta^{13}C$
		(%)		-	-	(%)	($x10^{-9}$ m^3/kg)	(‰)
Min	9	6	80	4,4	13,5	0,3	163,4	
Max	12	9	85	4,8	16,4	0,9	181,9	-25,4
Moy	10	7	83	4,7	15,5	0,5	172,6	(n=1)
ET	1	1	2	0,2	1,2	0,2	13,1	

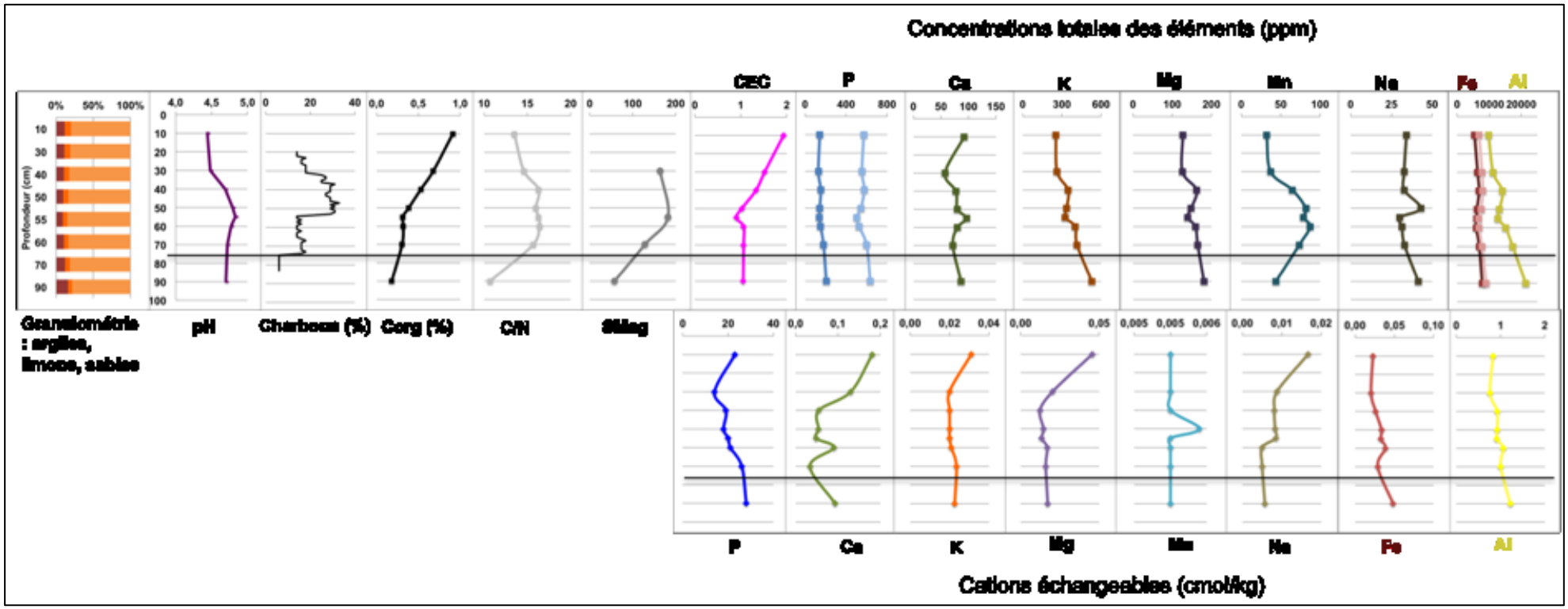
Tableau 28 : Statistique descriptive des fractions granulométriques, du pH, des matières organiques, de la susceptibilité magnétique et du δ C13, CSL-1 (n=6).

	Olsen-Dabin (ppm)	Cobaltihéxamine (cmol/kg)							
	P	CEC	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Al
Min	14,0	0,048	0,012	0,005	0,020	0,021	0,005	0,762	0,048
Max	23,0	0,181	0,046	0,017	0,031	0,039	0,005	1,062	0,181
Moy	19,2	0,093	0,021	0,009	0,022	0,029	0,005	0,901	0,093
ET	3,1	0,053	0,013	0,004	0,004	0,007	0,000	0,102	0,053

Tableau 29 : Statistique descriptive des cations échangeables, CSL-1 (n=6).

	Eau régale (ppm)								HCl (ppm)	
	Ca	K	Mg	Mn	P	Al	Fe	Na	P	Fe
Min	57,5	253,0	126,0	32,0	129,0	9800,0	5440,0	30,1	505	6680
Max	96,9	401,0	162,0	87,3	152,0	15100,0	6840,0	43,0	577	7960
Moy	80,6	320,8	143,5	63,6	142,3	12683,3	6141,7	34,1	546	7237
ET	13,7	55,3	15,5	23,7	8,3	1930,2	464,4	4,6	28	544

Tableau 30 : Statistique descriptive des éléments totaux, CSL-1 (n=6).



Légende : la limite entre anthroposol et substrat est marquée par le trait noir horizontal. Dans le bandeau supérieur, le Ptot extrait à l'eau régale est en bleu foncé, alors que le Ptot extrait à l'HCl est en bleu clair. Le Fetot eau régale est en rose, alors que le Fetot à l'HCl est en rouge foncé.

Figure 78 : Évolution de certains paramètres physico-chimiques analysés mis en regard de la microanthraco séquence, au sein du profil entier CSL-1.

D'après la **figure 78**, là où la fraction sableuse semble la plus importante du profil, c'est-à-dire dans l'anthroposol, entre 30 et 70 cm de profondeur, le pH et le rapport C/N augmentent légèrement, en présentant un « ventre ». La susceptibilité magnétique et le manganèse total suivent également cette évolution. Ce « ventre » peut être corrélé à l'abondance des charbons comptabilisés en lames minces dans l'anthroposol. En revanche, le carbone organique, la CEC et certains cations échangeables comme le calcium, le magnésium et le sodium suivent une évolution à tendance différente, en diminuant avec la profondeur, tout en présentant un « palier » vers 50 cm de profondeur, sous le niveau riche en charbons.

De plus, sous le niveau enrichi en charbons, il y association des concentrations totales en manganèse et sodium qui augmentent vers 55 cm de profondeur. Les ions fer et aluminium libres et totaux augmentent également dans le bas du profil, de manière plus nette pour l'aluminium, en lien avec la majorité des concentrations totales des cations, hormis le manganèse. Ces augmentations peuvent être mises en regard avec la légère augmentation de la fraction argileuse dans les sédiments de la plaine alluviale sous-jacente.

II.2.1.4. Données complémentaires, composition minéralogique des sédiments grâce à la diffraction des rayons X

L'analyse DRX a été réalisée sur les sédiments provenant de deux horizons du profil CSL-1 : dans l'horizon supérieur de l'anthroposol (UMaS 2) et dans la plaine alluviale (UMaS 8). Les résultats indiquent que ces sols sont composés essentiellement de kaolinite, pour la fraction argileuse, et de quartz, pour les minéraux non argileux (**Figures 79 et 80).** Ces résultats ont valeurs de généralités pour tous les sols du site de Chemin Saint-Louis.

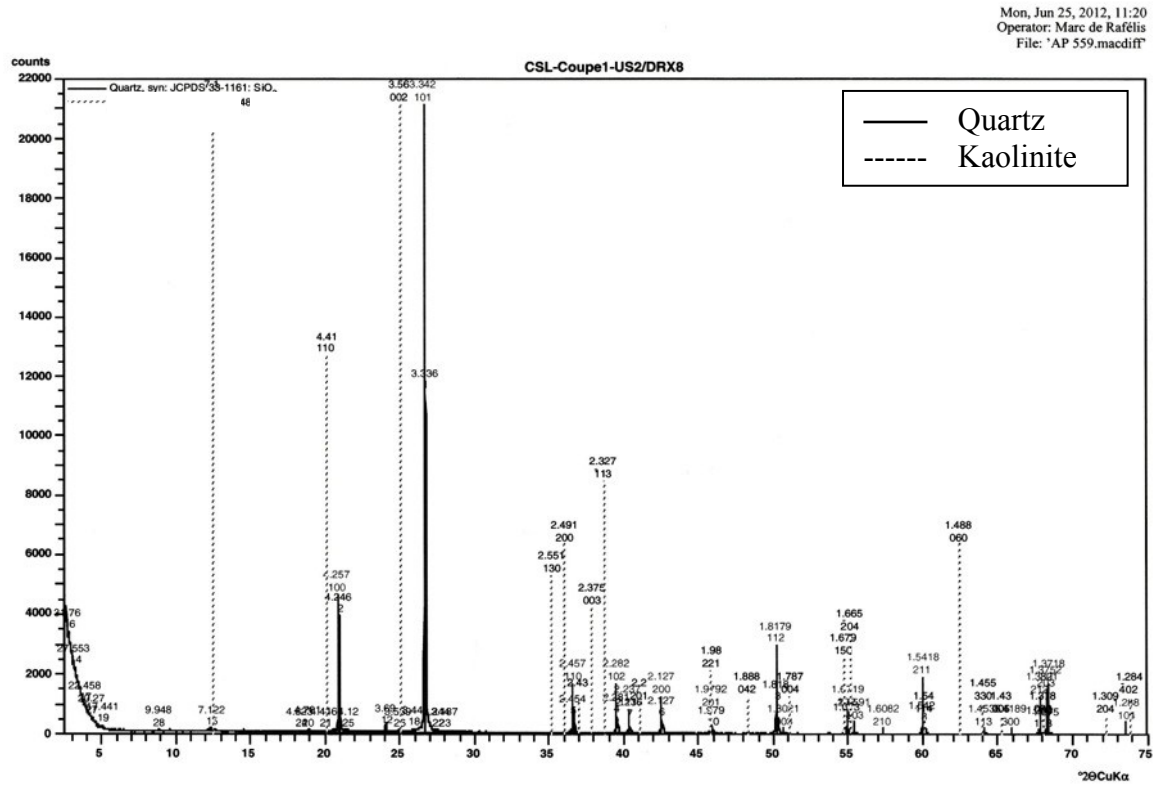


Figure 79 : Diffractogramme de l'UMaS 2 (anthroposol) sur CSL-1.

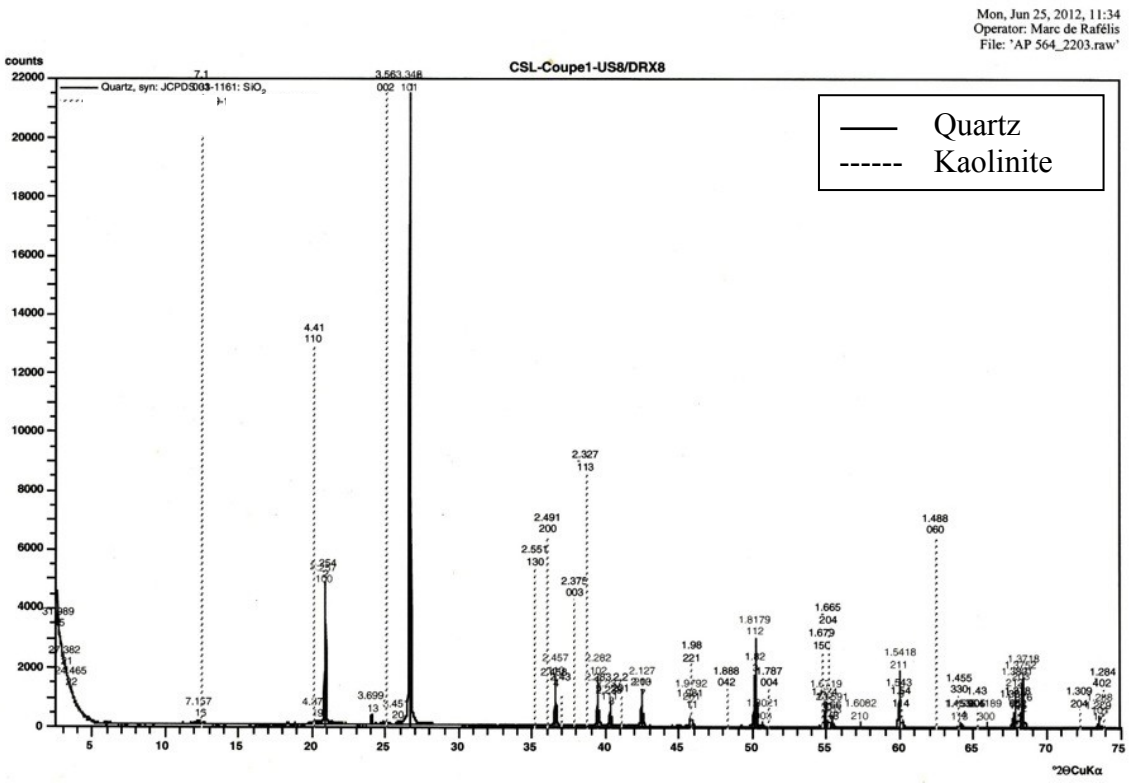


Figure 80 : Diffractogramme de l'UMaS 8 (plaine alluviale) sur CSL-1.

II.2.2. Profil CSL-2

II.2.2.1. Observations micromorphologiques

L'analyse micromorphologique a permis de définir sept UMiS superposées (**Tableaux 31, 32 et Annexe 1 - Planche 11**). A la différence du profil précédent, il n'a pas été discriminé de substrat alluvial en place. En revanche, se succèdent du haut vers le bas, les six UMiS de l'anthroposol, et une UMiS de transition correspondant aux premières transformations anthropiques (UMiS 7). Cette séquence s'agence à peu près de la même manière que le profil 1. Les limites entre les UMiS de l'anthroposol sont du même type que dans la séquence précédente, elles correspondent à un microlitage des sables, ou à des zones plus claires, dépourvues de fines. L'UMiS 1 contient des fragments de végétaux (cellules oranges) qui caractérisent un horizon de surface actuel. Les deux UMiS supérieures, 1 et 2, présentent une masse fine assez abondante formant une microstructure massive fissurale. La masse fine est brun foncé, riche en microparticules noires. Les UMiS 3, 4 et 5 sont microagrégées (enchytraeides), ce qui permet de les distinguer des niveaux inférieurs. La limite avec l'UMiS 6 inférieure est ici aussi assez nette, du fait d'un changement de couleur de la masse fine, qui s'éclaircit, en lien avec une diminution de l'empoussièrement. L'UMiS 7 marque ici le niveau de transition, qui présente des caractères optiques du substrat alluvial sous-jacent, tels que des revêtements argileux limpides, auxquels s'ajoutent des revêtements poussiéreux.

Toutefois, à la différence de CSL-1, dans cet anthroposol il y a davantage de constituants anthropiques, notamment des fragments de céramiques (**Tableau 32 et Annexe 1 - Planche 12**). Ces microtessons participent à marquer les limites entre les UMiS, lorsqu'ils sont orientés sub-horizontalement (limite UMiS 3-4 et 6-7 par exemple) (**Figure 81**).

Il est intéressant de noter que dans l'UMiS 4, autour de 63 cm de profondeur, un fragment de céramique, un macrocharbon, ainsi qu'une plage massive fissurale, sont orientés de la même façon sub-verticalement (**Annexe 1 - Planche 11 : flèches rouges**). Cela suggère un mouvement commun de ces constituants dans les sédiments, *a priori* sur une très courte distance, probablement juste un repositionnement lors d'un passage d'enchytraeides ou bien un remaniement des sols d'origine anthropique (piétinement par exemple). Au-dessus, la particularité de l'UMiS 3 réside dans le fait qu'aucun fragment de céramique n'apparaît, à la différence des UMiS 5 (inférieure) et 4 (supérieure). En outre, dans l'UMiS 3, autour de 40 cm de profondeur, des microesquilles d'os, très mal conservées et dégradées par l'activité biologique ont pu être observées (**Tableau 32, Annexe 1 - Planche 8 : A, B et F**).

UMaS	UMiS	Horizon/Niveau	Profondeur (cm)	MICROSTRUCTURE						MATRICE					PRINCIPAUX TRAITS PEDOLOGIQUES						
															Biologiques		Argileux			Ferrugineux	
				Type de microstructure	Empoussièrement de la matrice [b]	C/f distribution relative	Porosité	Abondance des vides [b]	Degré d'agrégation	Classement	Fraction grossière	Abondance relative [b]	Fraction fine	Abondance relative [b]	Type d'excrément	Abondance relative [b]	Type	Caractères descriptifs	Abondance relative [b]	Type	Abondance relative [b]
2	1	Anthroposol	25-28	MaF/Mag	●●	Ch	Fi	●	F	Nc	Qz/A	●●●/●	Ar-Li	●	Ench	●			(●)		(●)
	2	Anthroposol	28-38	MaF/Ma	●●	Ch	Fi	●●	F	Nc	Qz/A	●●●/●	Ar-Li	●	Ench	●			(●)	N	●
3	3	Anthroposol	38-47	Mag	●●	Ch	Fi	●●	F	Nc	Qz/A	●●●/●	Ar-Li	●	Ench	●●			(●)	N	●
4	4	Anthroposol	47-66	Mag	●●●	Ch	Fi/Chm	●	F	Nc	Qz/A	●●●/●	Ar-Li	●	Ench	●●			(●)	N	●
	5	Anthroposol	66-73	Mag	●●●	Ch	Fi/Chm	●●	F	Nc	Qz/A	●●●/●	Ar-Li	●	Ench	●●			(●)	N	●
5	6	Anthroposol	73-83	Mag/Aut	●●●	Ch	Fi	●	F	Nc	Qz/A	●●●/●	Ar-Li	●	Ench	●			(●)	N	●
6	7	Transition anthroposol – substrat	83-87	Aut	●	En	Fi	●●	M	Pc	Qz	●●	Ar	●●		(●)	R	Ml/L/P	●		(●)

Légende (d'après Bullock et al. 1985) :
[b] = abondance relative en lames minces : (●) = rare ou absent ; ● = un peu / légèrement développé ; ●● = moyen / fréquent / assez développé ; ●●● = important / abondant / bien développé
Type de microstructure = Ag : agrégée ; Mag : microagrégée ; MaF : massive fissurale ; Aut : masse fine répartie autour des grains (*single grain structure*)
C/F distribution relative (éléments grossiers par rapport aux éléments fins) = Ch : chitonique ; En : enaulique
Degré d'agrégation = M : moyennement développé ; F : fortement développé
Classement = Pc : peu classé ; Nc : non classé
Fraction grossière = Qz : quartz ; A : autres (runiquartz, autres minéraux)
Traits argileux = R : revêtements - P : poussiéreux - L : limpide ; Ml : microlaminé
Porosité = Fi : fissurale ; Chm : en chambres
Traits biologiques (excrémentaux) = Ench : enchytraeides
Fraction fine (fraction dominante) = Ar : argiles ; Li : limons
Traits ferrugineux = N : nodules roulées

Tableau 31 : Descriptif des UMiS définies par l'observation micromorphologique, profil CSL-2.

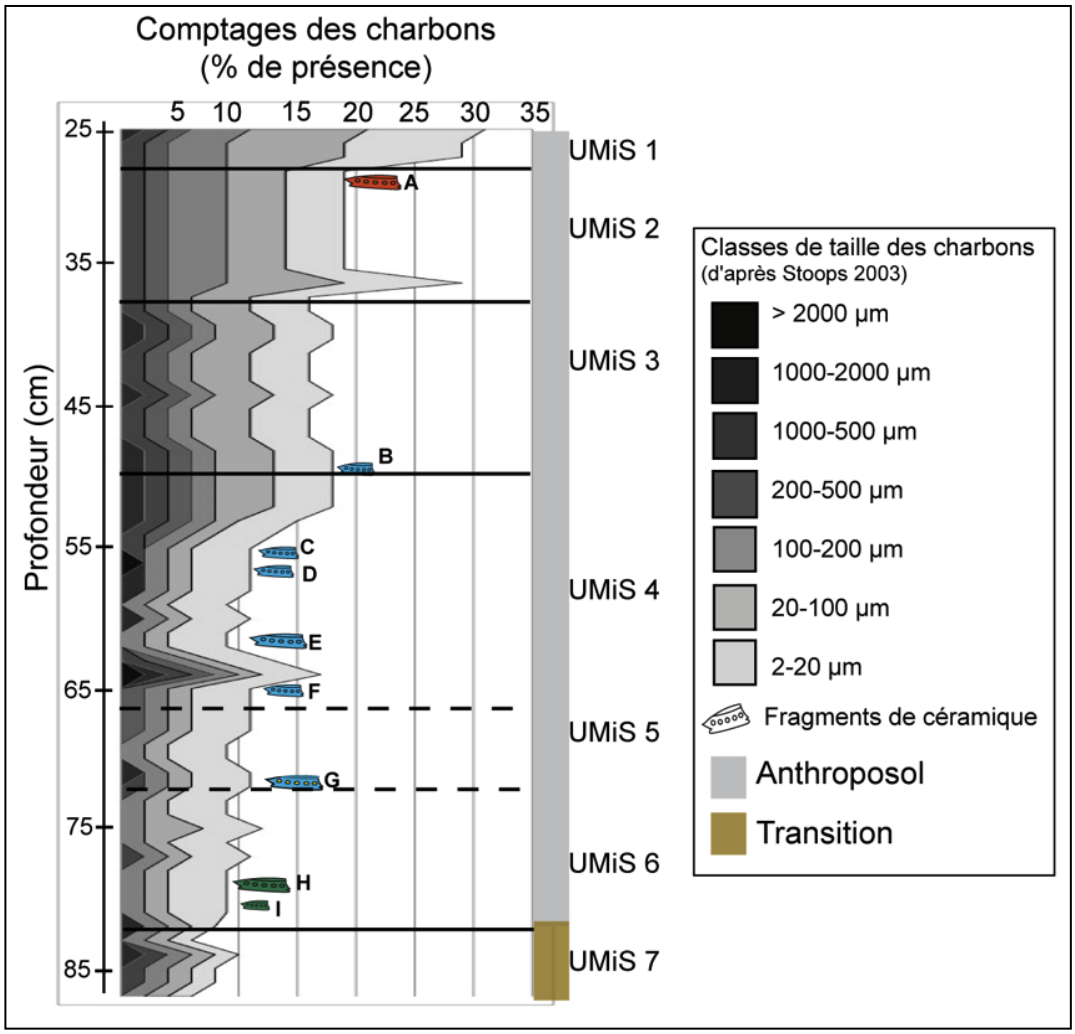
UMaS	UMiS	Horizon/Niveau	Prof. (cm)	Fragments de céramique	Macrocharbons	Phytolithes	Microesquilles d'os	Agrégats rubéfiés
2	1	Anthroposol	25-28	(●)	(●)	●●●	(●)	●
	2	Anthroposol	28-38	●	●	●●●	(●)	(●)
3	3	Anthroposol	38-47	(●)	(●)	●●●	●	(●)
	4	Anthroposol	47-66	●●	(●)	●●●	(●)	(●)
4	5	Anthroposol	66-73	●	(●)	●●●	(●)	(●)
5	6	Anthroposol	73-83	●	(●)	●●	(●)	●
6	7	Transition anthroposol – substrat	83-87	(●)	(●)	●●	(●)	(●)

Légende : (●) = absent ; ● = un peu ; ●● = fréquent ; ●●● = abondant.

Tableau 32 : Abondance relative des constituants anthropiques observés en lames minces au sein du profil CSL-2.

II.2.2.2. Microanthraco séquence dans l'épaisseur du profil CSL-2

De manière globale, la concentration en charbons comptabilisés en lames minces diminue progressivement et par paliers avec la profondeur. Ce diagramme met en évidence quatre phases principales de concentration en charbons. Il est possible de distinguer du haut vers le bas, un premier niveau enrichi en charbons jusqu'à 30%, entre 25-28 cm. En-dessous, entre 28-50 cm, la concentration en charbons diminue avec une moyenne à 18 %. Puis, entre 50-83 cm, l'abondance des charbons décroît jusqu'à une moyenne autour de 8%. Enfin, à partir de 83 cm de profondeur, les charbons tendent à diminuer.



Légende : les limites entre les UMiS sont marquées en pointillés, et en traits continus lorsqu'elles correspondent également à des limites dans l'abondance des charbons. Les couleurs des fragments de céramiques sont corrélées aux différentes pâtes apparues lors de l'observation micromorphologique. Pour les correspondances des lettres des fragments de céramique et pour les descriptions plus précises se référer à la Annexe 1 - Planche 12 et à l'Annexe 3.

Figure 81 : Microanthraco séquence du profil CSL-2

Cette microanthraco séquence se recoupe avec les UMiS définies précédemment. En effet, la première phase, correspond à l'UMiS 1, la seconde aux UMiS 2 et 3 (le pic de 28% de charbons, vers 38 cm de profondeur, coïncide avec la limite entre les deux UMiS), la troisième aux trois UMiS 4, 5 et 6, où les macrocharbons sont essentiellement concentrés au-dessus de 83 cm de profondeur, dans l'UMiS 6. Enfin la dernière phase correspond à l'UMiS 7 de transition entre le substrat alluvial et l'anthroposol. Ici, les charbons observés sont assez émoussés, avec des formes sub-arrondies, témoignant d'un transport, probablement sur de courtes distances.

Si l'on compare les microanthraco séquences des deux profils de CSL, il apparaît que CSL-2 est globalement moins riche en restes carbonisés que CSL-1. De plus la microanthraco séquence de CSL-2 présente davantage d'irrégularités.

II.2.2.3. Caractères physico-chimiques des sédiments de l'anthroposol CSL-2

Ici, ce sont les résultats obtenus dans l'anthroposol, soit entre 35 et 75 cm de profondeur qui sont considérés pour réaliser les statistiques descriptives (**Tableaux 33, 34 et 35**). Rappelons que le haut de la séquence n'a pas été analysé chimiquement.

Dans cette séquence, l'anthroposol est encore largement à dominante sableuse, et le pH reste inférieur à 5. Le rapport C/N et le Corg sont à peu près équivalents à celui du profil précédent, plus important à la base de l'anthroposol également (**Annexe 2**). La susceptibilité magnétique est près de deux fois supérieure au profil précédent. Pour le δ C13, les trois mesures présentent une étendue de 2 unités entre le minimum et le maximum, ce qui représente un écart assez notable. Néanmoins, ces valeurs restent basses, caractérisant une végétation de type forestière.

	Argiles[1]	Limons tot[1]	Sables tot[1]	pH[1]	C/N[1]	Corg[1]	S. Mag[2]	$\delta^{13}C$[2]
		(%)		-	-	(%)	($x10^{-9}$ m^3/kg)	(‰)
Min	7	4	86	4,5	14,7	0,4	265,0	-26,1
Max	9	5	90	4,6	17,2	0,7	332,3	-24,5
Moy	8	4	88	4,6	16,1	0,5	295,4	-25,1
ET	1	1	2	0,05	1,22	0,1	34,1	0,9

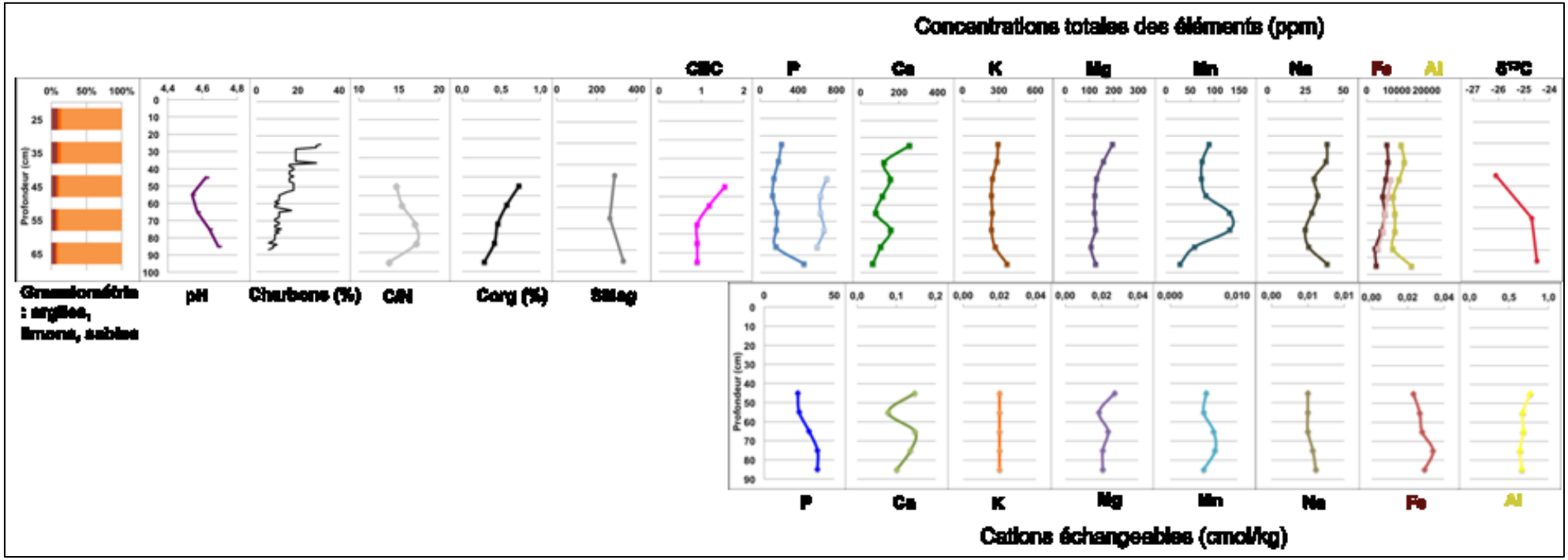
Tableau 33 : Statistique descriptive des fractions granulométriques, du pH, du C/N, du Corg, de la susceptibilité magnétique et du δ C13, dans l'anthroposol de CSL-2 ([1]n=4 et [2]n=3).

	Olsen-Dabin (ppm)	Cobaltihéxamine (cmol/kg)						
	P	CEC	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Al
Min	24,0	0,9	0,079	0,019	0,005	0,020	0,023	0,005	0,640
Max	38,0	1,6	0,147	0,027	0,006	0,020	0,034	0,007	0,773
Moy	29,8	1,1	0,127	0,022	0,005	0,020	0,028	0,006	0,692
ET	6,55	0,31	0,033	0,004	0,000	0,000	0,004	0,001	0,057

Tableau 34 : Statistique descriptive des cations échangeables, dans l'anthroposol de CSL-2 (n=4).

	Eau régale (ppm)								HCl (ppm)	
	Ca	K	Mg	Mn	P	Al	Fe	Na	P	Fe
Min	79,4	239,0	121,0	73,1	131,0	8860,0	4880,0	24,9	633,0	5510,0
Max	253,0	294,0	195,0	131,0	224,0	12500,0	7120,0	39,2	699,0	8030,0
Moy	146,2	257,8	141,8	96,6	172,5	10396,7	6093,3	32,6	658,8	6677,5
ET	59,5	24,2	29,5	26,9	33,1	1436,4	846,2	5,6	32,0	1104,6

Tableau 35 : Statistique descriptive des éléments totaux, dans l'anthroposol de CSL-2 (n=4).



Légende : Rappelons que l'horizon de surface n'a pas été échantillonné, et que dans le substrat alluvial, seules les concentrations totales des cations ont été mesurées. Dans le bandeau supérieur, Ptot HCl est en bleu clair par rapport à Ptot eau régale et Fetot HCl est en rose par rapport à Ptot eau régale en rouge foncé.

Figure 82 : Évolution de certains paramètres physico-chimiques analysés mis en regard de la microanthraco séquence, au sein du profil entier CSL-2.

Selon la **figure 82**, les données granulométriques indiquent que la fraction sableuse augmente avec la profondeur, plus importante dans le niveau de transition que dans l'anthroposol, à la différence du profil CSL-1.

De manière générale, le pH augmente avec la profondeur, en suivant l'évolution inverse du rapport C/N. Le Corg diminue progressivement avec la profondeur. Les concentrations échangeables et totales en cations présentent certaines variations fines pour le phosphore, le calcium, le magnésium et le manganèse essentiellement. Alors que globalement, les concentrations en potassium et en sodium échangeables, ainsi qu'en fer et aluminium libres ne changent quasiment pas dans toute la séquence.

Les variations fines des concentrations de certains éléments peuvent être mises en lien avec la microanthraco séquence. Vers 45 cm de profondeur, là où les charbons sont abondants en lames minces, calcium et potassium échangeables, et calcium total sont un peu plus concentrés, en lien avec la plus forte CEC. Il est intéressant de noter que dans le bas du profil analysé, autour de 75 cm de profondeur, le rapport C/N augmente en formant un « ventre », que l'on retrouve chez le phosphore, le calcium, le manganèse échangeables et le fer libre, ainsi que pour le calcium et le manganèse total. La susceptibilité magnétique augmente également dans ce niveau. Enfin, au même titre que dans le profil précédent, les concentrations en aluminium libre et totale sont associées à une augmentation des cations totaux que sont phosphore, potassium et sodium dans le bas du profil, à l'approche du substrat alluvial sous-jacent.

II.2.2.4. Comparaisons des résultats physico-chimiques de CSL-1 et CSL-2 avec ceux de Birk & Glaser

Lors de la fouille du site, J. Birk et B. Glaser ont prélevés 30 profils de sol (entre 5 et 75 cm de profondeur) afin d'évaluer le potentiel chimique de l'anthroposol de Chemin Saint-Louis (in van den Bel 2012). Parmi ces 30 séquences, une a été prélevée à l'extérieure du site, sur la même terrasse alluviale T4. Elle correspond alors à un profil de référence, R1. Des mesures de pH (méthode KCl), de carbone et de concentrations pseudo-totales (à l'eau régale) de certains éléments majeurs (P, Ca, K, Mg, Mn et Fe) ont été réalisées. Ces données permettent d'avoir une idée de l'enrichissement ou de l'appauvrissement des anthroposols par rapport au profil de référence (Birk & Glaser in van den Bel 2012). Les résultats obtenus sur les deux séquences CSL-1 et CSL-2 étudiés dans ce travail sont ici comparés à ceux obtenus par J. Birk & B. Glaser.

- Evolutions du pH et du carbone dans CSL-1 et 2 par rapport à R1 (**Figure 83**)

En ce qui concerne le pH, la méthode d'analyse de J. Birk & B. Glaser étant différente de la nôtre (KCl pour R1 et H_2O pour CSL-1 et 2), seule son évolution générale dans les séquences en fonction de la profondeur sera considérée. En revanche pour le carbone les méthodes d'analyse étant les mêmes, la comparaison aussi bien de l'évolution générale en fonction de la profondeur, que des valeurs est possible.

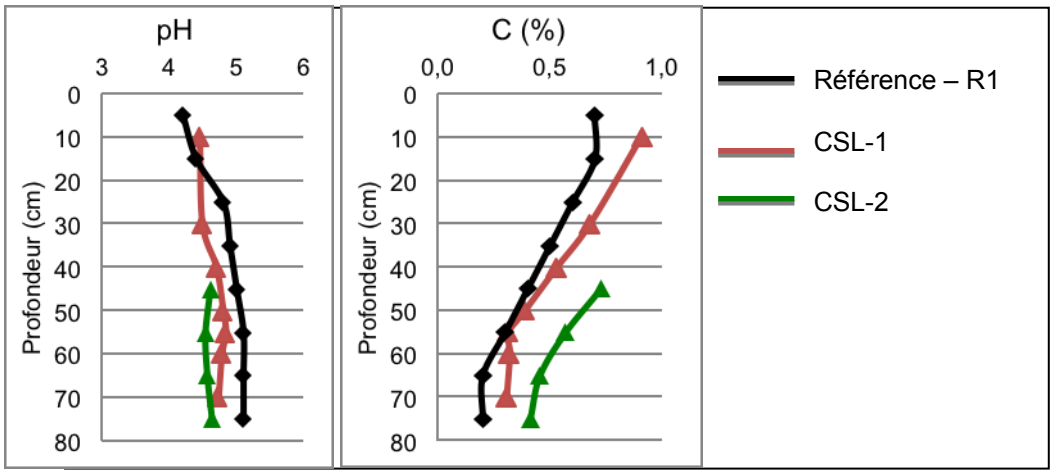
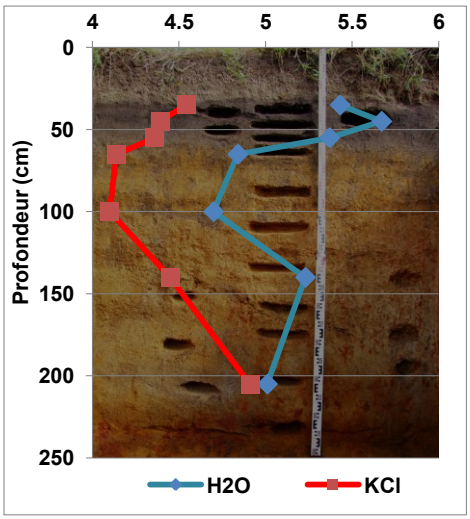


Figure 83 : Évolution, en fonction de la profondeur, du pH et du carbone (%) dans les deux anthroposols CSL-1 et CSL-2, par rapport à un profil de référence (R1).

Le pH a tendance à augmenter légèrement avec la profondeur dans tous les profils. Dans le profil de référence, il présente un palier à 15 cm de profondeur où il augmente d'une unité, alors que dans l'anthroposol CSL-1, le palier est plus bas (entre 30 et 40 cm de profondeur), et l'augmentation moins prononcée, de l'ordre d'une demi-unité environ.



Il est intéressant ici de préciser que selon les résultats des analyses réalisées par D. Todisco sur le site Balaté (Todisco in Briand en préparation), permettant de comparer les méthodes d'obtention du pH, KCl et H_2O, il apparaît que la méthode KCl, utilisée dans R1, tend à donner des valeurs moins élevées, de près d'une unité, que la méthode à l'H_2O (**Figure 84**). Selon ces résultats, on on peut supposer que les anthroposols de CSL sont plus acides, de plus d'une unité, que le sol naturel.

Figure 84 : Comparaison de l'évolution du pH dans le sondage 5 de Balaté, en fonction de la méthode d'analyse utilisée.

Les concentrations en carbone présentent la même évolution dans les trois profils. Elles diminuent graduellement avec la profondeur et semblent se stabiliser entre 60 et 80 cm de profondeur. Globalement, les concentrations en carbone sont légèrement plus importantes dans les anthroposols que dans le profil de référence. La différence est plus importante entre la surface et environ 40 cm de profondeur pour CSL-1. Pour CSL-2, cette différence avec R1 doit également l'être dans les niveaux supérieurs, bien que nous n'ayons pas de mesures, étant donné que ce profil est encore plus riche en carbone que CSL-1 entre 45 et 75 cm de profondeur.

- Evolution des six éléments majeurs (P, Ca, K, Mg, Mn et Fe) dans CSL-1, 2 et R1

En ce qui concerne les six éléments majeurs analysés, les méthodes sont identiques ce qui permet de comparer directement les résultats des concentrations pseudo-totales (en mg/kg).

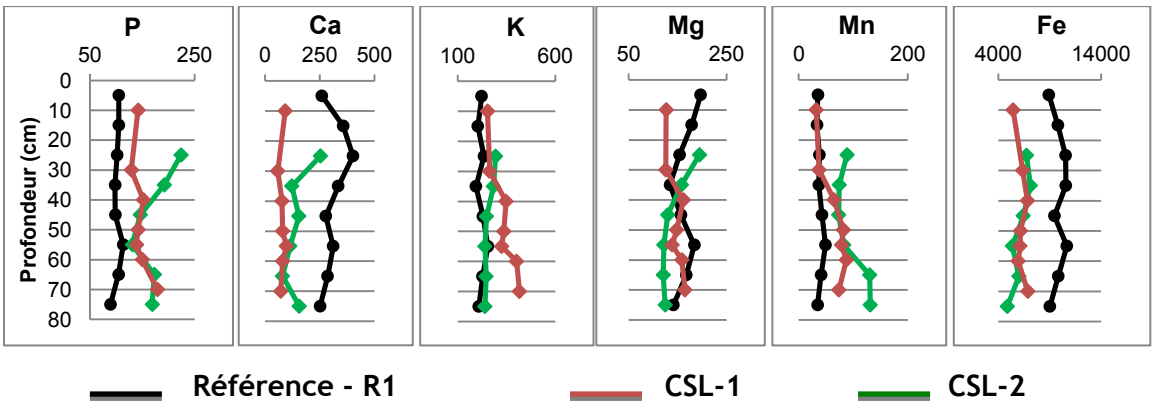


Figure 85 : Graphiques représentant l'évolution des concentrations totales de P, Ca, K, Mg, Mn et Fe, dans CSL-1, CSL-2 et R1, en fonction de la profondeur.

D'après le premier graphique, on voit que les anthroposols étudiés dans ce travail, sont plus riches en phosphore que le profil de référence. CSL-1 est un peu moins riche en phosphore que CSL-2 entre 25 et 40 cm de profondeur, et présente une évolution inverse à R1 à partir de 30 cm de profondeur et jusqu'en bas du profil. A 40 cm de profondeur, les concentrations en phosphore dans CSL-2 se superposent à celles de CSL-1. Les anthroposols présentent des augmentations du phosphore dans le bas de la séquence à la différence de R1.

Dans le second graphique, on s'aperçoit qu'à la différence du phosphore, les concentrations en calcium sont supérieures dans le profil naturel par rapport aux deux anthroposols. CSL-2 est néanmoins encore une fois plus riche en calcium que CSL-1. Ce dernier ne présente pas de variations notables dans l'évolution des concentrations en

calcium le long de la séquence, alors que les concentrations en calcium dans CSL-2 suivent celles de R1 entre 25 et 35 cm de profondeur, puis présentent une évolution inverse à R1 dans le bas du profil. Les concentrations en calcium de CSL-2 rejoignent celles de CSL-1 vers 55 cm de profondeur.

Le troisième graphique, permet de voir que les anthroposols sont légèrement enrichis en potassium par rapport au profil de référence. Dans CSL-1 ces concentrations augmentent avec la profondeur, en formant deux paliers principaux, le premier à 30 cm, le second à 55 cm. Pour CSL-2, ces concentrations rejoignent celles du profil naturel à partir de 45 cm de profondeur.

Concernant le magnésium, d'après le quatrième graphique, on voit qu'entre la surface et 35 cm de profondeur environ, le sol naturel présente des valeurs qui se situent entre CSL-1 et CSL-2, avec CSL-2 qui est le profil le plus concentré en magnésium. Puis, à partir de 35 cm, là où le sol naturel présente une augmentation des concentrations en magnésium, formant un « ventre » jusqu'à 80 cm de profondeur, dans CSL-1 et CSL-2, ces concentrations diminuent en suivant l'évolution inverse de R1. Toutefois, à 80 cm de profondeur les concentrations en magnésium de CSL-2 rejoignent celles du profil naturel, alors que dans CSL-1 elles sont un peu supérieures.

D'après le graphique suivant, les concentrations en manganèse dans le profil naturel ne présentent quasiment pas de variations en fonction de la profondeur. Entre la surface et 30 cm de profondeur, les concentrations dans CSL-1 correspondent aux valeurs de R1, alors que CSL-2 est légèrement plus concentré en manganèse entre 25 et 35 cm. Puis, le premier palier s'observe dans CSL-1 vers 35 cm, où les concentrations augmentent légèrement pour rejoindre celles de CSL-2 jusqu'à environ 55 cm de profondeur, pour se stabiliser ensuite dans CSL-1. Le second palier apparaît alors, dans CSL-2, où les concentrations augmentent jusqu'à 65 cm pour se stabiliser dans le bas du profil.

Enfin, le dernier graphique révèle que les concentrations en fer sont plus importantes dans la séquence naturelle que dans les deux anthroposols, où elles sont à peu près équivalentes. Globalement, les concentrations en fer dans CSL-2 suivent bien la courbe de R1, alors que dans CSL-1, à partir de 40 cm de profondeur, les variations de concentrations semblent inverses par rapport à R1.

- Evaluation de l'enrichissement ou de l'appauvrissement de 29 anthroposols et de CSL-1 et CSL-2 par rapport à R1

Selon Birk & Glaser (in van den Bel 2012), dans le but d'obtenir la signature chimique du sol, et plus particulièrement l'enrichissement ou l'appauvrissement des anthroposols par rapport au profil de référence (R1), il est pertinent de comparer différentes variables mesurées via leur moyenne globale au sein de l'anthroposol. Ceci devrait permettre de s'affranchir des remaniements post-dépositionnels et des processus pédogénétiques postérieurs à l'occupation qui ont pu modifier ces paramètres. Cette visualisation peut alors livrer des informations plus significatives sur les sols anthropisés, en permettant notamment de comparer les profils entre eux, et par là-même différentes zones d'un même site archéologique. Vingt-neuf profils ont été prélevés par J. Birk & B. Glaser dans l'enceinte du site afin de les comparer au profil de référence.

Pour évaluer l'enrichissement / appauvrissement, appelé aussi dérivation relative, de chaque anthroposol par rapport à R1 le calcul suivant a été réalisé pour chaque profil :

$$100 \times {}^{(moyenne\ du\ profil\ considéré\ -\ moyenne\ de\ R1)}/_{moyenne\ de\ R1}$$

Le résultat est ainsi obtenu en %. Les barres vers le haut correspondent aux enrichissements alors que les barres vers le bas marquent les appauvrissements. CSL-1 et CSL-2 sont les deux dernières barres de chaque graphique. Sur chaque graphique, la ligne noire représente la courbe de tendance linéaire d'évolution du paramètre mesuré, plutôt enrichi ou plutôt appauvri, par rapport au sol naturel.

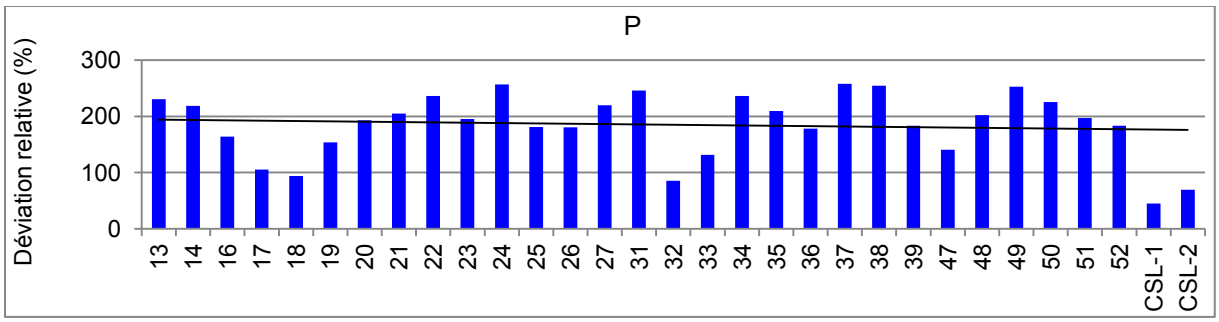


Figure 86 : Déviation relative des concentrations totales en phosphore dans 31 profils d'anthroposol de CSL.

Tous les anthroposols sont enrichis en phosphore par rapport au sol naturel. CSL-1 et 2 sont en-dessous de la courbe de tendance générale.

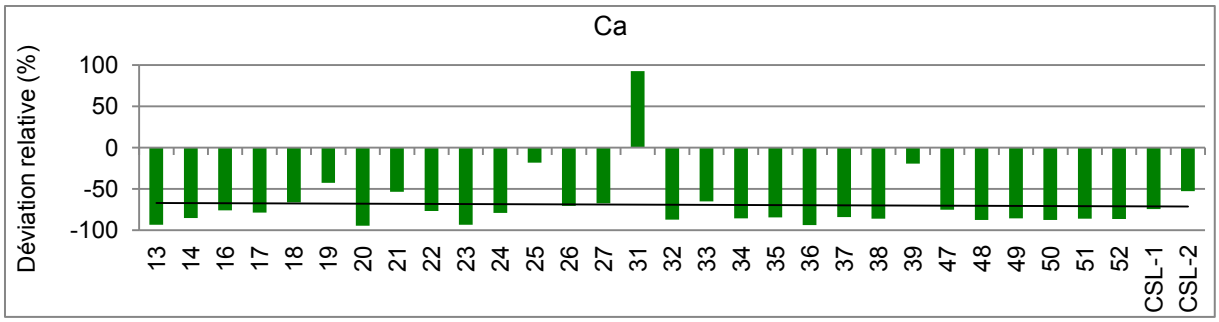


Figure 87 : Déviation relative des concentrations totales en calcium dans 31 profils d'anthroposol de CSL.

Seul un profil, le 31 présente un enrichissement en calcium par rapport au sol naturel. C'est le profil qui est le plus proche de la bordure extérieure du site. CSL-1 et 2 suivent la tendance générale.

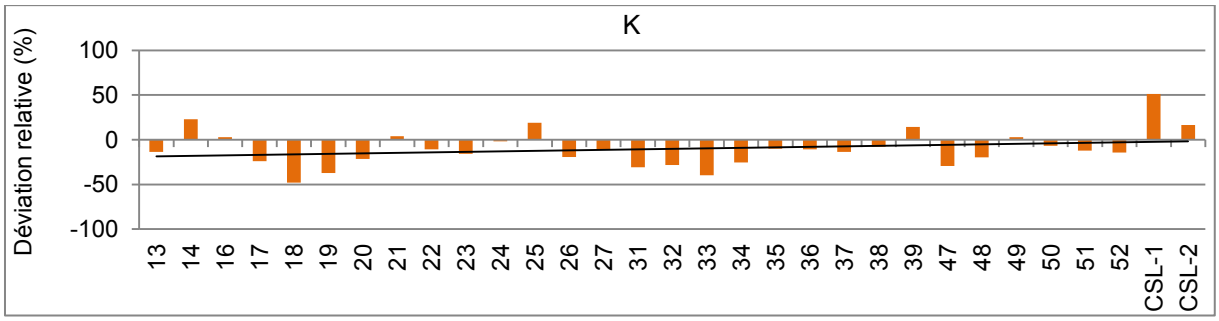


Figure 88 : Déviation relative des concentrations totales en potassium dans 31 profils d'anthroposol de CSL.

Il y a plus de profils anthropiques appauvris en potassium par rapport au sol naturel. Toutefois, CSL-1 et 2 sont enrichis en K. CSL-1 est l'anthroposol le plus enrichi en potassium des 31 anthroposols analysés sur le site.

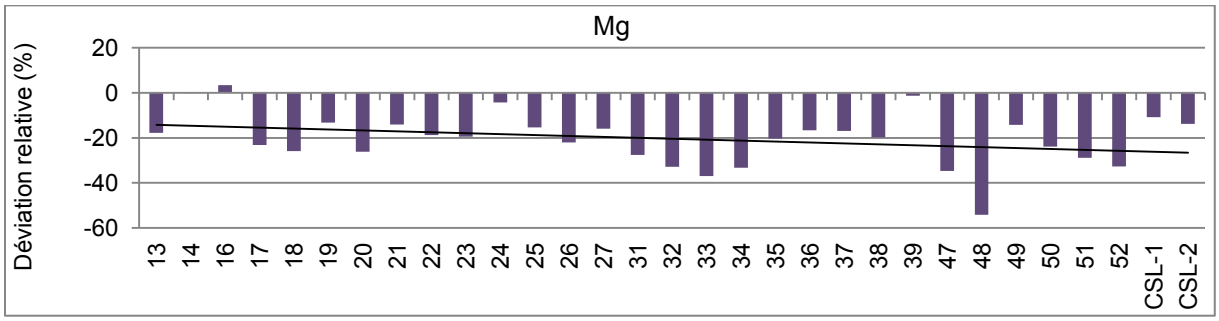


Figure 89 : Déviation relative des concentrations totales en magnésium dans 31 profils d'anthroposol de CSL.

Tous les profils sont appauvris en magnésium par rapport au sol naturel. CSL-1 et 2 suivent la même tendance.

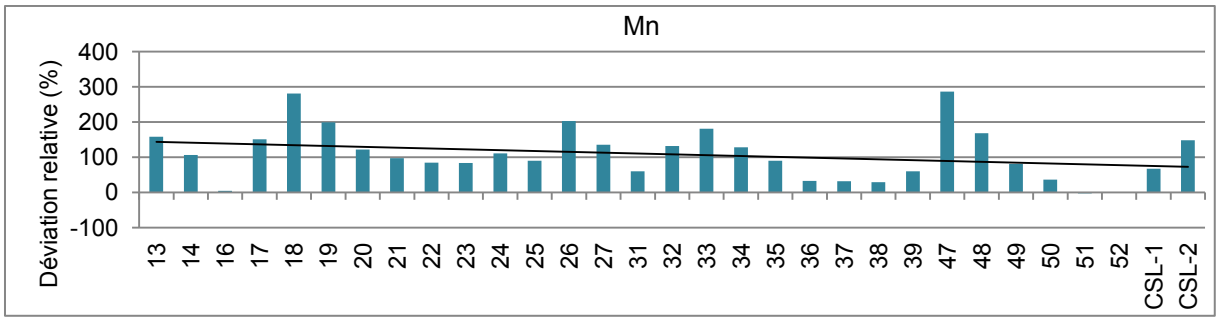


Figure 90 : Déviation relative des concentrations totales en manganèse dans 31 profils d'anthroposol de CSL.

Tous les anthroposols sont enrichis en manganèse par rapport au sol naturel. CSL-1 et 2 suivent la même tendance.

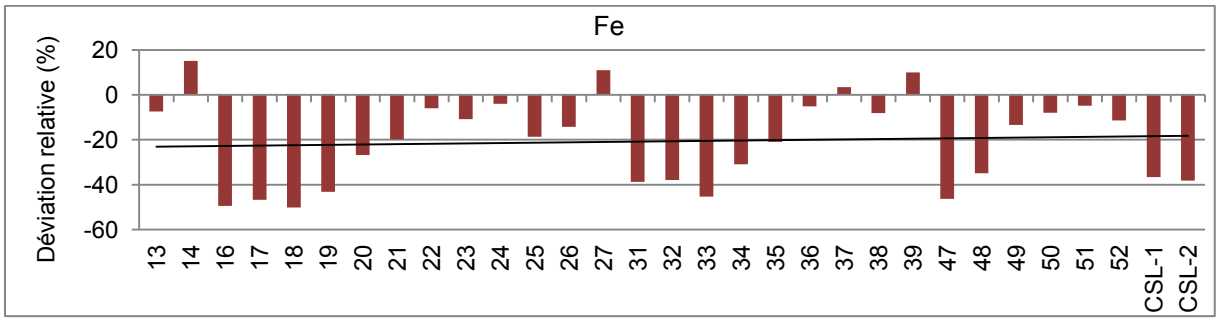


Figure 91 : Déviation relative des concentrations totales en fer dans 31 profils d'anthroposol de CSL.

La majorité des anthroposols sont appauvris en fer. CSL-1 et 2 suivent cette même tendance.

II.3. L'anthroposol archéologique sur le site de Balaté, caractères géoarchéologiques généraux

Rappelons que trois profils complets (1, 2 et 3) ont été prélevés au sein de ce site, des niveaux humifères de surface jusqu'au substrat alluvial stérile en traces archéologiques. Le profil 1 a été prélevé à proximité d'un lambeau d'anthroposol constitué d'un épandage de céramiques fragmentées, non loin du sondage 5 (S5) dans lequel une lame a été analysée. Les profils 2 et 3, situés près d'urnes funéraires, ont été réalisés à l'ouest de la zone de fouille.

II.3.1. Profil BAL-1 et Sondage 5

II.3.1.1. Observations micromorphologiques

Dans BAL-1, huit UMiS ont été définies grâce à la micromorphologie des sols (**Annexe 1 - Planche 13 et Tableaux 36 et 37**). Du haut vers le bas du profil, l'anthroposol se développe au-dessus du substrat alluvial. Sous le microscope, les couches noires anthropisées se divisent en cinq UMiS. Elles se distinguent entre elles par leurs caractères optiques qui diffèrent, associés à des limites plus ou moins nettes. L'UMiS 1, correspond à la partie supérieure de l'anthroposol, avec des caractères optiques qui se rapprochent d'un horizon de surface, liés à l'activité de la faune et de la flore du sol, où la bioturbation a agi sur la distribution des microstructures.

Dans l'UMiS 2, il y a une juxtaposition de plages lavées (éluviation) et de plages agrégées (déjections de la pédofaune). La bioturbation est ici aussi, à l'origine de la distribution des différentes microstructures. La plupart des revêtements argileux observés sont limpides et certains sont microlaminés poussiéreux, en forme de croissant et localisés à la base des pores. Certains sont fissurés. Au sein de l'UMiS 3, l'empoussièrement de la fraction fine augmente, induisant une couleur brun foncé. Les traits pédogénétiques, hyporevêtements ferrugineux et revêtements argileux, sont assez bien représentés dans ce niveau.

La limite entre les UMiS 3 et 4 est marquée par un macrocharbon orienté sub-horizontalement. L'UMiS 4 présente un empoussièrement encore plus important, avec une zone où la masse fine est légèrement plus massive, contenant de nombreux restes végétaux carbonisés pris dans la porosité.

Au sein de l'UMiS 5, des agrégats de sol de couleurs différentes sont juxtaposés, du fait de la bioturbation. Le remaniement biologique du sol est ici important. La limite est assez nette avec l'UMiS 6, du fait d'une diminution de l'empoussièrement et de l'agrégation de la fraction fine. La bioturbation tend à diminuer dans le bas de la séquence.

Cette UMiS contient encore quelques constituants anthropiques comme des macrocharbons et de rares microesquilles d'os très altérées (**Tableau 37**). Elle forme le niveau de transition entre le substrat alluvial et l'anthroposol. La transition avec l'UMiS 7 est assez nette. Les deux UMiS inférieures correspondent globalement au substrat alluvial. L'UMiS 7 présente les premières traces d'anthropisation, en terme chronologique. Il s'agit, ici, principalement de résidus végétaux carbonisés, sous la forme de macrocharbons, assez rares et des poussières microcontrastées dans la masse fine. Cette UMiS se distingue également par la présence de plages microagrégées (enchytraeides). Des sédiments provenant de l'UMiS 8, remontés par l'activité biologique forment des agrégats jaunes avec des argiles biréfringentes, de couleur plus claire que la masse adjacente. Dans cette unité, l'aspect non trié des sables atteste d'un dépôt rapide sans séparation

granulométrique. Les microfissures de la matrice indiquent une alternance humectation-dessiccation. Sa limite avec l'UMiS 8 est diffuse. Cette dernière, en revanche, ne présente plus de traces d'anthropisation. Son aspect massif, riche en fraction argileuse, avec quelques revêtements argileux limpides, contient les caractères optiques typiques du substrat alluvial.

Il est intéressant de noter que, de manière générale, dans ce profil, les revêtements argileux ont principalement été observés dans les horizons anthropiques, à la différence des deux profils de Chemin Saint-Louis, où ils sont localisés dans le bas des séquences, au niveau de la transition (CSL-1 et 2) et du substrat alluvial (CSL-1).

Dans le sondage 5, deux des cinq UMiS de l'anthroposol correspondent altimétriquement aux UMiS 3 et 4 observées dans BAL-1. Elles présentent globalement les mêmes caractères micromorphologiques et les mêmes microconstituants anthropiques (**Tableaux 36 et 37 et Annexe 1 - Planche 14**).

UMAS	UMiS	Horizon/Niveau	Profondeur (cm)	MICROSTRUCTURE						MATRICE				PRINCIPAUX TRAITS PEDOLOGIQUES						
														Biologiques			Argileux		Ferrugineux	
				Type de microstructure	Empoussièrement de la matrice	C/f distribution relative	Porosité	Abondance des vides [b]	Degré d'agrégation	Classement	Fraction grossière	Abondance relative [b]	Fraction fine	Abondance relative [b]	Type d'excrément	Abondance relative [b]	Type	Caractères descriptifs	Abondance relative [b]	Type	Abondance relative [b]
BAL - 1																				
1	1	Anthroposol	15-20	Mag/Ag	●	Ch	Fi/Chm	●	M	Nc	Qz/A	●●●/●	Ar-Li	●	Ench/Geo	●			(●)	N	●
2	2	Anthroposol	20-29	Ma/Mag	●	Ge	Fi	●	P	Nc	Qz/A	●●●/●	Ar-Li	●	Ench	●●	R	L/Ml/P/C	●	N	●
3	3	Anthroposol	29-32	Ma/Mag	●●	Ge	Fi	(●)	M	Nc	Qz/A	●●/●	Ar-Li	●	Ench	●	R	L/Ml/P	●	N/H	●●/●
	4	Anthroposol	32-37	Mag	●●●	Ge	Fi/Chm	●	M	Nc	Q/A	●●/●	Ar-Li	●	Ench	●●	R	L/Ml/C	●	N	●
4	5	Anthroposol	37-43	Ma/Co	●●	Ge	Fi/Chm	●	M	Nc	Qz	●●	Ar-Li	●	Geo	●●	R	L/C	●	N	(●)
	6	Transition	43-50	Mag/MaF	●	En	Fi/Chm	●	M	Pc	Qz	●●	Ar-Li	●	Ench	●	R	L/Ml	●●		(●)
5	7	Substrat alluvial	50-56	Ma/Ag	●	En	Fi/Chm	●	M	Pc	Qz/A	●●/●	Ar	●	Geo	●	Pa		●	N/H	●/●
	8	Substrat alluvial	56-58	Ma	(●)	En	Fi	(●)	P	Pc	Qz/A	●●/●	Ar	●		(●)	R	L	(●)		(●)
Sondage 5																				
3	3	Anthroposol	29-32	Ma/Mag	●●	Ge	Fi/Chm	●	M	Nc	Qz/A	●●/●	Ar-Li	●	Ench	●			●	N	●
	4	Anthroposol	32-37	Mag/Ma	●●●	Ge	Fi/Chm	●	M	Nc	Qz/A	●●/●	Ar-Li	●	Geo	●	R	L	●	N/Imp	(●)/●

Légende (d'après Bullock et al. 1985) :
b = abondance relative en lames minces : (●) = rare ou absent ; ● = un peu / légèrement développé ; ●● = moyen / fréquent / assez développé ; ●●● = important / abondant / bien développé
C/F distribution relative (éléments grossiers par rapport aux éléments fins) = Ch : chitonique ; Ge : gefurique ; En : enaulique
Type de microstructure = Ag : agrégée ; Mag : microagrégée ; Ma : massive ; Co : complexe ; Maf : massive fissurale **Classement** = Pc : peu classé ; Nc : non classé
Degré d'agrégation = P : Peu développé ; M : moyennement développé ; F : fortement développé **Porosité** = Fi : fissurale ; Chm : en chambres
Fraction grossière = Qz : quartz ; A : autres (runiquartz, autres minéraux) **Fraction fine** (fraction dominante) = Ar : argiles ; Li : limons
Traits argileux = R : revêtements ; Pa : papules ; P : poussiéreux - L : limpides ; Ml : microlaminés ; C : en croissant
Traits ferrugineux = N : nodules roulés ; H : hyporevêtements ; Imp : imprégnations **Traits biologiques** = Ench : enchytraeides ; Geo : Géophages

Tableau 36 : Descriptif des UMiS définies par l'observation micromorphologique, profil BAL-1 et S5.

UMaS	UMiS	Horizon/Niveau	Prof. (cm)	Fragments de céramique	Macrocharbons	Phytolithes	Microesquilles d'os	Agrégats rubéfiés
BAL-1								
1	1	Anthroposol	15-20	(●)	(●)	●●	(●)	(●)
2	2	Anthroposol	20-29	(●)	(●)	●●	●	(●)
3	3	Anthroposol	29-32	(●)	(●)	●●	(●)	(●)
	4	Anthroposol	32-37	(●)	●●	●●	●	(●)
4	5	Anthroposol	37-43	(●)	●	●●	●	(●)
	6	Transition	43-50	(●)	●	●	●	(●)
5	7	Substrat alluvial	50-56	(●)	●	●	(●)	(●)
	8	Substrat alluvial	56-58	(●)	(●)	(●)	(●)	(●)
Sondage 5								
3	≈ 3	Anthroposol	29-32	(●)	(●)	●●	●	(●)
	≈ 4	Anthroposol	32-37	(●)	●	●●	(●)	(●)

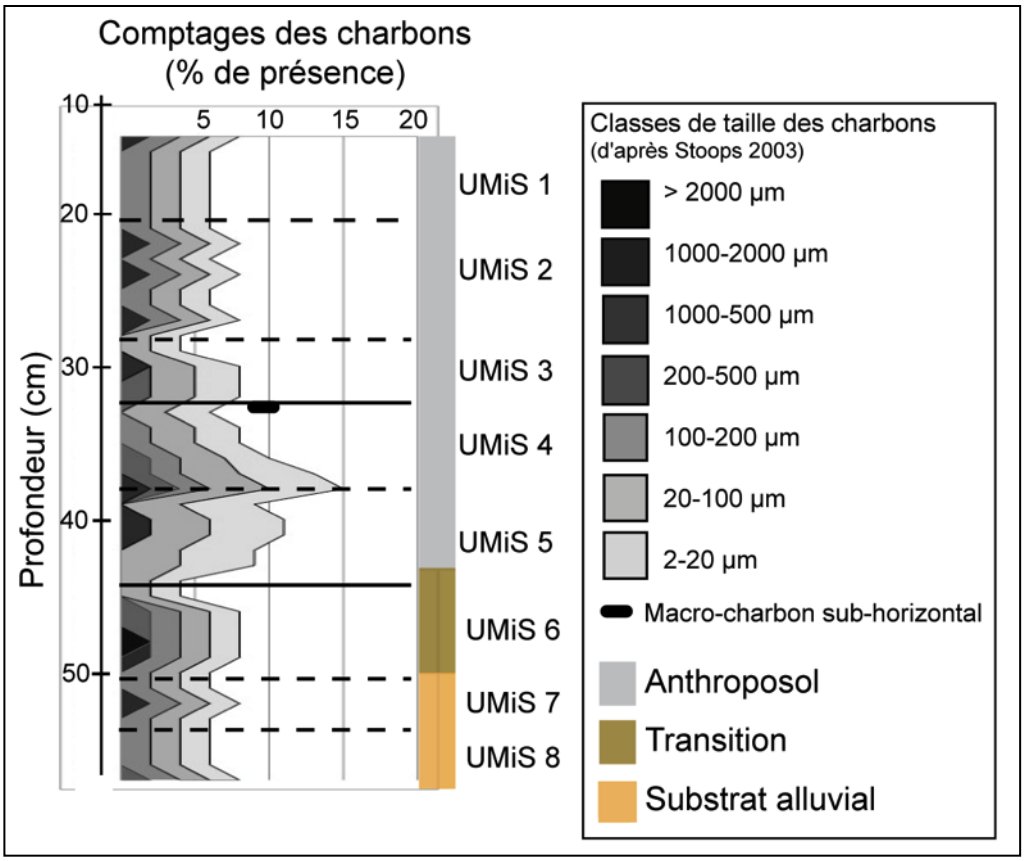
Légende : (●) = absent ; ● = un peu ; ●● = fréquent ; ●●● = abondant.

Tableau 37 : Abondance relative des constituants anthropiques observés en lames minces au sein du profil BAL-1 et S5.

II.3.1.2. Microanthraco séquence dans l'épaisseur du profil BAL-1.

La microanthraco séquence (**Figure 92**) met en évidence trois grands ensembles décrits du haut vers le bas de la séquence. Le premier ensemble s'étend de la surface jusqu'à 32 cm de profondeur environ, avec une moyenne à 8% de charbons et quelques macrocharbons. Le macrocharbon sub-horizontal représenté sur cette figure, forme une limite avec le deuxième ensemble, qui se développe entre 32-43 cm de profondeur. Ici, les taux de charbons augmentent légèrement jusqu'à une moyenne de 10%, avec davantage de macrocharbons. Dans l'ensemble 3 et avec la profondeur, l'abondance des charbons diminue, atteignant une moyenne à nouveau autour de 8%, avec moins de macrocharbons qu'au-dessus. L'aspect irrégulier de ce diagramme témoigne d'intensités différentielles des apports charbonneux sur les 58 cm observés en lames minces.

Ces trois phases concordent globalement avec les UMiS définies. Le premier ensemble correspond aux UMiS 1, 2 et 3, le macrocharbon vers 32 cm de profondeur vient marquer la limite avec le second ensemble, qui regroupe les UMiS 4 et 5, où le pic de charbons, autour de 37 cm de profondeur, à 15%, vient former la limite entre les deux UMiS (en pointillés). En-dessous, la limite entre UMiS 5 et 6 est marquée par une diminution drastique des charbons. Enfin, dans le troisième ensemble, les limites entre les trois UMiS inférieures, 6, 7 et 8 sont plus ou moins marquées par les microvariations charbonneuses (pointillés).



Légende : les limites entre les UMiS sont notées en pointillés et en traits continus. Ces dernières marquent également les limites entre les UMiS qui correspondent à des variations significatives dans l'abondance des charbons.

Figure 92 : Microanthraco séquence du profil BAL-1.

II.3.1.3. Caractères physico-chimiques des sédiments dans l'anthroposol des profils BAL-1 et BAL-S5

Rappelons que les résultats physico-chimiques traités ici sont, en grande majorité, ceux réalisés sur l'échantillonnage de D. Todisco, dans le sondage 5. Les profondeurs considérées s'étendent alors entre 30 et 65 cm (**Tableaux 38 et 39**). Les échantillons de BAL-1 ont permis de mesurer d'autres paramètres complémentaires, comme le $\delta^{13}C$, les concentrations totales des éléments majeurs et la susceptibilité magnétique. Les profondeurs alors considérées s'étendent entre 15 et 45 cm (**Tableaux 38 et 40**).

Les données granulométriques indiquent que cet anthroposol est essentiellement composé de sédiments sableux, avec une moyenne à 73%, inférieure aux profils de Chemin Saint-Louis. Les fractions argileuses et limoneuses sont ainsi plus abondantes, avec des moyennes respectives de 12 et 16 %. On retrouve ici la même tendance que dans CSL-1 où la fraction argileuse est plus abondante dans les sédiments du substrat alluvial, alors que

les sédiments sableux sont plus importants dans l'anthroposol (**Annexe 2**). Le pH témoigne d'un sol acide, bien que la valeur maximum atteint quasiment 6, supérieur d'une unité aux anthroposols analysés à Chemin Saint-Louis. Le rapport C/N présente une étendue importante, avec un maximum dans l'anthroposol, à 30 cm de profondeur, nettement supérieur aux mesures des profils de Chemin Saint-Louis (**Annexe 2**). Le carbone organique reste globalement bas, < 1%. La susceptibilité magnétique est également basse, bien que les trois mesures aient été réalisées dans l'anthroposol. Les trois valeurs du $\delta^{13}C$, provenant de l'anthroposol, sont supérieures à CSL-2, et indiquent une prédominance de plantes de type forestière.

	Argiles	Limons tot	Sables tot	pH	C/N	Corg	S. Mag[2]	$\delta^{13}C$[2]
		(%)		-	-	(%)	($x10^{-9}$ m^3/kg)	(‰)
Min	4	13	65	4,8	17	0,5	99,3	-23,7
Max	17	18	83	5,7	24	0,9	153,9	-21,5
Moy	12	16	73	5,3	20	0,6	131,3	-22,6
ET	6	2	8	0,3	3	0,2	28,5	1,1

Tableau 38 : Statistique descriptive des fractions granulométriques, du pH, du C/N, du carbone organique, de la susceptibilité magnétique et du δC13, dans les profils BAL-1 (n=3) & S5 ([2]n=4).

	Olsen-Dabin (ppm)	Cobaltihéxamine (cmol/kg)							
	P	CEC	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Al
Min	< 5 (< seuil de détection)	1,1	0,49	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,42
Max		1,5	1,24	0,02	0,03	0,03	0,08	0,01	1,99
Moy		1,2	0,89	0,02	0,02	0,02	0,04	0,01	0,96
ET		0,2	0,31	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,73

Tableau 39 : Statistique descriptive des cations échangeables, profil S5 (n=4).

	Eau régale (ppm)								HCl[2] (g/100g)
	Ca	K	Mg	Mn	P	Al	Fe	Na	Fe
Min	57	375	177	52,3	109	22800	12400	40,1	1,1
Max	100	502	211	65,0	113	31900	14300	44,1	2,9
Moy	75	439	193	59,2	111	27200	13033	41,9	1,9
ET	22	63	17	6,4	2	4557	1097	2,0	0,8

Tableau 40 : Statistique descriptive des concentrations totales des éléments, BAL-1 (n=3) & S5 ([2]n=4).

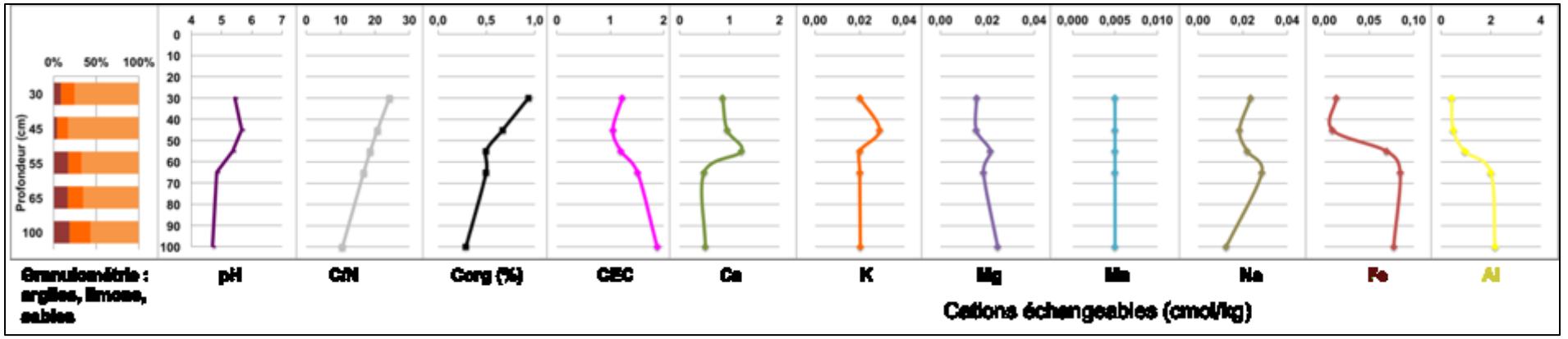


Figure 93 : Évolution des paramètres physico-chimiques analysés, au sein du profil BAL-S5 (entre 30 et 100 cm).

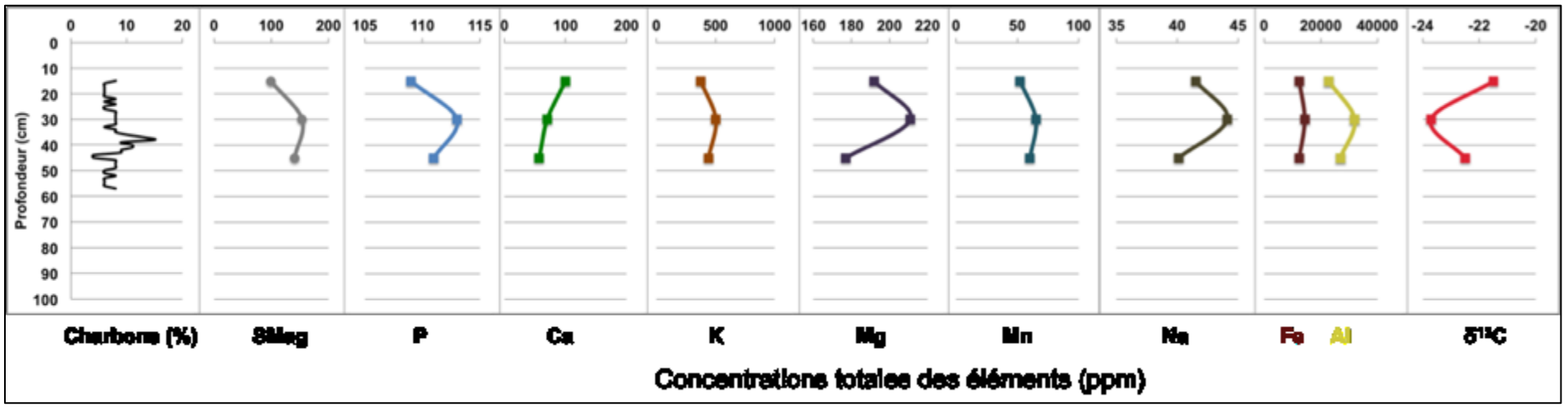


Figure 94 : Évolution des paramètres physico-chimiques mesurés dans le profil BAL-1 (entre 15 et 55 cm de profondeur - anthroposol).

D'après la **figure 93**, la granulométrie, au même titre que dans les profils de CSL, montre que l'anthroposol présente les taux les plus bas de fractions argileuse et limoneuse avec un minimum à 50 cm de profondeur. Cette fraction fine tend à augmenter vers le bas du profil dans le substrat alluvial.

Ici, le carbone organique et le rapport C/N suivent la même évolution dans le profil, en diminuant avec la profondeur, à la différence de ce qui a été observé à CSL. En revanche, ces paramètres semblent suivre des tendances inverses aux taux d'argile, à la CEC et aux concentrations en aluminium libre et fer total, qui augmentent avec la profondeur. L'évolution globale des paramètres mesurés dans le sondage 5 montre que l'anthroposol se distingue des couches sus et sous-jacentes par un appauvrissement de la CEC, mais aussi un enrichissement relatif en certains cations échangeables : en calcium, potassium et magnésium, parfois légèrement décalés vers le bas par rapport à l'anthroposol (**Figure 93**)

Selon la **figure 94**, dans BAL-1 il apparaît que la susceptibilité magnétique, ainsi que la majorité des éléments totaux tels que phosphore, potassium, magnésium, manganèse, sodium, fer et aluminium tendent à augmenter au coeur de l'anthroposol, ce qui se corrèle avec le pic le plus important de charbons dans la microanthraco séquence. Le $\delta^{13}C$ diminue de 2 unités à cet endroit également.

II.3.2. Profil BAL-2

II.3.2.1. Observations micromorphologiques

L'analyse micromorphologique a permis de discriminer sept UMiS dans ce profil (**Annexe 1 - Planche 15 et Tableaux 41 et 42**).

L'UMiS 1 correspond au remblai actuel, constitué de plages assez massives brunes empoussiérées, juxtaposées à des plages plus jaunes grises, avec quelques cailloutis. Sa microstructure compacte et massive est liée aux engins modernes qui ont tassés, compactés le sol. Les revêtements et les intercalations argileuses sont assez fréquents dans ce niveau.

L'anthroposol correspond à l'horizon noir observé sur le terrain. Il se décline, ici, en trois microunités stratigraphiques superposées qui présentent un empoussièrement de la fraction fine assez important. La première, UMiS 2, contient quelques plages massives jaunes de l'UMIS 1 assez éparses qui subsistent. Elle constitue la partie supérieure de l'anthroposol, remaniée et tronquée par les travaux modernes. Quelques revêtements argileux limpides sont visibles ici. La transition avec l'UMiS 3 se repère assez aisément car la masse fine est caractérisée par des plages brun foncé assez compactes où la porosité est peu développée, juxtaposées à quelques plages sub-verticales complètement lavées, où la porosité est alors très développée.

Dans l'UMiS 3, l'empoussièrement de la fraction fine est important, conférant une couleur brun foncé à la matrice. Les revêtements argileux sont très rares, et sont globalement orientés vers le bas, formant un enrobage autour des grains de quartz qui bordent la porosité. La bioturbation y est assez développée, mais paraît ancienne. Elle forme des zones de concentration de la fraction fine tassées, avec effondrement ou compaction des déjections de la faune du sol. Dans cette UMiS, un agrégat de sol rubéfié (orange en LOI, par rapport à la masse fine jaune adjacente) est visible (**Annexe 1 - Planche 8 : G et G' - Tableau 42**).

L'UMiS 4 est caractérisée par une masse fine brun foncé, assez compacte, avec une très faible porosité. Les constituants anthropiques tels que le fragment de céramique (à 60 cm de profondeur), ainsi que les microesquilles d'os, sont un peu plus représentés ici (**Annexe 1 - Planche 8 : D, et Planche 16 et Tableau 42**). Les revètements argileux sont plus fréquents qu'au dessus, et les figures de remplissage ferrugineux apparaissent dans la microporosité.

L'UMiS 5 forme la transition inférieure de l'anthroposol avec le substrat alluvial. Une juxtaposition d'agrégats jaunes sub-anguleux assez massifs, certains basculés, sertis dans la masse fine brun foncé, est visible dans cette UMiS. Ces agrégats proviennent du substrat alluvial, ils ne sont ni homogénéisés, ni remaniés par l'activité biologique, et ils contiennent des revêtements argileux jaunes limpides (**Annexe 1 - Planche 2-E**). De par leur forme, leur structure pédologique préservée, et leur place dans le profil par rapport au substrat apparent (présent environ 15 cm au-dessus du substrat), ils ne peuvent pas avoir été remontés par la pédofaune.

La limite avec l'UMiS 6 réside essentiellement dans une diminution nette de l'empoussièrement de la matrice. Dans l'UMiS 6, la microstructure est assez massive, et les zones de remplissage dans la microporosité de la matrice sont fréquentes. Les revêtements argileux limpides et microlaminés poussiéreux sont plus abondants que les niveaux sus-jacents. La dynamique pédo-sédimentaire du substrat alluvial est visible dans ce niveau, associée à des traces ténues de l'occupation (plages brunes et revêtements empoussiérés). Dans l'UMiS 7, les grains de quartz semblent globalement orientés sub-verticalement, trait sédimentaire témoin de la dynamique alluviale (montée des eaux), dans une masse compacte microfissurée jaune. Les revêtements argileux, ainsi que les hyporevêtements ferrugineux en remplissage sont, ici aussi, assez développés. Les revêtements argileux poussiéreux n'apparaissent plus à cette profondeur.

UMaS	UMiS	Horizon/Niveau	Profondeur (cm)	MICROSTRUCTURE							MATRICE			PRINCIPAUX TRAITS PEDOLOGIQUES						
														Biologiques		Argileux			Ferrugineux	
				Type de microstructure	Empoussièrement de la matrice	C/f distribution relative	Porosité	Abondance des vides [b]	Degré d'agrégation	Classement	Fraction grossière	Abondance relative [b]	Fraction fine	Abondance relative [b]	Type d'excrément	Abondance relative [b]	Type	Caractères descriptifs	Abondance relative [b]	Type	Abondance relative [b]
1	1	Remblai moderne	40-48	Ma/Ag	●	Ch/Ge	Fi	●	P	Nc	Qz/A	●●/●	Ar-Li	●	Ench	●	Int/R	Ml/L/C	●●		●
2	2	Anthroposol	48-51	Ma/Ag	●●	En	Fi	(●)	P	Nc	Qz	●●●	Ar-Li	●	Ench	●	R	L	●		(●)
3	3	Anthroposol	51-56	Mag	●●●	En	Fi	(●)	P	Nc	Qz	●●●	Ar-Li	●	Ench	●●			(●)		(●)
	4	Anthroposol	56-67	Ma	●●	En	Fi	(●)	P	Nc	Qz/A	●●	Ar-Li	●		(●)	R/Pa		●●	N/Rem	●/●
4	5	Transition	67-70	Ma	●	En	Fi/Chm	●	M	Pc	Qz/A	●●/●	Ar-Li	●	Geo	●	R/Pa	Ml/L/P	●	N	●
5	6	Substrat alluvial	70-88	Ma	(●)	En	Chm	(●)	P	Pc	Qz/A	●●/●●	Ar-Li	●●	Geo	(●)	R/Pa	Ml/L/P	●●	N/Rem	●●/●●
	7	Substrat alluvial	88-100	Ma	(●)	En	Chm	●	M	Pc	Qz/A	●●/●●	Ar	●●		(●)	Pa/R	Ml/L/C	●●	N/Rem/H	●●/●●

Légende (d'après Bullock et al. 1985) :
b = abondance relative en lames minces : (●) = rare ou absent ; ● = un peu / légèrement développé ; ●● = moyen / fréquent / assez développé ; ●●● = important / abondant / bien développé
Type de microstructure = Ag : agrégée ; Ma : massive
C/F distribution relative (éléments grossiers par rapport aux éléments fins) = Ch : chitonique ; Ge : gefurique ; En : enaulique
Porosité = Fi : fissurale ; Chm : en chambres
Degré d'agrégation = P : peu développé ; M : moyennement développé
Fraction grossière = Qz : quartz ; A : autres (runiquartz, autres minéraux)
Fraction fine (fraction dominante) = Ar : argiles ; Li : limons
Traits biologiques (excrémentaux) = Ench : enchytraeides ; Geo : géophages
Classement = Pc : peu classé ; Nc : non classé
Traits argileux = R : revêtements ; Int : intercalation ; Pa : papules - P : poussiéreux - L : limpide ; Ml : microlaminé ; C : en croissant
Traits ferrugineux = N = nodules ; Rem : remplissage ; H : hyporevêtements

Tableau 41 : Descriptif des UMiS définies par l'observation micromorphologique, BAL-2.

UMaS	UMiS	Horizon/Niveau	Prof. (cm)	Fragments de céramique	Macrocharbons	Phytolithes	Microesquilles d'os	Agrégats rubéfiés
1	1	Remblai moderne	40-48	(●)	(●)	●	(●)	(●)
2	2	Anthroposol	48-51	(●)	●●	●	(●)	(●)
3	3	Anthroposol	51-56	(●)	●	●●	(●)	●
	4	Anthroposol	56-67	●	(●)	●●	●	(●)
4	5	Transition	67-70	(●)	(●)	●	(●)	(●)
5	6	Substrat alluvial	70-88	(●)	(●)	●	(●)	(●)
	7	Substrat alluvial	88-100	(●)	(●)	●	(●)	(●)

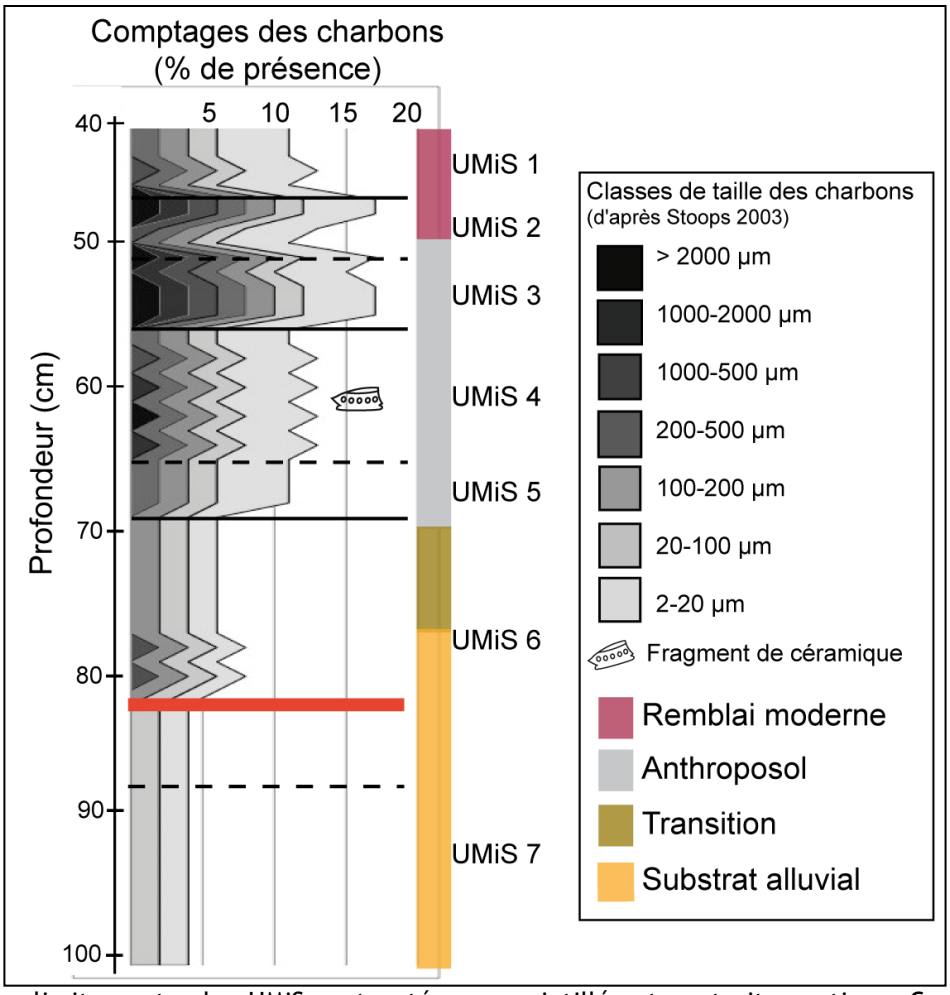
Légende : (●) = absent ; ● = un peu ; ●● = fréquent ; ●●● = abondant.

Tableau 42 : Abondance relative des constituants anthropiques observés en lames minces au sein du profil BAL-2.

II.3.2.2. Microanthraco séquence dans l'épaisseur du profil BAL-2.

Les charbons comptabilisés en lames minces au sein de ce profil évoluent globalement en diminuant avec la profondeur, en présentant, du haut vers le bas, cinq ensembles de concentrations charbonneuses (**Figure 95**). Le premier ensemble sur les 5 premiers centimètres du profil, contient environ 10% de charbons. En-dessous, le niveau le plus concentré du profil, avec plus de 15% de charbons, s'étend jusqu'à 55 cm de profondeur environ. Entre 55-70 cm de profondeur, le troisième ensemble correspond à l'horizon avec la céramique. Il présente une moyenne de 12% de charbons. À partir de 70 cm de profondeur, la concentration en charbons diminue pour atteindre 5%. Enfin, à 80 cm de profondeur, dans le dernier ensemble, une légère augmentation de la fraction charbonneuse, atteignant 8% environ, marque la limite avec l'ensemble inférieur qui s'étend jusqu'au bas du profil.

Ces ensembles correspondent globalement aux limites discriminées en lames minces. Le premier ensemble correspond à l'UMiS 1, le second regroupe les UMiS 2 et 3, le troisième correspond aux UMiS 4 et 5, le quatrième représente la moitié supérieure de l'UMiS 6, et le cinquième ensemble comprend la partie basale de l'UMiS 6 et l'UMiS 7.



Légende: les limites entre les UMiS sont notées en pointillés et en traits continus. Ces dernières marquent les limites également définies par les comptages de charbons. Le trait rouge correspond à une limite observée par les abondances des charbons, mais non observée en terme de microstratigraphie structurale, ne donnant pas lieu à une UMiS à part entière. La céramique est décrite dans la Annexe 1 - Planche 16 et dans l'Annexe 3.

Figure 95 : Microanthraco séquence du profil BAL-2.

II.3.3. Profil BAL-3

II.3.3.1. Observations micromorphologiques

Six UMiS ont été définies par la micromorphologie des sols dans ce profil (**Tableaux 43 et 44 et Annexe 1 - Planche 17**). Les trois UMiS supérieures qui forment l'anthroposol présentent des caractères optiques assez similaires.

La première, l'UMiS 1, a une porosité plus développée que dans le reste de la séquence, très certainement due aux remaniements modernes du sol, qui ont tronqué la partie supérieure de l'anthroposol. La limite entre les UMiS 1 et 2 est matérialisée par la présence d'un fragment de céramique orienté sub-horizontalement dans les sédiments (**Annexe 1 - Planche 18 et Tableau 44**). L'UMiS 2 présente une matrice brun foncé, liée à un empoussièrement assez développé. Plusieurs macrocharbons ont été observés ici (par

exemple deux dont les dimensions sont : 0,6 x 0,4 cm et 0,3 x 0,2 cm). Quelques remplissages ferrugineux dans la microporosité de la matrice apparaissent ici.

Dans l'UMiS 3 la matrice est brun foncé à brun clair par endroits, assez massive, avec très peu de porosité, sauf dans certaines zones lavées. Les remplissages ferrugineux sont toujours présents. Des excréments de faune effondrés sont visibles. La zone de transition entre les niveaux noirs anthropiques et le substrat alluvial est représentée par l'UMiS 4.

Dans cette UMiS, la matrice est essentiellement jaune à grise, assez massive à microagrégée par endroits, présentant des plages jaunes de plus en plus nombreuses en descendant dans le profil. Ces dernières proviennent du substrat alluvial sous-jacent. Les remplissages ferrugineux dans la microporosité, ainsi que les revêtements argileux sont plus abondants à partir de ce niveau et jusque dans le bas de séquence. Ce sont principalement des revêtements argileux poussiéreux qui apparaissent dans ce niveau, sous l'anthroposol.

À la base de la séquence, deux UMiS caractérisent le substrat alluvial sous-jacent, comme dans BAL-2. L'UMiS 5 présente une diminution légère des plages empoussiérées de fines. Les revêtements argileux poussiéreux sont moins abondants par rapport aux limpides jaunes. L'UMiS 6 est pourvue une masse fine jaune à grise, avec une microstructure assez massive à microagrégée entre les grains de quartz. La porosité assez développée est notamment liée aux chenaux de la pédofaune. Les nombreux revêtements argileux sont jaunes limpides.

UMaS	UMiS	Horizon/Niveau	Profondeur (cm)	MICROSTRUCTURE							MATRICE			PRINCIPAUX TRAITS PEDOLOGIQUES						
														Biologiques		Argileux			Ferrugineux	
				Type de microstructure	Empoussièrement [b]	C/f distribution relative	Porosité	Abondance des vides [b]	Degré d'agrégation	Classement	Fraction grossière	Abondance relative [b]	Fraction fine	Abondance relative [b]	Type d'excrément	Abondance relative [b]	Type	Caractères descriptifs	Abondance relative [b]	Type	Abondance relative [b]
2	1	Anthroposol	40-45	Mag	●	Ch	Chm	●●	F	Nc	Qz/A	●●●/●	Ar-Li	●	Ench	●●			(●)	N	●
3	2	Anthroposol	45-56	Ma/Mag	●●	Ch	Fi/Chm	●	M	Nc	Qz/A	●●●/●	Ar-Li	●	Ench	●●●			(●)	N/Rem	●/●
4	3	Anthroposol	56-69	Ma	●●	En		(●)	P	Nc	Qz/A	●●●/●	Ar-Li	●	Ench	●	Pa		●	N/Rem	●/●
5	4	Transition	69-80	Ma/Mag	●●	En	Fi	(●)	P	Pc	Qz/A	●●●/●	Ar-Li	●		●	Pa/R	Ml/L/P	●●	N/Rem	●/●●
6	5	Substrat alluvial	80-89	Ma	●	En	Fi	●	M	Pc	Qz/A	●●●/●	Ar-Li	●		●	R	L/P	●●	N/Rem	●/●●
	6	Substrat alluvial	89-100	Ma/Mag	(●)	En	Fi	●	M	Pc	Qz/A	●●/●	Ar	●●		●	R	L	●●	N/Rem	●/●●

Légende (d'après Bullock et al. 1985) :
b = abondance relative en lames minces : (●) = rare ou absent ; ● = un peu / légèrement développé ; ●● = moyen / fréquent / assez développé ; ●●● = important / abondant / bien développé
Type de microstructure = Mag : massive agrégée ; Ma : massive
C/F distribution relative (éléments grossiers par rapport aux éléments fins) = Ch : chitonique ; En : enaulique
Degré d'agrégation = P : peu développé ; M : moyennement développé ; F : fortement développé **Porosité** = Fi : fissurale ; Chm : en chambres
Fraction grossière = Qz : quartz ; A : autres (runiquartz, autres minéraux)
Fraction fine (fraction dominante) = Ar : argiles ; Li : limons **Traits biologiques** (excrémentaux) = Ench : enchytraeides
Classement = Pc : peu classé ; Nc : non classé **Traits argileux** = R : revêtements ; Pa : papules - P : poussiéreux ; L : limpide ; Ml : microlaminé **Traits ferrugineux** = N : nodules ; Rem : remplissage

Tableau 43 : Descriptif des UMiS définies par l'observation micromorphologique, BAL-3.

UMaS	UMiS	Horizon/Niveau	Prof. (cm)	Fragments de céramique	Macrocharbons	Phytolithes	Microesquilles d'os	Agrégats rubéfiés
2	1	Anthroposol	40-45	(●)	(●)	●	●	(●)
3	2	Anthroposol	45-56	●	(●)	●●	●	(●)
4	3	Anthroposol	56-69	(●)	●	●●●	(●)	●
5	4	Transition	69-80	(●)	●	●●	(●)	(●)
6	5	Substrat alluvial	80-89	(●)	(●)	●	(●)	(●)
	6	Substrat alluvial	89-100	(●)	(●)	●	(●)	(●)

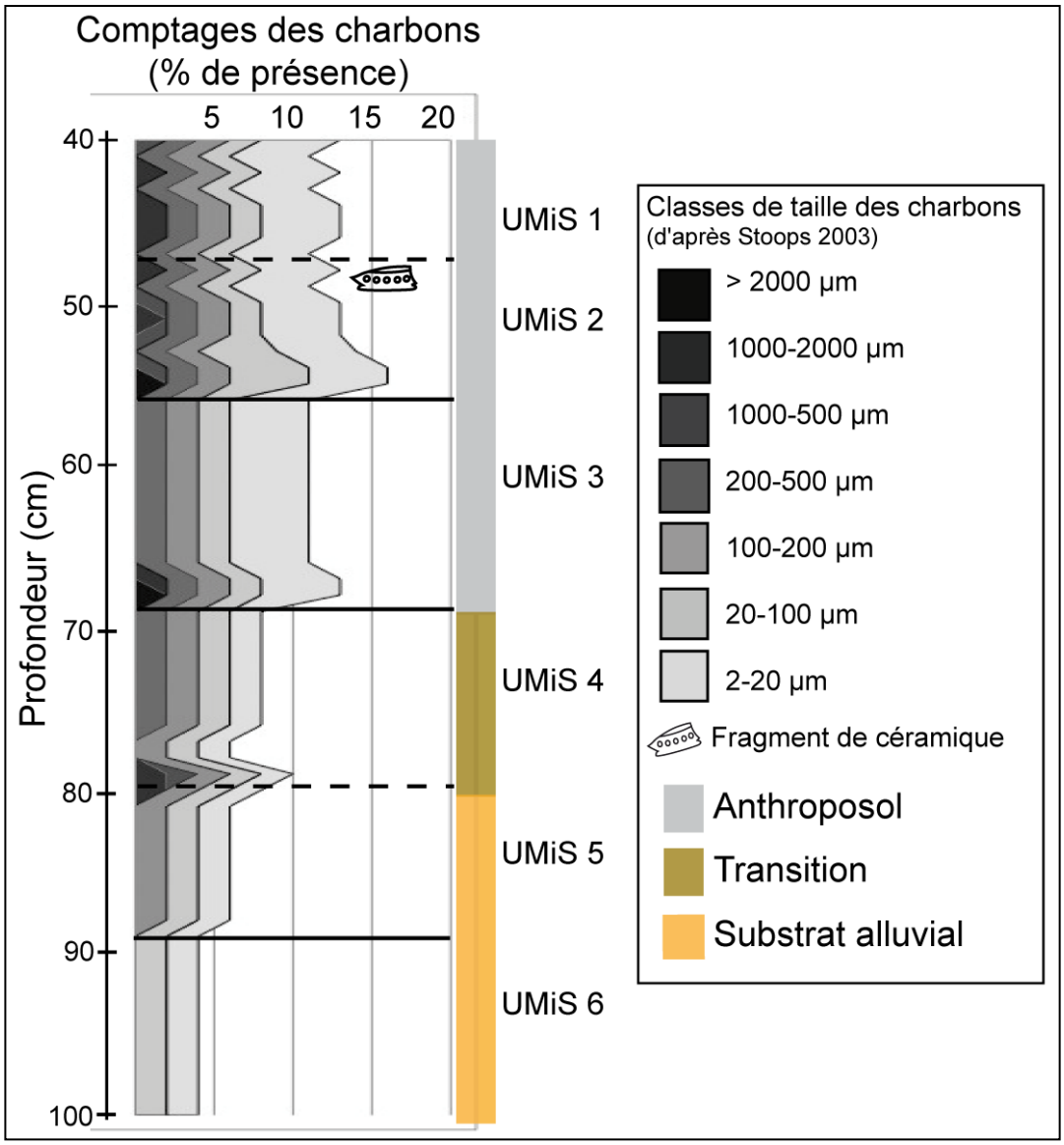
Légende : (●) = absent ; ● = un peu ; ●● = fréquent ; ●●● = abondant.

Tableau 44 : Abondance relative des constituants anthropiques observés en lames minces, profil BAL-3.

II.3.3.2. Microanthraco séquence dans l'épaisseur du profil BAL-3.

D'après les comptages, il apparaît globalement une diminution de concentration des charbons dans le profil avec la profondeur. Quatre ensembles principaux ont été discriminés du haut vers le bas de la séquence. Le premier, entre 40-55 cm de profondeur, présente une moyenne d'environ 14% de charbons. Des microvariations dans l'abondance des charbons sont visibles sur toute l'épaisseur de ce premier ensemble. Le second ensemble s'étend entre 55-70 cm, avec une concentration de charbons qui atteint 12%. Quelques macrocharbons ont été repérés un peu au-dessus de 70 cm de profondeur. Entre 70-89 cm, les charbons diminuent pour atteindre 8%. Enfin, vers 89 cm de profondeur, la quantité de charbons diminue en dessous de 5%, avec essentiellement des macrocharbons assez émoussés.

Ces quatre ensembles charbonneux se corrèlent aux UMiS. Le premier comprend les UMiS 1 et 2, la limite avec le second ensemble est marquée par un pic de charbons, à plus de 15%. Ce second ensemble correspond à l'UMiS 3, le troisième aux UMiS 4 et 5, et le dernier ensemble à l'UMiS 6.



Légende : les limites entre les UMiS définies par l'observation micromorphologique sont en pointillées et en traits continus lorsqu'elles sont également discriminées par les comptages de charbons. Le fragment de céramique correspond à la Annexe 1 - Planche 18 et est décrit dans l'Annexe 3.

Figure 96 : Microanthraco séquence du profil BAL-3.

II.4. Analyse statistique multivariée des résultats physico-chimiques (ACP)

II.4.1. Paramètres non sélectionnés pour l'ACP

La susceptibilité magnétique, ainsi que le $\delta^{13}C$, n'ayant pas été mesurés de manière systématique pour chaque échantillon de sol, ces paramètres ne sont pas pris en compte dans l'ACP. Le dosage total des éléments majeurs n'a pas non plus été utilisé dans les ACP.

II.4.2. Paramètres sélectionnés pour l'ACP

Au total, 17 paramètres ont été testés dans ces analyses statistiques:

- Paramètres granulométriques : Arg= argiles ; Ltot = limons totaux ; Stot = sables totaux ;
- pH ;
- Taux de matières organiques : Corg = carbone organique ; C/N ;
- Réserves nutritives : CEC et cations échangeables, P = phosphore, Ca = calcium, K = potassium, Mg = magnésium, Mn = manganèse, Na = sodium, Fe = fer et Al = aluminium ;
- Caractères micromorphologiques : CB = charbons et CE = céramiques.

II.4.3. Substrat alluvial vs anthroposols

20 individus, sur les deux sites archéologiques de la plaine alluviale du Maroni, CSL et BAL ont été considérés dans ces ACP. Ces individus correspondant aux échantillons de sols en vrac prélevés sur le terrain, ils ont été classés par horizon, « substrat alluvial » et « anthroposol », permettant de mettre en évidence les grandes tendances propres à chacun (M. Germain com. pers.) (Annexe 5 : 1). Les individus ne sont pas individualisés sur cette ACP car c'était la différence globale qui existe entre « anthroposol » et « substra alluvial » que l'on souhaitait mettre en évidence, plutôt que la contribution de chaque individu.

Sur la **figure 97**, l'axe 1 horizontal fourni 37% de l'information, et l'axe 2 vertical en fourni 21%, soit près de 60% de la variabilité des données. L'axe 1 correspond aux deux pôles de la granulométrie, avec à droite les sables, et à gauche les limons et les argiles. Il est également défini à droite par les facteurs anthropiques que sont les charbons (CB) et les céramiques (CE), qui s'opposent à la CEC et au magnésium. L'axe 2 quant à lui reflète d'un côté les matières organiques, avec le Corg et le C/N vers le bas, qui s'opposent aux concentrations en fer et aluminium libres.

Cette première visualisation de l'ACP, selon les plans principaux 1-2, témoigne d'une différence assez nette entre le substrat alluvial et les anthroposols des deux sites. Le substrat alluvial est essentiellement défini par la fraction argileuse, les ions fer et aluminium, et dans une moindre mesure, par les limons totaux, la CEC et le magnésium. L'anthroposol en revanche est assez opposé au substrat, caractérisé par les sables totaux, les taux de matières organiques (Corg et C/N), ainsi que le reste des cations pris individuellement, le pH, et les charbons et céramiques. Toutefois la CEC est assez mal représentée dans cette configuration Axe 1-2 par rapport aux cations pris individuellement (trait de la CEC plus petit que celui des cations tels que calcium, phosphore et sodium).

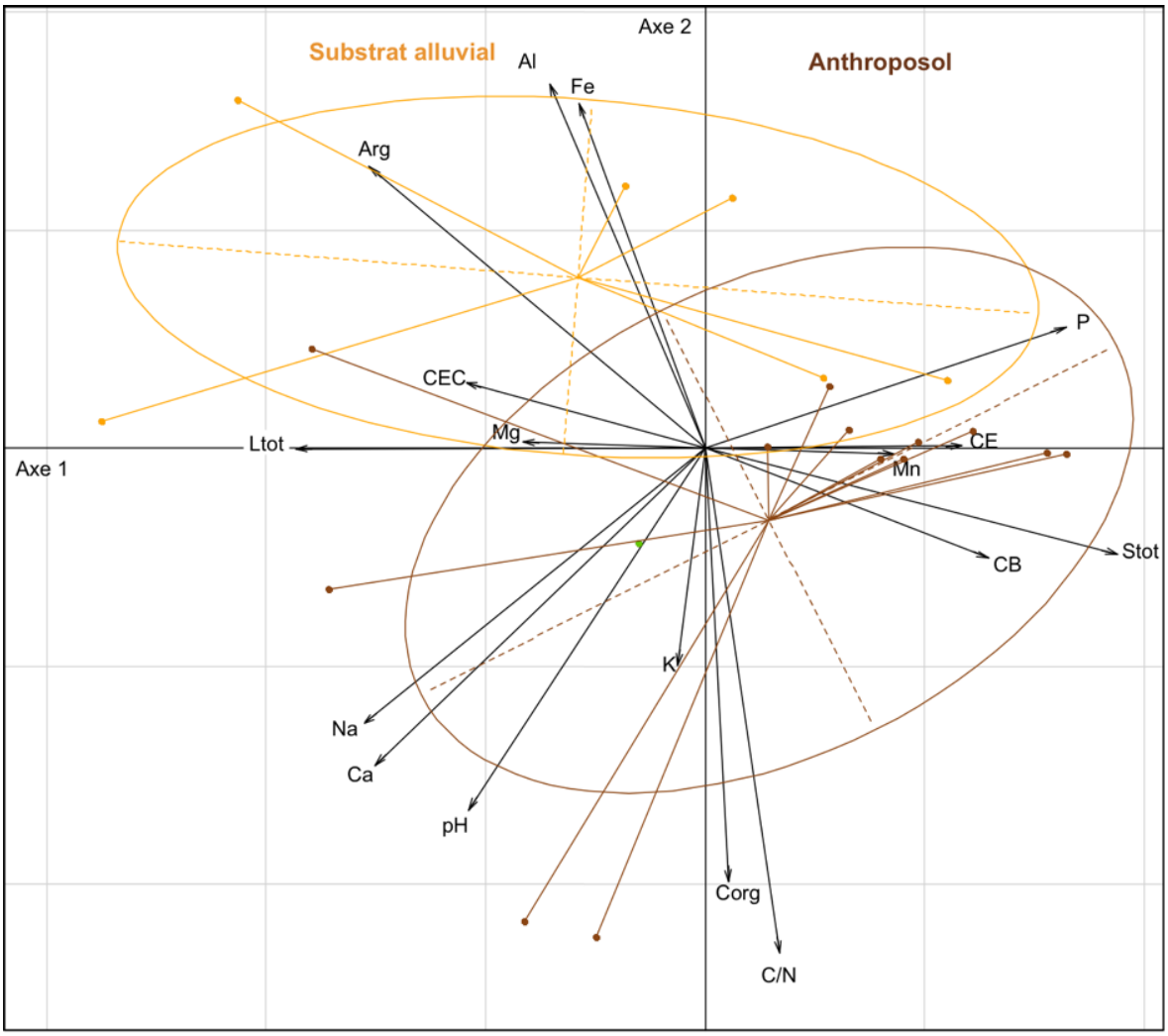


Figure 97 : ACP selon les plans 1-2, représentant les horizons anthropiques et le substrat alluvial.

En considérant également l'axe 3 (vertical), **figure 98**, défini par le magnésium vers le bas, on explique alors 72% de la variabilité des données. Selon ce plan, on voit à nouveau que le substrat alluvial est caractérisé par les taux d'argile, de fer et d'aluminium. L'anthroposol est essentiellement caractérisé par le C/N, le pH, le calcium, ainsi que les sables totaux.

La mise en commun de l'observation de ces deux visualisations de l'ACP permet de dire, d'une part, que le substrat de la basse terrasse Holocène du Maroni se caractérise essentiellement par la fraction argileuse, ainsi que par ses concentrations en ions fer et aluminium libres. Ces paramètres sont très fortement liés à la pédogénèse naturelle. D'autre part, les anthroposols sont définis par une fraction granulométrique plus sableuse, ainsi que par un rapport C/N, et des concentrations en calcium et sodium échangeables plus importantes. Le pH est un facteur déterminant de l'anthroposol uniquement pour le site de Balaté.

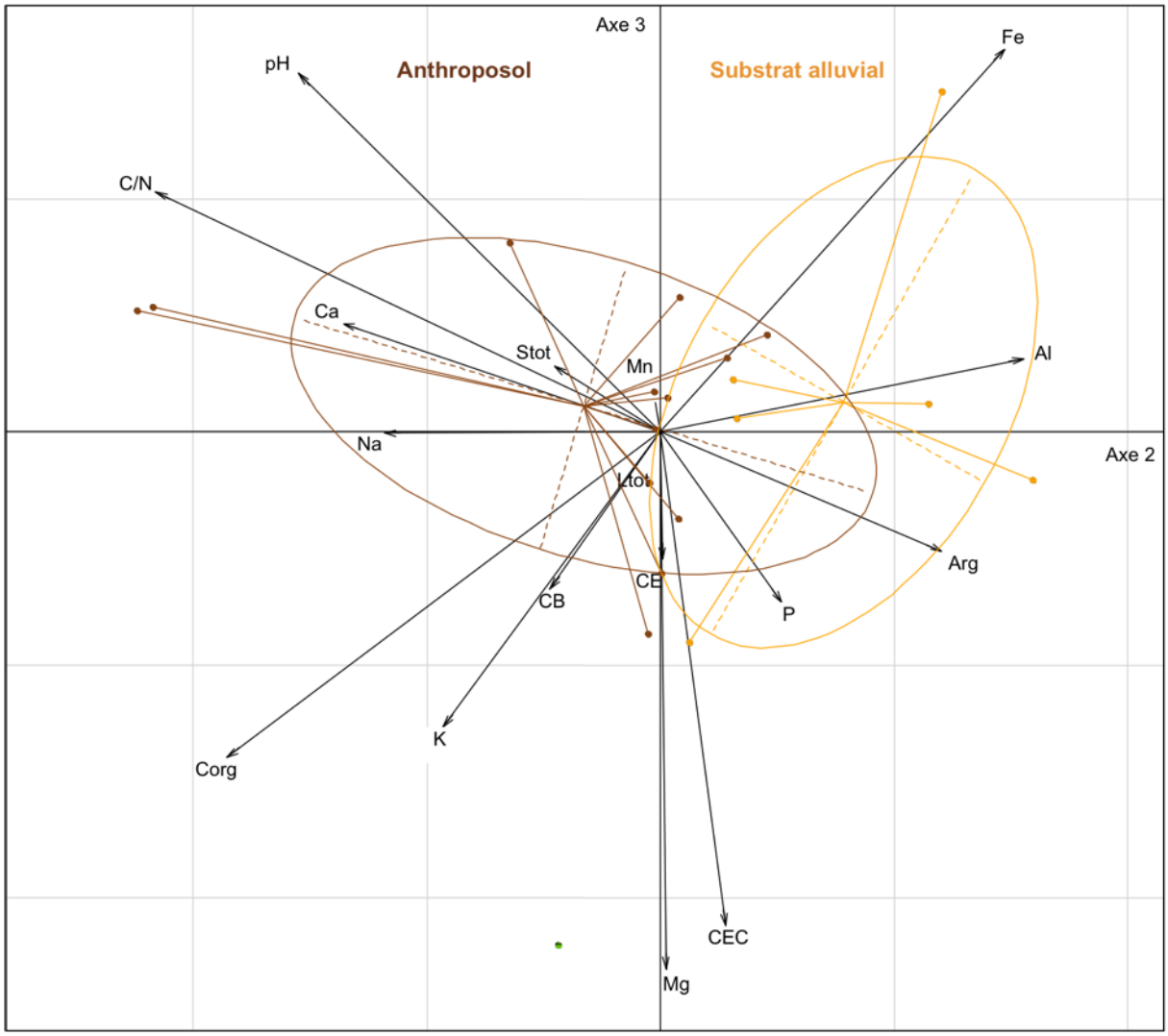


Figure 98 : ACP selon les plans 2-3, représentant les horizons anthropiques et le substrat alluvial.

II.4.4. Les anthroposols

Les trois niveaux d'anthroposols (entre 20 et 75 cm de profondeur globalement) ont été testés simultanément dans une ACP, afin d'évaluer leurs différences et ressemblances. Comme dans l'analyse précédente, ce sont 17 paramètres physico-chimiques qui ont été utilisés pour 13 individus. Chaque individu correspondant à un échantillon prélevé sur le terrain, il est défini ici par son numéro d'UMaS et sa profondeur (**Tableau 45**) (Annexe 5 : 2).

L'anthroposol de CSL-1 est en rouge, celui de CSL-2 est en vert, et celui de Balaté, BAL-1 et S5 mis en commun, apparaît en bleu. L'inertie cumulée des axes de cette ACP nous apprend que l'observation jusqu'à l'axe 4, fournie 87% de la variabilité des données

(Annexe 5 : 2 - Inertie cumulée). Ainsi les différents plans croisés, 1-2, 2-3 et 3-4, seront ici utilisés pour décrire les résultats.

Site/Profil	UMaS	Prof. moy. (cm)	N° d'individu
CSL/1	2	30	1
CSL/1	3	40	2
CSL/1	4	50	3
CSL/1	5	55	4
CSL/1	6	60	5
CSL/2	4	45	6
CSL/2	5	55	7
CSL/2	6.1	65	8
CSL/2	6.2	75	9
BAL/1	1-2	20	10
BAL/1	1-3	40	11
BAL/S5	S5-3	50	12
BAL/S5	S5-4	65	13

Tableau 45 : Récapitulatif des individus considérés et leurs numéros (Annexe 5 : 2)

Sur la **figure 99**, l'axe 1, horizontal fourni 43% de l'information, et l'axe 2, vertical, en donne 23% (Annexe 5 : 2). L'axe 1 est tiré vers la droite par les variables limons et sodium, qui s'opposent au phosphore et aux constituants anthropiques. Ainsi, à gauche de cet axe, certains paramètres de l'anthropisation des sols (comme les charbons, ou céramiques) représentent un facteur de discrimination. L'axe 2 est tiré vers le haut par les argiles et les ions libres de fer et d'aluminium, qui s'opposent globalement aux matières organiques (Corg et C/N) et au potassium. L'axe 2 matérialise principalement les différences entre horizons de surface (en bas), et horizons profonds (en haut), notamment pour BAL, où des différences évidentes apparaissent entre le profil 1 et le sondage 5.

Si l'on s'intéresse aux variables, celles qui sont associées sont les argiles, le fer, l'aluminium et la CEC, opposées au manganèse et aux sables totaux d'un côté. De l'autre le C/N, le pH, le calcium, le potassium et le carbone organique opposées au magnésium, aux charbons et aux céramiques. D'autre part, en regardant les individus, on voit que ceux de chaque anthroposol sont regroupés ensemble, d'une manière plus ou moins étirée. Les individus qui contribuent le plus à former l'axe 1 sont ceux de BAL. Ils s'opposent à ceux de CSL (Annexe 5 : 2 - Contribution des individus-Ax1 gras). Les individus 6-1, vers la gauche, et S5-3 vers la droite, s'opposent et étirent l'information statistique (Annexe 5 : 2 - Qualité des individus-Ax1 gras). L'axe 2 est, quant à lui, étiré par les individus de BAL1-3 et S5-4, qui sont assez bien représentés dans ce plan (Annexe 5 : 2 - Contribution et Qualité des individus-Ax2 gras).

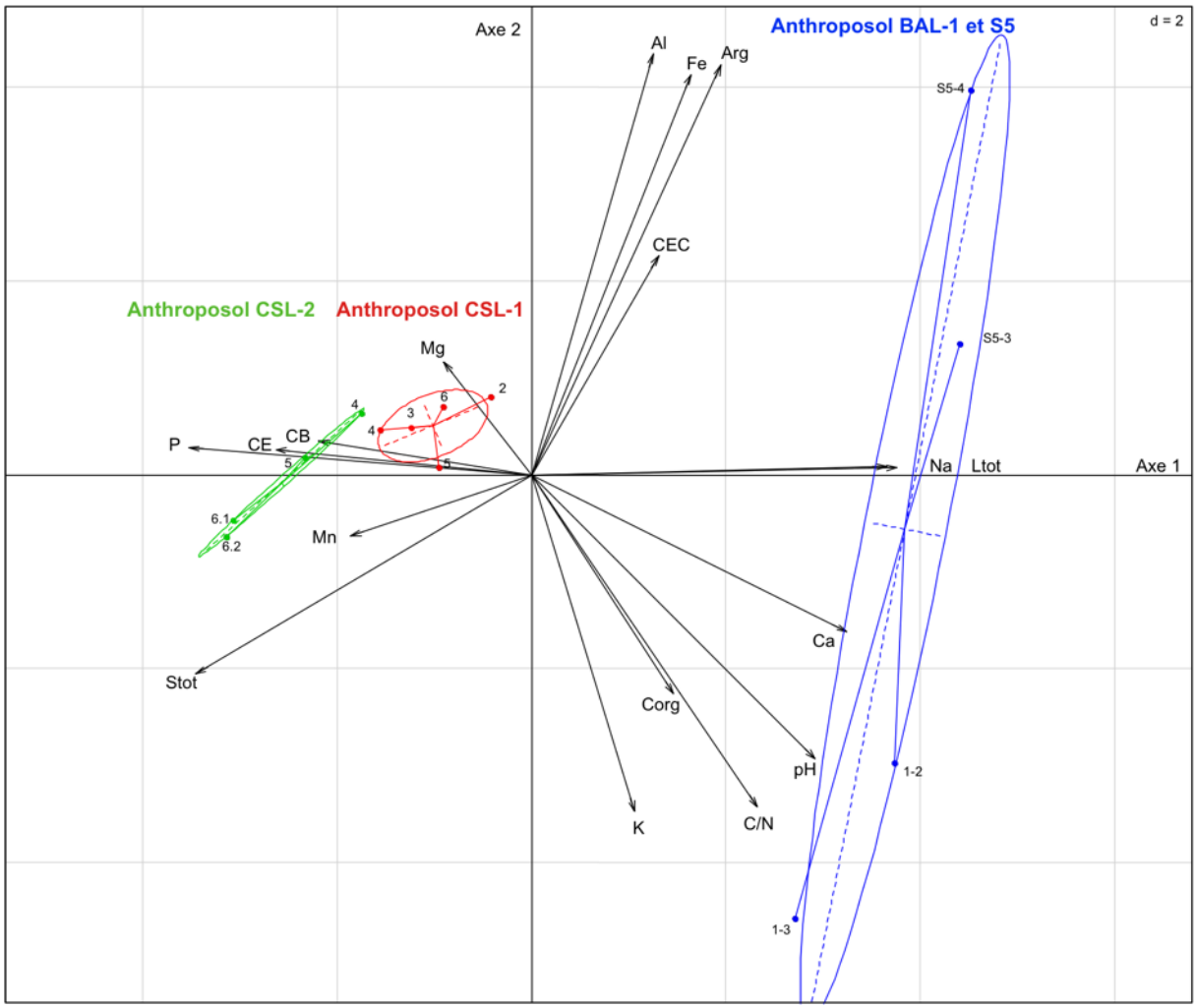


Figure 99 : ACP suivant les plans 1-2, représentant les trois horizons d'anthroposols analysés sur la plaine alluviale du Maroni.

De manière générale, cette ACP met en évidence la variabilité physico-chimique des anthroposols tant intra- qu'extra-site. Les anthroposols de Chemin Saint-Louis sont assez proches, davantage caractérisés par le magnésium et le phosphore, ainsi que par les charbons et céramiques comptabilisés en lames minces. Toutefois, des différences apparaissent entre les deux profils : CSL-2 est davantage lié aux sables totaux et au manganèse, par rapport au CSL-1. En ce qui concerne l'anthroposol de Balaté, il est caractérisé en premier lieu par les limons totaux et les concentrations en sodium. Bien que les échantillons de BAL-1 et de S5 aient été regroupés en une seule et même enveloppe, l'anthroposol du sondage 5 apparaît davantage lié à la fraction argileuse ainsi qu'aux ions fer et aluminium libres et à la CEC. L'anthroposol de BAL-1 quant à lui est plus lié au calcium et au potassium, échangeables, ainsi qu'aux matières organiques (C/N et le Corg). Le pH est également important comme facteur de discrimination pour cet anthroposol.

Selon la **figure 100**, l'axe 3, vertical, fourni 11% de l'information, et est corrélé essentiellement au manganèse vers le haut et à la CEC vers le bas (Annexe 5 - Corrélation des variables-C3 gras). Ce sont les individus de CSL-2, 6-1 et 6-2 qui contribuent le plus à le former (Annexe 5 : 2 - Contributions des individus-Ax3 gras). En revanche, les deux mieux représentés sont les individus de CSL-1, les 2 et 3 (Annexe 5 : 2 - Qualité des individus-Ax3 gras). Selon les plans 2-3, l'anthroposol CSL-1 est discriminé par les charbons et la CEC, alors que CSL-2 l'est principalement par le manganèse. Ils suivent bien l'axe 3, le premier vers le bas, le second vers le haut. Concernant l'anthroposol de Balaté, il suit bien l'axe 2, en présentant encore une fois une différence notable entre les échantillons du sondage 5 (à droite de l'axe 2) davantage liés aux concentrations de fer et d'aluminium et aux taux d'argile, par rapport à BAL-1 (à gauche de l'axe 2) qui est lui plus lié au potassium, aux sables, au pH et au C/N.

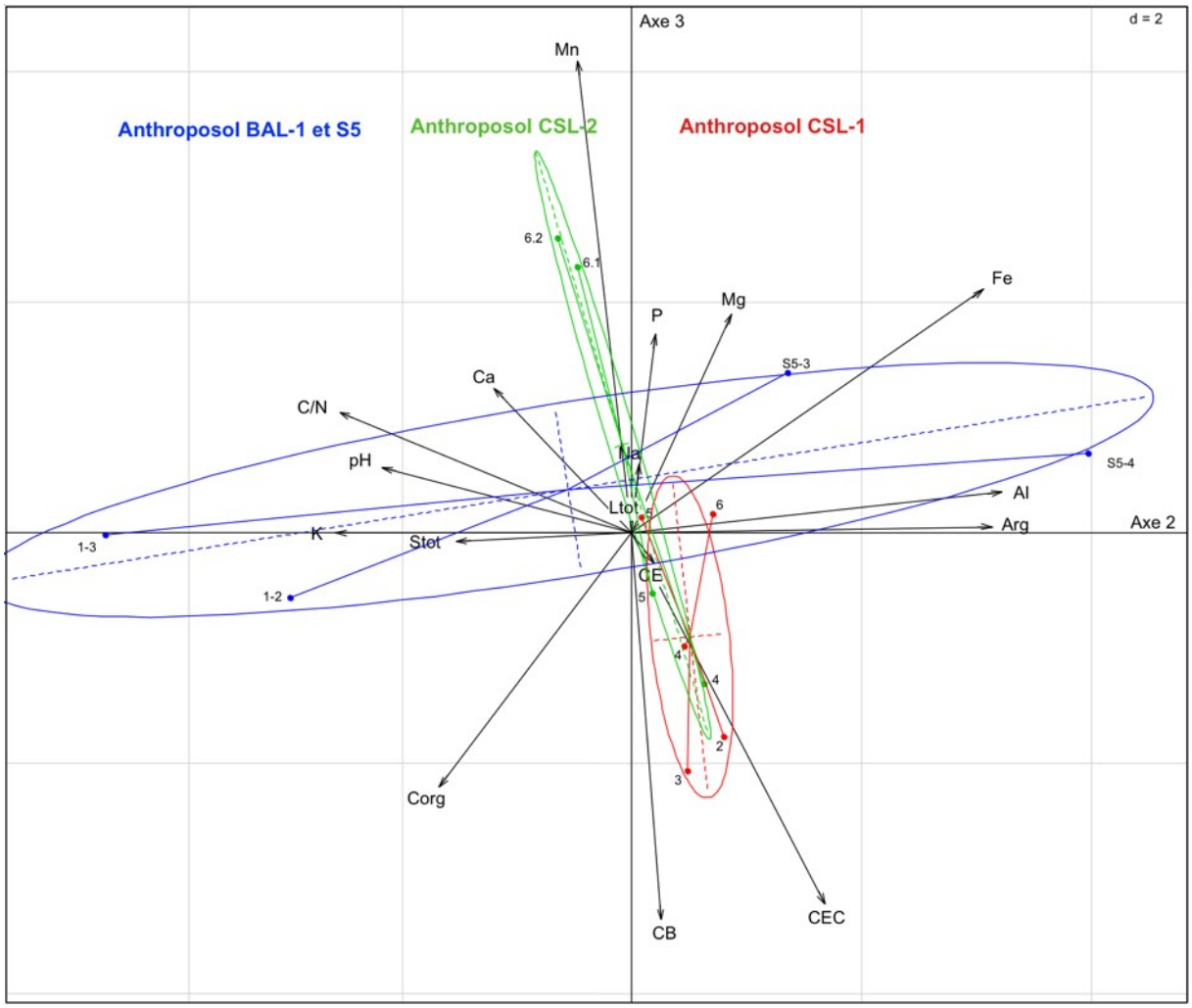


Figure 100 : ACP suivant les plans 2-3, représentant les trois horizons d'anthroposol analysés sur la plaine alluviale du Maroni.

La **figure 101**, présente en plus l'axe 4, en vertical, qui fourni 10% de l'information, et est étiré principalement par le carbone organique et le magnésium (Annexe 5 : 2 - Corrélations des variables-C4 gras). Les individus qui contribuent le plus à former cet axe et qui sont également les mieux représentés sont CSL 1-5 et CSL 2-4 (Annexe 5 : 2 - Contributions et Qualité des individus-Ax4 gras). Cette troisième représentation vient finalement confirmer que CSL-1 est lié aux charbons comptabilisés en lames minces, avec un échantillon (n° 2) discriminé essentiellement par la CEC. Dans CSL-2, les quatre échantillons sont assez disparates, formant une entité oblongue, où l'individu « 4 » est caractérisé par le carbone organique, le « 5 » par les charbons, et les « 6.1 et 6.2 » par le manganèse. L'anthroposol du site de Balaté présente toujours quatre échantillons assez différents, où ceux du sondage 5 sont liés aux concentrations en fer (S5-4) et en phosphore (S5-3), et les échantillons de BAL-1 au carbone organique (1-2) et au potassium (1-3). Ceci souligne, encore une fois, la variabilité physico-chimique tant intra- qu'extra-site des anthroposols considérés dans ce contexte.

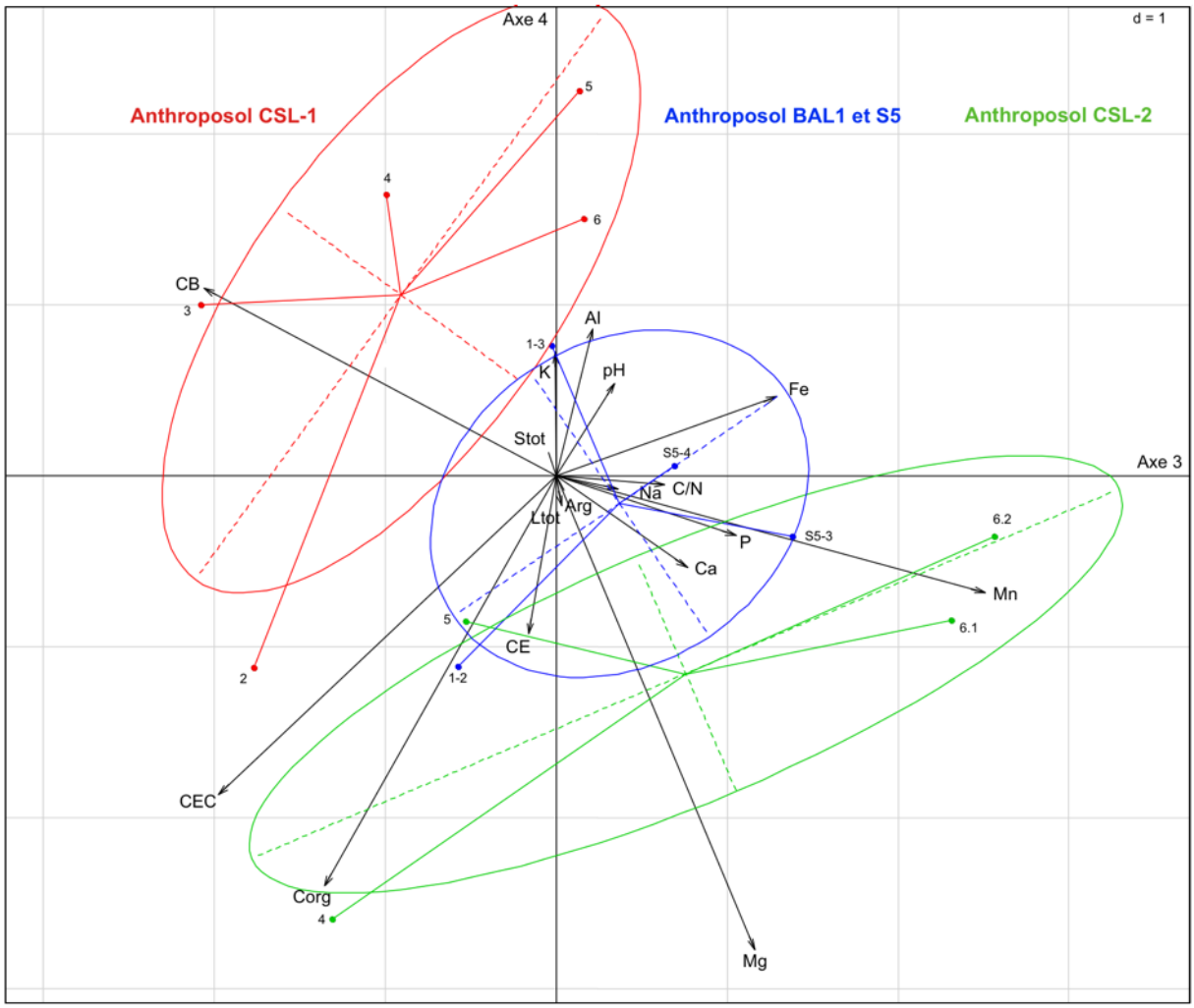


Figure 101 : ACP suivant les plans 3-4, représentant les trois horizons d'anthroposol analysés sur la plaine alluviale du Maroni.

Chapitre 2 - MICROFACIES ET PHYSICO-CHIMIE DES SOLS ARCHEOLOGIQUES SUR LES MONTAGNES COURONNEES DE GUYANE FRANÇAISE, LE CAS DE LA MC 87 ET DE LA MC 88.

Rappelons que les montagnes couronnées constituent des sites archéologiques importants, car elles commencent à être largement répertoriées sur tout le territoire guyanais (Mestre 2012).

I. Caractères et constituants micromorphologiques des sédiments identifiés en lames minces.

I.1. Matrice

Sous le microscope, les anthroposols développés sur Ferralsols présentent une texture à dominante argileuse. La masse fine est argilo-limoneuse et le squelette est quartzeux.

I.1.1. Fraction grossière ou squelette

Les grains de quartz, formant le squelette de la matrice, sont ici nettement moins abondants comparés aux sols de la plaine alluviale du Maroni. Il sont de manière générale assez altérés, sub-arrondis, avec des tailles comprises entre 20 et 500 microns. Leur surface présente parfois des fissures, comblées par du fer, ce qui permet de les rattacher à des runiquartz (**Annexe 1 - Planche 19**). La présence des runiquartz est typique de sols évolués en conditions tropicales humides (Stoops et al. 2010). En effet, ils sont très communs dans les sols ferrallitiques puisqu'ils sont très résistants, ce qui leur permet de persister même dans des sols sujets à de fortes conditions de lessivage (ibid.). L'abondance de ces runiquartz a été évaluée en lames minces dans certaines séquences afin de rechercher si un rapport existe entre leur répartition et l'occupation ancienne (remaniements des sédiments).

En outre, de nombreux fragments clastiques apparaissent en position secondaire dans les sols des collines investiguées (**Annexe 1 - Planche 19**). Deux principaux types ont été distingués[3]. D'une part, les pédoreliques, qui correspondent à des fragments de roches altérés chimiquement, dans lesquelles la structure de la roche originelle n'est quasiment

[3] Ces observations ont bénéficié de l'œil avisé d'E. Fritsch. Qu'il soit ici grandement remercié pour son aide.

plus visible. En lames minces, elles apparaissent en lumière naturelle comme des nodules presque uniformément noirs, pouvant présenter un cortex, ou non, et un nucleus central également foncé et uniforme.

Ces pédoreliques se trouvent surtout dans des environnements de démantèlement de cuirasse ou des zones engorgées (E. Fritsch com. pers.). D'autre part, nous avons pu observer des lithoreliques, correspondant à des fragments rocheux dans lesquels la structure de la roche mère est conservée. En lames minces, elles présentent une texture et une structure typiquement hétérogènes, avec un aspect réticulé. Elles se distinguent également par la présence de fantôme des minéraux primaires au sein de leur structure, qui proviennent de la roche mère, ainsi que par des fragments d'argile de néoformation (kaolinite). La présence de ces lithoreliques, témoigne de phénomènes de modifications chimiques du substrat altéré de type saprolite, qui se produisent dans les zones d'altération lors de la formation des Ferralsols (E. Fritsch com. pers.). Ces deux types de reliques de roches ont également fait l'objet de comptages de leur abondance dans certains profils, afin d'évaluer si l'occupation ancienne à eu un impact sur leur répartition dans les sols (remaniements anthropiques des sédiments).

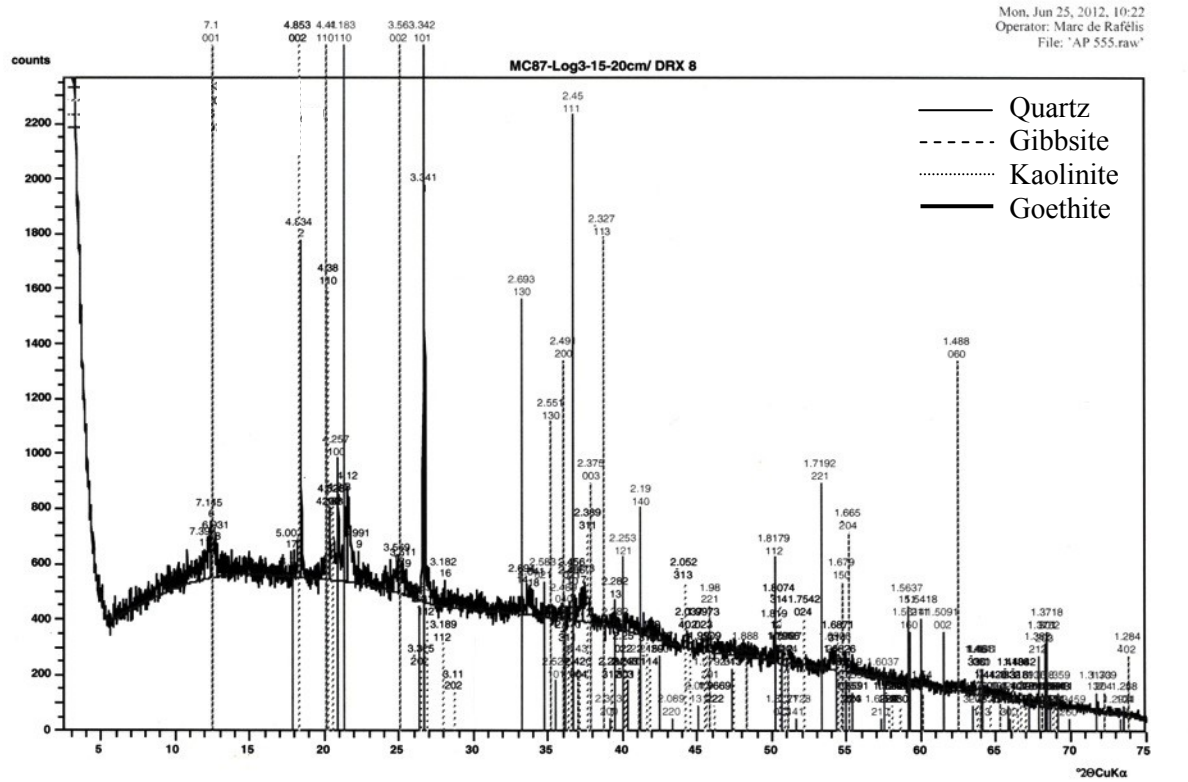
I.1.2. Masse fine ou fraction fine

La masse fine va conférer leur couleur aux sédiments. En lames minces, elle apparaît globalement rouge foncé à brun clair en lumière naturelle, et très distinctement jaune en lumière oblique incidente. Elle présente une faible biréfringence en lumière polarisée analysée.

I.1.3. Détermination du cortège minéralogique par la diffraction des rayons X

Les sédiments analysés au sein du profil MC87-3 (prélevés autour de 15 cm de profondeur) sont ici considérés comme représentatifs des sols développés sur les montagnes couronnées 87 et 88. Quatre éléments principaux ont été mis en évidence, sans que leur quantification exacte n'ait été réalisée (**Figure 102**). Ces sédiments contiennent du quartz, de la gibbsite, de la goethite et de la kaolinite. D'après les observations micromorphologiques, le quartz, constituant le squelette, représente une très petite part de la masse des sédiments par rapport aux argiles, formées essentiellement ici de kaolinite. La goethite correspond à l'oxy-hydroxyde de fer le plus stable, typique des sols très altérés chimiquement (Calvet 2003). La couleur de la goethite a conféré à la matrice du sol sa couleur jaune majoritaire observable en LOI. La gibbsite un hydroxyde d'aluminium abondant dans les Ferralsols. Goethite et gibbsite font partis des sesquioxydes, représentant le stade ultime d'altération

des roches et de la pédogénèse ferralitique (ibid.). Leur présence ici est donc typique des sols tropicaux très altérés chimiquement.



Légende: vers 15 cm de profondeur. Les quatre éléments principaux mis en évidence sont en haut à gauche de la figure.

Figure 102 : Diffractogramme d'un échantillon du profil MC87-3

I.1.4. Distribution fraction fine/grossière et microstructure

Dans toutes les séquences, la fraction fine se répartie entre les grains de quartz de manière *chitonique*, c'est-à-dire que les particules les plus fines des sédiments se disposent essentiellement autour des grains de quartz. La microstructure est définie par sa porosité et elle témoigne des principaux processus pédogénétiques actifs sur les profils étudiés. Globalement complexe, la microstructure varie de massive microfissurale, à agrégée ou microagrégée. Les microfissurations sont liées à l'alternance humectation / dessiccation des argiles, témoins des variations saisonnières propre à ce type de climat. L'agrégation et la microagrégation sont principalement en relation avec la bioturbation. La faune du sol est également à l'origine des vides de type chenaux et/ou chambres.

I.1.5. Les données des analyses granulométriques

Les résultats granulométriques viennent compléter les observations micromorphologiques (**Figure 103).** La fraction argileuse est majoritaire, à la différence des sols de la plaine alluviale présentés précédemment. Les résultats des analyses granulométriques permettent également de mettre en évidence des variations de texture entre les profils (Annexe 2). Les deux profils étudiés au sein de l'enceinte du site MC 87 représentent (en jaune et en bleu), les sols les plus argileux parmi toutes les séquences analysées dans ce travail (54 à 66 % d'argile). Le squelette sableux constitue une fraction importante des sols des fossés (en rose), entre 25 et 50 %, dépassant même la fraction argileuse, notamment dans le fossé de la MC 88 (pôle sableux de l'ensemble rose).

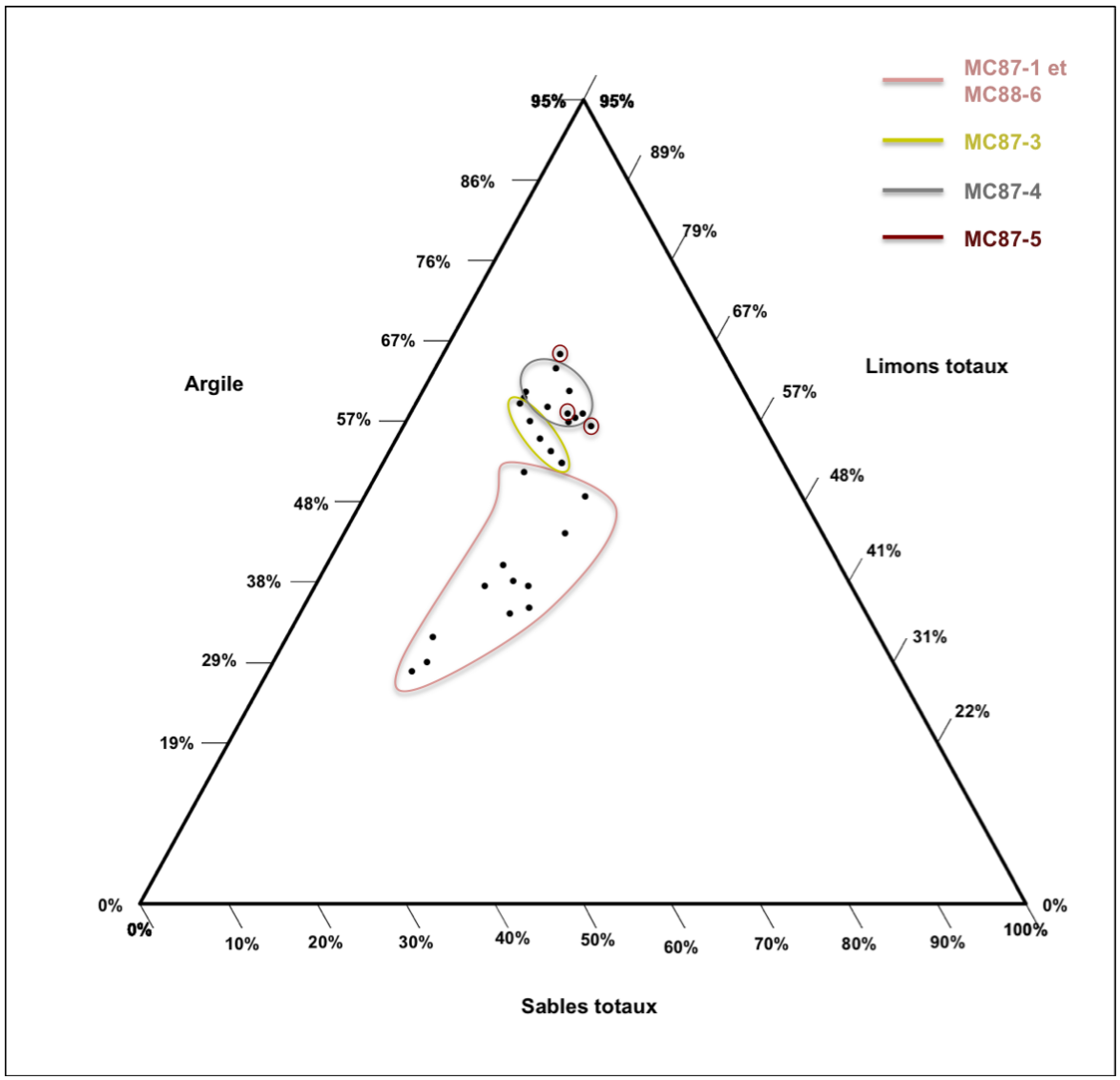


Figure 103 : Représentation dans un diagramme granulométrique trivarié (argiles/limons/sables) des échantillons des MC 87 et 88.

I.2. Traits pédogénétiques

Les principaux types de traits observés dans ces sols sont assez similaires à ceux de la plaine alluviale. Ce sont des traits biologiques, texturaux (argileux) et des traits cristallins (ferrugineux).

I.2.1. Traits biologiques[4]

Les deux principaux types d'excréments distingués dans les sols de la plaine alluviale du Maroni ont ici aussi été observés : déjections d'enchytraeides et de vers de terre endogés (**Annexe 1 - Planche 20**). Ici, les enchytraeides ont ingéré, par endroit, les déjections des vers de terre, ce qui confère une couleur et une texture particulière à leurs propres déjections. En outre, par endroit, des fragments d'enchytraeides ont été pris dans la résine (**Annexe 1 - Planche 20 : E, J et J'**), témoignant ainsi de manière concrète que la bioturbation observée est actuellement à l'œuvre. La présence des macroagrégats excrémentaux indique que *Pontoscolex corethrurus* a été actif, et l'est peut-être encore dans les sols des montagnes couronnées (J.-F. Ponge com. pers.). Rappelons que cette espèce de vers endogé (géophage) est fréquemment retrouvée dans les sols impactés par des activités humaines telles que le brûlis, indicateur d'une ouverture du milieu (Topoliantz & Ponge 2003).

D'autres traces de l'activité biologique ont également été observées, en particulier sous forme de galeries. Elles sont ici dénommées chenal. Celles-ci ont été empruntées par la flore ainsi qu'en atteste la présence de résidus racinaires. Elles ont ensuite pu être colonisées par les enchytraeides lorsqu'on retrouve par endroits des racines partiellement ingérées.

I.2.2. Traits argileux

Les traits pédogénétiques argileux rencontrés ici sont principalement des revêtements « en place » (*in situ*) et des papules (**Annexe 1 - Planche 21**). Les revêtements argileux présentent plusieurs couleurs en lumière naturelle, certains sont limpides oranges à jaunes, quant d'autres sont microlaminés jaune/orange. Quelques revêtements empoussiérés jaune-orange/noir ont été observés dans certains profils (MC87-4). Notons en outre que dans les remplissages des fossés, des agrégats de sol contiennent des fragments cassés de revêtements argileux « en place » et/ou des papules, alors que dans la matrice alentour ils n'apparaissent pas. La distinction entre revêtements « hérités » et papules, dans les agrégats de sol provient principalement de leur taille et de leur forme : les revêtements sont plus grands, de forme sub-rectangulaire à sub-arrondi et parfois même des

[4] Ces observations ont bénéficié de l'œil expert de J.-F. Ponge. Qu'il soit ici grandement remercié.

microlitages sont visibles, alors que les papules sont plus petites, limpides jaunes et très arrondies. La couleur des revêtements dans les agrégats peut également être jaune à orangé, alors que les papules sont essentiellement jaunes.

I.2.3. Traits ferrugineux

Ici, les traits ferrugineux sont principalement des ponctuations rouges / oranges, et jaunes qui témoignent respectivement de la présence d'hématite et de goethite dans la masse fine. Du fait de leur ubiquité et du peu de variation d'abondance visible, ces traits n'ont pas été quantifiés. Uniquement dans les comblements des fossés du site de Yaou quelques remplissages ferrugineux sont apparus dans la microporosité.

I.3. Constituants organiques

Ils sont composés des restes de matière organique trouvés dans les sols et sont regroupés en deux types principaux comme dans les sols de la plaine alluviale du Maroni. Le premier type correspond à la matière organique relativement fraîche, formée par des résidus racinaires ou des fragments de végétaux non brûlés indéterminés (cellules végétales, spores) (**Annexe 1 - Planche 22**). Le second type correspond aux résidus végétaux carbonisés, classés parmi les constituants anthropiques d'origine organique (cf. *infra*).

I.4. Constituants anthropiques

I.4.1. Organiques

Il s'agit essentiellement ici des charbons, des phytolithes et de manière ponctuelle des fragments d'os. L'origine des charbons dans les Ferralsols sous forêt fait encore l'objet de débats du fait de l'existence de feux naturels qui pourraient en être à l'origine. Dans le cas d'une origine naturelle, avec des paléofeux antérieurs à l'occupation précolombienne, Les charbons formeraient une « *sorte d'amas, à la manière d'un filon de quartz dans une roche* » (M. Brossard com. pers.). Or, ce n'est pas le cas des charbons observés ici (**Annexe 1 - Planche 23**). S'ils sont parfois trouvés en concentrations, ils ne forment pas d'amas, et ils sont associés quasi systématiquement aux céramiques (sur le terrain) et aux agrégats anthropiques (en lame mince). Pour ces raisons, ils sont considérés, ici, comme étant d'origine humaine. Dans ce contexte, de nombreux phytolithes ont également été observés.

Il a été possible, dans les sédiments étudiés sur le site de Yaou, d'identifier certains phytolithes du fait de leur connexion anatomique, encore reliés à un fragment végétal (cf. *infra*). Quelques rares microesquilles d'os ont été observées dans les anthroposols des montagnes couronnées (**Annexe 1 - Planche 24 : K**). Toutefois, au même titre que dans les sols de la plaine alluviale, ces résidus osseux sont rares, ponctuels et très altérés.

I.4.2. Manufacturés

Parmi les six profils étudiés ici, un seul fragment de céramique a été trouvé, dans le profil MC87-4, associé à un microfragment d'argile travaillé (**Annexe 1 - Planche 27**).

I.4.3. Agrégats argileux

Dans ces Ferralsols anthropisés, différents types d'agrégats argileux ont été distingués en lames minces (**Annexe 1 - Planche 24**). Leurs caractères optiques, en lumière naturelle, semblaient, au premier abord, très semblable à la matrice adjacente. Ils sont de forme globalement arrondie à sub-arrondie, et leur taille est comprise entre 200 micromètres et > 2000 micromètres (2 cm). Ces agrégats présentent une couleur homogène légèrement différente de la matrice adjacente, marron à rouge foncé en lumière naturelle. Une première hypothèse était qu'il pourrait s'agir de reliques de sols anciens, mais leur localisation et leur ubiquité posaient tout de même question. C'est leur observation en lumière oblique incidente qui a permis de lever le voile. En effet, cela a permis de mettre en évidence des caractères optiques significativement différents de la matrice alentour (cf. *infra*) et a conduit à considérer ces agrégats de manière plus approfondie. Trois couleurs différentes prédominantes ont ainsi été distinguées, permettant de classer ces agrégats en trois principaux types (**Annexe 1 - Planche 24 : F et F'**).

Dans le **premier type**, les agrégats présentent la couleur la plus foncée. Ils sont noir à gris en LOI, et comportent de nombreuses ponctuations brillantes en leur centre. Cela indique qu'ils contiennent des micropoussières charbonneuses, qui participent à leur coloration caractéristique (**Annexe 1 - Planche 24 : A, D, G, G', L et L').** Il est intéressant de noter que certain possède un gradient de couleur du bord vers le centre de l'agrégat. Ils présentent parfois des fissures et des fractures de leur matrice, phénomène qui peut être plus accentué en périphérie. Ils peuvent également contenir des microfragments de végétaux carbonisés et des phytolithes (**Annexe 1 - Planche 24 : H et L'**). Ils sont parfois ponctués de papules arrondies (d'environ 50 microns), probablement roulées, noires, rouges et/ou jaunes.

Les agrégats du second type, apparaissent très nettement rouge en LOI, ce qui permet de les différencier des nodules de fer amorphes noirs (**Annexe 1 - Planche 24 : B, B' et G, G'**). Un léger gradient de couleur peut aussi être distingué, de la périphérie vers le centre des agrégats, formant comme un liséré en périphérie (**Annexe 1 - Planche 24 : J**). Ils peuvent également contenir des racines et radicelles brûlées, ainsi que des papules argileuses de couleurs différentes et principalement des rouges et/ou des revêtements argileux rouges (**Annexe 1 - Planche 41**).

Enfin, le **troisième type** correspond à des agrégats de couleur plus claire, jaune en LOI (**Annexe 1 - Planche 24 : C, C' et E**). Ils ne présentent ni ponctuations charbonneuses, ni gradients de couleur. En revanche, ils contiennent parfois, des microagrégats rouges sub-arrondis à sub-anguleux pouvant atteindre 200 à 500 microns, correspondant à des fragments d'agrégats rouges, définis ci-dessus, cassés et intégrés dans la masse (**Annexe 1 - Planche 24 : B et B'**).

Les changements de couleur de ces trois types d'agrégats, témoignent d'une altération thermique différentielle des sédiments composés principalement d'argile. Ils sont ainsi assimilés à des agrégats argileux brûlés. La forme mamelonnée à arrondie de la majorité des trois types des agrégats suggère une origine biologique (déjections de P. *corethrurus*) et/ou un transport de courte distance selon les cas. Ces différents types sont souvent juxtaposés dans un même niveau. Ils ont subi, après le dépôt, la même pédogénèse que le reste du sol hôte. Ainsi, certains agrégats présentent des microfissurations qui se poursuivent dans la matrice adjacente, indiquant un processus post-dépositionnel de type dessiccation / humectation. En outre, la majorité des agrégats n'a pas été fragmentée par l'activité biologique. Cependant, à certains endroits dans le remplissage des fossés de la MC 88 et de Yaou, les agrégats ont davantage subi la bioturbation, qui est à l'origine de leur fragmentation en très petits nodules dans la matrice des sols. Ces agrégats de sols brulés sont, d'après nos observations, clairement liés à l'anthropisation et leur origine sera discutée plus loin.

II. L'occupation des sols dans les montagnes couronnées 87 & 88

Rappelons que pour la MC 87, deux séquences ont été prélevées dans l'enceinte du site (MC87-3 et MC87-4), une sur le talus externe du fossé (MC87-5), et deux dans le

remplissage du fossé (MC87-1 et MC87-2). Pour le site MC 88, une seule séquence a été prélevée, dans le remplissage du fossé (MC88-6).

II.1. Profil MC87-3 – dans l'enceinte

II.1.1. Observations micromorphologiques

L'analyse micromorphologique a permis de définir trois unités microstratigraphiques dans ce profil (**Annexe 1 - Planche 25**), qui sont décrites du haut vers le bas du profil (**Tableaux 46 et 47**). Au sein de l'UMiS 1, la microstructure est marquée par une porosité fissurale et en chambres, principalement d'origine biologique, et les déjections d'enchytraeides sont assez abondantes. De fréquentes papules argileuses sont présentes dans la masse fine, et de rares revêtements argileux apparaissent à la limite avec l'unité inférieure. L'UMiS 2 est caractérisée par une microstructure plus agrégée que le niveau de surface, d'origine biologique. Les papules argileuses prises dans la matrice témoignent également de cet important remaniement par la faune du sol. Quelques agrégats brûlés apparaissent ici (**Tableau 47**). L'UMiS 3 contient à peu près les mêmes caractères optiques que l'UMiS 2, tout en étant plus massive, du fait d'une nette diminution de la bioturbation dans le bas de ce profil. Ici, d'abondants revêtements argileux viennent combler la microporosité, soit partiellement soit sous la forme de remplissages. Ils sont très biréfringents, essentiellement limpides orangés, à microlaminés jaune/orange. Certains sont néanmoins fracturés, du fait de l'évolution post-dépositionnelle *in situ* (humectation/dessiccation des argiles, et de l'activité biologique). De nombreuses papules sont prises dans la matrice. Quelques fragments végétaux type racines ou tiges sont visibles dans la porosité. Ils sont caractérisés par une couleur rouge typique de ferruginisation attestant qu'ils sont dans les sols depuis assez longtemps, alors que d'autres semblent plus jeunes (sub-actuels).

De manière générale, et pour toute la séquence, la masse fine est jaune en LOI, et elle ne présente pas d'empoussièrement significatif.

UMaS	UMiS	Horizon/Niveau	Profondeur (cm)	MICROSTRUCTURE							MATRICE				PRINCIPAUX TRAITS PEDOLOGIQUES				
															Biologiques		Argileux		
				Type de microstructure	Empoussièrement [b]	C/f distribution relative	Porosité	Abondance des vides [b]	Degré d'agrégation	Classement	Fraction grossière	Abondance relative [b]	Fraction fine	Abondance relative [b]	Type d'excrément	Abondance relative [b]	Type	Critères descriptifs	Abondance relative [b]
1	1	Surface	5-13	MaF	●	Ch	Chm/Fi	●	M	Pc	Qz-R/P-L	●/(●)	Ar	●●●	Ench	●●	R/Pa	L	(●)/●●
2	2	Horizon enrichi en argiles	13-21	Mag/Ag	●	Ch	Chm/Fi	●	P	Pc	Qz-R/P-L	●/●	Ar	●●●	Ench	●●●	R/Pa	Fr/L/P	●
3	3	Horizon enrichi en argiles	21-28	MaF/Ma	●	Ch	Fi	(●)	P	Pc	Qz-R/P-L	●/●	Ar	●●●	Ench/Geo	●	R/Pa	L/Ml/Fr/R	●●●

Légende (d'après Bullock et al. 1985) :
b = abondance relative en lames minces : (●) = rare ou absent ; ● = un peu / légèrement développé ; ●● = moyen / fréquent / assez développé ; ●●● = important / abondant / bien développé
Type de microstructure = Ag : agrégée ; Mag : microagrégée ; MaF : massive fissurale ; Ma : massive
C/F distribution relative (éléments grossiers par rapport aux éléments fins) = Ch : chitonique
Porosité = Fi : fissurale ; Chm : en chambres
Degré d'agrégation = P : peu développé ; M : moyennement développé
Fraction grossière = Qz : quartz ; R : runiquartz ; P : pédorelique; L : lithorelique
Fraction fine (fraction dominante) = Ar : argiles
Traits biologiques (excrémentaux) = Ench : enchytraeides ; Geo : géophages
Classement = Pc : peu classé
Traits argileux = R : revêtements ; Pa : papules - P : poussiéreux ; L : limpide ; Ml : microlaminé ; Fr : fracturé ; R : en remplissage

Tableau 46 : Descriptif des UMiS définies par l'observation micromorphologique, MC 87-3.

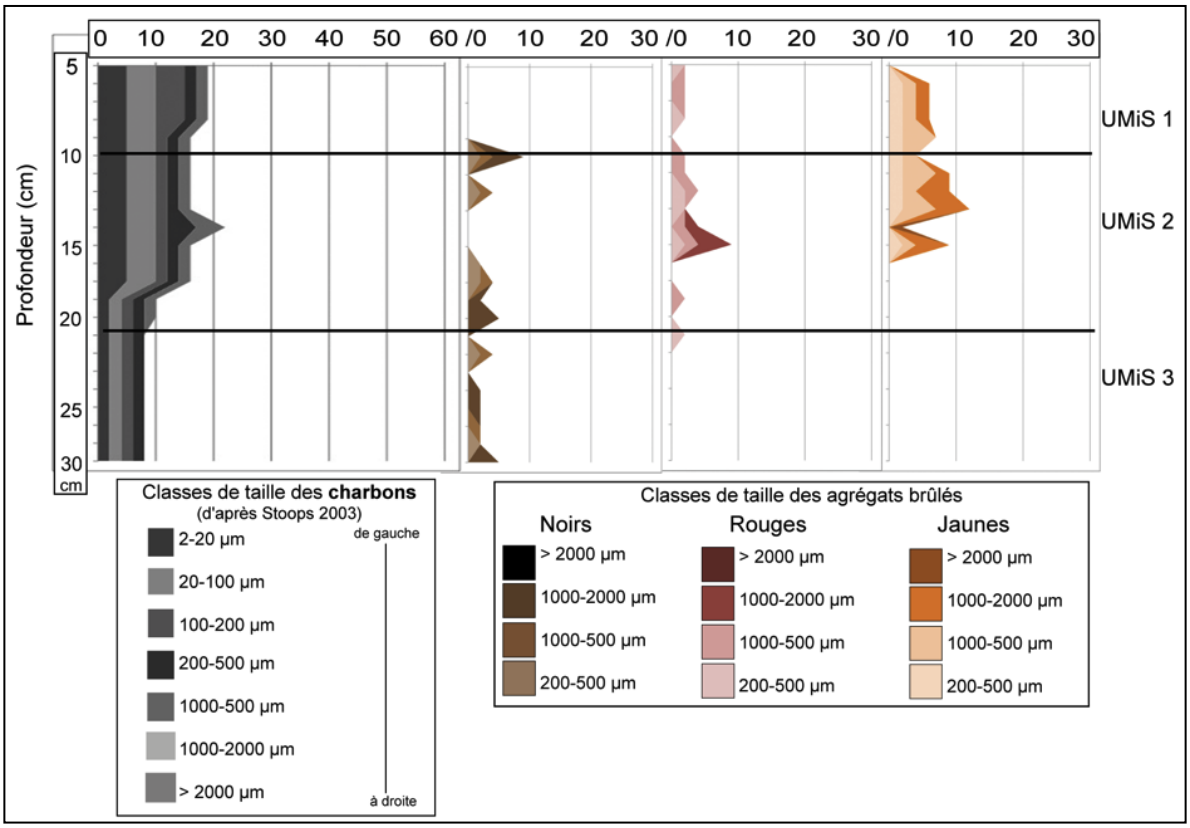
UMaS	UMiS	Horizon/Niveau	Prof. (cm)	Macrocharbons	Phytolithes	Microesquilles d'os	Fragments de céramique	Agrégats brûlés
1	1	Surface	5-13	(●)	●	(●)	(●)	(●)
2	2	Horizon enrichi en argiles	13-21	(●)	(●)	(●)	(●)	●
	3	Horizon enrichi en argiles	21-28	(●)	(●)	(●)	(●)	●
3								

Légende : (●) = rare ou absent ; ● = un peu ; ●● = fréquent ; ●●● = abondant.

Tableau 47 : Abondance relative des constituants anthropiques observés en lames minces, MC 87-3.

II.1.2. Comptages micromorphologiques dans la séquence MC87-3

Du haut vers le bas du profil, les charbons diminuent globalement, décrivant trois zones de concentrations dans le profil qui se corrèlent aux trois UMiS délimitées en lames minces (**Figure 104**). Les trois types d'agrégats brûlés se comportent de manière assez différente, bien qu'il soit possible de les mettre en lien avec les trois phases charbonneuses. En haut du profil, UMiS 1, là où les charbons sont les plus abondants (autour de 20%), ce sont essentiellement les agrégats jaunes qui ont été observés. Puis, UMiS 2, dans la zone où les charbons sont autour de 15%, les trois types d'agrégats brûlés ont été observés. Ils sont plus ou moins abondants en fonction de la profondeur, avec toujours une prédominance des agrégats jaunes. Ces derniers disparaissent néanmoins autour de 15 cm de profondeur, suivi ensuite de la disparition des agrégats brûlés rouges un peu plus bas. Dans le bas du profil, UMiS 3, seuls les agrégats brûlés noirs subsistent, là où les charbons diminuent. Notons que la taille observée de ces constituants reste inférieure à 1000 microns pour les charbons, et 2000 microns pour les agrégats.



Légende : les traits délimitent les UMiS.

Figure 104 : Microanthraco séquence et abondance des agrégats brûlés, noirs, rouges et jaunes dans le profil MC 87-3.

II.1.3. Caractères physico-chimiques des sédiments constituant le profil MC87-3

Tous les échantillons du profil ont été utilisés pour réaliser ces statistiques descriptives des résultats physico-chimiques, soit entre 5 et 30 cm de profondeur (**Tableaux 48, 49 et 50**). La texture du profil 3 est à dominante argileuse, avec une moyenne à 57,7% dans la séquence. Les valeurs du pH caractérisent des sols acides. Le C/N ne présente pas un gros écart entre le maximum et le minimum, à la différence du carbone organique, qui atteint 6,3% dans l'horizon de surface (Annexe 3). Les valeurs de la susceptibilité magnétique restent inférieures à 3083,8 10^{-9} m^3/kg. Le $\delta^{13}C$ témoigne d'une végétation de type forestière.

	Argiles	Limons tot	Sables tot	pH	C/N	Corg	S. Mag	$\delta^{13}C$
		(%)		-	-	(%)	($x10^{-9}$ m^3/kg)	(‰)
Min	54,8	11,8	25	4,4	15	2,7	1878,2	-26,4
Max	62,2	20,2	26	4,8	16,9	6,3	3083,8	-22,7
Moy	57,7	16,8	25,6	4,6	16	3,7	2539,5	-25,2
ET	3,0	3,4	0,5	0,2	0,7	1,3	454,2	2,1

Tableau 48 : Statistique descriptive des fractions granulométriques, du pH, des matières organiques, de la susceptibilité magnétique et du δC13, MC 87-3 (n=6 sauf pour $\delta^{13}C$ n=3).

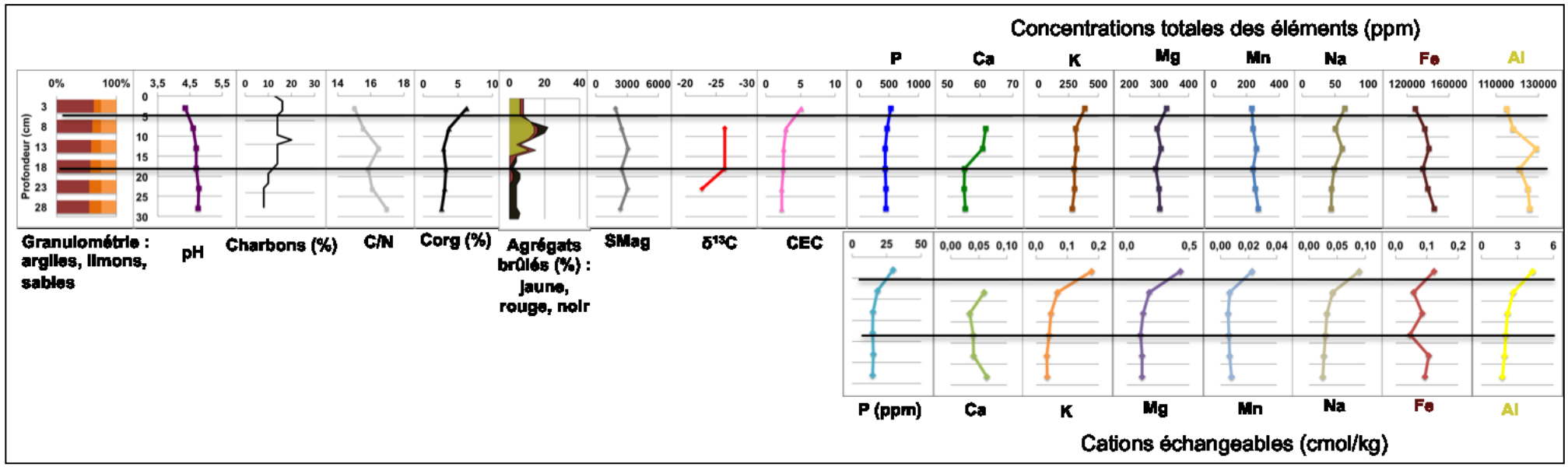
	Olsen-Dabin (ppm)	Cobaltihéxamine (cmol/kg)							
	P	CEC	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Al
Min	14,8	2,3	0,03	0,11	0,02	0,03	0,05	0,01	1,73
Max	29,8	5,1	0,51	0,43	0,09	0,18	0,12	0,02	4,27
Moy	18	2,9	0,12	0,18	0,04	0,07	0,09	0,01	2,45
ET	5,9	1,1	0,19	0,12	0,02	0,05	0,03	0,01	0,95

Tableau 49 : Statistique descriptive des dosages en cations échangeables, MC 87-3 (n=6).

	Eau régale (ppm)							
	Ca	K	Mg	Mn	P	Al	Fe	Na
Min	55,1	282	288	233	438	115000	128000	44,2
Max	150	387	325	273	530	129000	146000	64,4
Moy	73,1	315,7	302,7	250	461,5	122333,3	137833,3	52,1
ET	37,8	36,9	12,9	15,2	35,4	5278,9	6112,8	8,5

Tableau 50 : Statistique descriptive des concentrations totales en éléments majeurs, MC 87-3 (n=6).

Au même titre que dans les anthroposols de la plaine alluviale du Maroni, l'horizon de surface (UMiS 1) présente les plus importantes concentrations en cations échangeables et CEC, ainsi que la plus forte valeur du carbone organique (**Figure 105**). Ce phénomène semble tout à fait naturel (B. Ferry com. pers.). Toutefois, en regardant l'évolution globale des autres paramètres physico-chimiques dans ce profil, il apparaît que seul le C/N présente une évolution « anormale » par rapport aux sols naturels guyanais développés sous forêt (B. Ferry com. pers.).



Légende : les traits marquent les limites des trois UMiS. Il a été fait le choix de ne pas faire figurer le dosage du calcium (éch et tot) de l'horizon de surface, à 3 cm de profondeur (premier point). Ces valeurs étant les plus hautes (Tableaux 49 et 50 : Max-Ca), elles n'auraient pas permis d'observer les variations fines de sa concentration dans le reste du profil.

Figure 105 : Évolution des paramètres physico-chimiques et de l'abondance des charbons et des agrégats brûlés avec la profondeur, au sein du profil MC87-3.

En effet, ce rapport augmente avec la profondeur, alors que dans un sol naturel il aurait plutôt tendance à diminuer légèrement, ou à rester stable. Dans l'UMiS 2, le C/N présente un pic un peu moins important que dans l'UMiS 3, corrélé à une légère augmentation de la susceptibilité magnétique. La majorité des éléments totaux hormis le phosphore, augmentent perceptiblement dans ce niveau, en lien avec l'augmentation des charbons et des agrégats brûlés. Dans le bas du profil, vers 30 cm de profondeur (UMiS 3), le fait que le rapport C/N soit le plus important du profil peut être en lien avec la prédominance des agrégats brûlés noirs (**Figure 105**). Le bas du profil est également marqué par une légère augmentation des concentrations en Mg et Mn totaux, et une forte augmentation du Ca échangeable. Ceci semble assez anormal pour ce type de sol et à cette profondeur (B. Ferry com. pers.).

II.1.4. Données complémentaires : observation d'un agrégat brûlé au microscope électronique à balayage (MEB)

Un agrégat rouge a été analysé au MEB en deux localisations différentes pour mettre en évidence sa composition chimique majeure. Sur la première localisation, il apparaît qu'il est composé principalement de fer (Fe) et d'aluminium (Al), et dans une moindre mesure de silice (Si) et de titane (Ti). Ces principaux éléments correspondent à des minéraux non argileux présents naturellement dans ces sols : le fer, l'aluminium et le titane correspondent à des oxydes et hydroxydes, alors que la silice correspond au quartz (Calvet 2003). La présence de calcium a également été mise en évidence sur ce premier point (**Figure 106**). Le second point analysé a révélé les mêmes éléments chimiques que le premier point sans le calcium (**Figure 107**). Cette analyse MEB est corrélée à la composition du cortège minéralogique constituant ces sédiments, discriminée par l'analyse en diffraction X (cf. *supra*).

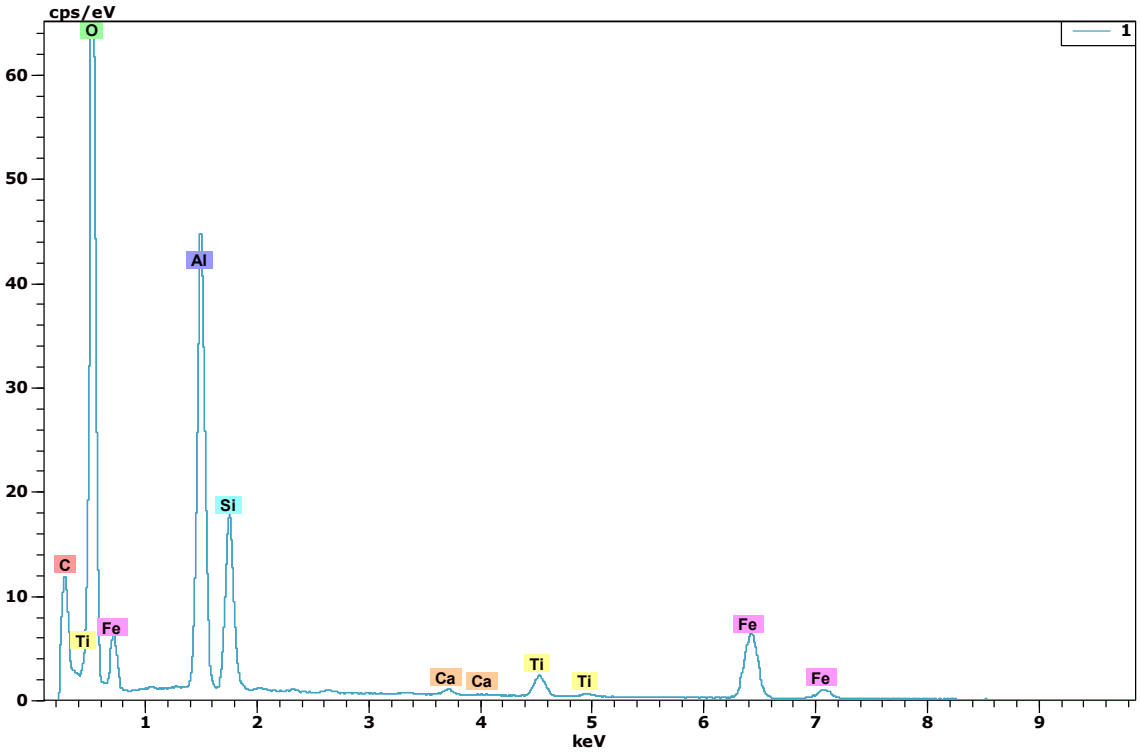


Figure 106 : Eléments chimiques mis en évidence par l'analyse MEB dans un agrégat de sol, MC87-3.

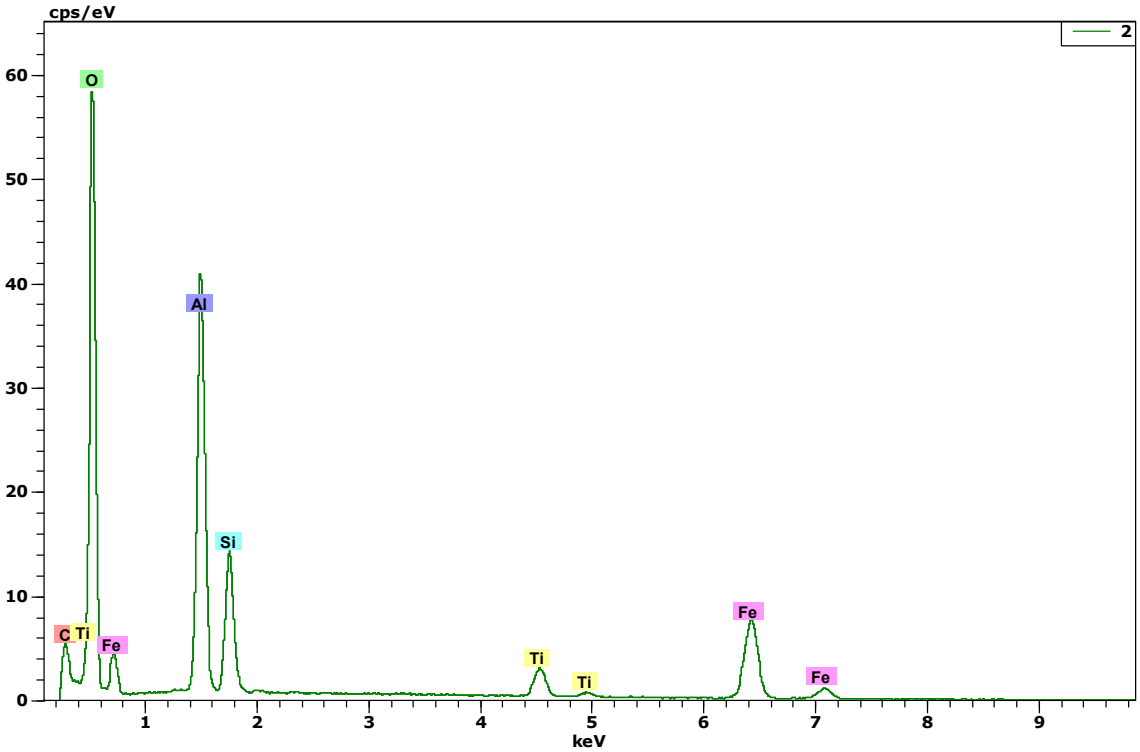


Figure 107 : Eléments chimiques mis en évidence par l'analyse MEB dans un agrégat de sol, MC87-3.

II.2. Profil MC87-4 – dans l'enceinte

II.2.1. Observations micromorphologiques

L'analyse micromorphologique a permis de définir également trois UMiS dans ce second profil observé dans l'enceinte (**Annexe 1 - Planche 26**). Elles sont décrites ici du haut vers le bas de la séquence, en suivant le même principe que les **tableaux 51 et 52.** À la différence du profil précédent, l'UMiS 1 est apparue dès la surface assez empoussiérée, et brune en LOI. La microstructure y est assez massive avec une porosité fissurale à microagrégée. La fissuration de la matrice suit globalement le réseau des racines. Ces fissurations sont post-dépositionnelles, en lien avec le phénomène d'humectation/dessiccation des argiles de la masse fine, et la croissance de la végétation sus-jacente. La bioturbation est assez développée, favorisant la microagrégation de la matrice. Les constituants anthropiques apparaissent à cette profondeur, matérialisés par le seul fragment de céramique observé dans ces sites, et un morceau d'argile travaillé (**Annexe 1 - Planche 27 et Tableau 51**). En revanche, aucun revêtement argileux n'a été observé dans ce niveau.

L'UMiS 2 présente à peu près les mêmes caractères optiques, avec une bioturbation beaucoup plus développée qu'au-dessus. La microagrégation de la masse fine correspond à des déjections d'enchytraeides, qui ont eux-même ingéré des déjections plus importantes de vers de terre (J.-F. Ponge com. pers.) (**Figure 108).** Les constituants anthropiques y sont également assez fréquents, et les revêtements argileux inexistants. L'UMiS 2 a été délimitée en quatre microzones (**Annexe 1 - Planche 26** : les pointillés), grâce notamment à l'emplacement de fragments de roche de type pédo/lithoreliques disposés sub-horizontalement. Ceci informe sur la rythmicité de la sédimentation et permet de restituer, pour l'UMiS 2, quatre sous-niveaux distincts (de A à D) aux limites matérialisées par des fragments rocheux de taille plus ou moins importante. Dans l'UMiS 3, la couleur de la matrice redevient plus claire, jaune à brun clair en LOI. La microstructure est ici plus massive qu'au-dessus, rappelant les sols du profil MC 87-3. En effet, la microporosité est, par endroit, en partie comblée par des revêtements argileux oranges à jaunes en remplissage. Ces traits argileux sont néanmoins moins fréquents que dans le profil 3.

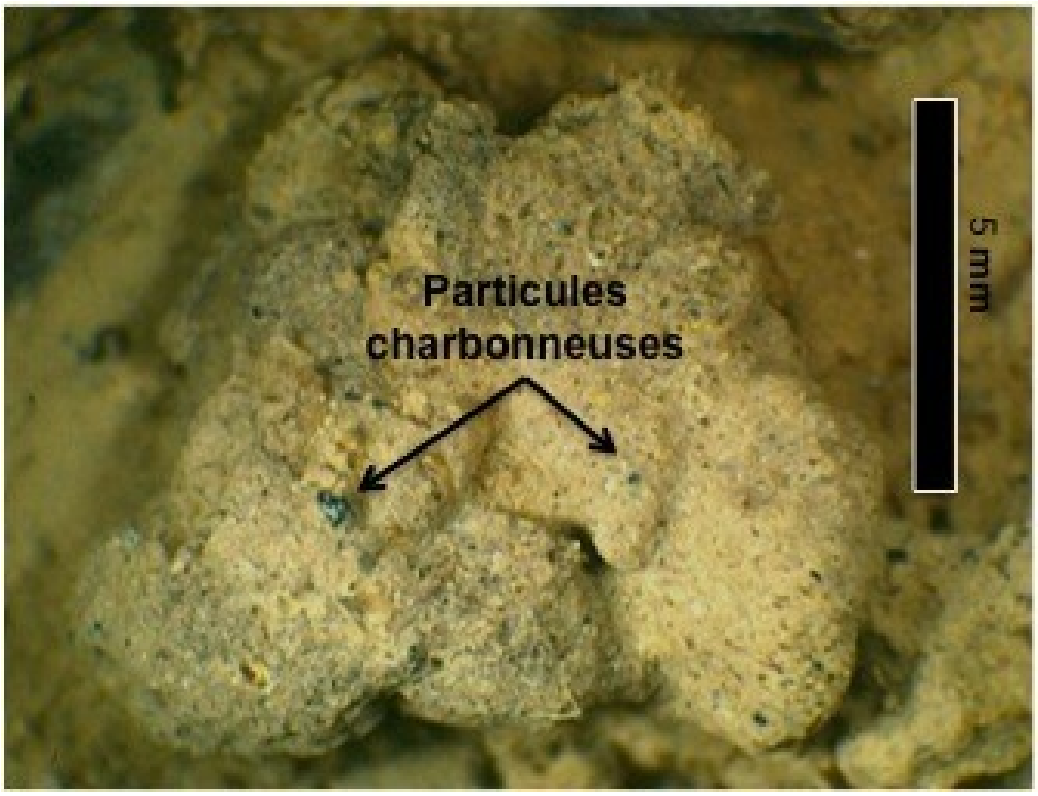


Figure 108 : Déjection de *Pontoscolex corethrurus* riche en microparticules charbonneuses (photo : J.-F. Ponge).

UMaS	UMiS	Horizon/Niveau	Prof. (cm)	Macrocharbons	Phytolithes	Microesquilles d'os	Fragments de céramique	Agrégats brûlés
1	1	Anthroposol	5-13	●●	●	(●)	●	●●
2	2	Anthroposol	13-32	●●●	●●	(●)	(●)	●●●
3	3	Transition anthroposol/substrat	32-40	(●)	●	(●)	(●)	(●)

Légende : (●) = rare ou absent ; ● = un peu ; ●● = fréquent ; ●●● = abondant

Tableau 51 : Abondance relative des constituants anthropiques observés en lames minces, MC87-4.

UMaS	UMiS	Horizon/Niveau	Profondeur (cm)	MICROSTRUCTURE						MATRICE				PRINCIPAUX TRAITS PEDOLOGIQUES				
														Biologiques		Argileux		
				Type de microstructure	Empoussièrement	C/f distribution relative	Porosité	Abondance des vides [b]	Degré d'agrégation	Classement	Fraction grossière	Abondance relative [b]	Fraction fine	Abondance relative [b]	Type d'excrément	Abondance relative [b]	Type	Critères descriptifs	Abondance relative [b]
1	1	Anthroposol	5-13	MaF/Mag	●	Ch	Chm/Fi	●●	F	Pc	Qz/R	●	Ar	●●●	Ench	●●			(●)
2	2	Anthroposol	13-32	Mag/Ag	●●	Ch	Fi	●	M	Pc	Qz/R	●	Ar	●●●	Ench	●●●			(●)
3	3	Transition anthroposol/substrat	32-40	Ma/MaF	(●)	Ch	Fi/Chm	●	M	Pc	Qz/R	●	Ar	●●●	Geo	●	R/Pa	L/Fr/P/Rem	●

Légende (d'après Bullock et al. 1985) :
b = abondance relative en lames minces : (●) = rare ou absent ; ● = un peu / légèrement développé ; ●● = moyen / fréquent / assez développé ; ●●● = important / abondant / bien développé
Type de microstructure = Ag : agrégée ; Mag : microagrégée ; MaF : massive fissurale ; Ma : massive
C/F distribution relative (éléments grossiers par rapport aux éléments fins) = Ch : chitonique
Degré d'agrégation = F : fortement développé ; M : moyennement développé
Porosité = Fi : fissurale ; Chm : en chambres
Classement = Pc : peu classé
Fraction grossière = Qz : quartz ; R : runiquartz
Traits biologiques (excrémentaux) = Ench : enchytraeides ; Géo : géophages
Fraction fine (fraction dominante) = Ar : argiles
Traits argileux = R : revêtements ; Pa : papules - L : limpides ; Fr : fracturés ; P : poussiéreux ; Rem : en remplissage

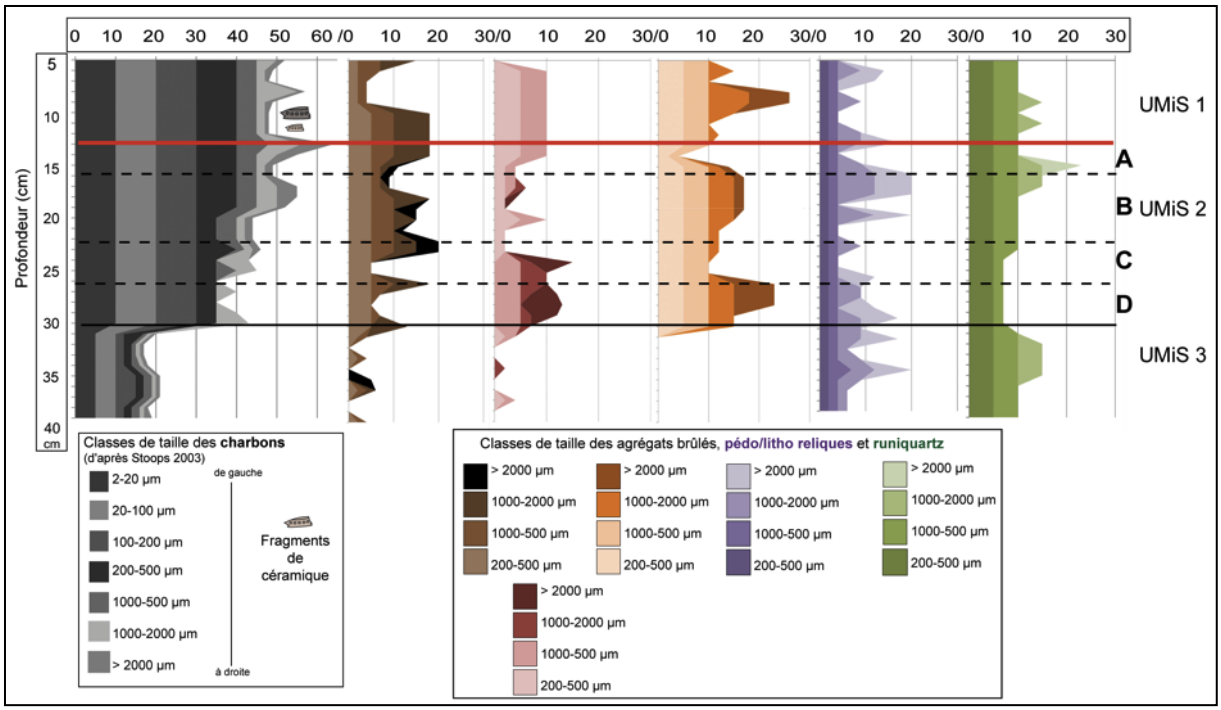
Tableau 52 : Descriptif des UMiS définies par l'observation micromorphologique, MC 87-4.

II.2.2. Comptages micromorphologiques dans la séquence MC87-4

Les charbons ainsi que les agrégats brûlés décrivent, selon leur abondance, deux ensembles principaux (**Figure 109**). Le premier, s'étend du haut du profil jusqu'à environ 30 cm de profondeur. Il est caractérisé par d'importantes concentrations charbonneuses, aussi bien en micro qu'en macrocharbons, qui composent plus de 60% de la matrice au maximum et 45% au minimum. Vers 25 cm environ, les concentrations en charbons diminuent, avec la disparition des macrocharbons. Les agrégats brûlés des trois types sont également abondants, oscillant entre 15 et 20% pour les noirs, entre 5 et 15% pour les rouges et entre 5 et 28% pour les jaunes. Le second ensemble, est marqué par une diminution drastique conjointe des charbons, ne composant plus que 15 à 20% de la matrice, et des agrégats brûlés, les noirs et les rouges n'atteignant pas plus de 5%, alors que les jaunes disparaissent avec la profondeur. Ces deux ensembles correspondent aux UMiS définies précédemment, où l'ensemble supérieur correspond aux UMiS 1 et 2 et le second ensemble représente l'UMiS 3.

Il est intéressant d'observer que chacun des sous-niveaux (A à D) définis au sein de l'UMiS 2 correspond à un pic de micro, macrocharbons et/ou d'agrégats brûlés. Par exemple, le sous-niveau B, s'étendant entre 16 et 22 cm de profondeur, contient plus de 40% de microcharbons avec 10% de macrocharbons et plus de 10% d'agrégats brûlés noirs et jaunes dont des macroagrégats. Le sous-niveau C, entre 22 et 26 cm de profondeur, contient davantage d'agrégats (micro et macro) brûlés rouges. Notez que les limites entre ces sous-niveaux sont marquées par un pic de pédo/lithoreliques.

Concernant les pédo/lithoreliques, leurs concentrations ne semblent ni être corrélées directement aux charbons ni aux agrégats brûlés. Elles évoluent à peu près de la même manière dans tout le profil. Les runiquartz, en revanche, sont assez concentrés dans le haut du profil, pour diminuer avec la profondeur, passant de 10 à 6% entre 25-30 cm, au niveau des pics de concentration en agrégats brûlés rouges et jaunes, pour augmenter à nouveau dans le bas du profil jusqu'à 15% environ.



Légende : le trait continu marque la limite entre l'anthroposol et le niveau de transition inférieur, le trait en rouge marque la limite UMiS 1 et 2 et les traits en pointillés délimitent les sous-niveaux observés dans l'UMiS 2. Les fragments de céramique correspondent à la Annexe 1 - Planche 27 et à l'Annexe 3.

Figure 109 : Microanthraco séquence et abondance des agrégats brûlés, noirs, rouges et jaunes, ainsi que des pédo/lithoreliques et des runiquartz, dans le profil MC 87-4.

II.2.3. Caractères physico-chimiques des sédiments constituant le profil MC87-4

Au même titre que dans le profil précédent, tous les échantillons prélevés sur le terrain ont été utilisés pour les statistiques descriptives des résultats physico-chimiques, soit entre 5 et 40 cm de profondeur (**Tableaux 53, 54 et 55).**

Ici aussi, les sédiments sont constitués principalement de la fraction argileuse, qui atteint 62,5% en moyenne. Le pH caractérise également des sols acides. Néanmoins entre le minimum et le maximum il y a une unité environ, ce qui est assez important pour des sols de cette nature et sur cette épaisseur de profil (C. Quantin[5] com. pers.). Le rapport C/N est assez étendu, et le carbone organique présente un maximum à 12% dans l'horizon de surface (Annexe 2). La susceptibilité magnétique atteint pratiquement 6000.10^{-9} m^3/kg, soit près du double de ce qui a été mesuré dans MC87-3. Enfin, le $\delta^{13}C$ témoigne, au même

[5] Professeure d'Université Paris-Sud 11, en Sciences du sol - UMR 8148 IDES, spécialisée en biogéochimie des sols tropicaux.

titre que dans le profil 3, d'une végétation de type forestière. Toutefois, l'écart entre la valeur minimum et maximum est assez importane, de trois unités.

	Argiles	Limons tot	Sables tot	pH	C/N	Corg	S. Mag	$\delta^{13}C$
		(%)		-	-	(%)	($x10^{-9}$ m^3/kg)	(‰)
Min	59,9	11,7	19,6	3,8	16,6	2,9	2552,7	-26,5
Max	66,6	19,4	25,3	4,7	19,3	12,9	5797,0	-23,4
Moy	62,5	15,7	21,8	4,5	18,3	5,3	4521,0	-25,3
ET	2,2	3,1	2,3	0,3	1,0	3,2	1039,2	1,6

Tableau 53 : Statistique descriptive des fractions granulométriques, du pH, des matières organiques, de la susceptibilité magnétique et du δC13, MC 87-4 (n=8 sauf pour $\delta^{13}C$ n=3).

	Olsen-Dabin (ppm)	Cobaltihéxamine (cmol/kg)							
	P	CEC	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Al
Min	16,2	2,1	0,04	0,03	0,01	0,02	0,04	0,01	1,46
Max	39,6	8,6	0,81	0,37	0,07	0,22	0,39	0,03	8,47
Moy	20,9	3,5	0,15	0,10	0,03	0,06	0,11	0,01	3,20
ET	7,7	2,2	0,27	0,11	0,02	0,07	0,12	0,01	2,35

Tableau 54 : Statistique descriptive du dosage en cations échangeables, MC 87-4 (n=8).

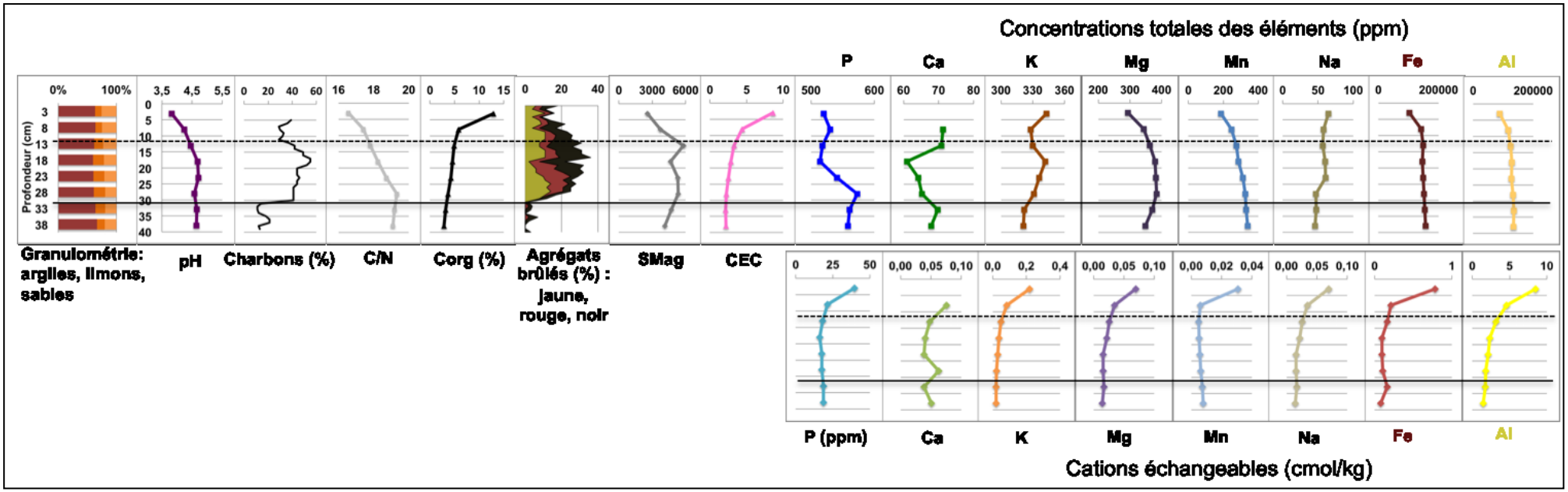
	Eau régale (ppm)							
	Ca	K	Mg	Mn	P	Al	Fe	Na
Min	61,0	321,0	294,0	187,0	514,0	88000,0	103000,0	45,5
Max	208,0	343,0	384,0	339,0	573,0	136000,0	157000,0	64,7
Moy	84,8	331,6	358,3	287,9	539,4	123375,0	144000,0	54,9
ET	49,9	8,3	29,9	51,3	22,4	15656,5	17204,7	7,3

Tableau 55 : Statistique descriptive des concentrations totales en éléments majeurs, MC 87-4 (n=8).

Certains paramètres physico-chimiques évoluent de manière assez normale pour des sols développés sous forêt guyanaise (B. Ferry com. pers. ; **Figure 110**). En effet, c'est dans l'horizon de surface (UMiS 1) que se concentre la plus importante CEC, associée aux plus fortes concentrations en cations échangeables et en carbone organique. Les concentrations totales en calcium et potassium y sont, les plus importantes. Puis, les cations échangeables (hormis le calcium), la CEC et le carbone organique suivent à peu près la même évolution dans le profil, en diminuant avec la profondeur. À l'inverse, les autres paramètres, semblent suivre une évolution « anormale » (B. Ferry com. pers.). En effet, dans l'anthroposol (bas UMiS 1 et UMiS 2), le pH, le rapport C/N, la susceptibilité magnétique et les concentrations totales de la plupart des éléments dosés, augmentent, en corrélation positive avec l'abondance des charbons et des agrégats brûlés. Par exemple, vers 10 cm de profondeur, dans le haut de l'anthroposol, là où des concentrations plus importantes en charbons et en agrégats brûlés ont été observées en lames minces, des pics

de la susceptibilité magnétique, du phosphore et du calcium total sont marqués. Dans le bas de l'anthroposol, vers 30 cm de profondeur, ces paramètres augmentent à nouveau, associés cette fois à un pic du calcium échangeable et du C/N.
Notons, en outre, que le pH et le magnésium total présentent un ventre dans tout l'anthroposol pour diminuer dans le bas du profil.

Le passage dans le niveau de transition sous l'anthroposol (UMiS 3) est marqué par la fraction argileuse qui augmente un peu, favorisant la légère augmentation du pH. Le rapport C/N, ainsi que la susceptibilité magnétique, et certains éléments totaux comme le phosphore, le calcium ou le manganèse, présentent une rupture, et diminuent graduellement avec la profondeur. Le calcium échangeable présente tout de même une légère augmentation dans ce niveau, comme ce qui a pu être observé dans MC87-3.



Légende : le trait pointillé marque la limite entre les UMiS 1 et 2, et le trait noir délimite le bas de l'anthroposol, en dessous duquel se trouve l'UMiS 3. Comme pour MC87-3, il a été fait le choix de ne pas utiliser le dosage du calcium (éch et tot) dans l'horizon de surface, à 3 cm de profondeur (premier point). Ces concentrations étant très importantes (Tableaux 55 et 56 : Max-Ca), elles n'auraient pas permis d'observer les variations fines de sa concentration dans le reste du profil.

Figure 110 : Évolution des paramètres physico-chimiques et de l'abondance des charbons et des agrégats brûlés, en fonction de la profondeur, au sein du profil MC87-4.

II.2.4. Données complémentaires : observation d'un agrégat brûlé au microscope électronique à balayage (MEB)

Un agrégat brûlé noir (autour de 15 cm de profondeur) a été analysé au MEB en quatre localisations différentes : 2-1, 2-2, 2-3 et 2-4, respectivement **figures 111, 112, 113 et 114** (Annexe 6 – tableaux 1 à 4). L'analyse a révélé que sa composition chimique majeure est du même type que l'agrégat du profil 3. En effet, sur les quatre endroits visés, il apparaît qu'il se compose principalement de fer (22,2% en moyenne), d'aluminium (22% en moyenne), en moindre quantité de silice (9,5% en moyenne) et de titane (3,1% en moyenne). En d'autres termes, cet agrégat est formé d'oxyde de fer, très probablement essentiellement de la goethite, d'hydroxyde d'aluminium comme la gibbsite, de quartz et d'oxyde de titane comme l'anatase. Toutefois, ici plusieurs autres éléments présents en très petite quantité, ont été mis en évidence, tels que le phosphore (0,35% en moyenne), le potassium (0,27% en moyenne) et le chlore (0,12% en moyenne).

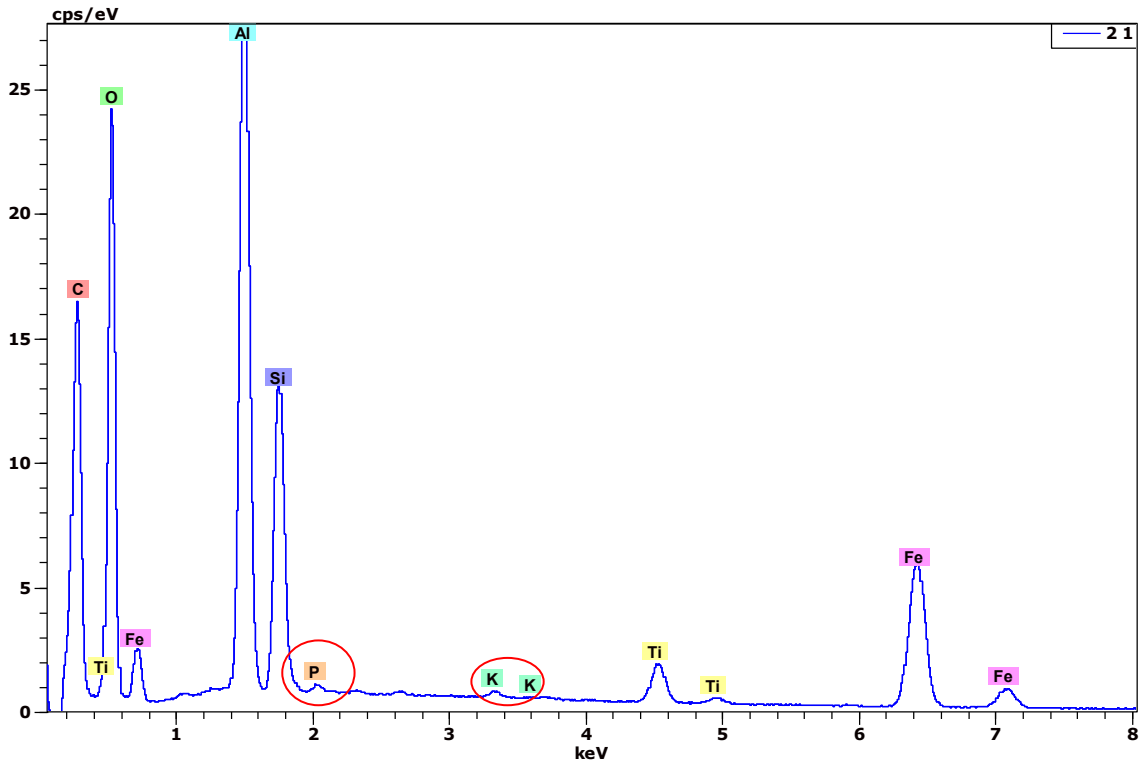


Figure 111 : Eléments chimiques mis en évidence par l'analyse MEB dans un agrégat de sol brulé, MC 87-4 (point 2-1)

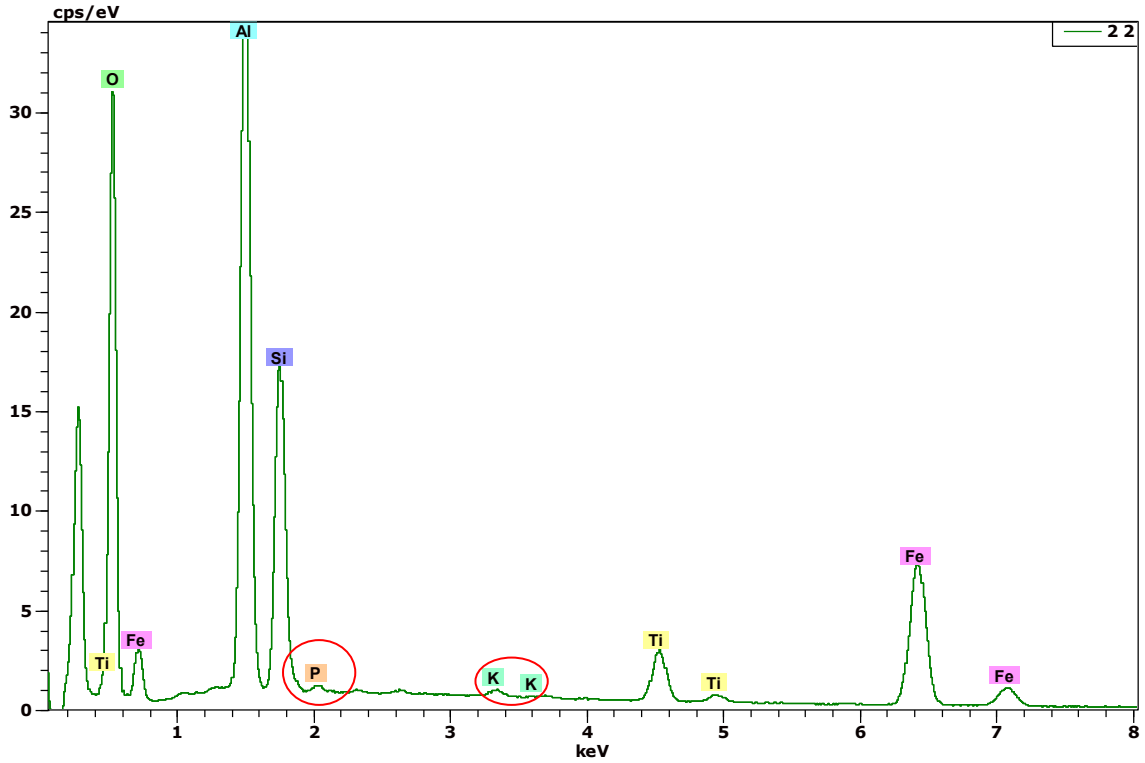


Figure 112 : Eléments chimiques mis en évidence par l'analyse MEB dans un agrégat de sol brulé, MC 87-4 (point 2-2).

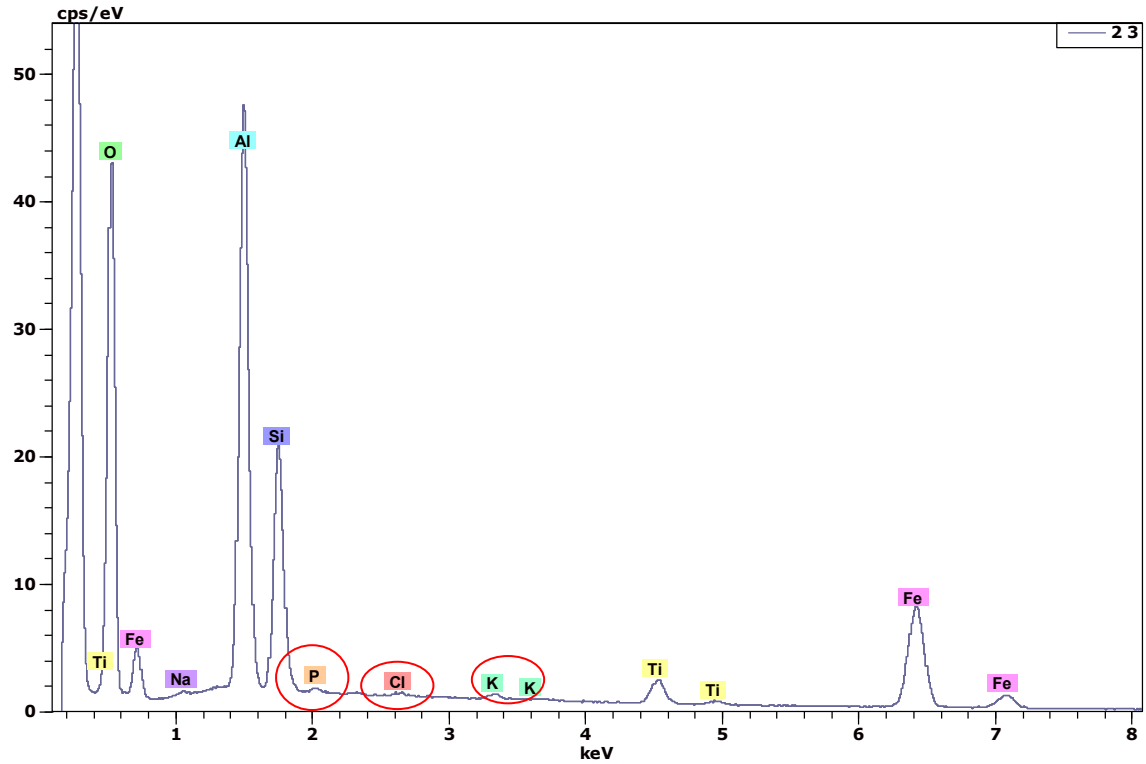


Figure 113 : Eléments chimiques mis en évidence par l'analyse MEB dans un agrégat de sol brulé, MC 87-4 (point 2-3).

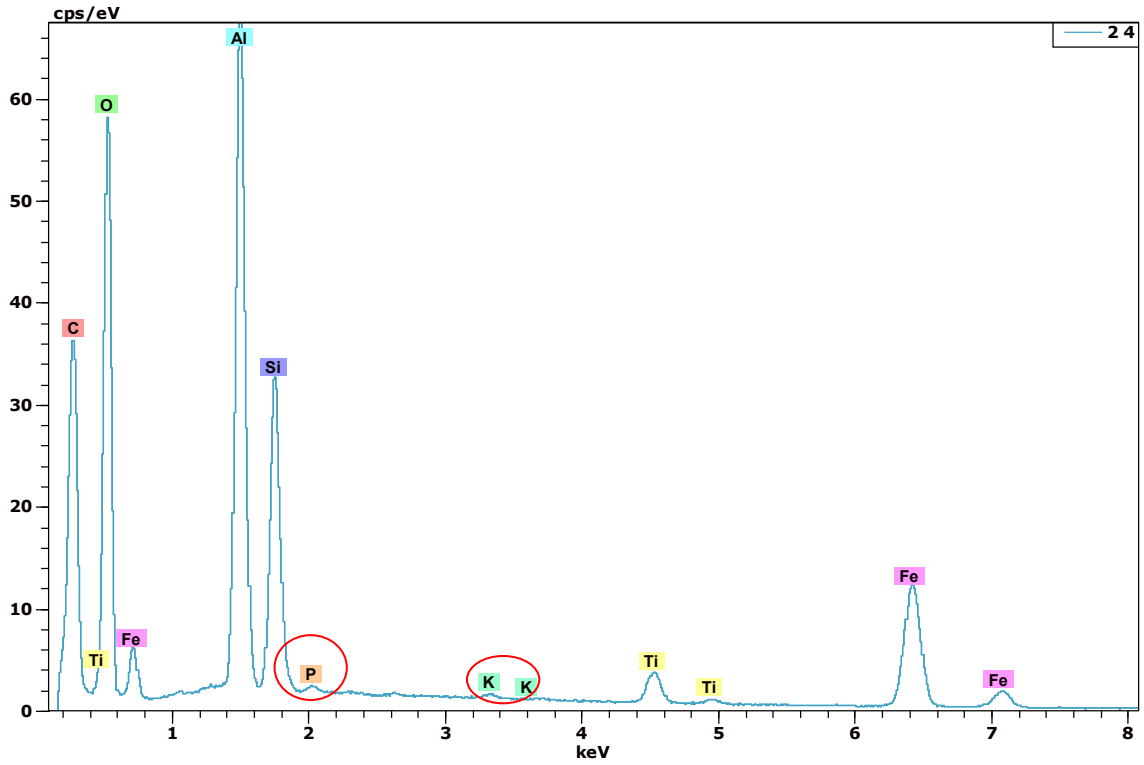


Figure 114 : Eléments chimiques mis en évidence par l'analyse MEB dans un agrégat de sol brulé, MC 87-4 (point 2-4).

II.3. Profil MC87-5 – hors de l'enceinte

II.3.1. Observations micromorphologiques

Rappelons que ce profil se situe sur le talus externe du fossé de la MC 87. Il a été observé en lames minces sur 35 centimètres d'épaisseur. Ce sol reposait sur des fragments rocheux (pédo- et litho- reliques), limitant l'observation micromorphologique en-deçà.

L'analyse micromorphologique a permis de définir deux UMiS dans ce profil (**Annexe 1 - Planche 28, Tableaux 56 et 57**). De manière générale, ce profil présente une masse fine rouge foncé en lumière naturelle, et jaune, en lumière oblique incidente, avec un très léger empoussièrement. L'unité supérieure, UMiS 1 présente les caractères d'un horizon de sub-surface, avec une microstructure microagrégée à agrégée où la porosité est assez développée, et les fissures abondantes. La bioturbation y est très développée avec des boulettes de déjections assez petites (50 à 100 microns) attribuées à la présence d'enchytraeides. L'UMiS 2, est plus épaisse, elle s'étend sur 20 cm environ. Elle présente à

peu près les mêmes caractères optiques que le niveau supérieur en étant légèrement moins bioturbée, donc un peu plus massive fissurale. Ici, des agrégats de sol assez gros entre lesquels viennent s'insérer des boulettes de déjections de faune de l'ordre de 100 à 250 microns, sont visibles. Ces dernières peuvent être attribuées au géophage *Pontoscolex c.* (J-F. Ponge com. pers.). Dans ce niveau, quelques constituants anthropiques que sont les charbons sont présents.

UMaS	UMiS	Horizon/Niveau	Prof. (cm)	Macrocharbons	Phytolithes	Microesquilles d'os	Fragments de céramique	Agrégats brûlés
1	1	Sub-surface	5-14	(●)	●	(●)	(●)	(●)
2	2	Anthropisation ténue	14-34	●	●	(●)	(●)	(●)

Légende : (●) = rare ou absent ; ● = un peu ; ●● = fréquent ; ●●● = abondant.

Tableau 56 : Abondance relative des constituants anthropiques observés en lames minces, MC 87-5.

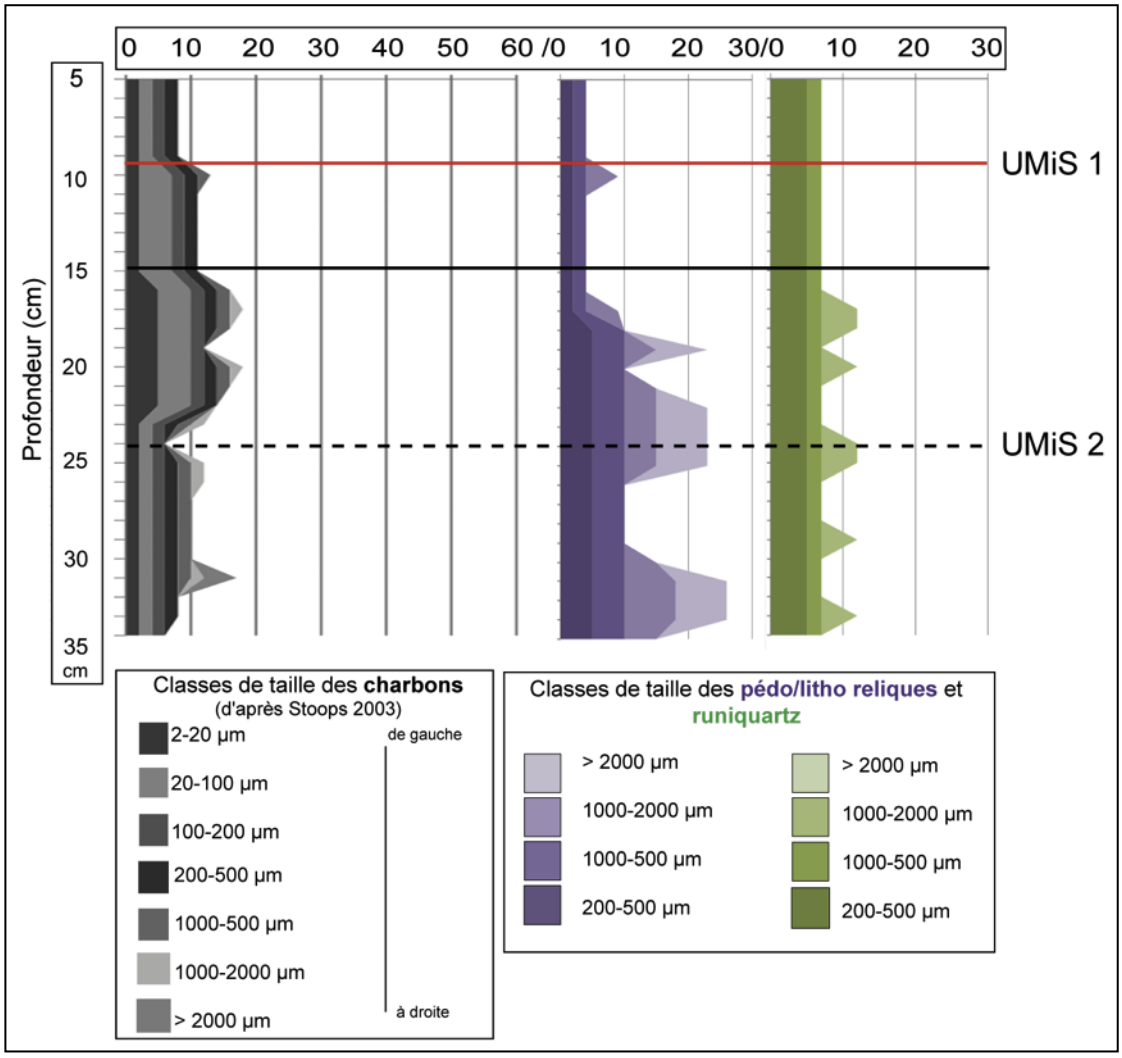
UMaS	UMiS	Horizon/Niveau	Profondeur (cm)	MICROSTRUCTURE							MATRICE			PRINCIPAUX TRAITS PEDOLOGIQUES				
														Biologiques		Argileux		
				Type de microstructure	Empoussièrement de la matrice	C/f distribution relative	Porosité	Abondance des vides [b]	Degré d'agrégation	Classement	Fraction grossière	Abondance relative [b]	Fraction fine	Abondance relative [b]	Type d'excrément	Abondance relative [b]	Type	Caractères descriptifs	Abondance relative [b]
1	1	Sub-surface	5-14	Mag/Ag	●	Ch	Fi	●●	F	Pc	Qz/R	●	Ar	●●●	Ench	●●●	Pa		(●)
2	2	Anthropisation ténue	14-34	MaF/Mag	●	Ch	Fi	●	M	Pc	Qz/R	●	Ar	●●●	Geo	●●	Pa		(●)

Légende (d'après Bullock et al. 1985) :
b = abondance relative en lames minces : (●) = rare ou absent ; ● = un peu / légèrement développé ; ●● = moyen / fréquent / assez développé ; ●●● = important / abondant / bien développé
Type de microstructure = Mag : microagrégée ; MaF : massive fissurale ; Ag : agrégée
C/F distribution relative (éléments grossiers par rapport aux éléments fins) = Ch : chitonique
Degré d'agrégation = F : fortement développé ; M : moyennement développé
Classement = Pc : peu classé
Fraction fine (fraction dominante) = Ar : argiles
Traits biologiques (excrémentaux) = Ench : enchytraeides ; Geo : géophages
Porosité = Fi : fissurale
Fraction grossière = Qz : quartz ; R : runiquartz
Traits argileux = Pa : papules

Tableau 57 : Descriptif des UMiS définies par l'observation micromorphologique, profil MC 87-5.

II.3.2. Comptages micromorphologiques dans le profil MC87-5

Le profil se caractérise par l'absence d'agrégats brûlés. Les charbons comptabilisés ne dépassent pas 18%, et ils sont globalement moins abondants que dans les profils précédents. Leur répartition forme quatre ensembles principaux (**Figure 115**). Le premier, s'étend sur les premiers centimètres du profil depuis la surface, avec une part charbonneuse qui n'excède pas 8%. Le second, entre 10 et 15 cm, présente une légère augmentation de l'abondance des charbons, dépassant 10%. Dans ces deux premiers ensembles, la taille des charbons n'excède pas 1000 micromètres. Le troisième ensemble, entre 15 et 23 cm de profondeur environ, est le plus concentré en charbons qui atteignent 18%, avec l'apparition des macrocharbons. Enfin, dans le dernier ensemble, l'abondance des charbons diminue légèrement, représentant une moyenne de 12%.



Légende : le trait continue marque la limite entre les deux UMiS, les pointillés et le trait rouge matérialisent différentes zones d'abondances des charbons.

Figure 115 : Microanthraco séquence et abondances des pédo/lithoreliques et des runiquartz, dans le profil MC 87-5.

Les quatre ensembles définis par les abondances charbonneuses concordent en partie aux deux UMiS. L'UMiS 1 correspond aux deux premiers ensembles de la microanthraco séquence, et l'UMiS 2 aux deux ensembles inférieurs.

Les pédo/lithoreliques, ainsi que les runiquartz comptabilisés suivent à peu près la même évolution dans les sols que les deux UMiS définies, en formant deux ensembles principaux. Le premier, qui s'étend entre 5 et 15 cm (UMiS 1), contient très peu de pédo/lithoreliques et de runiquartz. Alors que dans le second ensemble (UMiS 2), qui s'étend jusqu'à la limite basale d'observation du profil, ils apparaissent plus nombreux, les pédo/litho reliques atteignant plus de 20% et les runiquartz plus de 10%. Notons enfin que, dans l'UMiS 2, les pics d'abondance des pédo/lithoreliques, des runiquartz et des charbons semblent assez bien corrélés.

II.3.3. Caractères physico-chimiques des sédiments constituant le profil MC87-5

Au même titre que dans les profils précédents, tous les prélèvements ont été utilisés pour réaliser ces statistiques descriptives des résultats physico-chimiques, entre 5 et 55 cm de profondeur (**Tableaux 58, 59 et 60**).

Les sédiments formant ce profil sont, ici aussi, composés en moyenne à 62,9% par la fraction argileuse. Les fractions limoneuses et sableuses constituent respectivement un peu moins de 20% de la matrice. Le pH, au même titre que les profils précédents, témoigne de sols acides. Le rapport C/N est similaire à celui observé dans les deux profils précédents. En revanche, le carbone organique est globalement plus bas, avec un maximum à 2,3%. La susceptibilité magnétique ne varie pas de manière importante entre le minimum et le maximum, proche des valeurs de MC87-3.

	Argiles	Limons tot	Sables tot	pH	C/N	Corg	S. Mag
		(%)		-	-	(%)	($x10^{-9}$ m^3/kg)
Min	59,4	13,2	18,4	4,6	15,9	1,4	3291,8
Max	68,4	21,2	21,3	4,8	20,9	2,3	3380,9
Moy	62,9	17,4	19,7	4,8	18,3	1,8	3336,3
ET	4,8	4,0	1,5	0,1	2,1	0,4	39,1

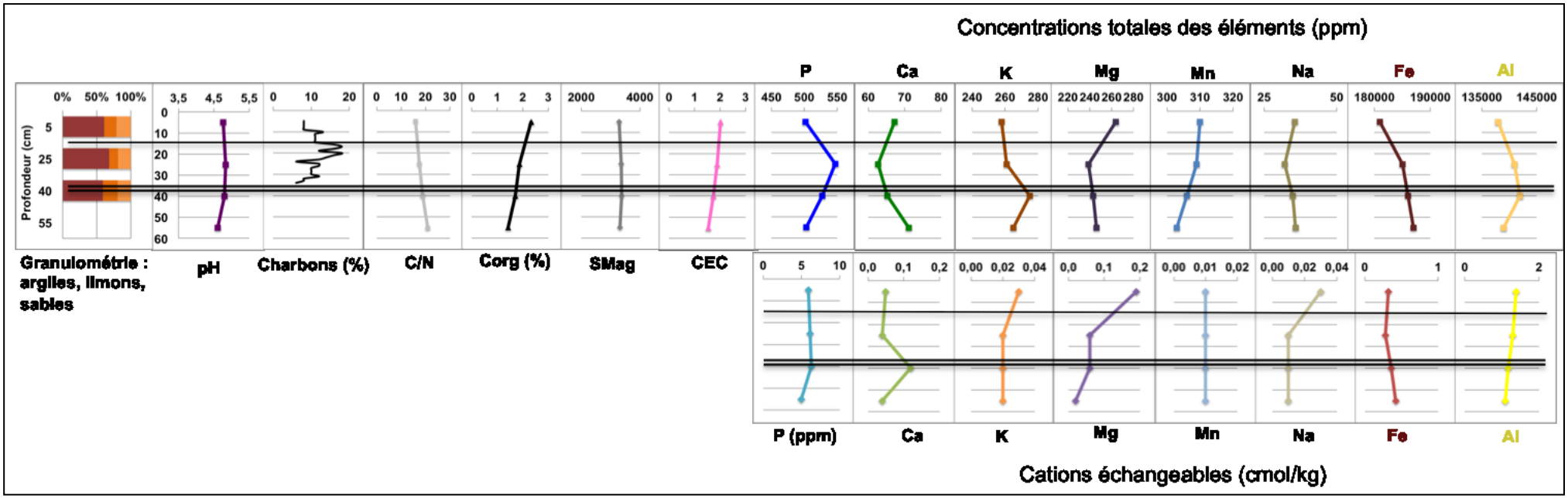
Tableau 58 : Statistique descriptive des fractions granulométriques, du pH, du C/N, du Corg et de la susceptibilité magnétique, MC 87-5 (n=4).

Olsen-Dabin (ppm)	Cobaltihéxamine (cmol/kg)								
	P	CEC	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Al
Min	5,0	1,5	0,04	0,02	0,01	0,02	0,14	0,01	1,09
Max	6,3	2,0	0,12	0,19	0,03	0,03	0,21	0,01	1,39
Moy	5,8	1,8	0,06	0,08	0,02	0,02	0,17	0,01	1,24
ET	0,6	0,2	0,04	0,07	0,01	0,00	0,03	0,00	0,13

Tableau 59 : Statistique descriptive du dosage en des cations échangeables, MC 87-5 (n=4).

	Eau régale (ppm)							
	Ca	K	Mg	Mn	P	Al	Fe	Na
Min	62,7	258,0	239,0	303,0	502,0	138000,0	181000,0	32,1
Max	71,1	275,0	264,0	310,0	547,0	142000,0	187000,0	35,8
Moy	66,6	264,8	248,0	307,0	519,8	140000,0	184750,0	34,6
ET	3,5	7,4	11,0	3,2	21,5	1825,7	2630,0	1,7

Tableau 60 : Statistique descriptive des concentrations totales en éléments majeurs, MC 87-5 (n=4).



Légende : le trait marque la limite entre les deux UMiS et le double trait continu marque la limite inférieure de l'observation micromorphologique.

Figure 116 : Évolution des paramètres physico-chimiques et de l'abondance des charbons avec la profondeur, MC87-5.

En terme de texture, ce profil n'est pas homogène dans toute son épaisseur, à la différence des deux profils précédemment observés (**Figure 116**). De manière générale, dans toute la séquence, on voit que la majorité des paramètres mesurés, hormis certains éléments totaux et cations échangeables, ne présentent pas de variations importantes. Notons, en outre, que dans la séquence entière, phosphore et calcium total sont corrélés négativement. De plus, la concentration en fer « libre » dans ce profil ne suit pas la même évolution que dans les deux profils précédents, à la différence de l'aluminium « libre ». En effet, le fer « libre » est moins concentré en surface, et augmente jusqu' à 55 cm de profondeur, à l'inverse de l'aluminium « libre » qui suit l'exacte évolution contraire.

La partie supérieure du profil (UMiS 1), comme les profils MC87-3 et 4, est caractérisée par les plus importantes concentrations en carbone organique, ainsi que pour trois des cations échangeables que sont potassium, magnésium et sodium. Ceci est également valable pour les concentrations totales en magnésium et manganèse. Dans le niveau observé en lames minces, là où les charbons représentent environ 20% de la matrice, le phosphore et le manganèse total augmentent très légèrement (UMiS 2). Sous la séquence observée en lames minces, autour de 40 cm de profondeur, un pic du potassium total associé au calcium et au magnésium, échangeables, est observé. Dans le bas du profil, le C/N, le calcium et le sodium total augmentent très légèrement.

II.4. Profil MC87-1 - dans le remplissage du fossé

II.4.1. Rappel des données archéologiques et de terrain

D'après les observations de terrain, quatre UMaS ont été définies dans le remplissage du fossé de la MC 87, au niveau du profil 1 (**Tableau 61**).

UMaS archéologues	Prof. (cm)	Stratigraphie archéologique	N° lame mince
1	0-14	Horizon superficiel actuel.	1-1 haut et milieu
2	14-60	Couche supérieure du remplissage du fossé-texture limono-argileuse, sols plus massifs.	1-1 bas; 1-2; 1-3; 1-4H
3	60-90	Couche inférieure du remplissage du fossé – texture argilo-limoneuse, sols plus agrégés.	1-4B ; 1-5a ; 1-5b ; 1-6 haut
4	90-110	Fond du fossé : substrat en place, altérites entaillées lors du creusement du fossé.	1-6 bas

Tableau 61 : Description de la stratigraphie du fossé de la MC 87, profil MC 87-1 et concordance avec les lames minces (d'après Hildebrand et al. en préparation).

II.4.2. Observations micromorphologiques

L'analyse micromorphologique a permis de définir dix UMiS différentes (**Annexe 1 - Planche 29**), décrites ici du haut vers le bas du remplissage (**Tableaux 62 et 63**). L'UMiS 1 présente la structure, la texture et la composition typique d'un horizon de sub-surface actuel, avec une microstructure agrégée, d'origine biologique, et de nombreuses racines encore visibles. Les huit UMiS développées ensuite forment le cœur du remplissage du fossé. Elles présentent des caractères optiques assez similaires, avec des différences en terme de degré d'agrégation (intensité de la bioturbation) et de présence ou non des traits argileux. L'abondance des constituants anthropiques permet également de les distinguer les unes par rapport aux autres. L'UMiS 2 présente une juxtaposition de plages assez massives et de plages microagrégées. La bioturbation y est moins intense que dans l'UMiS 1. Les constituants anthropiques sont plus fréquents à partir de cette UMiS. Dans l'UMiS 3 on repasse à une microstructure plus agrégée, où la bioturbation est un peu plus développée. L'UMiS 4 présente à nouveau une juxtaposition de plages assez massives et de plages microagrégées, où ici les déjections de la faune proviennent essentiellement d'enchytraeides favorisant une microagrégation de la masse fine. Les agrégats brûlés d'origine anthropiques sont plus abondants qu'au-dessus. L'UMiS 5 est plus massive, agrégée avec très peu de bioturbation formant principalement des agrégats excrémentaux massifs de type géophage. Au sein de l'UMiS 6 les enchytraeides ont également favorisé une microagrégation de la matrice. Des revêtements argileux, ainsi que des papules apparaissent dans certains agrégats massifs du sol. L'apparition de ces traits argileux dans cette unité marque comme une limite entre les UMiS supérieures, qui en sont dépourvues, et celles qui forment le bas du fossé. Dans ces cinq UMiS basale, des agrégats de sol sont visibles, certains non remaniés conservant leur texture d'origine et d'autres, en revanche, plus remaniés.

L'UMiS 7 est un peu plus massive que l'UMiS 6, avec une agrégation légère de sa matrice. A partir de cette UMiS, les macrocharbons sont plus abondants. Dans l'UMiS 8 la bioturbation est à nouveau plus développée qu'au-dessus. Elle se compose principalement de déjections d'enchytraeides, dont la fraicheur, la forme et la structure suggèrent une activité assez moderne (J.-F. Ponge com. pers.). Le fait que les enhytraeides se retrouvent aussi profondément peut s'expliquer par la présence de racines, fraîches ou anciennes qui vont leur servir de réserves de matière organique, ne nécessistant pas alors de retour à la surface pour vivre (ibid.). Quelques revêtements argileux limpides sont visibles ici.

L'UMiS 9 redevient ensuite plus massive. Dans les deux UMiS 8 et 9, les constituants anthropiques que sont macrocharbons et agrégats brûlés sont abondants. L'UMiS 10 se caractérise par une matrice assez massive. La bioturbation n'y apparaît pas très intense.

Quelques pores en forme de chambres y sont néanmoins encore visibles, témoignant de la présence ancienne de la faune du sol. La fine fissuration provient d'alternance humectation / dessiccation et reprend une agrégation ancienne d'origine biologique. Des remplissages argileux viennent combler en partie la porosité. De rares racines sont présentes, surtout dans le bas de l'unité.

UMaS	UMiS	Horizon/Niveau	Prof. (cm)	Macrocharbons	Phytolithes	Microesquilles d'os	Fragment de céramique	Agrégats brûlés
1	1	Surface	1-14	(●)	●	(●)	(●)	●
2	2	Remblai	14-25	●●	●●	(●)	(●)	●●
	3	Remblai	25-32	●	●●	(●)	(●)	●●
	4	Remblai	32-35	●	●●	(●)	(●)	●●●
	5	Remblai	35-40	●	●●	(●)	(●)	●●
	6	Remblai/Colluvions fines	40-56	●	●●	(●)	(●)	●●●
	7	Remblai	56-60	●●	●●	(●)	(●)	●●
3	8	Remblai	60-66	●●●	●●	(●)	(●)	●●
	9	Remblai	66-78	●●●	●●	(●)	(●)	●●
	10	Remblai/Colluvions fines	78-90	●●●	●	(●)	(●)	●●

Légende : (●) = rare ou absent ; ● = un peu ; ●● = fréquent ; ●●● = abondant.

Tableau 62 : Abondance relative des constituants anthropiques observés en lames minces, MC 87-1.

UMaS	UMiS	Horizon/Niveau	Profondeur (cm)	MICROSTRUCTURE						MATRICE					PRINCIPAUX TRAITS PEDOLOGIQUES				
															Biologiques		Argileux		
				Type de microstructure	Empoussièrement [b]	C/f distribution relative	Porosité	Abondance des vides [b]	Degré d'agrégation	Classement	Fraction grossière	Abondance relative [b]	Fraction fine	Abondance relative [b]	Type d'excrément	Abondance relative [b]	Type	Critères descriptifs	Abondance relative [b]
1	1	Surface	janv-14	MaF/Ag	●●	Ch	Chm	●●	F	Pc	Qz	●	Ar	●●●	Ench/Alt	●●	Pag	L	●
	2	Remblai	14-25	Ag/MaF	●●	Ch	Chm/Fi	●	P	Pc	Qz	●	Ar	●●●	Ench/Geo/Oagl	●	Pag	L	(●)
	3	Remblai	25-32	Ag/Mag	●●	Ch	Chm/Fi	●●	F	Pc	Qz	●	Ar	●●●	Ench/Geo/Oagl	●●			(●)
	4	Remblai	32-35	Ma/Mag	●●	Ch	Chm	●●	M	Pc	Qz	●	Ar	●●●	Ench	●●			(●)
	5	Remblai	35-40	Ma/Ag	●●	Ch	Chm	●	M	Pc	Qz	●	Ar	●●●	Geo	●			(●)
	6	Remblai / Colluvions fines	40-56	Ag/MaF	●●	Ch	Chm/Fi	●●	F	Pc	Qz	●	Ar	●●●	Ench	●●	Rag/Pag	L	●
2	7	Remblai	56-60	Mag/Ag	●●	Ch	Fi	●	M	Pc	Qz	●	Ar	●●●	Ench	●	Pag	L	●
	8	Remblai	60-66	Mag	●●	Ch	Chm	●●	F	Pc	Qz	●	Ar	●●●	Ench	●●	R	L	(●)
	9	Remblai	66-78	MaF/Ag	●●	Ch	Chm	●●	F	Pc	Qz	●	Ar	●●●	Ench/Geo	●	Rag	L/Fr	●
3	10	Remblai / Colluvions fines	78-90	Ma/MaF	●	Ch	Chm/Fi	(●)	P	Pc	Qz	●	Ar	●●●	Geo	(●)	R	L/Fr/Re	●

Légende (d'après Bullock et al. 1985) :
[b] = abondance relative en lames minces : (●) = rare ou absent ; ● = un peu / légèrement développé ; ●● = moyen / fréquent / assez développé ; ●●● = important / abondant / bien développé.
Type de microstructure = Ag : Agrégée; Mag : Microagrégée; Ma : Massive; MaF : Massive fissurale.
C/F distribution relative (éléments grossiers par rapport aux éléments fins) = Ch : chitonique
Porosité= Chm : en Chambre; Fi : Fissures
Degré d'agrégation = P : Peu développé; M : Moyennement développé; F : fortement développé.
Fraction grossière = Qz : Quartz.
Fraction fine (fraction dominante) = Ar : argile.
Classement = Pc : peu classé
Traits biologiques (excrémentaux) = Ench : Enchytraeides; Geo : Géophages ; Alt = Altéré ; Oagl = formes ovales agglomérées tassées.
Traits argileux = R : revêtement ; Rag : revêtements au sein des agrégats de sols ; Pag : papules au sein des agrégats de sols - L : limpide jaune à orangé ; Fr : fracturés/cassés ; Re : en remplissage.

Tableau 63 : Descriptif des UMiS définies en lames minces, MC 87-1.

II.4.3. Comptages micromorphologiques au sein du remplissage du fossé : MC 87-1

Globalement, la microanthraco séquence se corrèle positivement aux UMiS définies précédemment par l'analyse micromorphologique. Six ensembles principaux de concentrations charbonneuses apparaissent, plus ou moins corrélés positivement à l'abondance des agrégats brûlés (**Figure 117**). La relation avec les pédo/lithoreliques et les runiquartz est plus complexe.

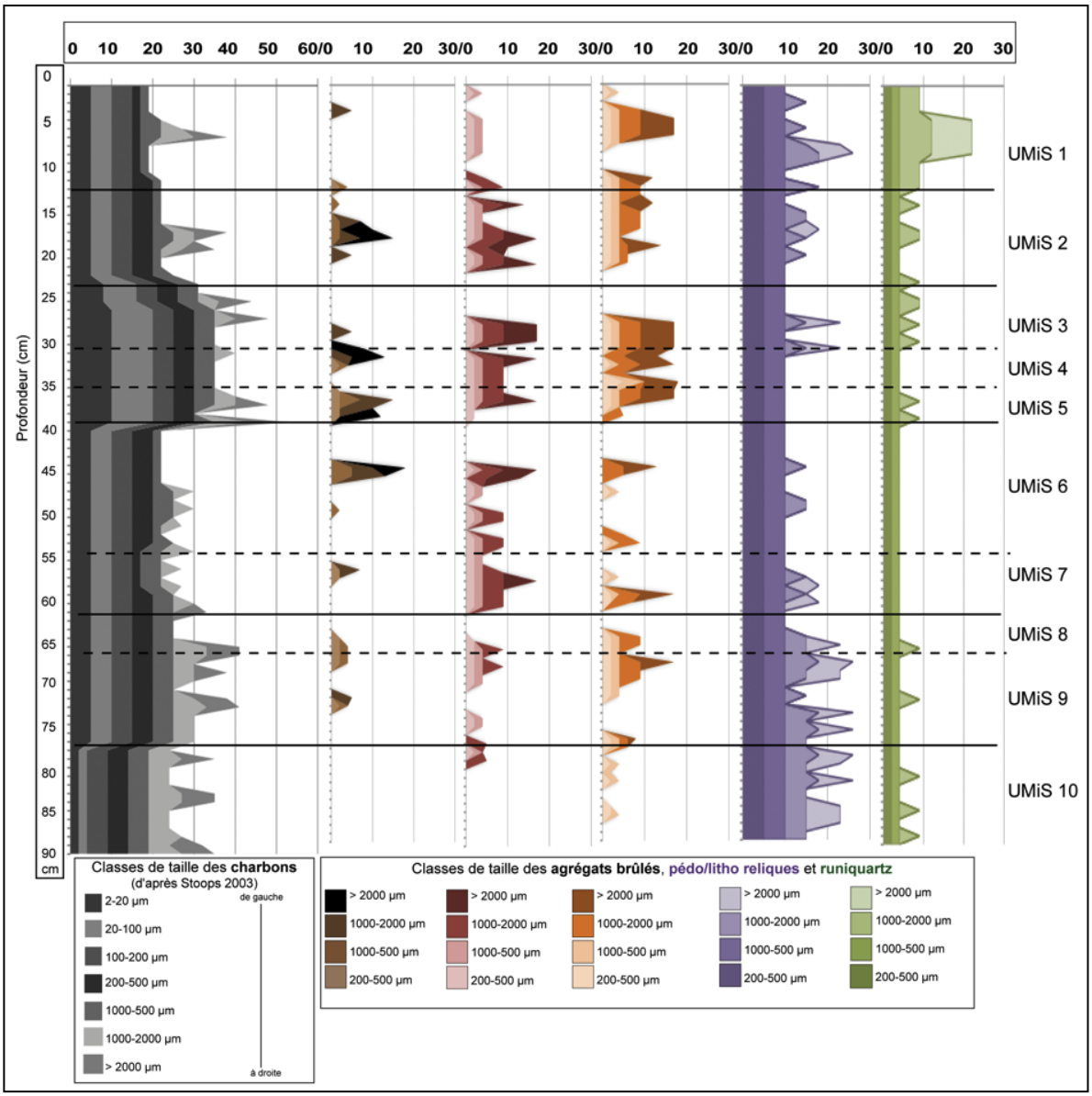
Le premier ensemble charbonneux s'étend sur une épaisseur d'une dizaine de centimètres, depuis la surface. Il comprend en moyenne un peu moins de 20% de charbons, avec un pic à 38%. Les agrégats brûlés noirs et rouges y sont quasiment absents, et les agrégats brûlés jaunes, les plus abondants, ont un pic à 18%, corrélé au pic de charbon, à 5 cm de profondeur. Les pédo/lithoreliques et les runiquartz sont également assez concentrés ici, représentant respectivement plus de 20%.

Le second ensemble, entre 10-23 cm environ, voit ses concentrations en charbons et agrégats brûlés noirs et rouges augmenter, alors que les agrégats jaunes, toujours présents, diminuent légèrement. Les pédo/lithoreliques, ainsi que les runiquartz diminuent légèrement ici, en-dessous de 20% et 10% respectivement.

Le troisième ensemble s'étend sur une épaisseur d'une vingtaine de centimètres. Les charbons et les agrégats brûlés y sont les plus abondants. Les pédo/lithoreliques et les runiquartz restent assez peu concentrés, avec quelques pics de pédo/lithoreliques tout de même qui représentent plus de 20%.

Le quatrième ensemble s'étend également sur vingt centimètres d'épaisseur, entre 40-60 cm de profondeur. Ici, les charbons diminuent pour atteindre une moyenne de 20%, avec quelques pics à 30%. Les agrégats brûlés restent assez concentrés mais de manière plus disparate. Les agrégats noirs disparaissent quasiment avec la profondeur. Les pédo/lithoreliques restent autour de 10% avec quelques pics à 15%, et les runiquartz sont constants à environ 4%. Le cinquième ensemble se développe entre 60-77 cm de profondeur environ. Les charbons augmentent à nouveau. Les agrégats brûlés noirs ont quasiment disparus, sauf à certains endroits où ils composent seulement 5%. Les agrégats rouges diminuent globalement, atteignant un maximum de 10% et les agrégats jaunes, malgré un pic à 15% tendent à disparaître. Dans ce niveau, les pédo/lithoreliques sont plus abondantes, formant plus de 25%. Les runiquartz, en revanche, ne dépassent pas les 10%.

Le sixième et dernier ensemble, dans le bas du fossé, présente une abondance de charbons encore assez importante, alors que les agrégats brûlés tendent à disparaître. En revanche, les pédo/lithoreliques sont abondantes, comme dans le niveau au-dessus, et les runiquartz sont assez peu présents.



Légende : les traits continus marquent la limite entre les six ensembles discriminés par l'abondance des charbons, qui correspondent à plusieurs limites d'UMiS. Les traits pointillés délimitent les UMiS non discriminées par les charbons.

Figure 117 : Microanthraco séquence et abondance des agrégats brûlés, noirs, rouges et jaunes, ainsi que des pédo/lithoreliques et des runiquartz, dans le profil MC 87-1.

II.4.4. Caractères physico-chimiques des sédiments constituants le profil MC87-1

Au même titre que les profils précédents, tous les échantillons de la séquence ont été utilisés pour faire ces statistiques descriptives, soit entre 5 et 90 cm de profondeur (n=7 sauf pour le $\delta^{13}C$).

La fraction argileuse est toujours dominante, tout en restant inférieure aux profils précédents (sols dans l'enceinte), n'excédant pas 54% à l'inverse de la fraction sableuse qui représente jusqu'à 41% de la matrice, avec une moyenne à 34%, nettement supérieure

aux profils précédents. Les limons totaux composent également une part assez importante de la matrice, entre 17 et 26%. Le pH, < 5, témoigne, au même titre que les profils précédents, de sols acides. Le carbone organique est globalement proche de celui mesuré dans MC87-3, avec une moyenne à 3%. Le rapport C/N, ainsi que la susceptibilité magnétique présentent les plus fortes valeurs mesurées jusqu'à présent, avec des moyennes à 19,3 pour le premier et à 5131,8 10^{-9} m^3/kg pour la seconde. La valeur maximum du rapport C/N apparait très élevée, ce qui est vraiment peu classique pour des Ferralsols développés sous forêt (B. Ferry com. pers.). L'unique mesure du $\delta^{13}C$ réalisée presque à la surface du profil, indique une végétation de type forestière.

	Argiles	Limons tot	Sables tot	pH	C/N	Corg	S. Mag	$\delta^{13}C$
		(%)		-	-	(%)	($x10^{-9}$ m^3/kg)	(‰)
Min	37	17	24	4,5	16,5	2,1	3784,7	
Max	54	26	41	4,9	22,9	5,6	7497,1	-26,1
Moy	44	22	34	4,7	19,3	3,2	5131,8	(n=1)
ET	6	4	6	0,1	2,6	1,2	1365,5	

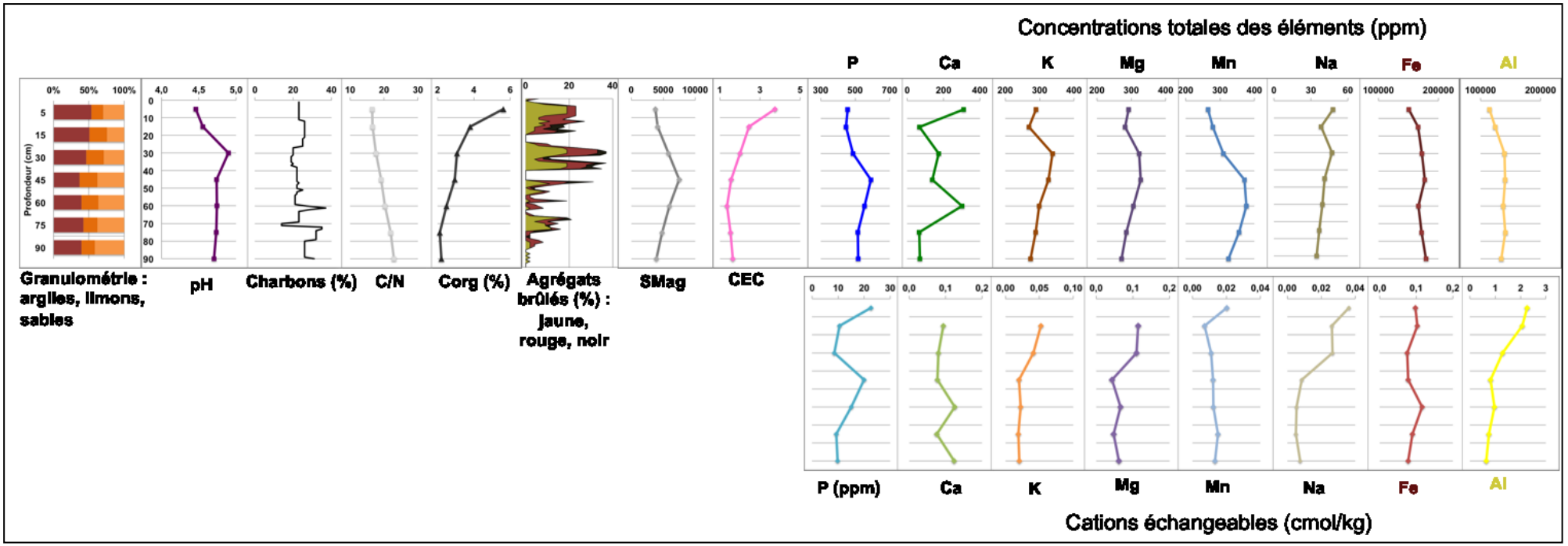
Tableau 64 : Statistique descriptive des fractions granulométriques, du pH, du C/N, du Corg et de la susceptibilité magnétique, MC 87-1.

Olsen-Dabin (ppm)	Cobaltihéxamine (cmol/kg)							
	P	**CEC**	**Ca**	**Mg**	**Na**	**K**	**Fe**	**Mn**	**Al**
Min	8,5	1,4	0,08	0,04	0,01	0,02	0,08	0,01	0,64
Max	22,6	3,8	1,12	0,60	0,04	0,11	0,12	0,02	2,26
Moy	13,7	2,0	0,24	0,15	0,02	0,04	0,09	0,01	1,25
ET	5,7	0,8	0,39	0,20	0,01	0,03	0,02	0,00	0,66

Tableau 65 : Statistique descriptive du dosage en cations échangeables, MC 87-1.

Eau régale (ppm)								
	Ca	**K**	**Mg**	**Mn**	**P**	**Al**	**Fe**	**Na**
Min	65,4	268,6	272,1	264,7	446,0	115063,0	150542,0	34,7
Max	310,8	337,3	327,7	376,6	591,2	141277,8	179186,9	47,9
Moy	160,7	297,3	298,3	325,7	509,8	133437,9	169134,8	40,7
ET	107,4	25,6	21,1	44,1	52,0	10063,0	9544,6	5,1

Tableau 66 : Statistique descriptive des concentrations totales en éléments majeurs, MC 87-1



Légende : comme pour MC87-3 et MC87-4, il a été fait le choix de ne pas représenter les concentrations du calcium, potassium et magnésium échangeables dans l'horizon de surface, à 5 cm de profondeur (premier point). Ces valeurs étant très importantes (Tableaux 65 et 66 : Max-Ca, K et Mg), elles n'auraient pas permis d'observer les variations fines de leurs concentrations dans le reste du profil.

Figure 118 : Évolution des paramètres physico-chimiques et de l'abondance des charbons et des agrégats brûlés, avec la profondeur, au sein du profil MC87-1.

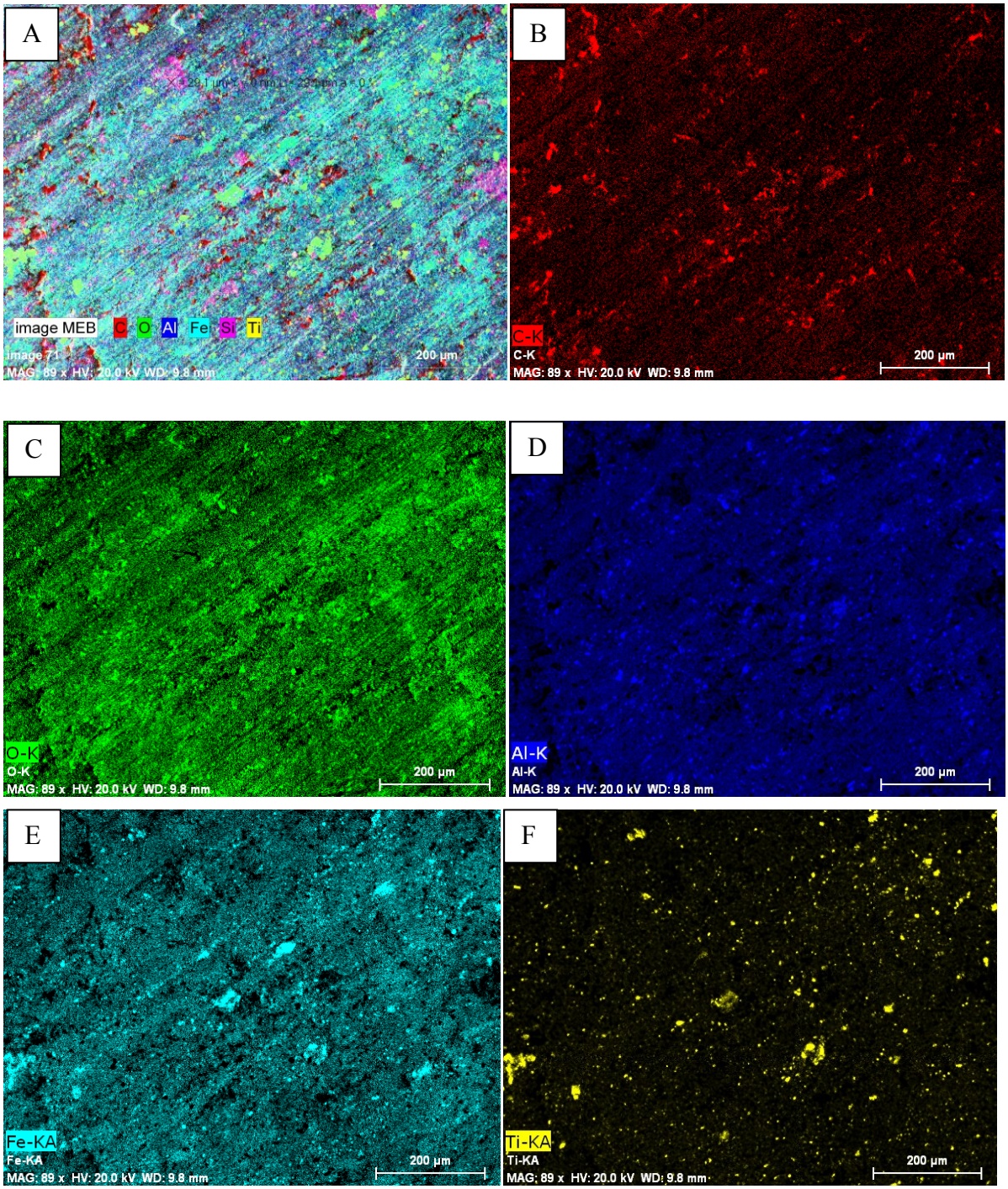
Les fractions granulométriques ne sont pas réparties de manière homogène dans le profil : le fond du fossé étant plus riche en fraction sableuse, alors que la surface est dominée par des sédiments argileux (**Figure 118**). Globalement, certains paramètres mesurés évoluent de manière assez similaire aux profils 3 et 4, comme le pH et le Corg, qui diminuent avec la profondeur, alors que le C/N augmente dans le bas du profil. En revanche, les concentrations totales des éléments dosés, et les cations échangeables présentent des évolutions différentielles, assez corrélées aux comptages des charbons et des agrégats brûlés. Par exemple, à 45 cm, le P ass et tot forment un pic, commun avec la susceptibilité magnétique. Un peu plus bas, c'est le Ca éch et tot qui augmentent, associés au K et Mg éch qui sont légèrement plus concentrés.

D'autre part, le K, Mg et Mn tot présentent un « ventre » de concentration, plus ou moins marqué en fonction des éléments, sur une épaisseur du remplissage du fossé assez importante, en lien avec l'évolution globale de la S. Mag et du P tot.

II.4.5. Données complémentaires

II.4.5.1. Observation d'un agrégat de sol au microscope électronique à balayage (MEB)

L'analyse au MEB s'est focalisée sur un agrégat de sol qui présente les caractères optiques (à la loupe binoculaire) d'un agrégat non brûlé. Elle met en évidence qu'il est composé des mêmes éléments chimiques principaux que ceux rencontrés dans les agrégats des profils MC87-3 et MC87-4, à savoir d'hydroxyde aluminium (23,8%) tel que la gibbsite, d'oxyde de fer (23,1%) comme la goethite, de silice (8%) pour le quartz, et de titane (2,9%). Cette analyse révèle que ces éléments sont présents naturellement et localement dans les sols de la montagne couronnée 87 (**Figures 119 et 120 et Anexe 6 tableau 5**).



Légende : l'image A contient tous les éléments chimiques, déclinés en fonction des couleurs dans les images suivantes : B = carbone, C=oxygène, D=aluminium, E=fer, F=titane.

Figure 119 : Eléments chimiques mis en évidence par l'analyse MEB, en terme de présence surfacique.

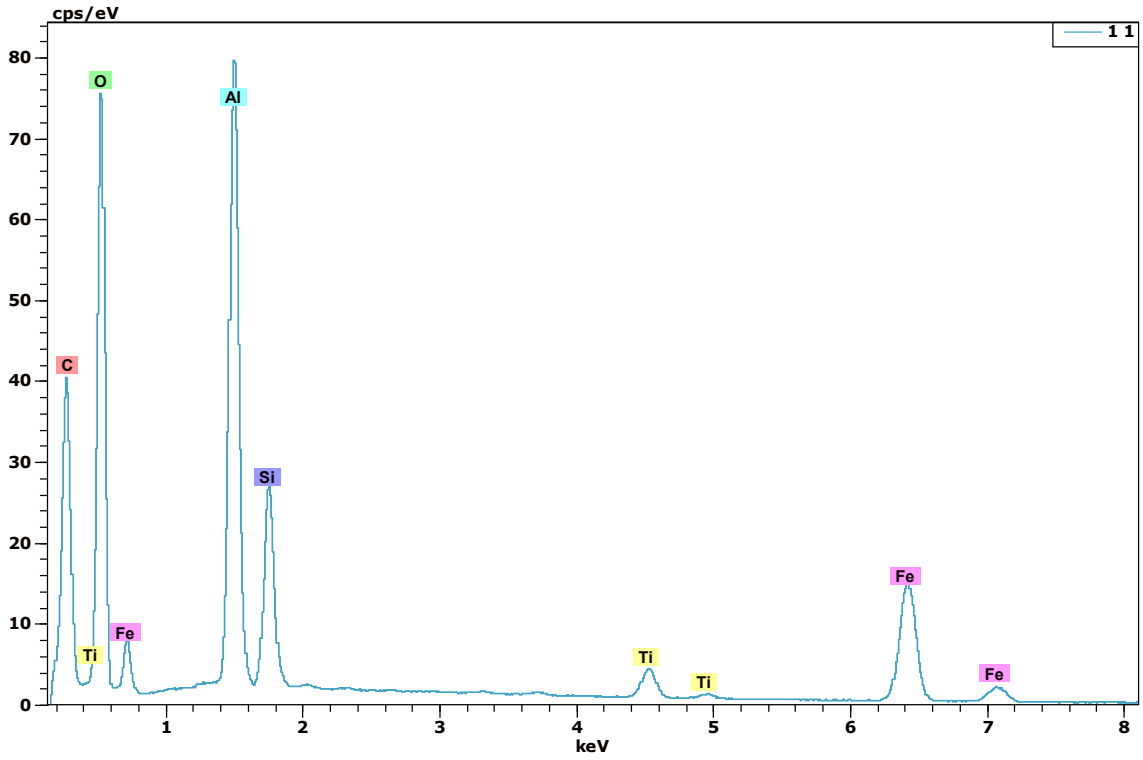


Figure 120 : Eléments chimiques mis en évidence par l'analyse MEB dans un agrégat de sol, MC87-1.

II.4.5.2. Observations et déterminations des phytolithes

Grâce à l'extraction des phytolithes effectuée par A. Emery Barbier, il a été possible de distinguer plusieurs formes de phytolithes dans les sédiments du fossé de la MC 87. La première, la plus abondante, est sphérique et épineuse. Ces phytolithes sont typiques de la famille des palmiers (Delhon 2008 ; R. Thomas com. pers.). Pour une détermination au-delà de la famille, il serait nécessaire de réaliser des analyses morphométriques plus poussées (Delhon 2003).

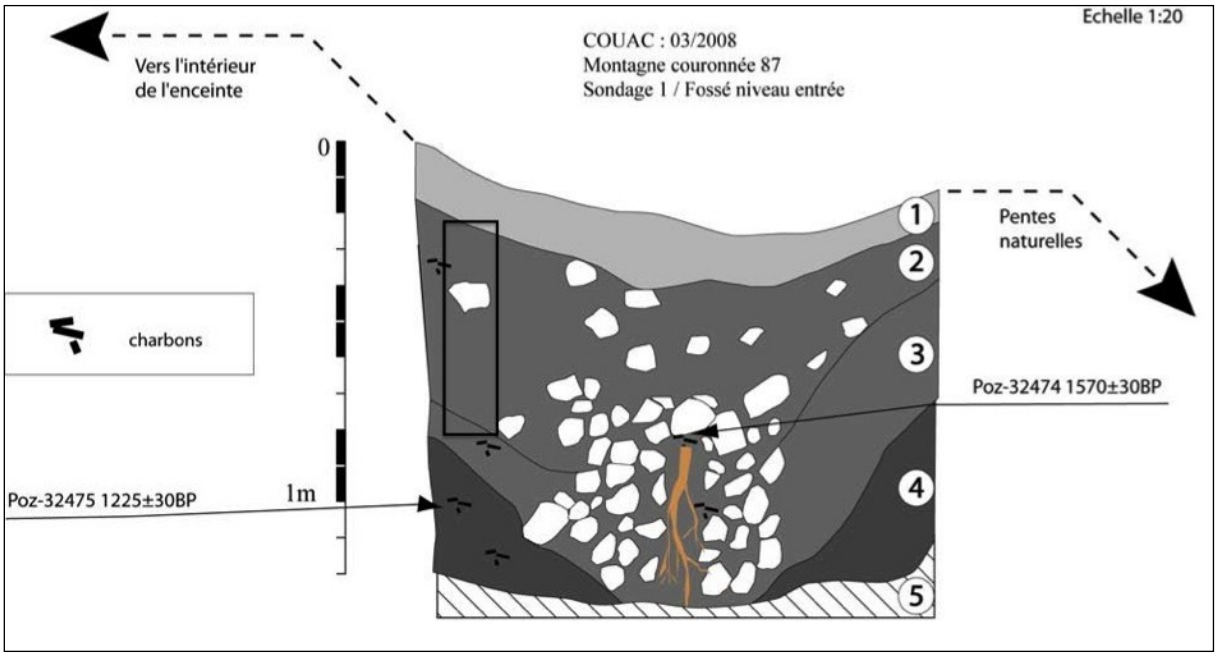
Le second type provient des cellules épidermiques de graminées qui forment le squelette de la plante, donnant des phytolithes allongées (*Psilate et Echinate elongate*) (Bremond et al. 2008 ; Dehlon 2008). Elles peuvent être à bord lisses, à bord sinueux ou de forme dendritique. Ces différents caractères morphologiques sont des indices de l'organe originel de la plante. Ici, les deux premières formes ont principalement été observées (**Annexe 1 - Planche 30 : D, E et F**). Les cellules longues à bords lisses proviennent des tiges, et lorsqu'elles sont sinueuses, elles sont produites souvent dans les feuilles (Delhon 2008). Un troisième type de phytolithe a été observé ici. Ils sont plus fins et allongés de type scléréïde (*sclereid*) provenant souvent de feuilles de plantes ligneuses (arbres / arbrisseau) (J. Watling com. pers. et Piperno 2006). Enfin, un dernier type, globulaire granulaire

(*globular granulate*) est produit également dans le bois des espèces ligneuses tropicales (arbres) (Scurfield et al. 1974 et Kondo et al. 1994, cités par Bremond et al. 2008). Ces deux derniers types de phytolithes témoignent de la prédominance d'un couvert végétal forestier tropical (Piperno 2006).

II.5. Profil MC87-2 - remplissage du fossé de la MC 87

II.5.1. Rappel des données archéologiques de terrain

Dans cette partie du remplissage du fossé de la MC 87, cinq UMaS ont été discriminées sur le terrain par les archéologues (**Tableau 67**). Elles sont plus ou moins présentes entre la partie centrale et les bords du fossé (**Figure 121**). Rappelons qu'il a été fait le choix de réaliser les prélèvements micromorphologiques sur le bord gauche vers l'enceinte, du comblement centrale du fossé, afin de renseigner de la présence probable d'une palissade.



Légende : le rectangle noir correspond à l'emplacement des prélèvements micromorphologiques.

Figure 121 : Représentation schématique du remplissage du fossé de la MC87, profil MC87-2 (d'après Hildebrand et al. en préparation).

UMaS archéos	Prof. (cm)		Hypothèses archéologiques/ datations (C14 sur charbons)	N° lame mince
	Côté vers le site	Partie centrale		
1	0-20		Horizon superficiel actuel	Non prélevé
2	20-60	20-70	Phase de comblement du fossé : comblement naturel, postérieur à l'occupation ou contemporain de l'abandon du site (quelques blocs de latérites, sans charbon)	2-1H, 2-1B, 2-2
3	60-70	70-120	Phase de comblement du fossé : aménagement anthropique avec de gros blocs de latérites en partie centrale du fossé, charbons et tessons de céramiques : **1570 +/- 30 BP**	2-3
4	80-120	N'existe pas	Partie basale du comblement du fossé dont la mise en place serait juste postérieur au creusement du fossé (charbons) : **1225 +/- 30 BP**	Non prélevé
5	120 - 135		Fond du fossé : substrat en place, altérites entaillées lors du creusement du fossé	Non prélevé

Tableau 67 : Unités macroscopiques dans le remplissage du fossé de la MC 87 (profil MC87-2) définies sur le terrain, associées aux hypothèses archéologiques, en concordance avec les lames minces (d'après Hildebrand et al. en préparation).

II.5.2. Observations micromorphologiques

L'analyse micromorphologique a permis de définir cinq UMiS (**Annexe 1 - Planche 31**), décrites ici du haut vers le bas de la séquence stratigraphique (**Tableaux 68 et 69**). Elles se différencient notamment en terme de degré d'agrégation (intensité de la bioturbation) (**Tableau 68**). L'UMiS 1 est caractérisée par une microstructure assez massive fissurale, où plusieurs plages agrégées à microagrégées sont visibles, en lien avec l'activité biologique. Les constituants anthropiques y sont ici les plus abondants et les plus variés avec notamment un fragment de céramique et quelques microesquilles d'os altérés qui le jouxtent. Ces microesquilles d'os ont une forme assez anguleuse et des microponctuations noires (probables attaques bactériennes) (**Annexe 1 - Planche 24 : K**). La limite supérieure de l'UMiS 2 est marquée par une accumulation des racines orientées sub-horizontalement. Au sein de cette UMiS, une juxtaposition d'agrégats massifs fissuraux, et de boulettes de microagrégation apparaissent. La matrice y est très empoussiérée, et la matière organique favorise probablement d'autant l'activité biologique (enchytraeides et géophages). Les revêtements argileux sont légèrement présents ici.

L'UMiS 3 présente une microstructure où la porosité est assez développée. Ici, il y a une zone d'accumulation de graviers oblongs d'environ 1 à 2 cm de diamètre. Ils sont orientés sub-horizontalement. Leurs formes et leurs dispositions dans cet UMiS pourraient être

apparentées à une pseudo *stoneline* à l'échelle microscopique, pouvant former une barrière à la bioturbation. Elle est alors assez développée au-dessus (UMiS 2) et entre les graviers (UMiS 3) et quasiment plus en-dessous (UMiS 4). Au sein de l'UMiS 4, la matrice est principalement massive fissurale, en lien avec les phénomènes d'humectation-dessiccation des argiles. Dans les UMiS 3 et 4 les traits argileux sont rares. L'UMiS 5 est caractérisée par une microstructure assez agrégée à microagrégée, du fait d'une activité biologique assez développée, favorisée par l'empoussièrement important de la masse fine. Ici, ce sont principalement des déjections d'enchytraeides et de géophages de type *P. corethrurus* qui sont visibles. C'est l'unique niveau où l'on observe des revêtements argileux poussiéreux microlaminés. Plusieurs revêtements argileux limpides se sont également formés autour de certains constituants, comme les litho/pédoreliques et les agrégats brûlés (**Annexe 1 - Planche 21 : C et D**).

UMaS	UMiS	Horizon/Niveau	Prof. (cm)	Macrocharbons	Phytolithes	Microesquilles d'os	Fragment de céramique	Agrégats brûlés
2	1	Remblai	18-29	●●●	●●	●	●	●●●
	2	Remblai	29-46	●●●	●●	(●)	(●)	●●
	3	Remblai	46-49	●●	●●	(●)	(●)	●●●
	4	Remblai	49-59	●●	●●	(●)	(●)	●●
3	5	Remblai	59-65	●●●	●●	(●)	(●)	●●●

Légende : (●) = rare ou absent ; ● = un peu ; ●● = fréquent ; ●●● = abondant.

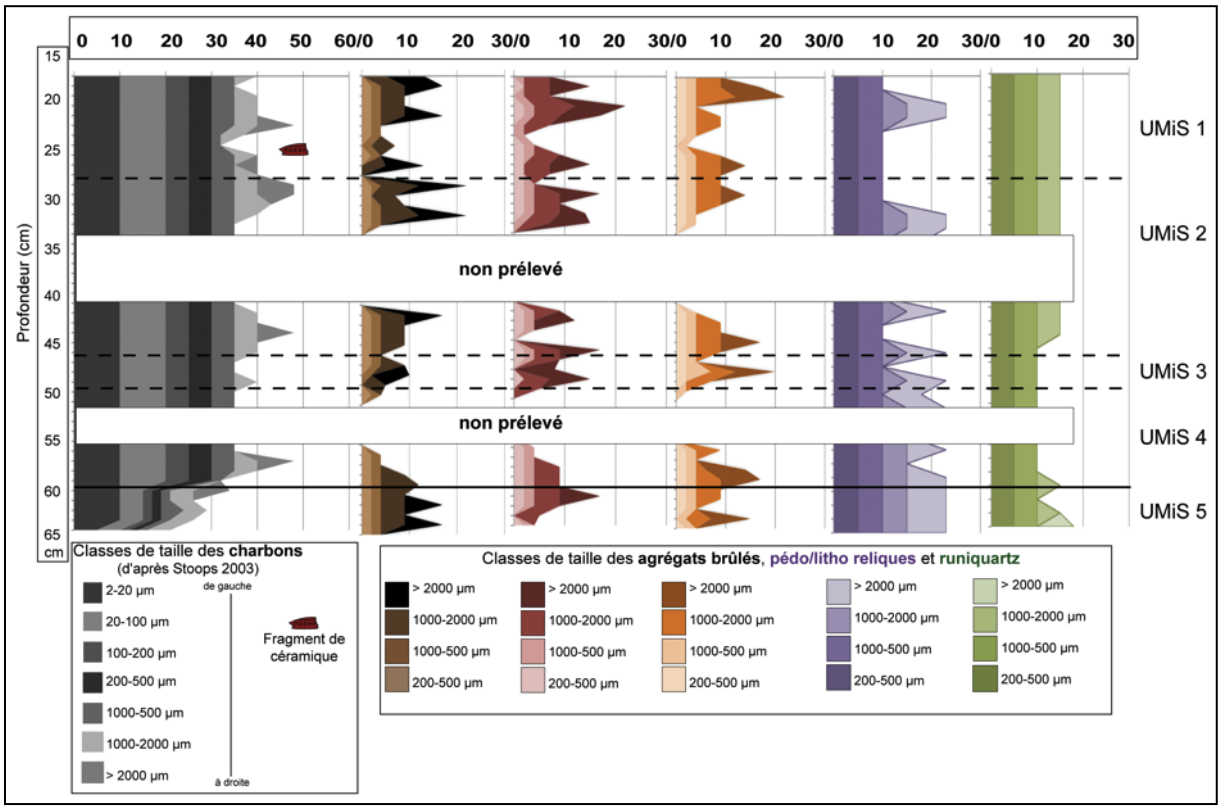
Tableau 68 : Abondance relative des constituants anthropiques observés en lames minces, MC 87-2.

UMaS	UMiS	Horizon/Niveau	Profondeur (cm)	MICROSTRUCTURE							MATRICE			PRINCIPAUX TRAITS PEDOLOGIQUES				
														Biologiques		Argileux		
				Type de microstructure	Empoussièrement	C/f distribution relative	Porosité	Abondance des vides [b]	Degré d'agrégation	Classement	Fraction grossière	Abondance relative [b]	Fraction fine	Abondance relative [b]	Type d'excrément	Abondance relative [b]	Type	Critères descriptifs	Abondance relative [b]
2	1	Remblai	18-29	MaF/Ag	●	Ch	Chm	(●)	P	Nc	Qz	●	Ar	●●●	Geo/Ench	●	R	L	●
	2	Remblai	29-46	Ag/Mag	●●●	Ch	Fi/Chm	●	M	Nc	Qz	●	Ar	●●●	Geo/Ench	●●	R/Pa	L	●
	3	Remblai	46-49	MaF/Mag	●●	Ch	Fi	●●	M	Nc	Qz	●	Ar	●●●	Geo/Ench	●●	R	L	(●)
	4	Remblai	49-59	MaF	●●	Ch	Fi	(●)	P	Nc	Qz	●	Ar	●●●		(●)	R	L	(●)
3	5	Remblai	59-65	Mag/Ag	●●●	Ch	Fi	●	M	Nc	Qz	●	Ar	●●●	Geo/Ench	●	R/Pa	L/Ml/P	●●

Légende (d'après Bullock et al. 1985) :
b = abondance relative en lames minces : (●) = rare ou absent ; ● = un peu / légèrement développé ; ●● = moyen / fréquent / assez développé ; ●●● = important / abondant / bien développé.
Type de microstructure = Ag : agrégée; Mag : microagrégée; Ma : massive; MaF : massive fissurale.
C/F distribution relative (éléments grossiers par rapport aux éléments fins) = Ch : chitonique
Porosité= Chm : en chambre ; Fi : fissures
Degré d'agrégation = P : peu développé; M : moyennement développé
Traits biologiques (excrémentaux) = Ench : enchytraeides ; Geo : géophages
Traits argileux = R : revêtement ; Pa : papules - L : limpide jaune à orangé ; Ml : microlaminé ; P : poussiéreux
Fraction grossière = Qz : quartz
Classement = Nc : non classé
Fraction fine (fraction dominante) = Ar : argile

Tableau 69 : Descriptif des UMiS définies en lames minces, profil MC 87-2.

II.5.3. Comptages micromorphologiques dans le remplissage du fossé : MC87-2.



Légende : le trait continu marque la limite entre les deux ensembles discriminés par les abondances charbonneuses. Les pointillés constituent les limites des UMiS. Le fragment de céramique correspond à la Annexe 1 - Planche 32 et à l'Annexe 3.

Figure 122 : Microanthraco séquence et abondance des agrégats brûlés, noirs, rouges et jaunes, ainsi que des pédo/lithoreliques et des runiquartz, dans le profil MC 87-2.

Les abondances en charbons et agrégats brûlés sont globalement assez homogènes dans le profil (**Figure 122**). Jusqu'à 60 cm de profondeur, les charbons représentent en moyenne 40% et les trois types d'agrégats brûlés de 8 à 22% en fonction des niveaux. Les pédo/lithoreliques, ainsi que les runiquartz sont également répartis de manière assez homogène dans cette épaisseur. C'est justement leur présence et abondance qui ont empêché les prélèvements micromorphologiques entre 35-40 cm et 53-55 cm, juste au-dessus et en-dessous de ces profondeurs**.** En dessous de 60 cm de profondeur, les charbons diminuent jusqu'à moins de 30%, alors que les agrégats brûlés restent assez concentrés, au même titre que les pédo/litho-reliques qui représentent plus de 25%. Les runiquartz augmentent également.

Ici, les limites entre les UMiS discriminées en lames minces sont marquées principalement par des pics charbonneux, corrélés ou non avec des pics d'agrégats brûlés. L'UMiS inférieure est matérialisée par une diminution nette des charbons.

II.6. Profil MC88-6 : remplissage du fossé ceinturant la MC 88.

II.6.1. Rappel des données archéologiques et de terrain

Les données de terrain ont permis de distinguer cinq UMaS dans le remplissage du fossé de la MC 88, avec un niveau plus foncé noir qui semble riche en charbons (UMaS 3) (**Tableau 70**).

UMaS	Prof. (cm)	Stratigraphie et hypothèses archéologiques/ datations **(sur charbons C14)**	N° lame mince
1	0-10	Horizon superficiel actuel	6-1
2	10-20	Phase de remplissage du fossé	6-1
3	20-30	Horizon charbonneux. **810 +/- 25 BP.**	6-2
4	30-90	Phase de remplissage du fossé	6-4H; 6-4B; 6-5; 6-6
5	90-110	Fond du fossé : substrat en place, altérites entaillées lors creusement du fossé. **1355 +/- 30 BP.**	Non prélevé

Tableau 70 : Descriptions de la stratigraphie du fossé de la MC 88 (profil MC88-6) (d'après Hildebrand et al. en préparation) et concordance avec les lames minces.

II.6.2. Observations micromorphologiques

L'analyse micromorphologique a permis de définir six UMiS, correspondant à des phases ou des épisodes d'apport successifs dans le fossé (**Annexe 1 - Planche 33**). Ces UMiS présentent des caractères optiques assez similaires, avec des différences notamment en terme de degré d'agrégation (intensité de la bioturbation) et de présence ou non des traits argileux (**Tableau 72**). L'abondance des constituants anthropiques permet également de distinguer les unes par rapport aux autres **(Tableau 71**).

Au sein de l'UMiS 1 la matrice est assez massive fissurale. Plusieurs racines fraiches sont présentes ainsi que quelques chenaux de bioturbation, liés aux passages d'enchytraeides. L'UMiS 2 se distingue nettement des autres unités du fait du fort empoussièrement de sa masse fine, remplie de microparticules charbonneuses visibles en LOI. La bioturbation y est bien développée, ayant favorisé la présence de plages macroagrégées (géophages) et

microagrégées (enchytraeides). Les constituants anthropiques sont abondants dans cette unité. L'UMiS 3 est caractérisée par une microstructure agrégée à microagrégée, avec une porosité légèrement développée du fait de l'activité de la pédofaune de type enchytraeides, formant des chenaux dans lesquels des boulettes de déjections sont visibles. L'UMiS 4 est marquée par une augmentation de la bioturbation conférant à la microstructure une importante microagrégation. Elle correspond principalement à des déjections d'enchytraeides. Les revêtements argileux sont, pour la plupart, non biréfringents, jaunes limpides, indiquant que les argiles doivent être identiques à celles de la matrice alentour, mais qu'elles ont été retriées (C. Cammas com. pers.). L'UMiS 5 est plus massive fissurale qu'au-dessus. A partir de cette unité, l'empoussièrement de la masse fine diminue avec la profondeur. Dans l'UMiS 6, la microstructure est à nouveau agrégée à microagrégée, principalement par des déjections d'enchytraeides anciennes (J.-F. Ponge com. pers.).

UMaS	UMiS	Horizon/Niveau	Prof. (cm)	Macrocharbons	Phytolithes	Microesquilles d'os	Fragments de céramique	Agrégats brûlés
1 / 2	1	Remblai	5-18	●	●●	(●)	(●)	(●)
3	2	Remblai	18-34	●●●	●●	(●)	(●)	●●●
4	3	Remblai	34-59	●	●●	(●)	(●)	●
	4	Remblai	59-76	●	●●	(●)	(●)	●
	5	Remblai	76-83	(●)	●	(●)	(●)	(●)
	6	Remblai	83-88	(●)	●	(●)	(●)	(●)

Légende : (●) = rare ou absent ; ● = un peu ; ●● = fréquent ; ●●● = abondant.

Tableau 71 : Abondance relative des constituants anthropiques observés en lames minces, MC 88-6.

UMaS	UMiS	Horizon/Niveau	Profondeur (cm)	MICROSTRUCTURE						MATRICE				PRINCIPAUX TRAITS PEDOLOGIQUES				
														Biologiques		Argileux		
				Type de microstructure	Empoussièrement [b]	C/f distribution relative	Porosité	Abondance des vides [b]	Degré d'agrégation	Classement	Fraction grossière	Abondance relative [b]	Fraction fine	Abondance relative [b]	Type d'excrément	Abondance relative [b]	Type	Critères descriptifs	Abondance relative [b]
1 / 2	1	Remblai	5-18	Ma/MaF	●●	Ch	Fi	(●)	P	Pc	Qz	●	Ar	●●●	Ench	●			(●)
3	2	Remblai	18-34	Ag/MaF	●●●	Ch	Fi/Chm	(●)	P	Pc	Qz	●	Ar	●●●	Geo	●	Pa	L	●
4	3	Remblai	34-59	Ag/Mag	●●	Ch	Chm	●	M	Pc	Qz	●	Ar	●●●	Ench	●	Pa	L	(●)
	4	Remblai	59-76	Mag	●●	Ch	Fi/Chm	●●	F	Pc	Qz	●	Ar	●●●	Ench	●●	R	L/Ml	●
	5	Remblai	76-83	MaF	●	Ch	Fi	●	M	Pc	Qz	●	Ar	●●●	Geo/Ench	●	Pa	Fr	●
	6	Remblai	83-88	Ag/Mag	●	Ch	Fi	●●	F	Pc	Qz	●	Ar	●●●	Ench	●●			(●)

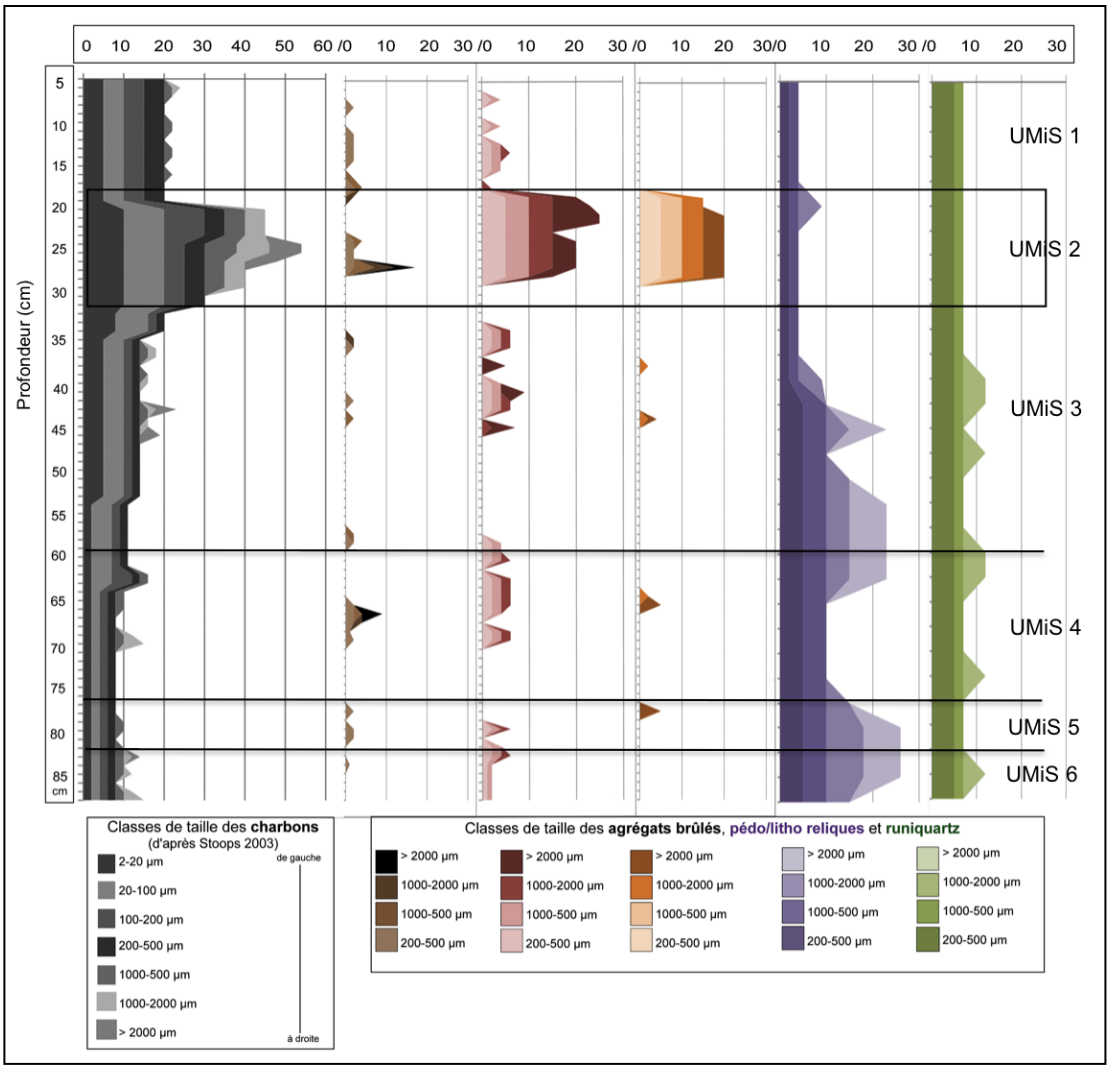
Légende (d'après Bullock et al. 1985) :
b = abondance relative en lames minces : (●) = rare ou absent ; ● = un peu / légèrement développé ; ●● = moyen / fréquent / assez développé ; ●●● = important / abondant / bien développé.
Type de microstructure = Ag : agrégée ; Mag : microagrégée; Ma : massive; MaF : massive fissurale.
C/F distribution relative (éléments grossiers par rapport aux éléments fins) = Ch : chitonique
Degré d'agrégation = P : peu développé ; M : moyennement développé; F : fortement développé.
Traits biologiques (excrémentaux) = Ench : enchytraeides ; Geo : géophages.
Traits argileux = R : revêtement ; P : papules - L : limpide jaune à orangé ; Fr : fracturé/cassé ; Ml : microlaminé.
Fraction grossière = Qz : quartz
Porosité= Chm : en chambre; Fi : fissures
Classement = Pc : peu classé
Fraction fine (fraction dominante) = Ar : argile

Tableau 72 : Descriptif des UMiS définies en lames minces, profil MC 88-6.

II.6.3. Comptages micromorphologiques au sein du profil MC 88-6.

L'UMiS 2 forme une limite entre les niveaux inférieurs et l'unité supérieure (UMiS 1 ; **Figure 114**). Dans l'UMiS 1, les charbons représentent en moyenne près de 20%, alors que les agrégats brûlés, uniquement les noirs et les rouges, sont très peu abondants, les jaunes n'ayant pas été observés. L'UMiS 2 se distingue du reste du remplissage par son abondance en charbons et en agrégats brûlés des trois types, cependant les noirs sont très peu représentés. Il est intéressant de noter que les charbons arrivent en abondance un tout petit peu plus bas (de quelques centimètres) que les agrégats brûlés. À eux quatre, ces constituants représentent près de 90% de la lame dans cette zone.

Dans les UMiS inférieures les charbons diminuent avec la profondeur de manière graduelle. Les agrégats brûlés sont également très peu abondants. Notons que globalement ce sont essentiellement des agrégats brûlés rouges qui ont été observés dans ce profil. Enfin, en ce qui concerne les pédo/lithoreliques et les runiquartz, ils sont le plus abondants sous l'UMiS 2, à partir de 40 cm de profondeur. Cependant, dans l'UMiS 4, entre 59-76 cm, les gros fragments de pédo/lithoreliques diminuent rapidement pour ensuite réapparaitre plus bas.



Légende : les traits continus marquent la limite entre les ensembles discriminés par les abondances charbonneuses qui correspondent globalement aux UMiS.

Figure 123 : Microanthraco séquence et abondance des agrégats brûlés, noirs, rouges et jaunes, ainsi que des pédo/lithoreliques et des runiquartz, dans le profil MC 88-6.

II.6.4. Caractères physico-chimiques des sédiments constituants le profil MC 88-6

Tous les échantillons prélevés dans la séquence ont été utilisés pour réaliser ces statistiques descriptives, soit entre 10 et 80 cm de profondeur (**Tableaux 73, 74 et 75**) (n=5, sauf pour $\delta^{13}C$).

Dans ce profil, c'est la fraction sableuse qui est dominante, atteignant 55%, avec une moyenne à 47%, à l'opposé, la fraction argileuse ne représente que 34% de la matrice en moyenne. Le pH, < 5, témoigne, au même titre que les profils précédents, de sols acides. Le carbone organique est globalement proche de celui mesuré dans le profil MC87-5, externe à l'enceinte de la MC 87, avec une moyenne à 2,2%. Le rapport C/N, ainsi que la susceptibilité magnétique présentent d'encore plus fortes valeurs que dans le profil du fossé MC87-1, avec un maximum à 24,3 pour le premier, et 8165,6 10^{-9} m^3/kg pour la

seconde. Ces valeurs proviennent de l'UMiS 2 (Annexe 2). L'unique mesure du $\delta^{13}C$ réalisée à 25 cm de profondeur, dans l'UMiS 2, indique une végétation de type forestière.

	Argiles	Limons tot	Sables tot	pH	C/N	Corg	S. Mag	$\delta^{13}C$
		(%)		-	-	(%)	($x10^{-9}$ m^3/kg)	(‰)
Min	29	16	38	4,7	17,9	1,5	3626,9	
Max	40	24	55	4,9	24,3	3,5	8165,6	
Moy	34	19	47	4,8	19,4	2,2	4927,6	-25,4 (n=1)
ET	5	3	8	0,1	2,7	0,8	1877,9	

Tableau 73 : Statistique déscriptive des fractions granulométriques, du pH, du C/N, du Corg et de la susceptibilité magnétique, MC 88-6 (n=5).

	Olsen-Dabin (ppm)	Cobaltihéxamine (cmol/kg)							
	P	CEC	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Al
Min	5,0	1,2	0,04	0,03	0,01	0,02	0,08	0,01	0,47
Max	12,2	1,5	0,13	0,13	0,01	0,02	0,14	0,01	1,10
Moy	7,2	1,3	0,08	0,08	0,01	0,02	0,12	0,01	0,74
ET	3,1	0,2	0,04	0,04	0,00	0,00	0,03	0,00	0,23

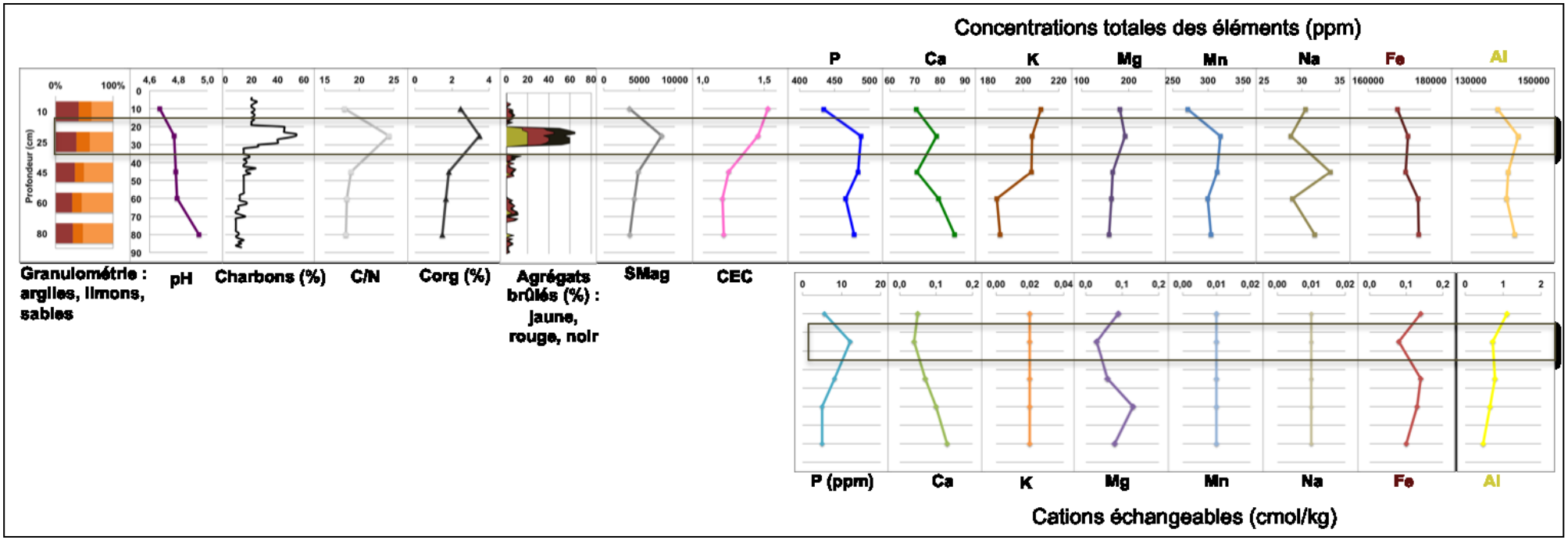
Tableau 74 : Statistique déscriptive des cations échangeables, MC 88-6 (n=5).

	Eau régale (ppm)							
	Ca	K	Mg	Mn	P	Al	Fe	Na
Min	70,5	185,0	158,5	271,3	434,3	138553,1	169342,2	28,5
Max	85,8	209,9	191,9	317,5	487,7	145172,5	176167,1	33,8
Moy	77,1	198,3	172,1	301,2	469,9	142191,8	173234,3	30,7
ET	6,4	11,4	13,9	18,1	21,5	2550,2	2865,8	2,2

Tableau 75 : Statistique déscriptive des concentrations totales des éléments majeurs, MC 88-6 (n=5).

Au même titre que dans le remplissage du fossé de la MC 87 (cf. *supra*), l'horizon de surface est dominé par la fraction argileuse, alors que le bas du fossé est davantage sableux (**Figure 124).** De manière générale dans ce profil, les paramètres physico-chimiques mesurés semblent suivre des évolutions en fonction de la profondeur, différentes des profils analysés précédemment. En effet, l'horizon de surface ne présente pas les plus importantes concentrations en carbone organique, ni en cations échangeables. Toutefois, la CEC et les ions fer et aluminium « libres » sont plus concentrés à la surface. La plupart des paramètres physico-chimiques analysés sont plus concentrés dans l'horizon autour de 25 cm de profondeur, UMiS 2, comme le rapport C/N, le Corg, la susceptibilité magnétique, associés à un pic du P, du Ca, du Mg et du Mn tot, ainsi que du P éch. La CEC augmente également dans ce niveau, suivant les mêmes évolutions dans le reste du profil que le P ass et la fraction argileuse. Or, comme précisé précédemment, cet horizon, défini comme l'UMiS 2, contient de grandes quantités de charbons et d'agrégats brûlés.

Notons enfin que le Ca éch et tot, présentent une évolution, en fonction de la profondeur, peu commune pour des Ferralsols, puisqu'ils augmentent avec la profondeur (B. Ferry com. pers.). Ils sont associés à une augmentation du Mg tot vers 60 cm de profondeur.



Légende : le cadre noir matérialise l'UMiS 2.

Figure 124 : Évolution des paramètres physico-chimiques et de l'abondance des charbons et des agrégats brûlés, avec la profondeur, au sein du profil MC88-6.

II.6.5. Données complémentaires

II.6.5.1. Observation de deux agrégats brûlés au microscope électronique à balayage (MEB)

Les deux agrégats observés au MEB proviennent de l'UMiS 2.

L'observation MEB d'un agrégat brûlé rouge s'est concentrée sur trois zones (**Figures 125, 126 et 127 et Annexe 6 tableaux 6 à 10**). Ces résultats indiquent que l'agrégat est composé des mêmes éléments chimiques que les précédents échantillons analysés, à savoir : aluminium, fer, silice et titane. Un élément supplémentaire a été mis en évidence, le phosphore, moins abondant que les autres éléments **(Figures 126)**. En moyenne, d'après ces mesures, il apparaît que cet agrégat brûlé est composé par 22,6% d'aluminium, 23,3% de fer, 5,6% de silice, 2,3% de titane et 0,2% de phosphore.

La seconde analyse a été réalisée sur un agrégat brûlé noir, sur lequel trois zones ont été visées par la sonde du MEB. Ces mesures ont mis en évidence les mêmes éléments chimiques que pour l'agrégat brûlé rouge, avec le phosphore qui apparait en petite quantité, dans deux des trois zones (**Figures 128 et 129**). En moyenne, cette seconde analyse a révélé que l'agrégat brûlé considéré contient principalement des hydroxydes d'aluminium (20,6%) et des oxydes de fer (19,6%), dans une moindre mesure de la silice (6%) et du titane (2,2% en moyenne), ainsi que des traces de phosphore (0,3%). Sur ces deux agrégats brûlés du souffre en trop petite quantité pour être évaluée est également apparu.

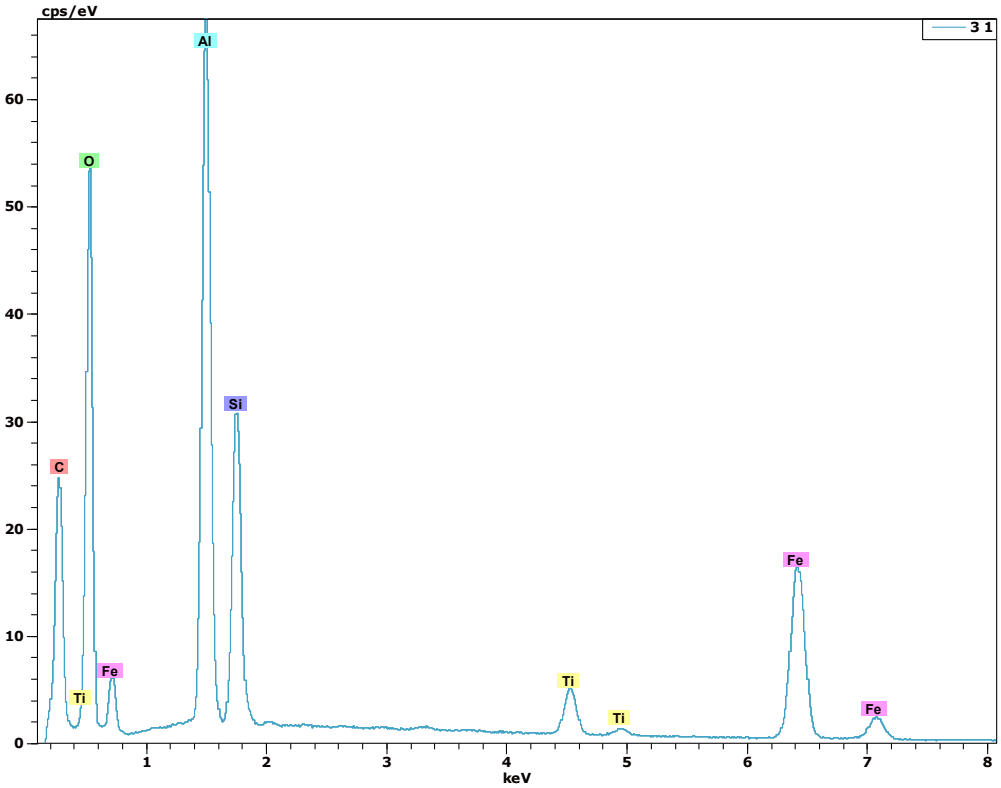


Figure 125 : Eléments chimiques mis en évidence par l'analyse MEB dans un agrégat brulé rouge de sol, MC 88-6 (point 3-1).

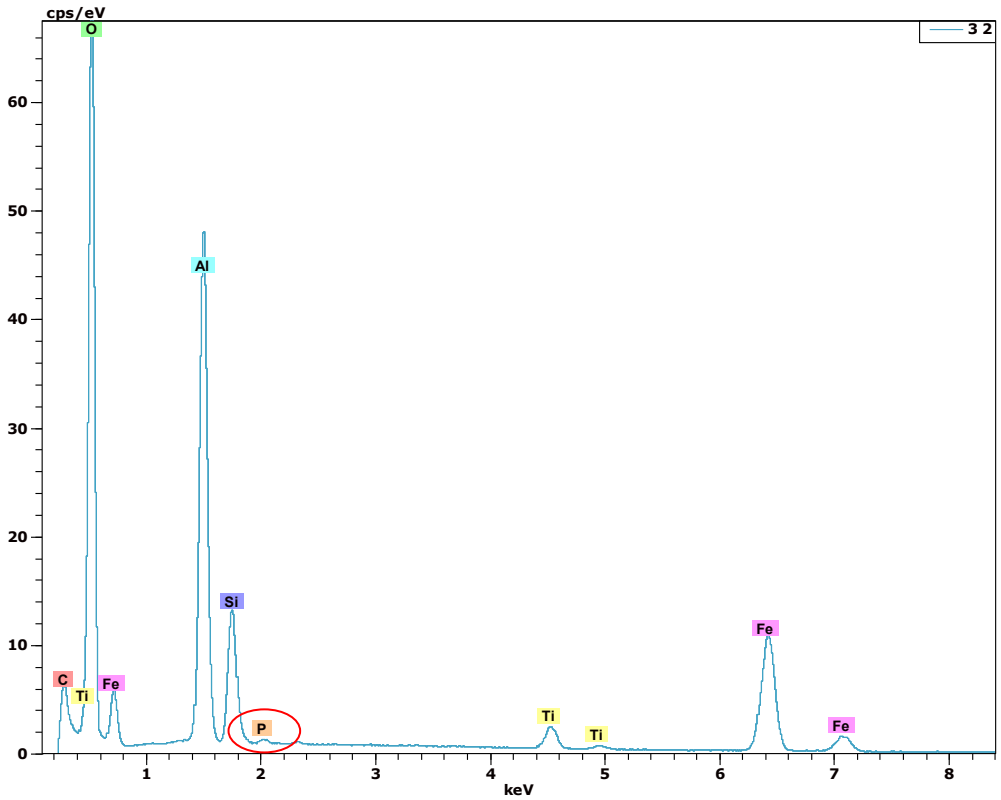


Figure 126 : Eléments chimiques mis en évidence par l'analyse MEB dans un agrégat brulé rouge de sol, MC 88-6 (point 3-2).

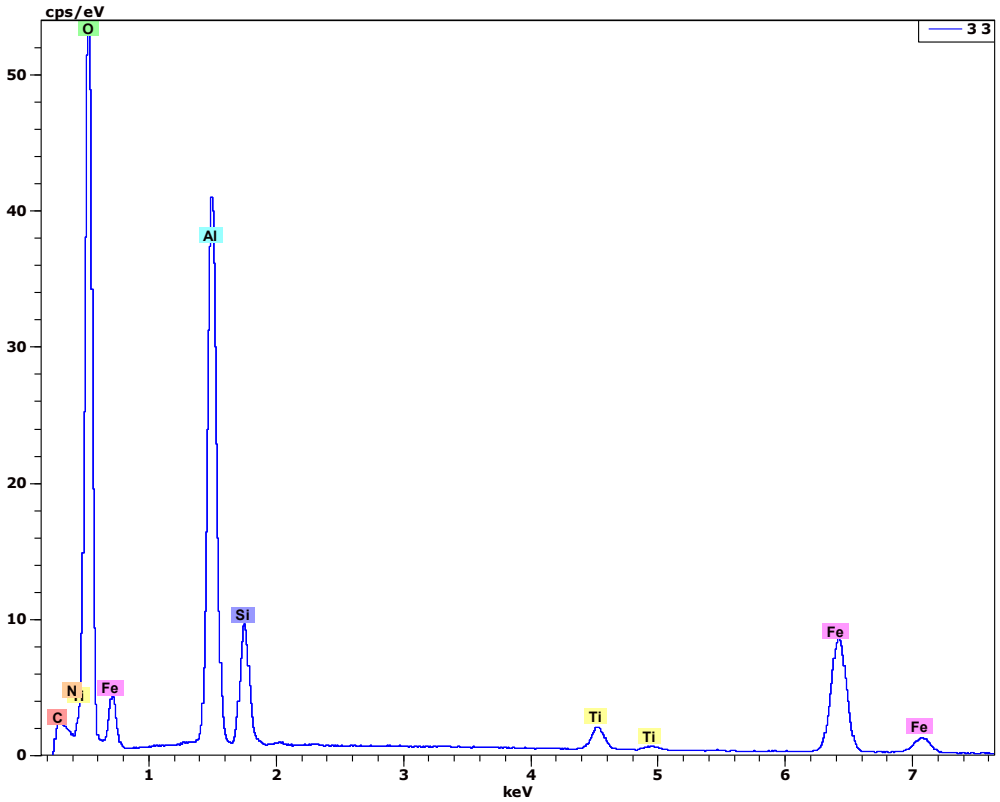


Figure 127 : Eléments chimiques mis en évidence par l'analyse MEB dans un agrégat brulé rouge de sol, MC 88-6 (point 3-2).

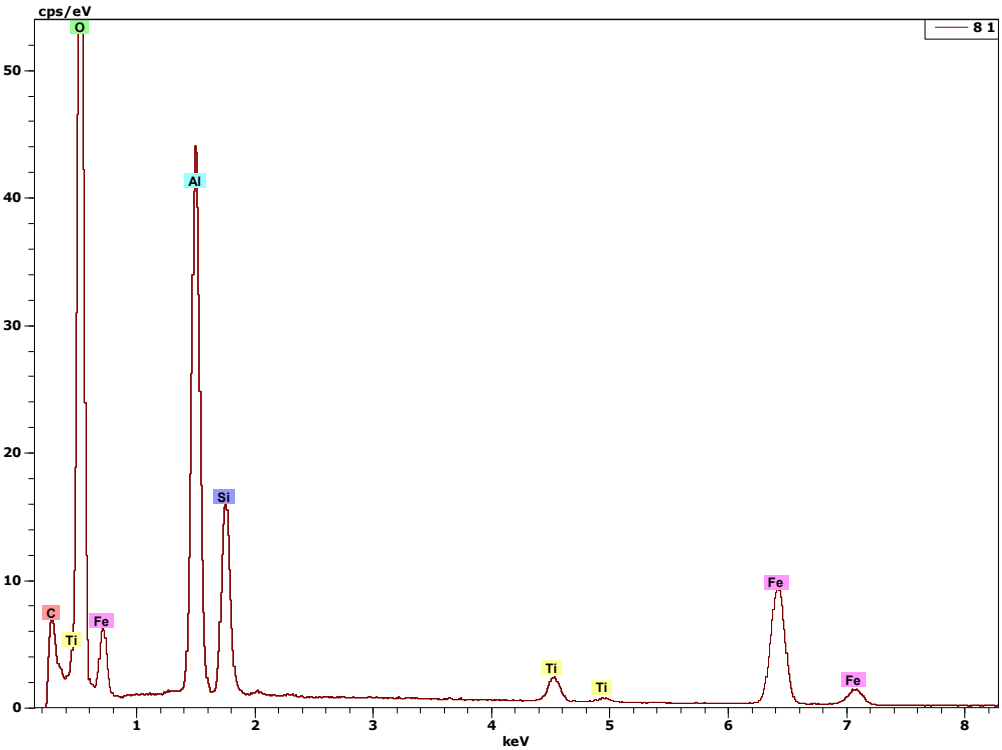


Figure 128 : Eléments chimiques mis en évidence par l'analyse MEB dans un agrégat brulé noir de sol, MC 88-6 (point 8-1).

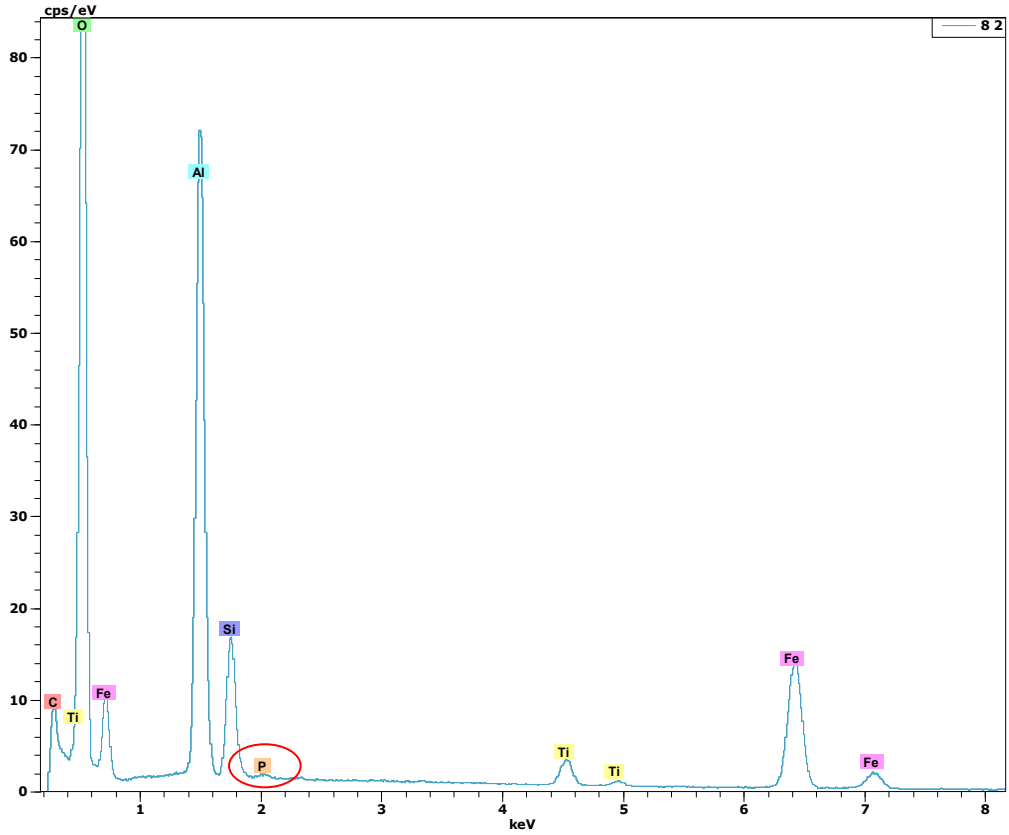


Figure 129 : Eléments chimiques mis en évidence par l'analyse MEB dans un agrégat brulé noir de sol, MC 88-6 (point 8-2).

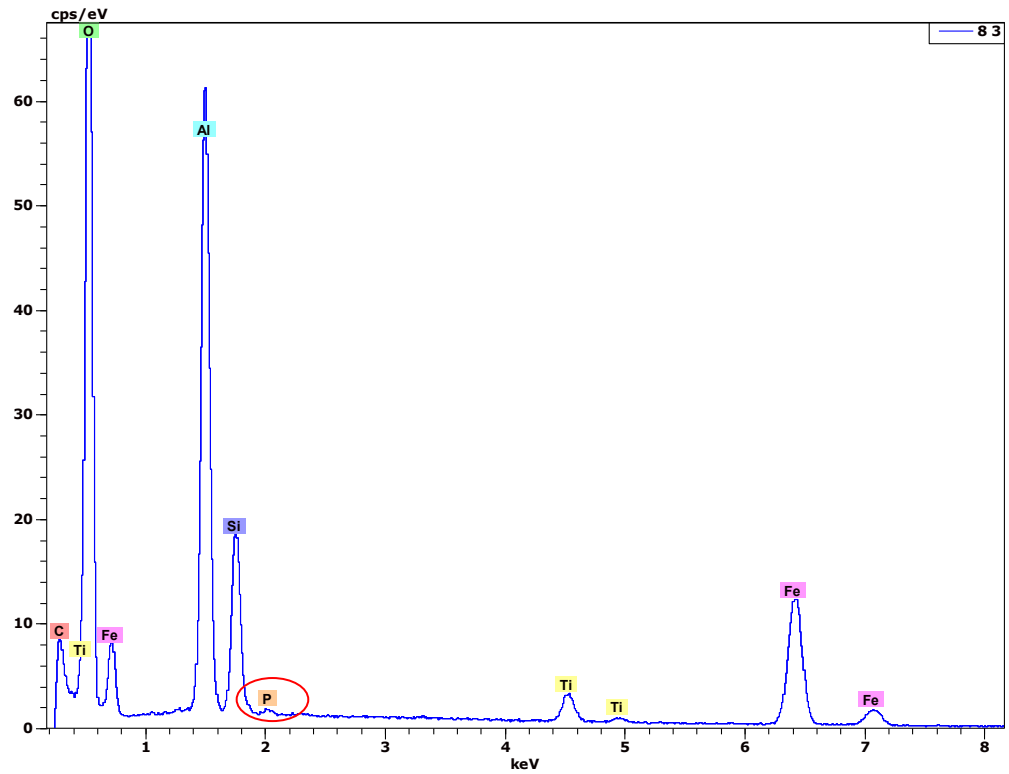


Figure 130 : Eléments chimiques mis en évidence par l'analyse MEB dans un agrégat brulé noir de sol, MC 88-6 (point 8-3).

II.6.5.2. Résultats de l'étude anthracologique

Douze fragments de charbons de bois provenant du niveau charbonneux (UMiS 2) du remplissage du fossé ont été analysés (**Figure 131**). Leur étude a révélé qu'ils appartenaient tous à la même essence d'arbre, très probablement du genre *Tapirira* (Anacardiaceae) (L. Dussol 2013 – Annexe 9**).** En Guyane française trois espèces du genre *Tapirira* ont été recensées à l'heure actuelle, *T. bethanniana*, *T. guianensis* et *T. obtusa* (Molino et al. 2009). Elles sont plus particulièrement explicitées dans les interprétations.

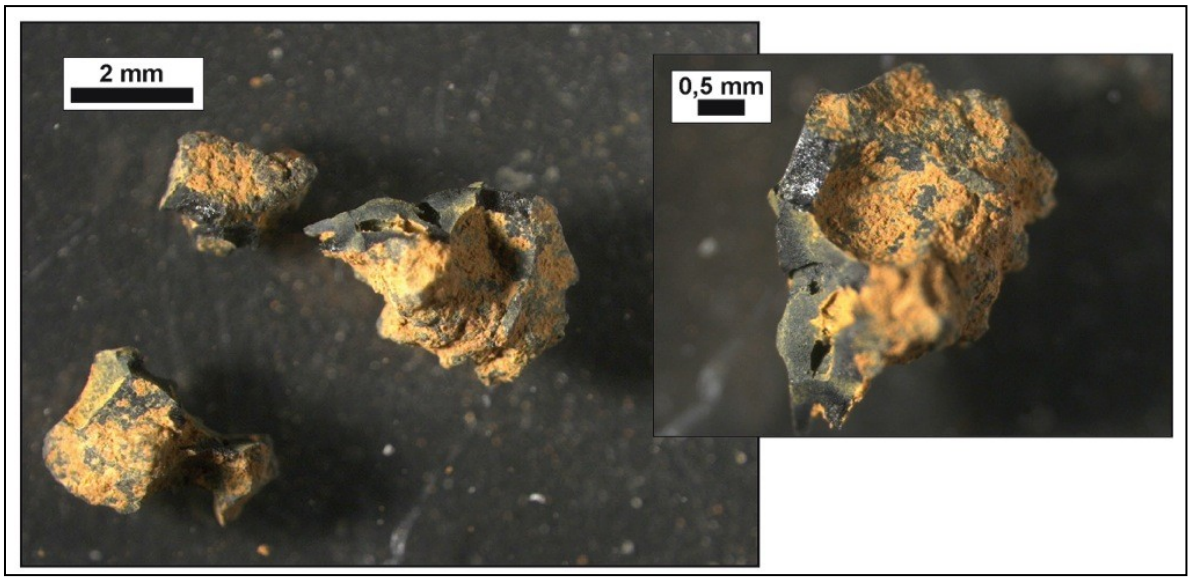


Figure 131 : Charbons de bois contenus dans le niveau très charbonneux (UMiS 2) du remplissage du fossé (photo : V. Laroulandie).

III. 4.4. Remplissage fossé MC 87 vs remplissage fossé MC 88

III.1. 4.4.1. Les marqueurs de la micromorphologie des sols

D'après les observations micromorphologiques ponctuelles réalisées au sein des deux fossés, il apparaît que le rythme de remplissage du fossé de la MC 87 est plus important que celui du fossé de la MC 88. L'anthropisation des sols, en terme de restes anthropiques (charbons, agrégats brûlés, céramiques et microesquilles d'os) est également plus marquée en continue dans le remplissage du fossé de la MC87 (profils 1 et 2).

III.2. 4.4.2. Les marqueurs de la physico-chimie des sols

Les moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés au sein des remplissages des fossés indiquent très nettement que celui de la MC 87 est plus riche que celui de la MC 88 (**Tableau 76**). Ces résultats concordent avec les observations micromorphologiques, indiquant que le remplissage du fossé de la MC 87 présente davantage de marqueurs de

l'anthropisation que le fossé de la MC 88. Si le δC13 et le pH sont les deux paramètres qui ne varient quasiment pas entre les fossés, le carbone organique, les réserves nutritives, ainsi que la susceptibilité magnétique témoignent, en revanche, d'importantes disparités entre les fossés. En effet, la majorité des cations échangeables sont près de deux fois plus concentrés en moyenne dans le fossé de la MC 87. Le calcium est même trois fois plus concentré dans MC87-1 que dans MC88-6. Seuls les ions fer sont légèrement plus abondants dans le fossé de la MC 88. En outre, bien que le fossé de la MC 88 présente un horizon (UMiS 2) très riches en rejets organiques corrélés à un fort taux de carbone organique, le calcul des moyennes est venu lisser ces valeurs. Ainsi, globalement le fossé de la MC 88 est moins enrichi en carbone organique que le fossé de la MC 87. Il est intéressant de préciser que les sols du fossé de la MC 88 contiennent en moyenne 10% moins de sédiments argileux que ceux du fossé de la MC 87. Cela peut, en partie, expliquer les basses concentrations en cations échangeables dans ce fossé, généralement portés par les particules argileuses du sol.

Paramètres mesurés	**MC 87-1**	**MC 88-6**
$\delta^{13}C$	-26,1	-25,4
pH	4,7	4,8
CEC (cmol/kg)	**2,05**	1,30
Pass (mg/kg)	**14**	7
Ca	**0,24**	0,08
Mg	**0,15**	0,08
K	**0,04**	0,02°
Mn	**0,01**	0,01°
Na	**0,02**	0,01°
Fe	0,09	**0,12**
Al	**1,25**	0,74
Corg (%)	**3,18**	2,19
C/N	19,28	19,45
Susc. magnétique	**5132**	4928
Charbons (%)	**30**	22
Agrégats brûlés (%)	**10**	6
Argiles (%)	**44**	34
Limons (%)	**22**	19
Sables (%)	34	**47**

Légende : **valeurs les plus hautes** ; °seuil de détection.

Tableau 76 : Comparaison des résultats physico-chimiques des remplissages des fossés des MC 87 et 88 selon les moyennes des paramètres mesurés.

IV. Croisement des données micromorphologiques et physico-chimiques au moyen d'Analyse statistique en Composante Principale (ACP)

Pour une meilleure lisibilité des résultats, les échantillons analysés (« individus ») ont chaque fois été classés par horizon ou regroupé par profil. Les horizons ont été définis selon les observations micromorphologiques réalisées dans ce travail : « Surface », « Anthroposol », « Horizon argileux», « Fossés », ou encore « Naturel ». Lorsqu'un échantillon était difficilement classable, du fait de son emplacement, il a été noté par profil (cas du profil 5) (**Tableau 77**) (Annexe 5 : 3).

Site-Profil	UMaS	Prof. moy. (cm)	Horizons	N° individus
MC 87-1	1-1	5	Surface	1
MC 87-1	1-2	15		2
MC 87-1	1-3	30		3
MC 87-1	1-4	45	Fossés	4
MC 87-1	1-5	60		5
MC 87-1	1-6	75		6
MC 87-1	1-7	90		7
MC 88-6	6-1	10		8
MC 88-6	6-2	25		9
MC 88-6	6-3	45	Fossés	10
MC 88-6	6-4	60		11
MC 88-6	6-5	80		12
MC 87-3	3-1	3	Surface	13
MC 87-3	3-2	8		14
MC 87-3	3-3	13	Horizon argileux	15
MC 87-3	3-4	18		16
MC 87-3	3-5	23		17
MC 87-3	3-6	28		18
MC 87-4	4-1	3	Surface	19
MC 87-4	4-2	8		20
MC 87-4	4-3	13		21
MC 87-4	4-4	18	Anthroposol	22
MC 87-4	4-5	23		23
MC 87-4	4-6	28		24
MC 87-4	4-7	33		25
MC 87-4	4-8	38	Horizon argileux	26
MC 87-5	5-1	10	Surface	27
MC 87-5	5-2	25	MC87-5	28
MC 87-5	5-3	40		29

Légende : chaque individu correspondant à un échantillon prélevé sur le terrain, il est défini ici par son numéro d'UMaS et sa profondeur moyenne (Annexe 5 : 3).

Tableau 77 : Récapitulatif des individus considérés dans les ACP des montagnes couronnées.

L'anthroposol ici considéré correspond uniquement au profil 4 étudié sur la MC 87. Concernant le profil 5, seul deux des trois échantillons s'individualisent en tant que profil (5-2 et 5-3) car il était difficile de les assimiler à un horizon défini. Il semblait préférable de laisser ces individus « se placer » dans les horizons, via l'ACP.

Cette ACP s'intéresse aux résultats physico-chimiques obtenus sur les MC 87 & 88 dans laquelle 21 paramètres (« variables quantitatives ») ont été utilisés sur 29 échantillons (« individus ») analysés. Ces 21 paramètres correspondent à tous les paramètres physico-chimiques mesurés, associés aux comptages micromorphologiques, à savoir charbons et agrégats brûlés des trois types. Le $\delta^{13}C$ n'a pas été pris en compte dans cette ACP, parce qu'il n'a pas été mesuré systématiquement pour chaque échantillon et qu'il ne présente pas de variations fondamentales entre les profils (cf. *infra*). L'information cumulée des axes, atteint pratiquement 80% de la variance en intégrant le 3ème plan. La visualisation selon les plans 1-2 et 2-3 sera donc suffisante (Annexe 5 : 3 Inertie cumulée).

Sur la **figure 132**, 67% de l'information est fournie. L'axe 1, horizontal, en fourni 47% et l'axe 2, vertical, 20%. Si l'on s'intéresse dans un premier temps à la répartition des variables, on s'aperçoit que plusieurs d'entre elles sont corrélées positivement. C'est le cas de la susceptibilité magnétique, associée aux comptages micromorphologiques (charbons et agrégats brûlés des trois types), corrélées positivement à l'axe vertical 2 (Annexe 5 : 3 - Corrélations des variables-C2 gras**)**. Le carbone organique, le phosphore ass et les céramiques apparaissent corrélés positivement également, avec la CEC, l'aluminium éch, le manganèse éch, le calcium éch et le potassium éch, tous positivement plus ou moins bien corrélés à l'axe horizontal 1 (Annexe 5 : 3 - Corrélation des variables-C1 gras). Enfin, les argiles sont associées au fer éch, sodium éch et magnésium éch. Ainsi l'axe 1 porte les informations sur la « fertilité » des sols, alors que l'axe 2 correspond aux indicateurs de l'anthropisation. Concernant les variables non corrélées, il est possible d'observer que les argiles s'opposent aux limons et aux sables, que l'ensemble CEC-cations échangeables s'oppose aux sables totaux, et le carbone organique au pH.
Si l'on considère à présent la répartition des individus entre eux, les quatre horizons considérés forment trois entités distinctes. En effet, les individus 5-2 et 5-1 du profil 5 se rapprochent de l'« Horizon argileux», quant 5-3 pourrait davantage tendre vers le « Fossé » type du profil 6. L'entité « Surface » est davantage corrélée au plan 1, suivant les fortes valeurs de CEC et de la majorité des cations échangeables, alors que « Anthroposol » est corrélé positivement à l'axe 2, lié aux fortes teneurs en agrégats brûlés, charbons et à la susceptibilité magnétique. Les individus « Fossés » sont présents à

la fois du côté « Anthroposol » et du côté « Horizon argileux », opposés à la « Surface », du côté des sables totaux. L'entité « Horizon argileux » est corrélée négativement au plan 2, opposée à « Anthroposol ».

On note que parmi les individus du groupe « Fossés », il y a une nette différence entre le profil 1, se rapprochant davantage des « Anthroposols », positivement suivant le plan 2, caractérisé essentiellement par les limons totaux, le C/N, ainsi que la susceptibilité magnétique associée aux agrégats brûlés. En revanche, les individus du profil 6, se rapprochent davantage de l'« Horizon argileux », défini essentiellement par le pH et les sables totaux, et opposé au groupe « Anthroposol ». Enfin, certains individus classés dans un horizon, semblent se rapprocher davantage d'un autre horizon comme c'est le cas pour l'individu 4-7 classé dans le groupe « Anthroposol » qui s'associe davantage à l'« Horizon argileux ». D'après les observations réalisées précédemment sur ce profil 4, cela semble assez cohérent puisque à 33 cm de profondeur, c'est un horizon de transition anthroposol/ « Horizon argileux » qui apparait.

Les individus qui contribuent le plus à former le plan 1 sont les échantillons de surface 4-1 et 3-1, corrélés positivement à l'axe (Annexe 5 : 3 - Contributions des individus-Ax1 gras). Pour le plan 2, c'est l'individu 6-2, qui le tire le plus vers le haut, en suivant les variables agrégats brûlés, susceptibilité magnétique et charbons (Annexe 5 : 3 - Contribution des individus-Ax 2 gras). Cet individu correspondant au niveau du fossé de la MC 88 très riche en rejets anthropiques brûlés, son emplacement dans l'ACP semble assez cohérent. Cet individu est également assez bien représenté selon ce plan, avec l'individu 3-5 selon le plan 2 vers le bas (Annexes 5 : 3 - Qualité de représentation des individus-Ax1 et Ax2 gras).

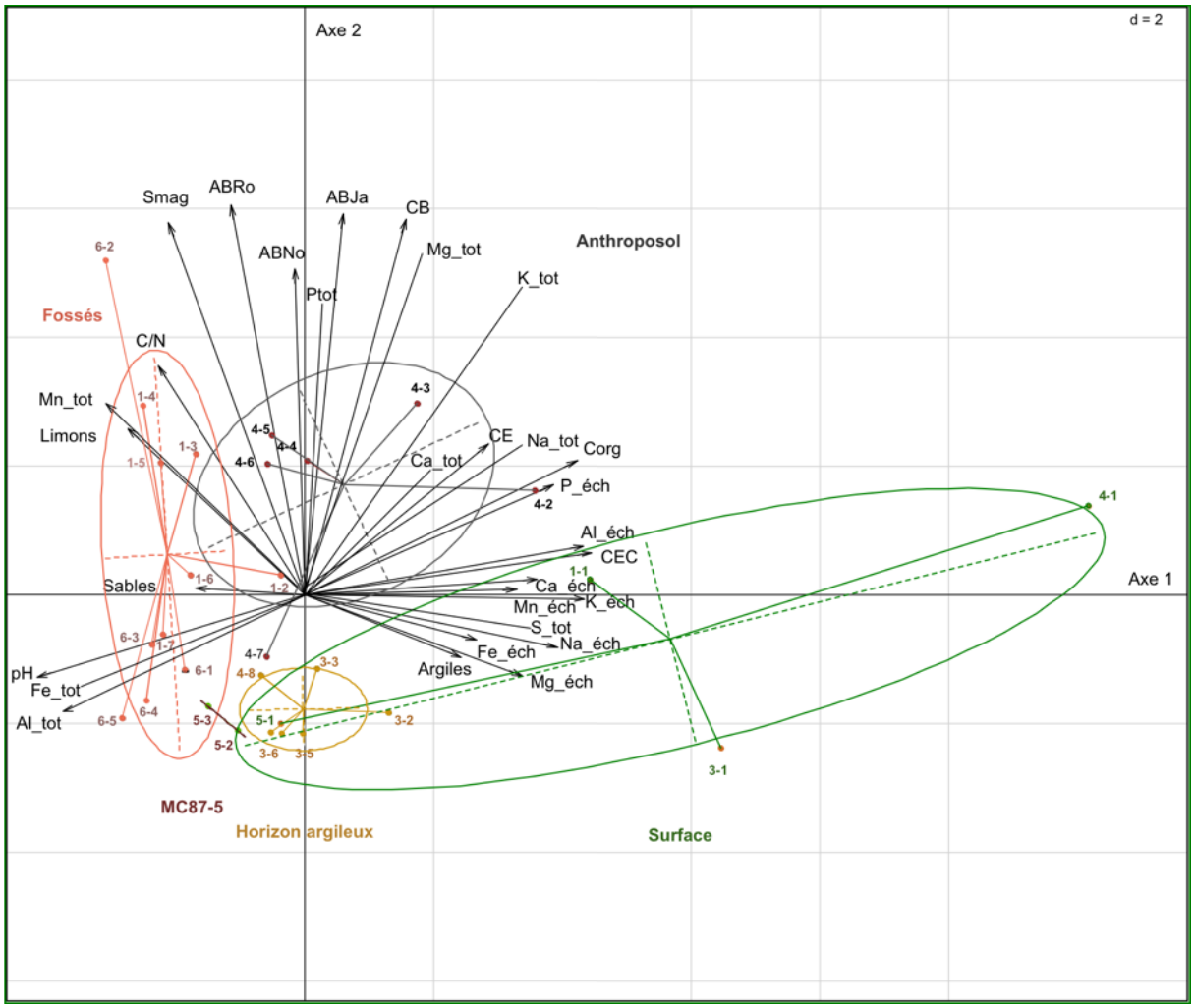


Figure 132 : ACP représentant les données des MC 87 & 88, selon les plans 1-2.

D'après la **figure 133**, le plan 3, vertical, explique 19% en plus de l'information (Annexe 5 : 3), venant confirmer l'ACP précédente, tout en apportant quelques informations complémentaires. Ainsi, pour le profil 5, l'individu 5-3 est entre l' « Horizon argileux» et la « Surface » alors que le 5-2 est tiré vers le pôle des argiles. En revanche, les individus de la « Surface » et des « Fossés » sont assez mélangés dans cette ACP, indiquant une forte hétérogénéité des individus, ainsi que de nombreux recoupements, selon les variables sables totaux, calcium, manganèse, fer et magnésium échangeables.

On voit enfin ici que les variables limons totaux et C/N sont extrêmement bien corrélées, ainsi que les sables totaux avec le calcium ech et le manganèse ech, corrélés négativement au plan 3, alors qu'ils étaient précédemment opposés. Le pH et le sodium éch sont également bien corrélés ici, négativement par rapport au plan 2 (Annexe 5 : 3 - Corrélation des variables**).** C'est la variable argile, opposée aux sables, qui est positivement corrélée au plan 3 (Annexe 5-3 Corrélation des variables-C3 gras). Le plan 3

vient ainsi dans cette ACP former une discrimination d'ordre granulométrique, où les individus corrélés positivement à l'axe sont proches du pôle argileux, comme c'est le cas des individus « Anthroposol » et « Horizon argileux ». En revanche, les individus corrélés négativement sont plus riches en sables, comme c'est le cas des individus de « Surface » et « Fossés » et plus particulièrement 6-4 et 1-1 (Annexe 5-3 Contribution des individus-Ax3 gras).

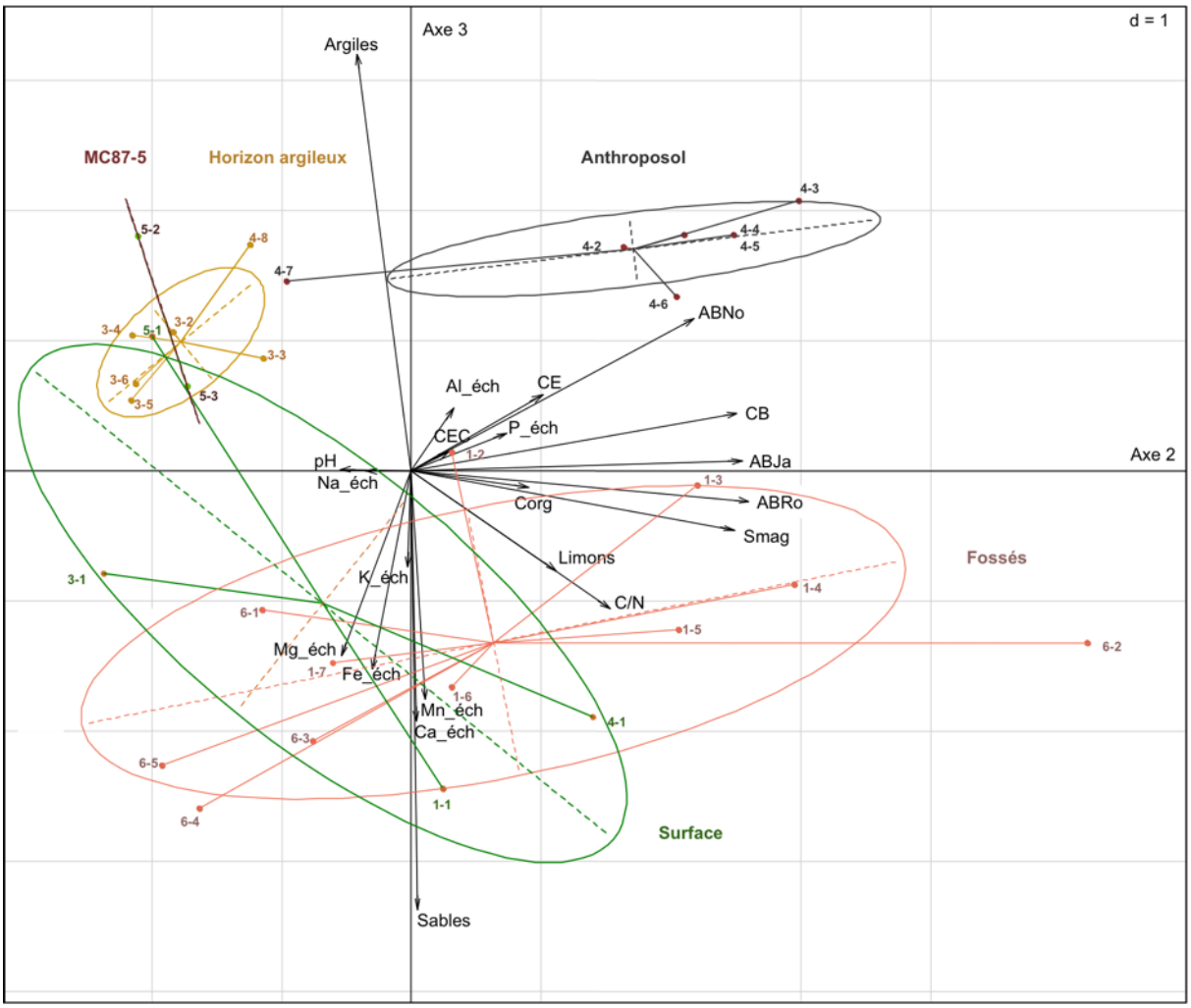


Figure 133 : ACP représentant les données des MC 87 & 88, selon les plans 2-3.

Chapitre 3 - ELEMENTS COMPLEMENTAIRES DE COMPARAISON SUR LES MONTAGNES COURONNEES GUYANAISES : LE CAS DU REMPLISSAGE DES FOSSES DU SITE DE YAOU.

La fouille et le prélèvement d'une colonne stratigraphique du remplissage des deux fossés du site de Yaou par les archéologues offre l'occasion d'étudier un autre cas de montagne couronnée. Comme précisé dans la Partie Matériel, deux fossés (F0 et F2) ceinturant le sommet de la colline ont été mis au jour par les archéologues. Ce sont leurs prélèvements qui ont ici fait l'objet d'observations micromorphologiques, associées à quelques résultats physico-chimiques ponctuels.

I. Cortège minéralogique du remplissage (DRX)

Les résultats de l'analyse DRX réalisée sur les sédiments composant le remplissage du fossé 2 sont considérés ici comme ayant valeur de généralités pour tous les sédiments présents sur le site de Yaou. Les éléments mis en évidence sont les mêmes que dans le profil MC87-3, à savoir goethite, gibbsite, kaolinite et quartz, typiques des Ferralsols des régions tropicales humides (**Figure 134**).

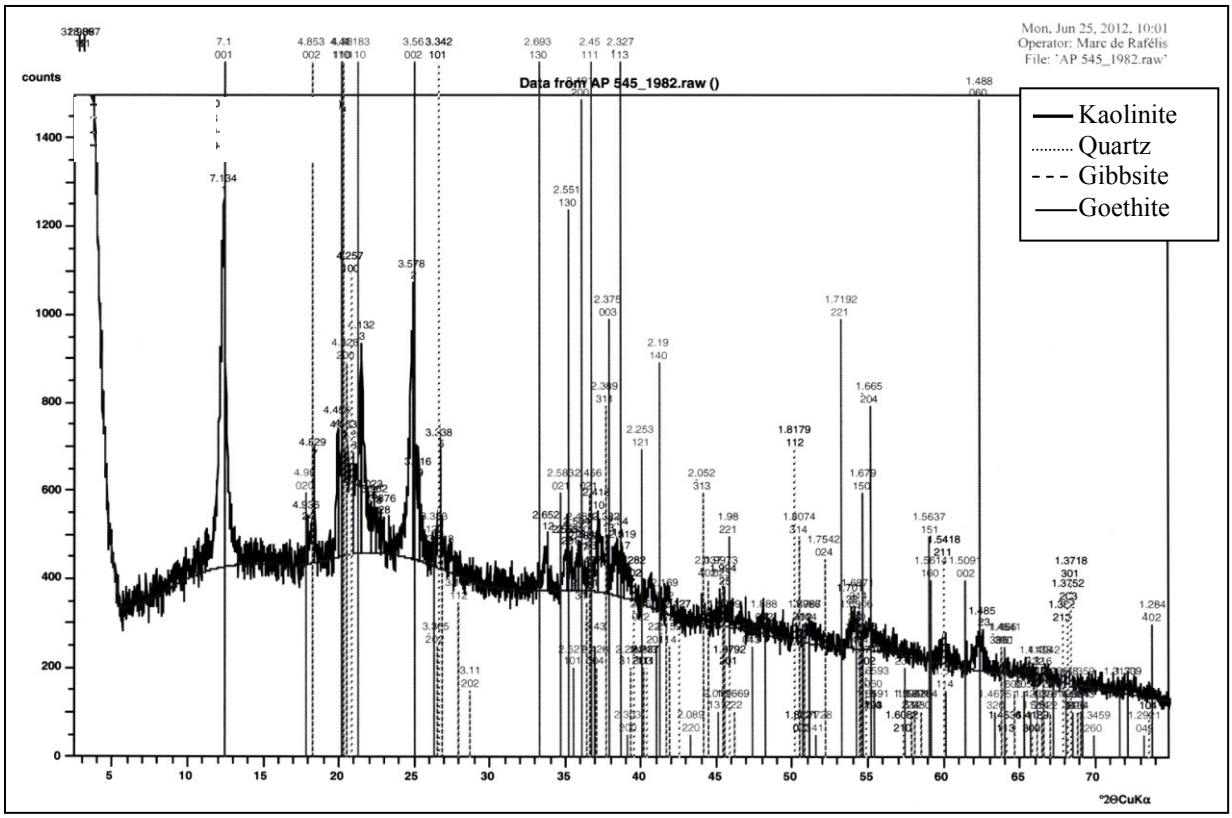


Figure 134 : Résultats de l'analyse DRX réalisée sur les sédiments du fossé 2 de Yaou prélevés dans l'UMaS 6.

Les restes anthropiques observés dans le remplissage des fossés de Yaou sont visibles dans l'**Annexe 1 – Planche 34.**

I.1. Fossé 0

I.1.1. Rappel des données archéologiques et de terrain

D'après les observations des archéologues sept UMaS constituent le remplissage du fossé 0. La stratigraphie du fossé semble s'être mise en place depuis l'intérieur de l'enceinte (Mestre 2012).

UMaS	Prof. (cm) sous ≈20 cm d'un horizon moderne perturbé	Mobilier archéologique / datations (C14 sur charbons)	Hypothèses archéologiques	N° prélèvement archéologique	N° lame mince
7	20-30	Quelques charbons de bois sans mobilier céramique.	Phase d'érosion.	Echantillon I	F0-1 F0-2 haut
6	30-40	Nodules d'argiles rubéfiées, charbons de bois et fragments de céramiques. **988 +/- 29 BP.**	Phase d'utilisation anthropique du fossé.		F0-2 F0-3 F0-4
5	40-60	Quelques résidus de charbons de bois épars sans céramiques.	Phase d'érosion.		F0-5 haut et milieu
4	60-85	Assez gros charbons de bois et fragments de céramiques.	Reprise de l'utilisation anthropique du fossé.	Echantillon II	F0-5 bas F0-6=F0-8 F0-7bis=F0-10
3	85-105	Quelques charbons de bois sans céramiques	Phase d'érosion.		F0-12 F0-13bis haut
2	105-120	Riche en nodules d'argiles rubéfiées, charbons de bois et fragments de céramiques. **1900 +/- 30 BP.**	Reprise de l'utilisation anthropique du fossé.		F0-13bis bas F0-14bis F0-15 haut
1	120-145	Base du comblement, totalement stérile d'un point de vue archéologique.	Mise en place juste postérieure au creusement du fossé : érosion rapide des parois du fossé laissées à nues juste après le creusement du fossé.		F0-15 bas F0-16 F0-17

Tableau 78 : Unités macroscopiques discriminées dans le remplissage du fossé 0 par les archéologues sur le terrain, hypothèses archéologiques et concordance avec les prélèvements et les lames minces fabriquées (d'après Mestre 2012).

I.1.2. Observations micromorphologiques

L'analyse micromorphologique a permis de définir huit UMiS dans ce profil (**Annexe 1 - Planche 35 et Tableaux 79 et 80**). L'UMiS 1 présente une masse fine assez massive à agrégée, avec de gros agrégats de sols sub-angulaires, formant une porosité fissurale. La bioturbation est un peu développée, liée principalement aux géophages et dans une moindre mesure aux enchytraeides. Dans l'UMiS 2, la masse fine est du même type que dans le niveau supérieur, assez massive, empoussiérée, agrégée avec d'assez gros agrégats de sol (d'environ 2 à 3 mm) de forme angulaire à sub-angulaire, révélant une porosité fine fissurale. La bioturbation est ici un peu plus développée que dans l'UMiS supérieure, avec quelques plages sub-horizontales bioturbées matérialisées par des excréments d'enchytraeides comblant des chenaux ou des fissures. Notons, que les déjections d'enchytraeides sont ici beaucoup plus petites que celles observées dans les sites MC 87 et 88 (J-F Ponge com. pers.). Quelques revêtements argileux biréfringents limpides jaunes apparaissent, en intercalations dans la masse ou dans la porosité et certains sont microlaminés, en croissant, orientés vers le bas, de couleur jaune/orange au-dessus et un

peu plus empoussiérés en dessous. Quelques uns sont cassés. Cette UMiS est la plus riche et la plus diversifiée en constituants anthropiques.

Un fragment de céramique forme la limite entre les UMiS 2 et 3 (**Panche 35**). L'UMiS 3 a une masse fine plus massive, empoussiérée. Une racine est également présente sur 2 cm d'épaisseur, elle est orientée sub-verticalement. Les revêtements argileux sont rares ici.

L'UMiS 4 est à nouveau un peu plus agrégée à microagrégée. La limite entre UMiS 4 et 5 est marquée par un fragment de céramique orienté sub-horizontalement. A partir de l'UMiS 5, la masse fine redevient assez massive jusque dans le bas du remplissage. Des papules et des revêtements argileux limpides sont également visibles dans les quatre UMiS inférieures. L'empoussièrement de la matrice diminue dans l'UMiS 6, et progressivement jusque dans le bas du fossé. Le fond du fossé correspondant à l'UMiS 8, est caractérisé par une masse fine également massive, où la porosité n'est quasiment pas développée. Les quelques revêtements argileux visibles ici sont microlaminés, et empoussiérés pour certains. De plus, de nombreux fragments végétaux de type ligneux, entourés d'un liseré rouge (à traits ferrugineux), apparaissent dans cette UMiS.

UMaS	UMiS	Horizon/Niveau	Prof. (cm)	Macrocharbons	Phytolithes	Microesquilles d'os	Fragments de céramique	Agrégats brûlés
7	1	Remblai riche en restes anthropiques	26-54	●●	●●	(●)	(●)	●●●
6								
5	2	Rejet riche en charbons	54-80	●●●	●●	●	●	●●●
4	3	Remplissage sans traces d'anthropisation	80-92	●●●	●●	(●)	(●)	●
	4	Remblai enrichi en restes anthropiques	92-103	(●)	●	(●)	(●)	(●)
3								
2	5	Remblai enrichi en restes anthropiques	103-112	(●)	●	(●)	●	●
	6	Remplissage sans traces d'anthropisation	112-121	(●)	●	(●)	(●)	(●)
1	7	Remblai avec rares restes anthropiques	121-132	●	●	(●)	(●)	●
	8	Fond du fossé	132-140	(●)	(●)	(●)	(●)	(●)

Légende : (●) = rare ou absent ; ● = un peu ; ●● = fréquent ; ●●● = abondant.

Tableau 79 : Abondance relative des constituants anthropiques observés en lames minces, Yaou – F0.

UMaS	UMiS	Horizon/Niveau	Profondeur (cm)	MICROSTRUCTURE							MATRICE			PRINCIPAUX TRAITS PEDOGENETIQUES				
														Biologiques		Argileux		
				Type de microstructure	Empoussièrement [b]	C/f distribution relative	Porosité	Abondance des vides [b]	Degré d'agrégation	Classement	Fraction grossière	Abondance relative [b]	Fraction fine	Abondance relative [b]	Type d'excrément	Abondance relative [b]	Type	Critères descriptifs	Abondance relative [b]
7 6 5	1	Remblai riche en restes anthropiques	26-54	MaF/Ag	●●	Ch	Fi/Chm	●●	F	Nc	Qz	●	Ar	●●●	Ench/Geo	●			(●)
	2	Rejet riche en charbons	54-80	MaF/Ag	●●	Ch	Fi/Chm	●●	F	Nc	Qz	●	Ar	●●●	Ench/Geo	●●	R/Int	L/Ml/Cr/Fr	●
4	3	Remplissage sans traces d'anthropisation	80-92	Ma	●●	Ge	Chm	●●	M	Nc	Qz	●	Ar	●●●	Ench	●	R	L/Ml/E	(●)
3	4	Remblai enrichi en restes anthropiques	92-103	Ma/Mag	●●	Ge	Fi	●	M	Nc	Qz	●	Ar	●●●	Ench	●	R/Pa	L	(●)
2	5	Remblai enrichi en restes anthropiques	103-112	MaF	●●	Ch	Fi	●	P	Nc	Qz	●	Ar	●●●		(●)	R	L	(●)
	6	Remplissage sans traces d'anthropisation	112-121	MaF	●	En	Fi	●	P	Nc	Qz	●	Ar	●●●		(●)	R/Pa	L	(●)
1	7	Remblai avec rares restes anthropiques	121-132	MaF	●	En	Fi	●	P	Nc	Qz	●	Ar	●●●		(●)	R/Pa	L	(●)
	8	Fond du fossé	132-140	Ma	(●)	Ch	Fi	(●)	P	Nc	Qz	●	Ar	●●●		(●)	R	L/Ml/Cr/E	●

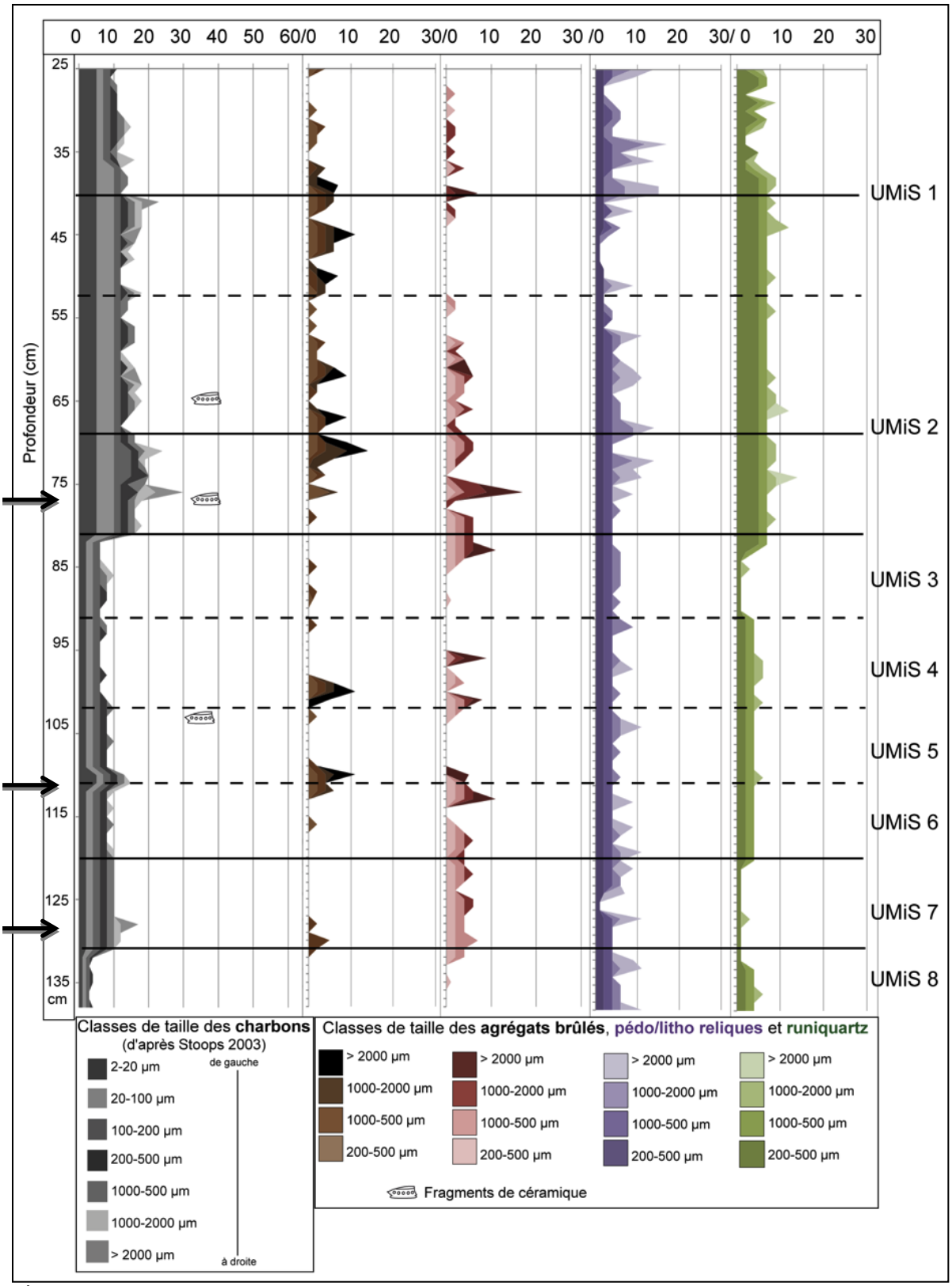
Légende (d'après Bullock et al. 1985) :
b = abondance relative en lames minces : (●) = rare ou absent ; ● = un peu / légèrement développé ; ●● = moyen / fréquent / assez développé ; ●●● = important / abondant / bien développé.
Type de microstructure = Ag : Agrégée ; Mag : Microagrégée; Ma : Massive; MaF : Massive Fissurale. **Fraction fine** (fraction dominante) = Ar : argile
Porosité= Chm : en Chambre ; Fi : Fissures. **Classement** = Nc : non classé.
C/F distribution relative (éléments grossiers par rapport aux éléments fins) = Ch : chitonique ; Ge : gefurique ; En : enaulique
Degré d'agrégation = P : peu développé ; M : moyennement développé; F : fortement développé.
Traits biologiques (excrémentaux) = Ench : enchytraeides ; Geo : géophages. **Fraction grossière** = Qz : Quartz.
Traits argileux = R : Revêtements ; Pa : papules ; Int : intercalations - L : limpide jaune à orangé ; Ml : microlaminé ; Fr : fracturé/cassé ; E : empoussiéré ; Cr : en croissant.

Tableau 80 : Descriptif des UMiS définies en lames minces, Yaou – F0.

I.1.3. Comptages micromorphologiques dans le remplissage du fossé 0

Alors que les agrégats brûlés jaunes n'ont pas été observés en lames minces dans ce profil, les concentrations charbonneuses matérialisent six ensembles principaux (**Figure 135**). Le premier, entre 25-40 cm d'épaisseur, présente un peu plus de 10% de charbons et très peu d'agrégats brûlés, avec près de 2%. Dans le second, entre 40-70 cm de profondeur, les charbons augmentent légèrement, jusqu'à 15% environ, ainsi que les agrégats brûlés, atteignant les 10%. Le troisième ensemble, entre 70-80 cm, est le plus riche en charbons et en agrégats brûlés. Ils composent près de 30% pour les premiers, et de 15 à 20% pour les seconds. A partir de 80 cm de profondeur, les charbons, ainsi que les agrégats brûlés décroient, atteignant moins de 10%, jusqu'à environ 1m20. Toutefois, quelques agrégats brûlés sont toujours visibles et par endroits représentent même plus de 10%. Dans l'ensemble cinq, les charbons augmentent à nouveau légèrement dépassant les 10%. Les agrégats brûlés noirs disparaissent quasiment alors que les rouges sont assez homogènes, formant environ 5%. Dans le dernier ensemble, à partir de 128 cm de profondeur, les charbons disparaissent quasiment.

De manière générale, parmi les agrégats brûlés rouges observés ici, certains forment des microboulettes qui sont réincorporées dans la matrice du sol. Il est intéressant de noter, en outre, que les 3 pics principaux de macrocharbons, sont assez bien corrélés aux pics de macroagrégats brûlés (**Figure 135-flèches noires**). D'autre part, dans ce profil, les pédo/lithoreliques, ainsi que les runiquartz, sont répartis de manière assez homogène, les premiers représentent 5 à 15% environ, et les seconds autour de 10%. Les lithoreliques sont principalement constituées de phyllosilicates et de kaolinite, avec des oxydes de fer jaune. Elles sont donc riches en goethite (E. Fritsch com. pers.). Ces éléments minéralogiques se retrouvent ensuite dans tout le profil, de manière plus ou moins abondante. La microanthraco séquence n'est pas complètement corrélée aux UMiS discriminées en lames minces.



Légende : les traits continus marquent la limite dans l'abondance des charbons. Seuls les deux traits inférieurs correspondent aux limites d'UMiS. Les traits pointillés marquent les autres limites des UMiS non discriminées par les charbons. Les céramiques sont présentées dans la **Annexe 1 - Planche 35 et l'Annexe 3**.

Figure 135 : Microanthraco séquence et abondances des agrégats brûlés, noirs, rouges et jaunes, ainsi que des pédo/litho-reliques et des runiquartz, Yaou-F0.

I.1.4. Caractères physico-chimiques des sédiments constituants le fossé 0

L'unique valeur du pH témoigne de sols acides. Les valeurs max du C/N et du Corg sont inférieures à ce qui a pu être mesuré dans les MC 87 et 88, au même titre que les deux mesures de la susceptibilité magnétique, inférieures à 2500.10^{-9} m^3/kg (**Tableau 81**).

	Argiles	Limons tot	Sables tot	pH	C/N[1]	Corg[1]	S. Mag[2]	$\delta^{13}C$
		(%)		-	-	(%)	($x10^{-9}$ m^3/kg)	(‰)
Min					11,6	0,6	1943	
Max		n. m.		4,9	14,3	1,9	2339	n. m.
Moy					12,8	1,1	2141	
ET					1,2	0,5	280	

Tableau 81 : Statistique descriptive du pH, du C/N, du Corg et de la susceptibilité magnétique, Yaou - F0 ([1]n = 3 ; [2]n = 2).

	Olsen-Dabin (ppm)	Cobaltihéxamine (cmol/kg)							
	P	CEC	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Al
Min		2,0	0,21	0,03	0,01	0,02	0,07	0,06	1,03
Max	n. m.	2,2	1,36	0,18	0,01	0,02	0,13	0,41	1,41
Moy		2,1	0,55	0,08	0,01	0,02	0,10	0,16	1,20
ET		0,1	0,54	0,07	0,00	0,00	0,03	0,17	0,16

Tableau 82 : Statistique descriptive du dosage des cations échangeables, Yaou - F0 (n = 5).

Eau régale (ppm)							
Ca	K	Mg	Mn	P	Al	Fe	Na
66,8	303,0	164,0	1360,0	266,0	128000,0	89900,0	43,7

Tableau 83 : Concentrations totales en éléments majeurs, Yaou - F0 (n = 1).

L'évolution des paramètres pysico-chimiques mesurés dans le remplissage du fossé 0 est hétérogène en fonction de la profondeur (**Figure 136**). Les paramètres que sont carbone organique et rapport C/N évoluent à peu près de la même manière, en présentant les valeurs les plus importantes à la surface, et en diminuant avec la profondeur. Les deux seules mesures de la susceptibilité magnétique évoluent comme le rapport C/N dans la partie supérieure de remplissage du fossé. En terme de réserves nutritives, le niveau le plus proche de la surface analysé présente, comme dans la plupart des profils étudiés précedemment, les concentrations en calcium, magnésium et sodium échangeables les plus élevées. Ces cations suivent des évolutions à peu près « normales », en diminuant globalement avec la profondeur. Toutefois, vers 110 cm de profondeur, ces trois cations présentent une légère augmentation.

Il est intéressant de noter qu'ici la CEC et le manganèse échangeable suivent à peu près la même évolution, avec des pics identiques à 60 et 110 cm de profondeur environ. Ces deux pics peuvent être reliés à l'abondance des charbons et des agrégas brûlés. Notons que plus les agrégats et les charbons sont abondants, plus les pics sont importants. Enfin, il apparaît que les ions aluminium et fer suivent la même évolution au sein du profil.

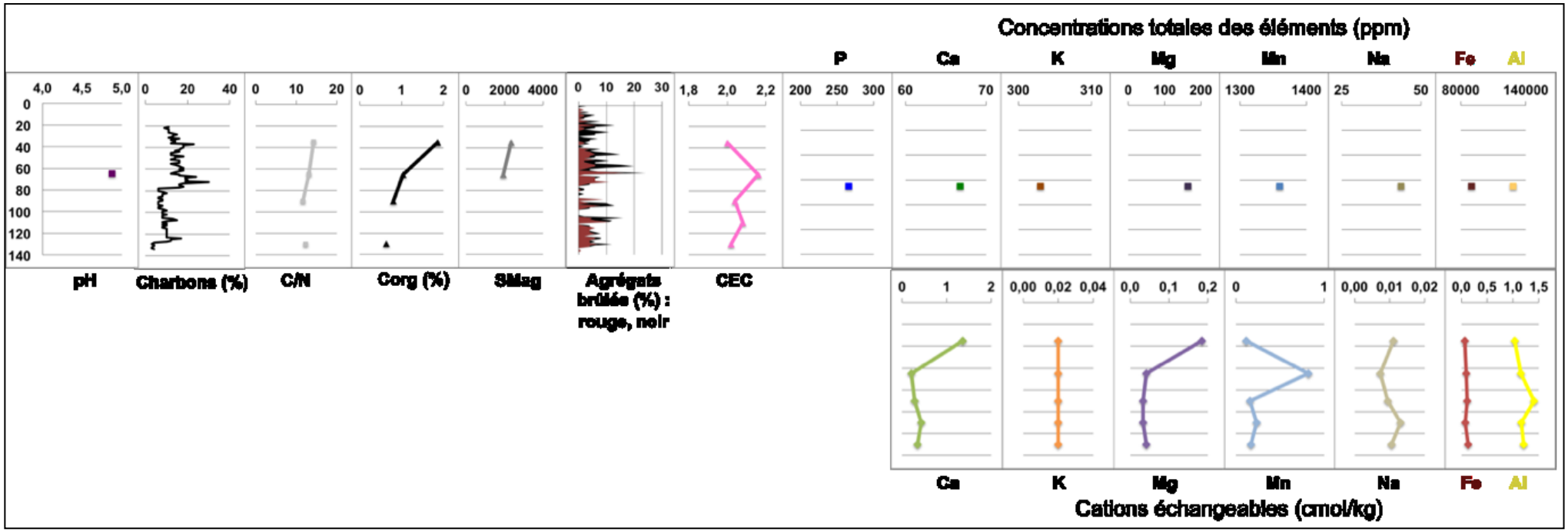


Figure 136 : Évolution des paramètres physico-chimiques et de l'abondance des charbons et des agrégats brûlés, en fonction de la profondeur, dans le remplissage du fossé 0 de Yaou.

I.1.5. Données complémentaires : observations des phytolithes

L'observation des phytolithes présents dans les sédiments du remplissage du fossé 0, indique qu'ils sont globalement tous assez altérés (A. Emery Barbier com. pers.). Néanmoins, il semble y avoir une forme dominante, petite et sphérique/globulaire. Cette forme est assez typique des palmiers de manière générale (Thomas 2011) (**Annexe 1 - Planche 37**). Ici, il est assez difficile de distinguer les bords des phytolithes, du fait d'une trop forte dégradation des matériaux (R. Thomas com. pers.). Cela ne permet pas de les identifier de manière précise. Les phytolithes ont subi une importante dégradation suite à leur dépôt dans les sédiments, du fait notamment des conditions du milieu, acides et très humide, indiquant qu'il y a un fort biais taphonomique à prendre en compte lors de leur observation.

Entre 25 et 60 cm de profondeur, plusieurs zones de concentration en phytolithes sont visibles (**Annexe 1 - Planche 37 : A et B**). Cela semble cohérent avec le fait que les phytolithes se dégradent moins vite que les cellules végétales en elles-mêmes. Leur abondance à un endroit donné témoigne d'une concentration ancienne en fragments végétaux.

Toutefois, deux fragments végétaux non brûlés, avec des cellules encore bien visibles, en connexion anatomique avec leurs phytolithes, se sont conservés dans les sédiments (**Annexe 1 - Planche 38**). Ces fragments se trouvent dans l'UMiS 1, vers 25 cm de profondeur. Selon les observations de R. Thomas, ils pourraient appartenir à différents types de palmier : Tribu *Cocoseae- genre Acrocomia*-Genres Aiphanes, ou Astrocaryum ou Bactris, ou bien Tribu *Iriarteae*-Genre *Socratea* ou *Iriartella* (**Annexe 1 - Planche 38-Bas**). La forme assez trapézoïdale de ces phytolithes, ainsi que la forme et la structure des cellules végétales permettent de le rattacher préférentiellement à la tribu *Cocoseae*, genres Astrocaryum ou Bactris (**Annexe 1 - Planche 38 : 1 et 2 ou 4 et 5**).

I.2. Fossé 2

I.2.1. Rappel des données archéologiques et de terrain

Sur le terrain, sept UMaS ont été repérées dans le remplissage du fossé 2 de Yaou.

UMaS	Prof. (cm) sous ≈120 cm de remblai	Mobilier archéologique / datations (C14 sur charbons)	Hypothèses archéologiques	N° prélèvement archéologique	N° lame mince
4a et 4b	120-160	Sédiments qui proviennent *a priori* du substratum (A) dans lequel le fossé a été creusé, contenants des fragments de l'anthroposol (US B) sous la forme de boulettes d'argiles noires.	Comblement volontaire par des remblais massifs de terre lors du creusement du fossé 1 voisin.	Echantillon A	F2-1 ; F2-2 ; F2-3 ; F2-4 ; F2-5 ; F2-6 F2-8 haut = F2-10 haut
5	160-210	Mobilier céramique.	Phase d'utilisation anthropique – fossé ouvert/hydromorphie.	Echantillon B	F2-8 bas = F2-10 bas F2-12
6	210-250	Charbons de bois et fragments de céramiques. **1780 +/- 30 BP**.	Accumulation de matériaux issus du ruissellement et de l'érosion des parois dans la partie basse du fossé ; fossé ouvert/ hydromorphie.		F2-13 ; F2-14 ; F2-15 ; F2-16 ; F2-17 haut
7	250-260	Niveau d'argile rubéfiée plaqué sur le fond du fossé. **1965 +/- 30 BP**.	Phase de brûlage de végétaux juste postérieure au creusement du fossé.		F2-17 bas ; F2-18

Tableau 84 : Unités macroscopiques discriminées dans le remplissage du fossé 2 par les archéologues sur le terrain, hypothèses archéologiques et concordance avec les prélèvements et les lames minces fabriquées (d'après Mestre 2012).

I.2.2. Observations micromorphologiques

Les observations micromorphologiques du remplissage de ce second fossé de la montagne couronnée de Yaou ont permis de discriminer 12 UMiS, décrites ici du haut vers le bas, (**Tableaux 85 et 86 et Annexe 1 - Planche 39**). Les caractères optiques sont à peu près les mêmes dans toutes ces microunités. Elles se différencient principalement par l'empoussièrement qui est plus ou moins abondant et le développement de la bioturbation. L'UMiS 1, présente une masse fine massive fissurale à agrégée, avec un empoussièrement de la matrice assez abondant. La bioturbation, légèrement développée, est essentiellement due aux passages de géophages, type *P. corethrurus*. Les restes de végétaux non brûlés sont assez abondants (racines, tiges, cellules végétales), indiquant un fonctionnement de ce niveau de type sub-surface. Les indicateurs d'anthropisation sont ténus, matérialisés par de rares agrégats brûlés mal conservés.

Dans l'UMiS 2 l'empoussièrement de la masse fine est un peu moins important que le niveau sus-jacent. La matrice est plus microagrégée du fait de la bioturbation un peu plus développée (enchytraeides). Comme au-dessus, les indicateurs d'anthropisation sont extrêmement ténus, matérialisés avec de rares agrégats brûlés mal préservés.

L'UMiS 3 est un peu plus massive avec quelques zones localisées de microagrégation, comme des chenaux, riches en déjections d'enchytraeides. De rares fragments végétaux non brûlés sont encore visibles ici. Quelques hyporevêtements argileux apparaissent, liés à la microfissuration de certains agrégats de sol. Les agrégats brûlés ponctuels sont assez altérés et fragmentés.
L'UMiS 4 est encore plus massive à massive fissurale, en lien avec une diminution de la bioturbation. Cette dernière est ici très localisée formant des chenaux riches en déjections de type enchytraeides. Plusieurs concrétions ferrugineuses et nodules de fer sont visibles. Aucun indicateur anthropique n'a été observé sur ces 20 cm d'épaisseur.
L'UMiS 5, est encore assez massive. L'empoussièrement de la masse fine est également à nouveau plus important (nombreuses microparticules charbonneuses). De rares agrégats brûlés fragmentés, et certains repris par la bioturbation sont observables. C'est dans cet horizon qu'apparaît l'unique fragment de céramique.
L'UMiS 6 présente toujours une matrice assez massive fissurale (fissures orientées sub-verticalement), avec une diminution de la bioturbation et de l'empoussièrement. La majorité des composants sont orientés préférentiellement sub-verticalement, suivant les tracés de la bioturbation. La limite entre les UMiS 6 et 7 est marquée par des fragments de végétaux frais pris dans un chenal de bioturbation.
L'UMiS 7 est celle dont la masse fine est la plus empoussiérée du remplissage. La matrice est ici assez agrégée à massive fissurale. La bioturbation y est néanmoins assez développée, toujours liées aux enchytraeides, ainsi qu'aux géophages, favorisant l'agrégation.
Dans l'UMiS 8, l'empoussièrement de la masse fine rediminue. La microstructure de la matrice est à peu près similaire à celle du dessus, avec de gros agrégats séparés par une porosité fissurale orientée globalement sub-verticalement.
L'UMiS 9 est un peu plus microagrégée (enchytraeides principalement). Quelques agrégats contiennent des revêtements argileux cassés. L'UMiS 10 ressemble à l'UMiS 8, plus massive (activité des géophages essentiellement). Quelques traits de bioturbation (enchytraeides) sont tout de même observables. Des traits texturaux ferrugineux apparaissent dans ce niveau. Ce sont de nombreuses concrétions ferrugineuses, ainsi que des remplissages dans la porosité. Dans l'UMiS 11, l'activité des enchytraeides a favorisé l'observation d'une matrice microagrégée, où la porosité est la plus importante de la séquence. Plusieurs agrégats de sol contenant des revêtements argileux biréfringents cassés sub-anguleux et microlités, jaune à beige, sont visibles. Le fond du fossé, UMiS 12, est massif fissural avec des fissures majoritairement orientées sub-verticalement. Quelques fragments de racines et radicelles non brûlées et ferruginisées (rouges en LOI) apparaissent, ainsi que de nombreux nodules de fer *in situ* à bords ondulés et certains roulés.

UMaS	UMiS	Horizon/Niveau	Profondeur (cm)	MICROSTRUCTURE					MATRICE						PRINCIPAUX TRAITS PEDOGENETIQUES						
															Biologiques		Argileux			Ferrugineux	
				Type de microstructure	Empoussièrement [b]	C/f distribution relative	Porosité	Abondance des vides [b]	Degré d'agrégation	Classement	Fraction grossière	Abondance relative [b]	Fraction fine	Abondance relative [b]	Type d'excrément	Abondance relative [b]	Type	Critères descriptifs	Abondance relative [b]	Type	Abondance relative [b]
4a et 4b	1	Remblai anthropisation ténue	120-125	MaF/Ag	●●	Ch	Fi/Chm	●	M	U	Qz	●	Ar	●●●	Geo/Ench	●			(●)		
	2	Remblai anthropisation ténue	125-132	Mag	●	Ge	Fi	●●	F	U	Qz	●	Ar	●●●	Ench	●●			(●)		
	3	Remblai anthropisation ténue	132-140	Ma/Mag	●	Ge	Chm	●	F	U	Qz	●	Ar	●●●	Ench	●●	Rag	L	(●)		
	4	Remblai anthropisation ténue	140-160	Ma/MaF	●	Ch	Chm/Fi	●	M	U	Qz	●	Ar	●●●	Ench	●			(●)		
5	5	Remblai avec quelques restes anthropiques	160-167	MaF	●●	Ch	Chm/Fi	●●	F	U	Qz	●	Ar	●●●	Ench	●●			(●)		
	6	Remblai avec quelques restes anthropiques	167-187	Ma	●	Ge	Fi/Chm	●	P	U	Qz	●	Ar	●●●	Ench	(●)			(●)		
	7	Remblai avec quelques restes anthropiques	187-191	MaF/Ag	●●●	Ch	Fi	●	P	U	Qz	●	Ar	●●●	Ench/Geo	●●			(●)		
	8	Remplissage sans traces d'anthropisation	191-212	MaF/Ag	●	Ch	Fi	●	P	U	Qz	●	Ar	●●●	Geo	●			(●)		
6	9	Remblai avec de rares restes anthropiques	212-226	MaF/Mag	●●	Ch	Chm/Fi	●●	M	U	Qz	●	Ar	●●●	Ench	●	Rag	L/Fr/Ml	●		
	10	Remplissage sans traces d'anthropisation	226-236	Ma/Ag	●	Ch	Fi	●	P	U	Qz	●	Ar	●●●	Geo	●				Re	●
	11	Remplissage sans traces d'anthropisation	236-251	Mag	●	Po	Fi/Chm	●●●	F	U	Qz	●	Ar	●●●	Ench	●●	Rag	L/Fr/Ml	●		
7	12	Fond du fossé	251-258	MaF	(●)	Ge	Chm	●	M	U	Qz	●	Ar	●●●		(●)			(●)		

Tableau 85 : Descriptif des UMiS définies par l'observation micromorphologique, Yaou – F2.

Légende (d'après Bullock et al. 1985) :
b = abondance relative en lames minces : (●) = rare ou absent ; ● = un peu / légèrement développé ; ●● = moyen / fréquent / assez développé ; ●●● = important / abondant / bien développé.
Type de microstructure = Ag : Agrégée ; Mag : Microagrégée; Ma : Massive; MaF : Massive fissurale.
C/F distribution relative (éléments grossiers par rapport aux éléments fins) = Ch : chitonique ; Ge : gefurique ; En : enaulique Porosité = Chm : en Chambre ; Fi : Fissures.
Degré d'agrégation = P : peu développé ; M : moyennement développé; F : fortement développé.
Classement = Nc : non classé.
Fraction grossière = Qz : quartz Fraction fine (fraction dominante) = Ar : argile.
Traits biologiques (excrémentaux) = Ench : enchytraeides ; Geo = géophages.
Traits argileux = Rag : revêtements dans les agrégats de sol - L : limpide jaune à orangé ; Ml : microlaminé ; Fr : fracturé/cassé. Traits ferrugineux = Re : en remplissage.

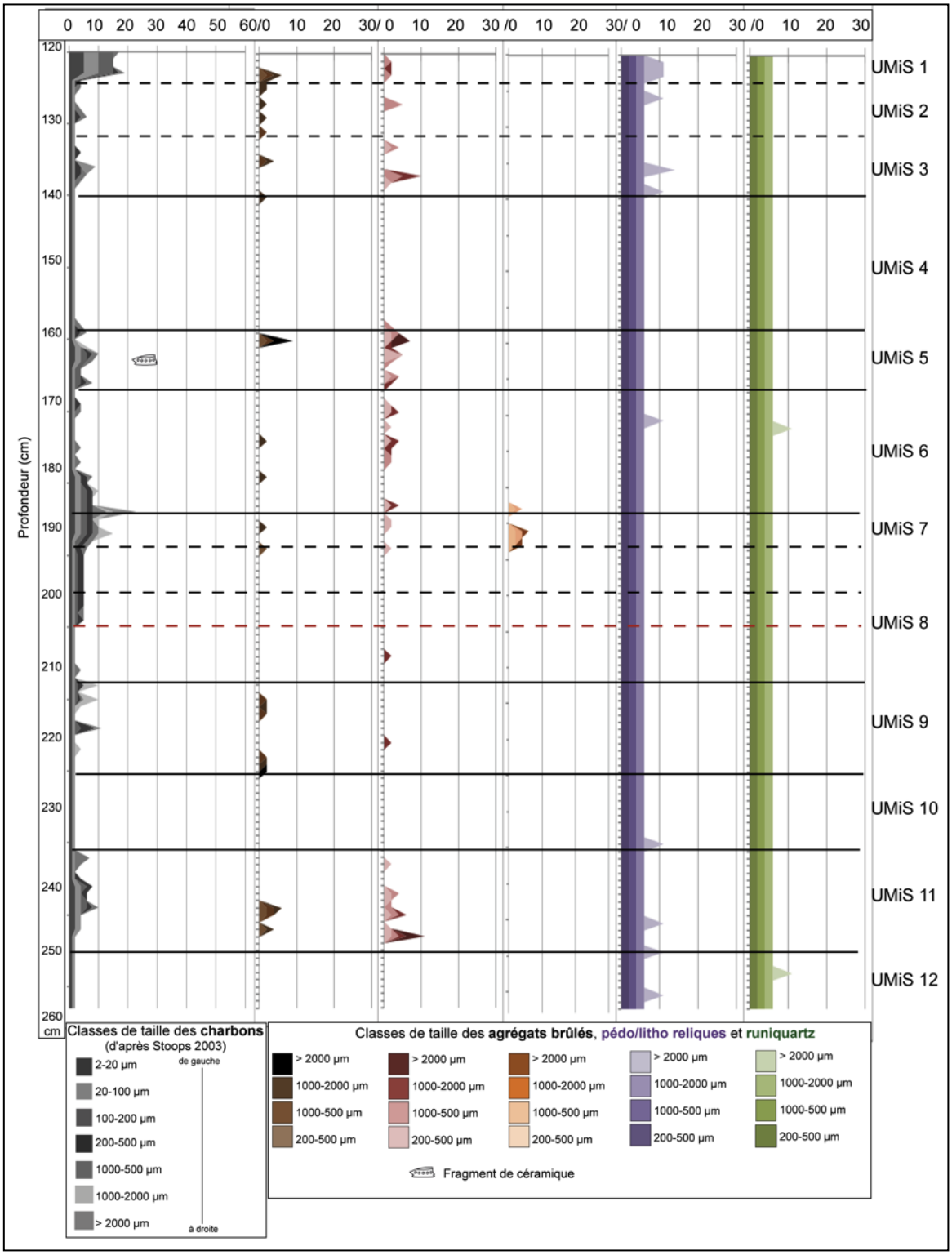
UMaS	UMiS	Horizon/Niveau	Prof. (cm)	Macrocharbons	Phytolithes	Microesquilles d'os	Fragments de céramique	Agrégats brûlés
4a et 4b	1	Remblai anthropisation ténue	120-125	(●)	●	(●)	(●)	(●)
	2	Remblai anthropisation ténue	125-132	(●)	●	(●)	(●)	(●)
	3	Remblai anthropisation ténue	132-140	(●)	●●	(●)	(●)	●
	4	Remblai anthropisation ténue	140-160	(●)	●	(●)	(●)	(●)
5	5	Remblai avec quelques restes anthropiques	160-167	(●)	●●	(●)	●	●
	6	Remblai avec quelques restes anthropiques	167-187	(●)	●●	(●)	(●)	●
	7	Remblai avec quelques restes anthropiques	187-191	●●●	●●	(●)	(●)	●●
	8	Remplissage sans traces d'anthropisation	191-212	(●)	●	(●)	(●)	(●)
6	9	Remblai avec de rares restes anthropiques	212-226	●●	●●	(●)	(●)	●
	10	Remplissage sans traces d'anthropisation	226-236	(●)	(●)	(●)	(●)	(●)
	11	Remplissage sans traces d'anthropisation	236-251	(●)	(●)	(●)	(●)	(●)
7	12	Fond du fossé	251-258	(●)	(●)	(●)	(●)	(●)

Légende : (●) = rare ou absent ; ● = un peu ; ●● = fréquent ; ●●● = abondant.

Tableau 86 : Abondance relative des constituants anthropiques observés en lames minces, Yaou – F2.

I.2.3. Comptages micromorphologiques dans le remplissage du fossé 2

Globalement, les limites de la microanthraco séquence sont assez corrélées aux UMiS (**Figure 138**). Les charbons et les agrégats brûlés comptabilisés en lames minces sont peu abondants dans toute la séquance, en-dessous de 10%. Les agrégats jaunes ne sont quasiment pas présents dans ce remplissage. Cinq niveaux se démarquent toutefois par leurs concentrations légèrement supérieures en charbons et en agrégats brûlés.



Légende : la céramique est liée à la Annexe 1 - Planche 40 et décrite dans l'Annexe 3. Tous les traits noirs marquent les limites des UMiS définies précédemment. Ceux qui sont continues correspondent également à des limites d'abondance des charbons, alors que ceux qui sont en pointillés sont des UMiS non observés par la microanthraco séquence. Les pointillés rouges correspondent à une limite dans la microanthraco séquence non discriminée par la micromorphologie.

Figure 137 : Estimation visuelle de la présence, en lames minces, des charbons, agrégats brûlés, noirs, rouges et jaunes, et des pédo/lithoreliques et runiquartz, du fossé 2 de Yaou.

Le premier, du haut du profil jusqu'à 140 cm de profondeur, où les charbons sont plus abondants sur les 5 premiers centimètres. Le second s'étend entre 160-170 cm. Puis entre 180-205 cm de profondeur environ, dans le troisième niveau, les agrégats jaunes apparaissent, seule occurrence de ces derniers dans toute l'épaisseur. Dans les dix centimètres inférieurs, entre 210-220 cm, quelques pics de charbons liés aux apparitions d'agrégats brûlés noirs et rouges apparaissent. Dans le cinquième niveau, entre 235-250 cm de profondeur un pic d'agrégats brûlés rouges semble marquer le bas du niveau, comme fermer ce niveau. Enfin, dans le bas du profil, les agrégats brulés ont disparu et les microcharbons sont ponctuels dans la matrice. Dans toute la séquence, les pédo/litho-reliques et les runiquartzs sont assez homogènes, inférieurs à 10%.

I.2.4. Caractères physico-chimiques des sédiments constituant le fossé 2

Le pH de 4.5 (**Tableau 87**) est caractéristique des sols acides. Les valeurs maximum du C/N et du Corg sont inférieures à ce qui a pu être mesuré dans les MC 87 et 88 et dans le fossé 0, au même titre que les deux mesures de la susceptibilité magnétique.

	Argiles	Limons tot	Sables tot	pH[1]	C/N[2]	Corg[2]	S. Mag[2]	$\delta^{13}C$
		(%)		-	-	(%)	($x10^{-9}$ m^3/kg)	(‰)
Min	n. m.			4,5	10,8	0,4	206	n. m.
Max					11,2	0,5	417	
Moy					11,0	0,4	312	
ET					0,3	0,1	150	

Tableau 87 : Statistique descriptive du pH, du C/N, du Corg et de la susceptibilité magnétique, Yaou – F2 ([1]n = 1 ; [2]n = 2).

	Olsen-Dabin (ppm)	Cobaltihéxamine (cmol/kg)							
	P	CEC	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Al
Min	n. m.	1,62	0,08	0,03	0,01	0,02	0,14	0,08	1,35
Max		1,85	0,17	0,03	0,01	0,02	0,29	0,10	2,36
Moy		1,73	0,13	0,03	0,01	0,02	0,19	0,09	1,74
ET		0,12	0,04	0,00	0,00	0,00	0,09	0,01	0,54

Tableau 88 : Statistique descriptive du dosage des cations échangeables, Yaou – F2 (n = 3).

Eau régale (ppm)							
Ca	**K**	**Mg**	**Mn**	**P**	**Al**	**Fe**	**Na**
32,9	349,0	137,0	642,0	223,0	142000,0	86000,0	47,7

Tableau 89 : Concentrations totales des éléments majeurs, Yaou – F2 (n = 1).

Le C/N et le Corg évoluent de manière opposée, le premier en augmentant avec la profondeur, le second en diminuant (**Figure 139**). La susceptibilité magnétique augmente autour de 180 cm de profondeur par rapport au fond du fossé, en lien avec l'augmentation des charbons. En termes de réserves nutritives, la CEC et les cations échangeables sont globalement assez homogènes, et présentent de légères variations. Parmis les éléments échangeables, les concentrations du Ca, du Mg, du Fe et de l'Al libres sont maximales à 150 cm. Ce qui peut être corrélé à la présence d'un pic de charbon et d'agrégats brulés.

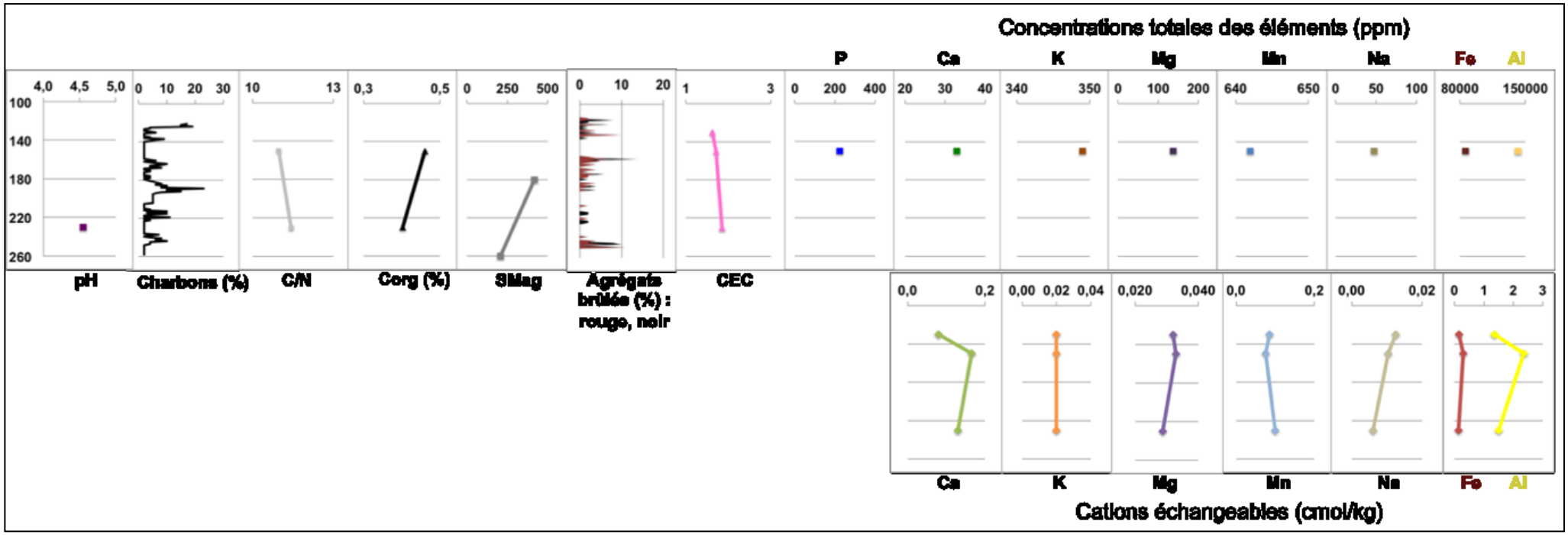


Figure 138 : Évolution des paramètres physico-chimiques et de l'abondance des charbons et des agrégats brûlés, avec la profondeur, dans le fossé 2 de Yaou.

II. Comparaison des paramètres physico-chimiques des fossés 0 et 2.

L'utilisation des moyennes est privilégiée pour comparer les paramètres physico-chimiques mesurés dans les sédiments des remplissages des fossés de Yaou.

Le **tableau 90** permet de voir que le remplissage du fossé 0 est globalement plus riche en C organique, en reserves nutritives et présente une plus grande S. Mag que le fossé 2. Le foosé 2 est légèrement plus riche en Fe et Al.

	pH n=1	Corg (%)	CEC	Ca	Mg	K	Mn	Al	Fe	Susc. mag. n=2
				échangeables						
F0	**4,88**	**10,8** n=4	**2,06** n=5	**0,53**	**0,07**	0,02	**0,15**	1,19	0,10	**2141**
F2	4,55	4,1 n=2	1,73 n=3	0,13	0,03	0,02	0,09	**1,74**	**0,19**	312

Tableau 90 : Moyennes des paramètres physico-chimiques mesurés dans les fossés de Yaou.

III. Situation des données physico-chimiques de Yaou mise en regard des MC 87 & 88

Dans cette analyse, 6 individus, ceux de Yaou, viennent s'ajouter aux 29 des MC 87 & 88, pour 15 variables utilisées. Les variables de la granulométrie n'apparaissent pas ici car elles n'ont pas été mesurées sur les profils de Yaou et les mesures du pH et des éléments totaux étant très ponctuelles dans les échantillons de Yaou, elles n'ont pas été utilisées ici. Les individus de Yaou ont été classés parmi l'horizon « Fossés » (**Tableau 91** et Annexe 5 : 4).
L'ACP indique qu'avec les trois premiers plans, 74% de l'information est expliquée (Annexe 5 :4 Inertie cumulée). Ainsi, seuls les plans 1-2 et 2-3 seront considérés ici.

Les grandes lignes observées précédemment sur les sites MC 87 & 88 réapparaissent ici, concernant la répartition globale des variables et la répartition des individus (**Figure 140**). Les variables qui sont le plus corrélées au plan 1, sont les mêmes que dans l'ACP précédente, à savoir CEC, potassium, aluminium et carbone organique (Annexe 5 : 4 - Corrélations des variables-C1 gras). Leur corrélation avec le plan 1 est ici négative. Celles qui sont corrélées positivement au plan 2 sont surtout les agrégats brûlés rouges et jaunes et les charbons (Annexe 5 : 4 - Corrélation des variables-C2 gras).

Site-Profil	UMaS	Prof. moy. (cm)	Horizons	N° individus
Yaou-Fossé 0	F0-6	1		30
Yaou-Fossé 0	F0-4	2		60
Yaou-Fossé 0	F0-3	3	Fossés	85
Yaou-Fossé 0	F0-1	4		120
Yaou-Fossé 2	F2-4B	5		150
Yaou-Fossé 2	F2-6	6		220
MC 87-1	1-1	5	Surface	1
MC 87-1	1-2	15		2
MC 87-1	1-3	30		3
MC 87-1	1-4	45	Fossés	4
MC 87-1	1-5	60		5
MC 87-1	1-6	75		6
MC 87-1	1-7	90		7
MC 88-6	6-1	10		8
MC 88-6	6-2	25		9
MC 88-6	6-3	45	Fossés	10
MC 88-6	6-4	60		11
MC 88-6	6-5	80		12
MC 87-3	3-1	3	Surface	13
MC 87-3	3-2	8		14
MC 87-3	3-3	13	Horizon argileux	15
MC 87-3	3-4	18		16
MC 87-3	3-5	23		17
MC 87-3	3-6	28		18
MC 87-4	4-1	3	Surface	19
MC 87-4	4-2	8		20
MC 87-4	4-3	13		21
MC 87-4	4-4	18	Anthroposol	22
MC 87-4	4-5	23		23
MC 87-4	4-6	28		24
MC 87-4	4-7	33		25
MC 87-4	4-8	38	Horizon argileux	26
MC 87-5	5-1	10	Surface	27
MC 87-5	5-2	25	MC87-5	28
MC 87-5	5-3	40		29

Légende : chaque individu correspondant à un échantillon prélevé sur le terrain, il est défini ici par son numéro d'UMaS et sa profondeur moyenne (Annexe 5 : 4).

Tableau 91 : Récapitulatif des individus considérés dans l'ACP.

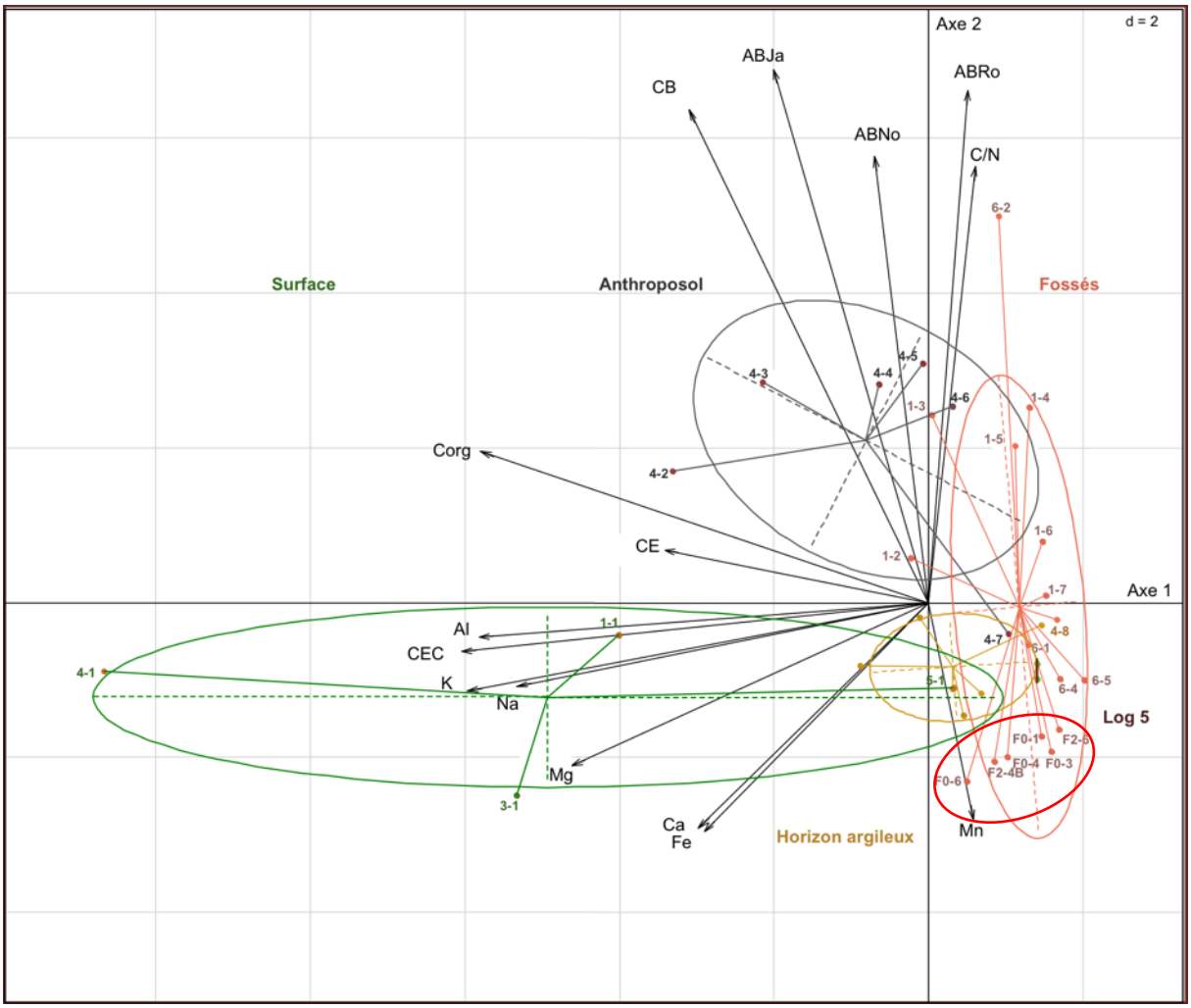


Figure 139 : ACP représentant les données des MC 87, 88 & Yaou, selon les plans 1-2.

Les individus des fossés de Yaou viennent s'insérer dans la répartition des individus à proximité du fossé de la MC 88, et de l' « Horizon argileux ». Ils sont davantage caractérisés par de fortes concentrations en manganèse, tout en étant assez opposés aux « Anthroposols », selon l'axe horizontal 1 et à la « Surface » selon l'axe vertical 2. L'individu qui contribue le plus à former l'axe 1 vers le côté gauche est le 4-1 de surface. Il est également le mieux représenté sur cet axe (Annexe 5 : 4 - Contribution et Qualité **de** représentation des individus-Ax1 gras). L'axe 2 est essentiellement formé par l'individu 6-2, le mieux représenté par cet axe (Annexe 5 :4 - Contribution et Qualité de représentation des individus-Ax2 gras).

Les sols des fossés de Yaou sont plus proches du fossé de la MC 88, moins riches en restes anthropiques (selon le plan 1-2).

D'après **la figure 141**, ce sont les variables manganèse et céramiques qui sont le plus corrélées positivement au plan 3 (Annexe 5 : 4 - Corrélations des variables-C3 gras). Ainsi, l'axe 3 est ici essentiellement tiré vers le haut par l'individu F0-4, défini essentiellement

par le manganèse échangeable (Annexe 5 : 4 - Contribution des individus-Ax3 gras). Cet individu est d'ailleurs très bien représenté selon cet axe (Annexe 5 : 4 - Qualité des individus-Ax3 gras).

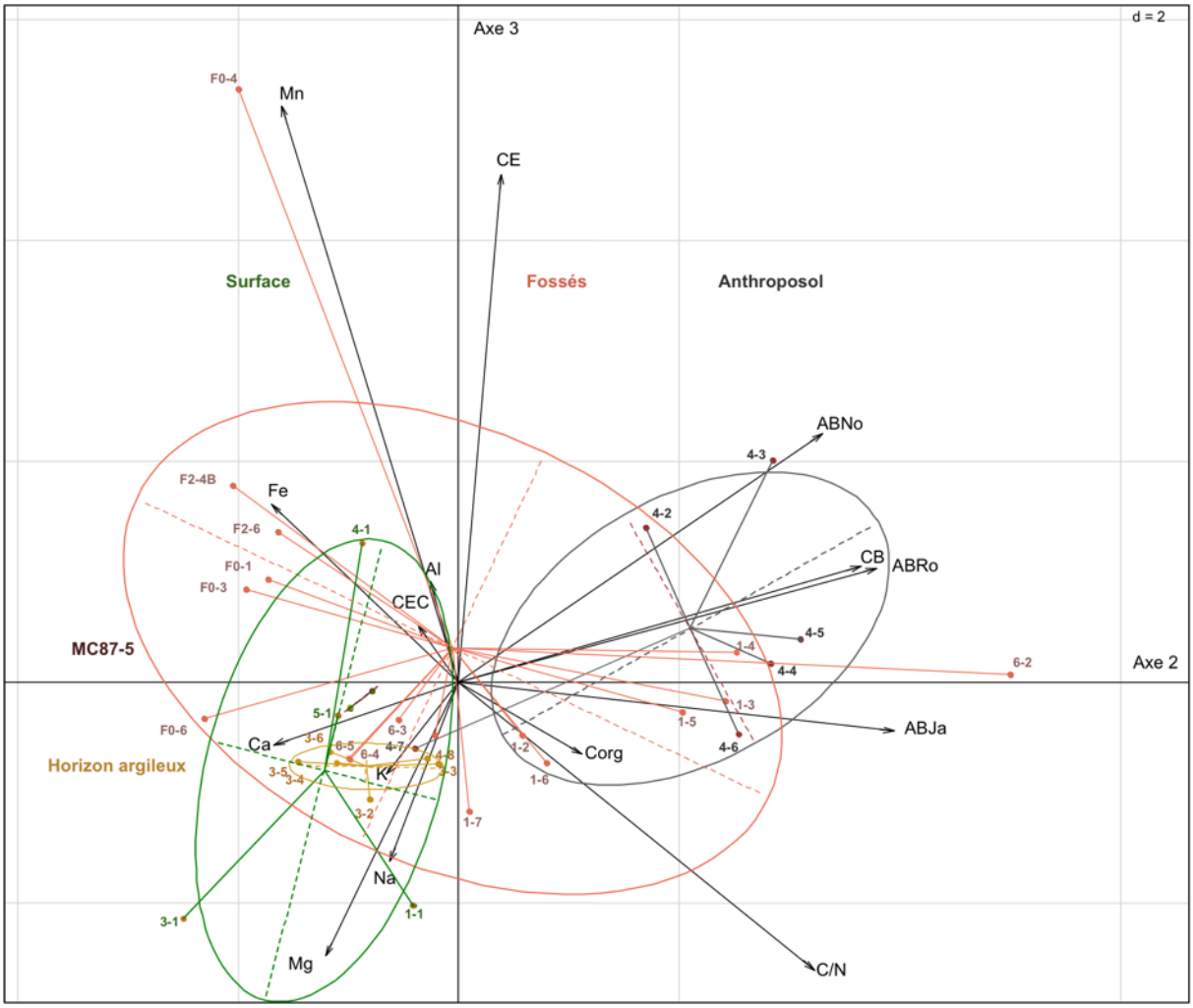


Figure 140 : ACP représentant les données des MC 87, 88 et Yaou, selon les plans 2-3.

Cette seconde vision de l'ACP vient confirmer le fait que les individus des fossés de Yaou sont associés aux concentrations en manganèse échangeable et en fer libre. À la différence des fossés des MC 87 et 88, les fossés du site de Yaou s'individualisent davantage selon les plans 2-3. Ils se situent notamment à l'opposé des « Anthroposols » et du fossé de la MC 87, soit assez éloignés des marqueurs de l'anthropisation des sédiments. Ils sont en revanche assez bien corrélés à la « Surface » puisque les ellipses se recoupent légèrement. Leur opposition directe selon cette représentation, avec les sols anthropisés des montagnes couronnées 87 et 88, semble ici assez cohérente du fait notamment des processus de formation et des conditions d'évolution différentes des milieux.

Partie IV. Interprétation

CHAPITRE 1 - LES INDICATEURS D'ANTHROPISATION DU SOL

Certaines organisations sédimentaires et constituants discriminés à l'échelle microscopique, ainsi que certaines propriétés physico-chimiques et leurs variations, peuvent constituer des indicateurs qui viennent alimenter nos connaissances des sols et des activités précolombiennes (**Tableau 92**) Ces indicateurs sont de deux types : ***directs***, lorsqu'il s'agit de constituants biotiques ou abiotiques découlant directement des activités humaines anciennes, ou bien ***indirects***, quand ils sont induits indirectement par l'occupation ancienne des sols. Ils sont alors plus discrets et forment un signal de fond (plus ou moins marqué) qu'il est encore possible de repérer aujourd'hui grâce à une étude géoarchéologique précise. Ces deux familles d'indicateurs témoignent de processus de transformation par réorientation de la pédogenèse et modification des conditions de milieu sous l'effet des activités humaines anciennes (nouvelle trajectoire bio-pédologique anthropo-induite).

I. Les indicateurs des surfaces anciennes

Les indicateurs micromorphologiques des surfaces anciennes sont de quatre types principaux : (i) l'activité biologique, (ii) l'orientation sub-horizontale des composants, (iii) l'abondance des éléments grossiers des sédiments et (iv), la présence de plages massives reliques. En complément, la géochimie peut également aider à discriminer la présence d'anciennes surfaces.

I.1. L'activité biologique

La micromorphologie permet de reconnaître les traits spécifiques de certains groupes de microorganismes, l'environnement dans lequel ils se sont formés, ainsi que de qualifier leurs impacts sur le sol (Kooistra et Pulleman 2010). Parmi les traits discriminés en lame mince, ceux résultant de l'activité biologique, et plus particulièrement de l'action des enchytraeides, ont été observés de manière assez fréquente dans tous les profils. L'action des enchytraeides est repérable dans les sols sous la forme de microboulettes fécales (déjections) (Topoliantz et al. 2000 ; Kooistra & Pulleman 2010). Les enchytraeides

travaillent préférentiellement dans les zones enrichies en matière organique (en surface, le long des racines) (Dawod & Fitzpatrick 1993 ; Cammas 2004). La présence de déjections concentrées dans des unités stratigraphiques sub-horizontales signale ainsi des surfaces enrichies en matière organique telles que d'anciens horizons de surface/sub-surface (0-15 cm de profondeur environ). L'aspect des déjections peut également renseigner sur leur âge (Kooistra & Pulleman 2010). Les boulettes sub-actuelles sont bien formées, arrondies, alors que des boulettes tassées ou « fondues », voire sub-angulaires, ou encore fragmentées, évoquent un vieillissement des organisations biologiques (J.-F. Ponge com. pers.). Dans les horizons de surface anciens, l'activité des enchytraeides s'exprime par des plages microagrégées, avec différents degrés de compaction qui sont fonction de leur vieillissement et des transformations post-dépositionnelles. Un recouvrement rapide (par apports sédimentaires naturels ou anthropiques) permet une meilleure conservation des organisations biologiques. La variation verticale de l'extension des surfaces remaniées au sein d'un même profil témoigne d'intensités biologiques différentes au cours du temps.

I.2. L'orientation sub-horizontale des marqueurs anthropiques directs

La concentration et l'orientation de certains composants du sol peuvent également constituer un indicateur d'ancienne surface. Les composants anthropiques, tels que les fragments de céramique et les charbons, peuvent être déposés à la surface du sol par abandon, rejet direct ou indirect (balayage) au moment de l'occupation, mais aussi avoir été remaniés par piétinement (Gé et al. 1993 ; Browne Ribeiro 2014). Ils seront alors disposés sub-horizontalement, suivant l'ancienne surface du sol (microtopographie). Etant donné les contextes géomorphologiques étudiés, la taille importante des macrocharbons et des tessons ainsi que leur concentration constituent un argument en faveur d'un remaniement spatial limité des vestiges (Browne Ribeiro 2014). En revanche, pour la plupart, ils ont subi des fracturations en place qui résultent de l'évolution bio-pédologique naturelle des sols. Il s'agit, ici, essentiellement des phénomènes de dessiccation / humectation des argiles.

Dans les anthroposols de la plaine alluviale, un autre trait permet de repérer d'anciennes surfaces. Il s'agit de la disposition suivant une orientation préférentielle des grains de quartz allongés de manière sub-horizontale. Ils vont alors former des microlits qu'il est possible d'observer en lames minces. Ce phénomène peut provenir du tri et de la réorganisation des quartz sous l'effet de ruissellements de surface selon la pente du

sédiment provoqué par la saltation des particules due à un effet *splash* (Lenoble & Bordes 2001).

I.3. La concentration d'éléments grossiers

Dans les Ferralsols des montagnes couronnées, la disposition et la concentration sub-horizontale d'éléments grossiers présents naturellement dans les sols, comme les nodules de fer ou les pédo/litho reliques, peuvent signaler un entretien de l'espace de type balayage. En effet, ce phénomène a été observé dans la place centrale régulièrement nettoyée des villages amérindiens actuels (Schmidt & Heckenberger 2009 ; Browne Ribeiro 2014 ; Schmidt et al 2014). La fraction fine superficielle est alors évacuée vers l'extérieur par un processus d'érosion différentielle (résidualisation). La prédominance des éléments grossiers, dans ce contexte, peut être assimilée à un phénomène de pseudo *stoneline* ou de résidualisation typique de surfaces érodées (Schaetzl & Thompson 2015) d'origine anthropique. Le fait de les observer au niveau microscopique amène à les considérer comme des *microstonelines*.

Certains traits de la microstructure peuvent également apporter des informations sur la présence d'une ancienne surface. Des plages massives avec parfois une porosité fissurale ont été observées dans les lames minces. Elles présentent une diminution de la porosité des sédiments qui peut être induite par la compaction des sols. Elles ont pu se former dans des zones d'intense activité où les passages répétés ont permis une certaine compaction des sols (piétinements). La fissuration de ces plages massives est liée à l'évolution pédologique des sols, dans lesquels alternent humectation et dessiccation saisonnières. Ces plages assez massives sont considérées comme d'anciens fragments de sols de surface ou de sub-surface préservés, peu modifiés par la pédogénèse.

I.4. Les marqueurs chimiques indirects

Selon Browne Ribeiro (2014), un pic de carbone organique pourrait marquer d'anciens horizons de surface du fait de l'abondance de cet élément dans la litière. L'apport de matériaux organiques par les activités anciennes à la surface d'un sol peut également l'enrichir en cations échangeables. Pour que ces variations chimiques se repèrent encore actuellement dans les sols, il faut que leur accumulation ait été importante, et que cet ancien horizon de surface ait subi une assez forte accumulation des matériaux induisant ces enrichissements chimiques pour se conserver jusqu'à aujourd'hui dans les sols. Ce

phénomène n'est pas observé dans les anthroposols guyanais, indiquant que la lixiviation des sols est plus importante que l'enrichissement induit par les activités anthropiques. En outre, d'après Limbrey (1975, cité par Woods 2009) il semblerait que le fer fasse régulièrement des « croûtes » sous les niveaux d'occupation archéologiques. L'analyse du fer pourrait alors avoir une utilité dans la distinction des limites entre différents niveaux d'occupation.

II. Les indicateurs de remaniement mécanique des sols

En lames minces, trois principaux traits témoignant de remaniements mécaniques des sédiments ont été distingués. Il s'agit d'agrégats de sol basculés, de revêtements et de papules argileuses serties dans des agrégats de sol roulés, brûlés ou non. Des incisions en V et/ou en U ont également été repérées ponctuellement. Pour ces processus, les observations micromorphologiques sont étayées par certains résultats des analyses physico-chimiques.

Ainsi, dans un des profils du site de Balaté, il a été mis en évidence la présence d'agrégats de sol sub-anguleux basculés, juxtaposés, localisés juste sous l'anthroposol. Dans d'autres contextes, ces agrégats basculés sont interprétés comme résultant de remaniements mécaniques liés au travail du sol (Macphail et al. 1990 ; Gebhardt 1992). La présence de revêtements empoussiérés associés à ces agrégats indiquerait, par exemple, un épisode de grattage du sol dans le but de nettoyer ou préparer l'espace, sous un couvert végétal assez dénudé (Goldberg & Macphail 2006).

Les papules argileuses correspondent à des fragments de revêtements argileux (Brewer 1964 cité par Sauzet et al. 2016). Dans les sols naturels, ces traits sont généralement le fait d'un remaniement mécanique des sols d'origine biologique (Sauzet et al. 2016). Leur abondance surfacique relative par rapport à celle des revêtements argileux constitue un indice de remaniement (Sauzet et al. sous presse). Dans les pédo-contextes guyanais étudiés, les papules sont généralement retrouvées dans des remplissages biologiques (cas de la plaine alluviale) ou au sein d'agrégats de sol roulés (pour les montagnes couronnées). Dans ce dernier contexte, l'emplacement de ces papules indiquerait des remaniements biologiques avant grattage du sol par les populations précolombiennes.

De manière plus ponctuelle, quelques incisions en U ou en V ont été discernées dans les anthroposols guyanais. Ces incisions indiqueraient également un phénomène de grattage

des sols, en lien avec la présence d'outils (J. Wattez et C. Cammas com. pers.). Les précolombiens utilisaient essentiellement des haches de pierre taillées fixées sur un manche en bois. Le manque de référentiel sur les traces que peuvent laisser l'usage de ces outils dans les sols ne permet pas ici de statuer sur l'utilisation ou non d'outils pour le grattage du terrain.

D'un point de vue chimique, les taux de fer et d'aluminium, élevés dans les Ferralsols, sont caractéristiques du milieu naturel et ne semblent par présenter de variations importantes entre sols naturels et sols anthropisés, notamment lorsque la profondeur est prise en compte (Woods 2009). Leur concentration totale augmente avec la profondeur, alors que les ions libres diminuent. Cependant, une évolution anormale / inverse de ces taux avec la profondeur, associée à des variations granulométriques peu communes dans le contexte étudié, souligneraient une inversion stratigraphique. Ceci pourrait témoigner du déplacement de sédiments, comme dans le cas d'un remblai, à côté d'un fossé par exemple. Ce phénomène a pu être observé dans le profil 5 de la montagne couronnée 87.

III. Les marqueurs directs et indirects des restes de nourriture

Ce sont ici essentiellement les restes fauniques qui sont considérés. Il s'agit de fragments d'os, qui peuvent appartenir à des mammifères ou à des poissons. Dans le cas des anthroposols étudiés, comme dans tous les sites de Guyane, les os ne font pas partie des macrorestes décelés lors des prospections et des fouilles, en raison de l'acidité des sols (pH < 5). Néanmoins, l'observation micromorphologique a permis de mettre en évidence quelques microesquilles d'os dans certains des profils analysés, qui font alors partie des marqueurs directs de l'anthropisation. Elles ont été trouvées principalement dans les anthroposols sableux de la plaine alluviale du Maroni mais aussi dans les sites des montagnes couronnées. Elles sont de petite taille, entre 50 et 300 micromètres pour les sols sableux, et entre 700 et 2000 micromètres pour les sols argileux, et apparaissent généralement très altérées. Leur aspect ne permet pas d'identifier le taxon animal dont ils proviennent.

D'après de nombreuses études, la présence de fragments d'os influence principalement les taux de phosphore et de calcium, et parfois, en fonction des contextes, ceux d'autres éléments chimiques comme le zinc, le cuivre, le magnésium (Knudson et al. 2004 ; Schaefer et al. 2004 ; Wilson et al. 2008 ; Oonk et al. 2009). Le sodium peut également indiquer la présence de restes de poisson, comme c'est le cas dans le nord-est du Canada,

dans certains sites Thuléens-Inuits (Couture et al. 2016). Outre les éléments chimiques comme le P et le Ca, le Na pourrait également donc être un marqueur indirect de la présence de restes de poissons dans les anthroposols des sites de la plaine alluviale, qui sont dans la partie estuarienne du fleuve.

IV. Les indicateurs d'ouverture du milieu par le feu

De nombreuses études démontrent le rôle du feu sur les propriétés physico-chimiques des sols, ainsi que sur leur structure, leur texture et leurs composants biologiques (Certini 2005 ; Mataix-Solera et al. 2011). Les observations micromorphologiques et les résultats physico-chimiques de ce travail sont en accord avec ces données, témoignant de l'importance du rôle du feu dans la formation et la composition des anthroposols étudiés. Seront présentés ci-après les constituants et les traits liés au feu, associés aux données physico-chimiques.

IV.1. Les marqueurs directs de la combustion des végétaux

Les restes de matière organique brûlée sont ici représentés essentiellement par des charbons de bois. Ils constituent les vestiges de la flore ligneuse qui a brûlé sur un site, et sont les plus significatifs parmi les matériaux hérités brûlés, et observés dans les anthroposols guyanais, aussi bien sableux qu'argileux. Ces charbons peuvent jouer un rôle important sur les taux de carbone organique, ainsi que sur la CEC, comme cela a pu être observé dans les *terra preta* (Glaser 2007). Il semblerait également que dans d'autres contextes archéologiques, les microparticules carbonisées soient associées à certains nutriments comme le fer, le phosphore et le calcium (Middleton et al. 2010).

D'après les travaux de M. Arroyo-Kalin (2008), il existe une différence dans la taille des particules charbonneuses entre *terra preta* et *terra mulata*. L'horizon A des *terra preta* serait essentiellement déterminé par des charbons compris entre 100 et 2000 micromètres. En revanche, dans les horizons de transition AB des *terra preta*, dans les *terra mulata*, ainsi que dans les horizons sous-jacents du substrat ou horizons B, les classes granulométriques charbonneuses seraient plus étendues, comprises entre 2 et 2000 micromètres. L'horizon A des *terra mulata* présenterait alors des fractions charbonneuses plus fines que les *terra preta*.

IV.2. Les marqueurs directs de l'altération thermique des sols

Le second constituant principal témoignant de l'action du feu sur les sols correspond aux agrégats brûlés discriminés dans les montagnes couronnées. Ils font partie des résidus les plus significatifs des anthroposols argileux étudiés dans ce travail. Leur texture et leur organisation indiquent qu'ils sont constitués d'une matrice similaire à celle du sol naturel. Les trois types d'agrégats brûlés identifiés sont définis par des colorations différentes (jaune, rouge et noir), ce qui révèle une altération thermique des sédiments selon différents types de chauffe. Les agrégats jaunes, dont la couleur est proche de celle des sols alentours et plus profonds, proviennent d'une chauffe inférieure à 250°C. En effet, d'après les travaux expérimentaux de Brodard et al. (2012, 2015) il apparaît qu'un sol cuit en deçà de 250°C ne change pas de couleur (pas de transformation des minéraux). Ces agrégats jaunes indiqueraient donc une faible intensité de chauffe des sols[1].
Les agrégats rouges et noirs sont des indicateurs de chauffe des sols de plus forte intensité (Wattez 1992, 2000 ; F. Levêque com. pers.). La couleur rouge correspond à la goethite contenue dans les sédiments argileux qui, lorsqu'elle est chauffée à environ 300°C, et en atmosphère oxydante, forme de l'hématite (Cornell & Schwertmann 1996). La coloration noire témoigne de la présence de magnétite, résultant de la chauffe de la goethite en conditions réductrices, à une température supérieure à 250°C (Brodard 2013). La présence de matière organique peut également influer sur la couleur (Wattez 1992). Le phénomène de chauffe, en provoquant le durcissement des argiles, pourrait avoir empêché l'ingestion du sol par la faune du sol, favorisant ainsi la préservation des agrégats (J.-F. Ponge com. pers.). Certains d'entre eux, essentiellement des rouges et noirs, présentent de fins chenaux dans lesquels des radicelles carbonisées sont encore visibles. Ceci indiquerait que ce sont des sédiments provenant d'horizons A (Ah), de sub-surface, qui ont été brûlés.
Ces agrégats sont associés aux valeurs les plus importantes de susceptibilité magnétique. Les travaux de Crockford & Willett (2001) confirment le fait que lorsque la surface d'un sol est brûlée, un pic de susceptibilité magnétique est observé.

Les sols de surface d'un substrat argileux prennent une coloration rouge et noire à partir de températures qui atteignent 500 à 600°C (Brodard et al. 2015). Après plusieurs heures de combustion de surface, la température du sol de sub-surface, entre 5 et 10 cm de profondeur, est autour de 100°C (ibid.). Ainsi, selon ces températures de chauffe, les

[1] Une première hypothèse avait proposé que les agrégats jaunes n'étaient pas brûlés, du fait de leur couleur claire (Brancier et al. 2014). Cependant, après discussions avec F. Levêque d'après ses expérimentations, et au vu de nos observations micromorphologiques, notamment le fait que la faune du sol les ai épargné, ils correspondraient plutôt à des restes de sols brûlés à basse température.

agrégats rouges et noirs correspondent aux sédiments soumis aux plus importantes températures. Ils se situent au cœur de la zone de chauffe, dans les premiers centimètres du sol (Brodard et al. 2015). Les agrégats jaunes sont en revanche plus en retrait de la zone de combustion, soit plus en périphérie, en terme de distance, et/ou un peu plus en profondeur en terme d'épaisseur brulée, dans l'horizon de sub-surface (ibid.). Le gradient de température entre les différents types d'agrégats est alors un témoin de la microdifférenciation spatiale de l'impact thermique de la chauffe en fonction de l'éloignement du centre de combustion, et de la profondeur.

D'après Browne Ribeiro (2014), les agrégats argileux brûlés en conditions réductrices, de couleur noir, résulteraient d'une recombustion d'un horizon de surface, dans une matrice pauvre en oxygène et riche en carbone, lors de feux successifs impactant la surface du sol. Certains agrégats chauffés observés dans ce travail présentent un gradient de couleur, noir au centre, et rouge en périphérie, attestant que les horizons de surface brûlés en conditions oxydantes, formant des agrégats rouges, ont été soumis à une recombustion, constituant alors des agrégats noirs et rouges, jusqu'à totalement noirs. Ceci témoignerait préférentiellement d'activités de type défrichement de la végétation, par brûlis de surface successifs (ibid.).

La forme sub-arrondie de ces agrégats chauffés proviendrait d'un effet de travail des sols de type grattage/raclage, ou retournement, par exemple pour nettoyer un espace (Wattez 1992). Cela vient confirmer le fait qu'ils soient observés jusqu'à 35 cm de profondeur dans les profils de l'enceinte de la MC 87, signifiant des phénomènes de creusement et de mélange des horizons de surface avec les horizons sous-jacents (Browne Ribeiro 2014). De plus, certains agrégats chauffés sont entourés de fins revêtements argileux, limpides et biréfringents, témoignant possiblement du fait qu'ils étaient initialement associés à des cendres (cf. *infra*). Ces revêtements ont également pu se former dans la microporosité des agrégats, après leur transport et leur rejet (**Annexe 1 - Planche 41**). Ils présentent également des vides sub-arrondis cavitaires parfois comblés en partie par des revêtements argileux. D'après Huisman et al. (2012), la présence des cendres à proximité immédiate des charbons peut entrainer leur dissolution dans les sols. En effet, les cendres augmentent l'alcalinité des sols par un processus chimique, ce qui va induire la dissolution des particules charbonneuses (ibid.). Ainsi, les vides observés pourraient correspondre à des fantômes de charbons, dissous dans des conditions précédemment plus alcalines au sein d'agrégats de sols brûlés (**Annexe 1 - Planche 41 : F).** Néanmoins, ce phénomène reste microlocal et lié aux agrégats brûlés seulement, car les charbons observés en lames

minces dans la matrice adjacente sont bien préservés. Au sein de certains agrégats chauffés, des papules argileuses, ainsi que des revêtements cassés sub-anguleux, sont inclus dans la matrice. La coloration rouge des papules et des revêtements dans ces agrégats indique que ces traits argileux étaient déjà présents dans les sols *in situ* lorsque la combustion a eu lieu, entrainant une transformation de la goethite en hématite. Ceci favoriserait l'hypothèse que les sols brûlés *in situ* ont été grattés, puis balayés et jetés dans les fossés de l'enceinte de la MC 87.

IV.3. Les revêtements argileux, un marqueur indirect de l'apport de cendres

Les revêtements argileux sont formés lorsque les argiles se dispersent, et qu'elles sont transportées dans les sols par infiltration et percolation d'eau (processus d'illuviation). Il est classiquement avancé que l'illuviation des argiles n'est pas un processus pédogénétique très actif dans les Ferralsols tropicaux, globalement acides (pH < 5) (Duchaufour 2001; Marcelino et al. 2010). De plus, les argiles constituant ces sols sont principalement des kaolinites, peu ou non dispersables, donc peu favorables à la formation des revêtements argileux (ibid.). Néanmoins, dans certains Ferralsols naturels brésiliens, type *Oxisols* ou *Ultisols*, des revêtements argileux ont été observés. Ils sont essentiellement composés d'argiles limpides jaunes à rouges, généralement non laminés (Marcelino et al. 2010). Leur mise en place serait associée à des conditions paléoclimatiques spécifiques, plus humides qu'aujourd'hui (Ibraimo et al. 2004). Certains auteurs, dans d'autres contextes climatiques, considèrent les phénomènes d'illuviation comme un processus fossile très ancien (van Vliet-Lanoë 1990). D'autres considèrent que l'intensité du lessivage peut être modifiée lors de forçages anthropiques (Courty et al. 1989 ; Goldberg & Macphail 2006 ; Montagne et al. 2008 ; Cornu et al. 2012 ; Sauzet et al. 2016). L'observation au microscope de ces traits argileux permet de déterminer l'origine des particules. Par exemple lorsque les revêtements sont limpides, microlaminés ou non, ils sont généralement associés à un couvert végétal permanent (Fedoroff 1997). En revanche, s'ils présentent une alternance de microlamines limpides et poussiéreuses, ils résultent de la déstructuration de la surface du sol nu sous l'impact des gouttes de pluie (effet *splash*), entraînant mécaniquement les particules grossières ou organiques dans le bas du profil. Ils sont alors les témoins de conditions de changement drastique dans le couvert végétal (Fedoroff & Courty 1994 ; Goldberg & Macphail 2006 ; Kühn et al. 2010).

Dans les anthroposols de la plaine alluviale (CSL et BAL), trois principaux types de revêtements ont été observés : (i) des revêtements jaunes limpides plus ou moins épais, (ii) des revêtements microlaminés ferruginisés (BAL essentiellement) et (iii), des revêtements empoussiérés assez épais (**Annexe 1 - Planche 4**). Les deux premiers types, observés dans les dépôts de la plaine alluviale, témoignent des processus rédoxiques pédologiques (BAL) alors que le troisième est observé au sein ou sous les anthroposols (**Annexe 1 - Planche 4 : F**). Dans les montagnes couronnées, deux principaux types de revêtements ont pu être observés : des revêtements assez épais jaune à rouge, parfois microlaminés et rarement empoussiérés, essentiellement sous la forme de remplissages dans la microporosité, ainsi que des revêtements plus fins jaunes limpides autour de certains agrégats brûlés **(Annexe 1 - Planches 21 et 25 : C)**. La présence des revêtements poussiéreux suggère que les sols ont été mis à nu. Ils marqueraient alors indirectement les activités humaines anciennes de type ouverture du milieu, et défrichage de la formation végétale sus-jacente (Fedoroff & Courty 1994 ; Goldberg & Macphail 2006 ; Kühn et al. 2010).

Concernant les revêtements limpides jaunes, les causes de la libération des argiles sont multiples, telles que, notamment, la modification de l'alcalinité (ex. salinité) ou l'acidité des sols (Huisman et al. 2012). Or, il est théoriquement reconnu que la présence des cendres dans les sols, va localement induire la création de conditions alcalines, en augmentant le pH, favorisant d'autant la défloculation des argiles (Ulery 1993 ; Khanna et al 1994 cités par Huisman et al. 2012). Les argiles sont alors plus dispersables, ce qui favorise leur lessivage de manière microlocale (ibid).

Les cendres auxquels il est fait référence ici correspondent aux restes de tissus des plantes lors de combustions en conditions oxydantes (Huisman et al. 2012) menées à terme (Wattez 1992). Elles sont essentiellement alcalines et contiennent du calcium et du potassium, ainsi que du magnésium et du sodium (Knicker 2007 ; Huisman et al 2012). Si l'on regarde les données de la chimie des sols, d'après les travaux de Adams & Boyle (1980), cités par Certini (2005), de Knicker (2007) et de Huisman et al. (2012), il apparaît que l'augmentation de l'alcalinité dans les sols persiste environ trois ans, puis les cations sont assez rapidement lixiviés[2]. Par conséquent, il semble difficile d'observer encore aujourd'hui une corrélation entre les zones de revêtements argileux et les teneurs en calcium, potassium, magnésium et sodium dans les anthroposols guyanais. Les revêtements argileux limpides observés dans ce travail formeraient ainsi les principaux marqueurs

[2] Pour comparaison, le calcium et le potassium mettent trois mois pour se dégrader dans un sol sous forêt tempérée.

indirects de phénomènes de combustions des matières organiques (Masiello 2004; Huisman et al. 2012).

IV.4. Modifications de la structure et de la texture des sols

Plusieurs études démontrent que le passage d'un feu sur un sol entraine une tendance à l'augmentation de la fraction grossière, attribuée notamment à la formation d'agrégats stables de limons et d'argile (Almendros et al. 1984, Ulery & Graham 1993, cités par Mataix-Solera et al. 2011). D'après Ketterings et al. (2000), si la température de la combustion est au-delà de 600 °C, il y a alors une augmentation nette de la quantité de la fraction sableuse et une diminution conjointe des particules plus fines (limons et plus particulièrement argiles). En effet, si un horizon de surface est brûlé, il sera alors davantage soumis aux phénomènes d'érosion, de ruissellement (résidualisation), favorisant l'élimination des particules les plus fines (Certini 2005). Ces études pourraient expliquer certaines observations pédologiques, qui soulignent la présence, dans une grande majorité des sols étudiés dans le cadre du programme Couac en Guyane française, d'un « ventre argileux inverse », le niveau archéologique devenant plus sableux que les profils de sols naturels (V. Freycon com. pers.).

IV.5. Impacts du feu sur les propriétés physico-chimiques des sols

Le feu agit sur la matière organique des sols en modifiant sa qualité et sa quantité (Certini 2005). Durant la combustion, il y a une perte immédiate de la matière organique des sols. En effet, en fonction de son intensité il pourra y avoir une volatilisation des constituants (autour de 200-250°C), une calcination ou une oxydation complète de la matière organique (vers 460°C) (Giovannini et al. 1988, cité par Certini 2005). Toutefois, il est généralement avéré qu'au bout d'un certain temps le carbone organique augmente dans l'horizon A des sols soumis à une combustion (Johnson & Curtis 2001). Pour décrire ce phénomène, de nombreuses explications sont avancées, dont une intéresse plus particulièrement ce travail, à savoir la présence du black carbon dans les sols (Gonzalez-Pérez et al. 2004). Comme précisé précédemment (cf. Partie I-chapitre 4), cet élément provient de combustions incomplètes de résidus de bois autour entre 250 et 500°C. Il contribue à hauteur de 35-40 % dans la concentration en carbone organique total et les travaux effectués sur les *terra preta* ont permis de démontrer son rôle dans la stabilité de la matière organique sur le long terme (Glaser et al. 2004).

En outre, il apparaît que l'azote est particulièrement susceptible de se volatiliser par l'action du feu (Fisher & Binkley 2000). Ainsi, les variations irrégulières du rapport C/N au sein d'un profil peuvent témoigner de réminiscence d'apports anthropiques liés aux feux, confirmées généralement par la présence des charbons (*black carbon*) et/ou des agrégats brûlés (B. Ferry com. pers.).

Les travaux de Cade-Menun et al. (2000) démontrent que la combustion d'un sol transforme le phosphore organique en orthophosphates, favorisant sa perduration dans les sols acides notamment sous la forme minéral d'oxydes en s'associant à l'aluminium, au fer et au manganèse. Phosphore, calcium, magnésium et potassium peuvent également augmenter à la surface des sols, du fait de la présence des cendres notamment, favorisant l'augmentation conjointe du pH (Certini 2005). Toutefois, ces augmentations ne perdurent pas dans le temps. La lixiviation de ces éléments dépend de nombreux facteurs tels que la durée et la température de combustion, ainsi que du type de végétation qui a brûlé. Elle peut se faire en quelques mois ou en plusieurs années en fonction des éléments chimiques (ibid.).

IV.6. Transformation / diminution du couvert végétal : la signature du delta C13

L'analyse du delta C13 vient apporter des informations complémentaires sur les modifications du couvert végétal par les activités humaines anciennes de type brûlis. En effet, rappelons que ce paramètre reflète la végétation présente sur un sol, qui peut être de type C3 pour les végétations forestières, ou C4 pour les végétations basses de type prairies ou savanes (Boutton 1991 ; Fernandes et al. 2007). Suite à l'ouverture d'une forêt, par brûlis par exemple, le carbone de type C3 présent dans les matières organiques des sols va être modifié, pouvant aller jusqu'à une perte de 50% de carbone durant les douze premières années (Cerri et al. 1985). Si, d'après les travaux de Turney et al. (2006), il apparaît que la durée de combustion a un rôle négligeable sur le delta C13, l'espèce d'arbre brûlée, ainsi que la température de chauffe, sont des données primordiales à prendre en considération pour évaluer la variation du delta. Ce phénomène s'explique notamment par le fait que les différentes matières qui constituent les plantes possèdent leur propre signature isotopique du carbone. Par exemple, la lignine est plus oxydable (mobile – labile) et relativement appauvrie en C13 (de 4 à 7 % en moins) par rapport à la cellulose qui en contient davantage (1 à 2 % seulement en moins) (Benner et al. 1987, Nadelhoffer & Fry 1988 ; Ehleringer et al. 2000, cités par Turney et al. 2006). Ainsi durant

la combustion, de manière générale dans tous les contextes climatiques, les composés les plus labiles du carbone vont plus rapidement être perdus que les composés isotopiquement plus lourds. Les espèces plus ligneuses, dites de bois tendres (*softwood*), seront susceptibles de perdre plus rapidement leur C13 que les espèces de bois dure (*hardwood*) (Czimczik et al. 2002; Turney et al. 2006).

Si l'on s'intéresse plus particulièrement au gradient de température, il est intéressant de noter qu'entre 60°C et 150°C, les valeurs du delta C13 ne varient pas fondamentalement entre différentes espèces d'arbres. En revanche, lorsque la température atteint 340°C, le C13 diminue plus drastiquement du fait de la perte de la cellulose. Pour des températures inférieures à 450°C, et dans des conditions de feux naturels au cours de combustions progressives, il semblerait que le delta C13 diminue de 1,3 ‰ (Turney et al. 2006). Toutefois, *a priori*, à partir de températures atteignant 600°C, aussi bien la cellulose que la lignine sont susceptibles de se dégrader. Les valeurs du delta C13 vont alors se stabiliser présentant des différences autour de 1,6 ‰ et 1,4 ‰ respectivement pour *Eucalyptus spp*. (Eucalyptus) et *Quercus robur* (Chêne pédonculé*)* (ibid.).
Ces températures sont indicatives pour certaines espèces d'arbres. Pour évaluer la perte véritable du C13 dans la végétation guyanaise qui nous intéresse, il serait nécessaire de réaliser ce même type d'analyse.

Finalement, les valeurs du delta C13 dans les anthroposols guyanais ont très certainement été marquées par les brûlis successifs qui ont eu lieu sur les sites. La présence de charbons, constituants les résidus de la matière ligneuse, montre que la végétation a été brûlée, au même titre que les revêtements argileux empoussiérés, qui indiquent une ouverture du couvert végétal sus-jacent.

En outre, une évolution du delta C13 vers des valeurs plus positives pourrait être reliée à trois mécanismes principaux (Hakansson 1985, cité par Glaser & Zech 2005). Le premier correspond à l'apport de matériaux allochtones provenant de végétations terrestres de type C4. Pour le second, il s'agit d'un apport de matières organiques d'origine aquatique, enrichie en C13. Le troisième correspond à l'accélération de la minéralisation de la matière organique. Dans le cas des anthroposols guyanais, l'évaluation de ces trois paramètres nécessiterait de plus amples analyses.

IV.7. Témoins liés aux conditions de milieu

La majorité des traits ferrugineux observés dans ce travail, en lames minces, marquent des phénomènes d'oxydo-réduction liés aux battements de nappe et aux engorgements temporaires (Lindbo et al. 2010). Ils ont principalement été observés dans les sédiments de la plaine alluviale. Dans ce même contexte, les charbons de bois sont souvent émoussés et présentent parfois des ferruginisations prenant la forme d'un liseré rouge rouille périphérique, traduisant un séjour dans un environnement rédoxique, typique d'une plaine alluviale. D'un point de vu chimique, de manière générale les concentrations totales en fer et en manganèse peuvent caractériser des phénomènes d'engorgements (Baize 2000 ; Lindbo et al. 2010). En outre, le taux de sodium peut signaler la présence d'eau saumâtre dans les sites archéologiques en contexte de plaine alluviale estuarienne, comme c'est le cas des sites Chemin Saint-Louis (Glaser & Birk 2012) et Balaté.

Finalement tous ces indicateurs, à la fois micromorphologiques (constituants et traits) et physico-chimiques, présentent un fort potentiel (géo) archéologique. Ils constituent des clés de détermination qui ont été utilisées pour interpréter les résultats présentés dans le chapitre précédent.

Type de résidus	Marqueurs		Processus	Bibliographie
	Directs - constituants visibles (terrain et micro)	Indirects – invisibles (micro et chimiques)		
Nourriture d'origine animale, coquilles.	Fragments d'os : arêtes de poissons, os de mammifères	Ca-Sr-Ba-Cl, Mg-P, Porg ; Fragments d'os = Zn, Cu, P et Ca Na = principalement poissons (Canada).		Costa & Kern 1999 ; Knudson et al. 2004 ; Wilson et al. 2008 ; Oonk et al. 2009 ; Glaser & Birk 2012 ; Couture et al. 2016.
Restes de couvertures des maisons type palmes.	Restes de palmes, de feuilles, brûlées ou non.	Mn-Zn-Cu et pics du Corg .	**Naturel** - La décomposition de la matière organique entraine une augmentation dans les sols du manganèse notamment.	Kern 1996 ; Kern et al. 2004 ; Kern et al. 2015.
Apport de cendres d'origine végétale.		Revêtements argileux poussiéreux ; augmentation de K, Porg, pH, Ca, Mg ; Branches, tiges et le tissus racinaire est riche en K > N > Mg > Ca > P alors que pour les feuilles N > K > Mg > Ca > P.	**Naturel** – La plus grande quantité des nutriments se trouve dans les tiges, suivis des branches, des racines puis des feuilles. **Anthropique** - La plus grande perte de tous les nutriments se situe au moment des moissons, et c'est le K qui diminuera en premier, suivi de N, Mg, Ca et P.	Courty et al. 1989 ; Shanmughavel et al. 2001 ; Arroyo-Kalin 2008.
Excréments humains.		P essentiellement (couplés à des analyses des stanols et des acides biliaires).		Birk et al. 2010 ; Glaser & Birk 2012.
Charbons	Macrocharbons, couleur noire des sédiments.	Microparticules carbonisées = Fe, P et Ca (plus ou moins détectables : toutes les particules carbonisées ne contiennent pas forcément ces éléments).	Effet combiné des charbons macro- et microscopiques et de la matière organique (biochar), Corg.	Parnell et al. 2002 ; Glaser 2007, Wilson et al. 2008 ; Middleton et al. 2010 ; Glaser & Birk 2012 ; Arroyo-Kalin 2013 ; Schmidt et al. 2014.
Fragments d'argile brûlée	De couleur noire : en condition réductrice.	Pic de Corg (qui décroit avec la profondeur).	**Anthropique** - Normalement les fragments d'argile brûlée apparaissent brûlés en condition oxydée (rouge). Ici ils sont réduits, ceci résulterait d'une recuisson dans une matrice pauvre en oxygène et riche en carbone lors de feux de surface de type défrichement de la végétation.	Browne Ribeiro 2014
Charbons	Microcharbons : tailles de l'ordre des sables fins.	Pic de la susceptibilité magnétique et pic du pH.	**Anthropique** – par une chauffe *in situ* des sols, le fer se transforme pour devenir plus magnétique.	Arroyo-Kalin 2008, 2010, 2013
	Proportion importante de nodules de fer de type pédo/litho reliques.	Diminution du Corg, et des nutriments échangeables : P Ca, Mg, K, Na, et du pH.	**Anthropique** - Endroit propre, nettoyé régulièrement, dépourvu de la fraction fine de la partie supérieure du sol (érosion différentielle).	Schmidt & Heckenberger 2009 ; Browne Ribeiro 2014 ;, Schmidt et al. 2014.

Tableau 92 : Marqueurs directs et indirects d'anthropisation observés dans différents contextes archéologiques, utilisés pour l'interprétation des résultats.

CHAPITRE 2 - INTERPRETATIONS MICROMORPHOLOGIQUES ET PHYSICO-CHIMIQUES DES RESULTATS

I. Les anthroposols de la plaine alluviale du Maroni

I.1. Chemin Saint-Louis

Dans les deux profils étudiés sur le site de Chemin Saint-Louis, trois phases de dépôt principales ont été définies, via les observations micromorphologiques associées aux comptages des charbons et aux résultats physico-chimiques. La mise en place des anthroposols, pour chaque profil, est décrite ici en respectant l'ordre chronologique de dépôt des sédiments, soit du bas vers le haut du profil.

I.1.1. Profil CSL-1

Dans ce profil, sept UMiS ont été discriminées par l'observation micromorphologique : le substrat alluvial (UMiS 7), et les couches anthropisées. Ces dernières ont été regroupées en trois principaux ensembles[3] microstratigraphiques (**Annexe 1 – Planche 9**).

Le substrat alluvial (83-75 cm, UMiS 7)

Dans cette unité, typique d'un dépôt alluvial, la micromorphologie indique que la nature et la distribution des revêtements argileux témoignent de modifications précoces du couvert végétal pouvant être liées à l'anthropisation de la terrasse (Goldberg & Macphail 2006 ; Stoops et al. 2010). Les quelques charbons observés ici proviennent des niveaux supérieurs, et ont pu être enfouis aussi bien par l'action de la faune du sol que par les remaniements anthropiques. Sur le plan chimique, le substrat se distingue par des valeurs plus fortes de certains éléments comme le phosphore total et échangeable, le potassium et le sodium total, ainsi que le fer et l'aluminium total. Cet enrichissement semble lié principalement à la part plus importante de la fraction argileuse dans cette unité. En ce qui concerne le taux plus élevé de sodium, il peut être mis en relation avec des incursions

[3] Le terme « ensemble » correspond au regroupement de plusieurs unités microstratigraphiques (UMiS) ; le terme « niveau « ou « unité » représente une seule UMiS.

d'eaux riches en NaCl, et la proximité de la nappe alluviale (estuarienne) encore saumâtre à cette distance de l'embouchure du fleuve (Birk & Glaser in van den Bel 2012).

Le premier ensemble, l'installation du système anthropisé (75-52 cm, UMiS 6 et 5)

À la base de l'UMiS 6, les quelques macrocharbons sont émoussés, ce qui indiquerait leur remaniement et leur transport. Ils présentent des auréoles ferruginisées qui révèlent de leur séjour dans les sols temporairement engorgés, en lien avec le substrat alluvial sous-jacent. Au sein de la microstructure, des variations verticales ténues sont repérables avec, par endroits, une masse plus ou moins enrichie en fraction fine, ou plus ou moins agrégée. Des zones d'érosion (*depletion*) peuvent être distinguées. Elles sont caractérisées par une couleur plus claire de la masse fine du fait d'un appauvrissement en argiles. Ces plages résultent du lessivage des sédiments, la fraction fine ayant migré latéralement ou vers les niveaux inférieurs (éluviation). Elles se seraient formées sous l'effet combiné du ruissellement, de l'infiltration et de la percolation d'eau, lors d'épisodes pluvieux ou de crues du fleuve. L'agencement préférentiel de certains grains de quartz formant des microlitages sub-horizontaux, témoigne également de ces phases de ruissellement et de réagencement de surface. L'ensemble de ces caractères indique que ces microstratifications correspondent à d'anciennes surfaces fugaces superposées, témoignant d'une forte accumulation alternant avec de courts épisodes de stabilisation des sols (Fitzpatrick 1993).

La concomitance de l'augmentation de l'anthropisation des sédiments (tesson de céramique et augmentation des charbons), avec la superposition d'anciennes surfaces et l'augmentation du ruissellement superficiel semble favoriser l'hypothèse des mises à nu du sol d'origine anthropique, en lien avec des défrichements, ceci augmentant le lessivage des argiles.

En outre, d'après les résultats physico-chimiques, les mesures de susceptibilité magnétique présentent un fort enrichissement, passant de 57 à 128.10^{-9} m^3/kg, en suivant l'abondance des charbons. L'augmentation conjointe du calcium et du potassium total pourrait être le fait de résidus de cendres, en lien avec l'abondance des charbons. Ces éléments, en lien étroit avec l'évolution du manganèse, pourraient également provenir des feuilles de palmes qui auraient servi pour le toit des maisons (Kern et al. 2015).

En outre, les augmentations conjointes du sodium, échangeable et total et du manganèse échangeable vers 50 cm de profondeur, au niveau de la limite supérieure de cet ensemble, peuvent marquer l'engorgement temporaire du sol par de l'eau saumâtre provenant du fleuve (crues, remontées de nappe).

Archéologiquement, il pourrait s'agir de la 1ère phase d'occupation du site, la phase 1B, datée autour de 3 800-3 500 BP (van den Bel 2012). La manufacture assez grossière du

fragment de céramique observé dans ce niveau, ainsi que son dégraissant essentiellement minéral composé de grains de quartz concassés, rejoignent les descriptions faites sur les céramiques à ces profondeurs. Il est possible d'imaginer que la fin de cette première occupation du site a pu être marquée par la montée du niveau de l'eau du fleuve (pics de Na et Mn éch), obligeant les populations précolombiennes à décaler leur occupation, ou à partir du site. Ces éléments peuvent témoigner d'une occupation saisonnière, préférentiellement en saison sèche, avec un départ obligé/motivé au moment de la montée du fleuve, lors de la saison humide. Ceci concorde avec les conclusions auxquelles aboutis l'archéologue, qui parle d'une période d'abandon du site du fait de la montée des eaux du fleuve (van den Bel 2015).

Le second ensemble, l'anthroposol (52-34 cm, UMiS 4 et 3)

Ces UMiS présentent à nouveau des microhorizons de surface successifs. Leur masse fine est nettement enrichie en poussières organiques par rapport à l'ensemble sous-jacent. Ici, la microstructure est majoritairement massive fissurale, et elle témoigne de phases de stabilisation plus longues que dans les niveaux inférieurs. Localement, notamment dans l'UMiS 3, la microagrégation de la masse fine, d'origine biologique, indique également des moments où la pédogénèse (bioturbation) était active. La coloration plus foncée de la masse fine est à mettre en lien direct avec l'augmentation des charbons comptabilisés en lames minces, qui atteignent ici leur maximum de présence dans le profil (de 30 à 32%). Le tesson de céramique visible dans l'UMiS 3 présente une coloration orange à brun, qui indique un mode de cuisson dans des conditions oxydo-réductrices, correspondant aux observations archéologiques (van den Bel 2012).

Pour ce qui concerne les caractères physico-chimiques, cette phase se distingue par une réaugmentation légère de la fraction argileuse, valable jusqu'en haut de la séquence, associée à la CEC, au carbone organique et au calcium échangeable qui suivent à peu près la même évolution. Ici, l'augmentation conjointe du C/N et de la susceptibilité magnétique est corrélée positivement à l'abondance des charbons. Le pH augmente également à ce niveau là. D'après les travaux de M. Arroyo-Kalin (2008), les variations de ces paramètres physico-chimiques, en lien avec l'augmentation des charbons avec une prédominance de la classe granulométrique la plus fine < 100 micromètres, indiqueraient une zone de mise en culture intentionnelle, de type *terra mulata*. De très légères augmentations conjointes du calcium, potassium et magnésium total sont corrélées vers 40 cm de profondeur, en lien possible avec la présence ancienne de cendres. Ces éléments sont discutés plus loin.

Archéologiquement, ce deuxième ensemble correspond à une période d'occupation du site plus récente, où, en lame mince, les microconstituants anthropiques sont plus abondants que dans les niveaux inférieurs. Cet ensemble pourrait être assimilé au dépôt datant de la phase 2 d'occupation du site qui s'étend entre 2 200 et 1 700 ans BP (van den Bel 2012).

L'ensemble 3 (34-20 cm, UMiS 2 et 1)

Ce dernier ensemble est marqué par une activité biologique plus exprimée, notamment en remontant vers la surface du profil. Dans l'UMiS 2, les nombreuses plages massives sont des agrégats de sols de surface intacts, qui ont été épargnés par la faune du sol. L'abondance des charbons diminue drastiquement par rapport à l'ensemble inférieur.

D'un point de vue physico-chimique, c'est le niveau de sol le plus riche en réserves nutritives, (CEC et cations échangeables : P, Ca, K, Mg et Na), et en carbone organique. Cette évolution des paramètres chimiques est similaire à celle des sols naturels, où les réserves nutritives et le carbone organique sont plus concentrés dans le niveau de surface (Birk & Glaser in van den Bel 2012, B. Ferry com. pers.). Ainsi, ce troisième ensemble, porte, en terme de propriétés physico-chimiques, à la fois les traces ténues de l'occupation ancienne et de la pédogénèse tropicale actuelle naturelle. Ceci témoigne du fait que ces anthroposols ont un effet mémoire, tout en conservant une certaine capacité de résilience malgré l'anthropisation ancienne.

Ce dernier ensemble correspond vraisemblablement à un troisième niveau d'occupation, où les vestiges de l'occupation sont fugaces, probablement du fait de la très forte bioturbation qui a pu transformer la configuration du sol.

Archéologiquement, cette troisième phase de dépôt pourrait correspondre, du fait de sa profondeur et des indicateurs anthropiques, à la phase 3 d'occupation du site, datée autour de 1000 à 700 BP (van den Bel 2012).

UMiS	Prof. (cm)	Micromorphologie		Physico-chimie			Microconstituants anthropiques		Interprétations archéologiques
		Indices	Interprétations	Granulo.	Éléments chimiques	Autres	CB	CE	
Haut 1 et 2	20-34	Bioturbation ●●● ; fragments végétaux frais orangés ●●	Sols de sub-surface	Sables ●●	CEC, P, Ca, K, Mg, Na éch ●● ; Ca tot ●●	Corg, ●●●	●●		Phase 3 d'occupation : important remaniement pédogénétique. Vestiges anthropiques très fugaces.
3 et 4	34-52	Bioturbation ●	Phases de stabilisation la pédogénèse ; microhorizons de surface	Sables ●●	CEC et Ca éch ●●; Ca, K, Mg et Mn tot ●	C/N, Corg, SMag, pH ●●	●●●	●	Phase 2 d'occupation : zone de mise en culture ? en périphérie d'un habitat type *home gardens*.
5 et 6	52-75	Bioturbation ●●; Revêtements argileux empoussiérés dans UMiS 6	Microhorizons de surface ; forte accumulation et épisodes de stabilisation des sols	Sables ●●	Na et Mn tot ●● ; Na et Mn éch et Ca tot et éch ●	C/N ●	●●	●	Abandon lié à une montée des eaux du fleuve : crue ? Phase 1 d'occupation
7 **Bas**	75-83	Bioturbation (●) ; Revêtements argileux empoussiérés et limpides ●●	Substrat alluvial	Argiles ●●	K, Na, Fe et Al tot, et Al éch ●●		●		Dépôt alluvial sur lequel les populations précolombiennes se sont installées en modifiant le couvert végétal.

Légende : CB = charbons ; CE = céramiques ; ● = faiblement concentré ; ●● = moyennement concentré; ●●● = abondant/assez concentré. Note : la flèche à gauche du tableau, permet de suivre l'ordre de dépôt des sédiments, en lien avec les interprétations précédentes. En terme de chronologie, le bas correspond aux niveaux les plus anciens, et les niveaux les plus récents sont positionnés en haut.

Tableau 93 : Résumé des données géoarchéologiques et interprétations – profil CSL-1.

I.1.2. Profil CSL-2

Au même titre que dans le profil précédent, dans CSL-2, sept UMiS ont été discriminées par l'observation micromorphologique. Ces dernières ont été regroupées en trois principaux ensembles microstratigraphiques (**Annexe 1 – Planche 11**).

Premier ensemble, les débuts de l'anthropisation (87-73 cm, UMiS 6 et 7)

Dans le bas de ce niveau, certains grains de quartz présentent des pellicules ou des enrobages d'argiles hyalines (composants roulés) qui témoignent de mouvements des sédiments sur de courtes distances. La distribution des quelques revêtements argileux visibles est du même type que dans le profil CSL-1, où les revêtements empoussiérés et microlaminés sont préférentiellement situés au-dessus des revêtements limpides, indiquant une modification sus-jacente du couvert végétal, comme une phase de défrichement des sols par les populations précolombiennes. Les microcharbons observés sont assez peu abondants et assez émoussés. Leur origine est liée à un remaniement et à un transport, probablement sur de courtes distances de type colluvions. Ces charbons peuvent alors provenir de la levée alluviale où la première occupation a préférentiellement était installée (M. van den Bel com. pers). Les deux fragments de céramique visibles dans l'UMiS 6 présentent une texture et une composition similaires (**Annexe 1 - Planche 12**). La couleur générale de leur matrice, brun foncé à noir, rejoint celle des céramiques décrites par l'archéologue, témoignant d'un mode de cuisson en condition réductrice (van den Bel 2012).

D'un point de vue physico-chimique, plusieurs éléments mesurés augmentent dans cette UMiS, comme le carbone organique (de 0,3 à 0,4 % en 10 cm) et le rapport C/N (de 14 à 17). La susceptibilité magnétique présente des valeurs assez importantes par rapport à ce qui a été mesuré dans la séquence CSL-1 (autour de 330.10^{-9} m^3/kg, soit près de deux fois supérieure à la plus grande valeur de CSL-1). Ici aussi l'évolution de ces paramètres peut être mise en lien avec l'augmentation des charbons.

Comme pour CSL-1, ce premier sol pourrait correspondre à la première période d'occupation du site connue archéologiquement, datée autour de 3 800-3 500 BP, attribuée au plus ancien âge céramique défini en Guyane (van den Bel 2006, 2012, 2015).

Le second ensemble, l'anthroposol (73-38 cm, UMiS 5, 4 et 3)

D'un point de vu micromorphologique, ces UMiS sont globalement similaires en terme de microstructure. Il s'agit de trois microlits sub-horizontaux successifs délimités par des alignements diffus de grains de sables (anciennes surfaces). Chaque UMiS correspondrait

ainsi à un microhorizon de surface. Elles se différencient entre elles par leur abondance en charbons, et par des fragments de céramique aux caractères optiques différents.
Dans les UMiS 5 et 4, les pics de macrocharbons sont corrélés à la présence des fragments de céramique. Au nombre de six, ces céramiques sont globalement de même manufacture, en terme de texture, structure, couleur et constituants, et diffèrent des fragments observés dans les niveaux inférieurs. Elles témoignent de conditions de chauffe en conditions oxydantes, concordant avec les observations archéologiques (**Annexe 1 - Planche 12 : G à B et Annexe 3**).
Dans l'UMiS 5 les pics corrélés du calcium, magnésium et manganèse échangeables et total témoigneraient d'une concentration ancienne de cendres. Ces augmentations sont corrélées à celle du C/N, et donc à la présence des charbons dans les sols.
Parmi les trois UMiS de cet ensemble, seule l'UMiS 3 ne contient pas de tessons de céramique. En revanche, elle contient des microesquilles d'os (**Annexe 1 - Planche 8 : A, B**). Or, dans ce niveau il y a un pic du calcium échangeable et total (sans modification de la fraction argileuse). Ceci pourrait être mis en lien avec la présence des microesquilles d'os résiduelles, qui indiqueraient des rejets plus important de résidus osseux riches en apatite, qui seraient d'anciens restes de nourriture (Knudson et al. 2004 ; Wilson et al. 2008 ; Oonk et al. 2009).
Globalement, les analyses chimiques montrent que le carbone organique, comme la CEC, augmentent graduellement vers la surface. Certains éléments comme le calcium et le magnésium échangeables et total présentent les mêmes tendances, suivant l'évolution naturelle de ces paramètres dans les sols (Birk & Glaser 2012, in van den Bel 2012).
Cet ensemble est de façon tangible riche en marqueurs de l'occupation humaine ancienne, notamment en terme d'empoussièrement de la matrice, et de restes anthropiques. Sa profondeur permet de l'associer à la phase 2 de l'occupation. De plus, son épaisseur importante (environ 40 cm) invite à le rattacher à une période intense de l'occupation comme ce qui est décrit parfois pour les *Amazonian Dark Earth*, où l'épaisseur de l'accumulation des sols est directement reliée à la durée et à l'intensité de l'occupation ancienne (Arroyo-Kalin 2014). Ceci concorde avec les observations de l'archéologue qui décrit cette phase 2, datée entre 2 200 et 1 700 ans BP, comme étant « longue et persistante » (van den Bel 2012).

À la différence de CSL-1, les sous-phases archéologiques 2A, 2B et 2C ont également été discriminées ici, où les trois UMiS 5, 4 et 3 correspondent respectivement à ces trois sous-phases. L'étude des céramiques indique que les fragments de la phase 2A auraient plutôt une fonction de type funéraire, alors que ceux des phases 2B et 2C représenteraient des

ustensiles domestiques utilisés pour la consommation et la préparation de nourriture (van den Bel 2015). Ces éléments concordent en partie avec nos observations, notamment pour ce qui concerne l'UMiS 5 qui contient des témoins indirects de concentrations importantes d'anciens apports de cendres (crémation humaine ?), et l'UMiS 3 qui présente des traces de consommations de nourriture.

Le troisième ensemble (38-25 cm, UMiS 2 et 1)

La limite inférieure de cet ensemble est marquée par un microlitage de grains de quartz sub-horizontaux, preuve d'une ancienne surface. Comme dans CSL-1, des plages massives qui correspondent à des reliques d'anciens horizons de surface épargnés par la pédogénèse sont visibles.

Le fragment de céramique observé ici est différent de tous les autres, de par sa structure et ses composants (**Annexe 1 - Planche 12 et Annexe 3).** Si son dégraissant est lui aussi principalement minéral, constitué de grains de quartz qui semblent broyés au sein d'une matrice très dense grise foncé à noir en lumière naturelle, il ne présente pas de microlitage, résultant ainsi probablement d'un phénomène de mixage des matériaux plutôt que de malaxage. La couleur de la matrice du tesson nous informe sur les conditions réductrices de sa cuisson, comme ce qui a pu être observé sur les tessons découverts à cette profondeur (van den Bel 2012). Quelques zones d'argile lavée plus claire (gris clair en lumière naturelle et presque jaune très pâle en lumière incidente) apparaissent également dans la matrice, indice que les matériaux de fabrication de la céramique proviendraient de la terrasse alluviale. Sa forme très irrégulière, sub-arrondie, indique qu'il a dû subir un remaniement plus important que les autres fragments trouvés dans le profil, ou davantage de transformations dans le sol.

Au sein de ce dernier ensemble, l'abondance des charbons augmente légèrement, pour atteindre 30% dans l'UMiS 1. Cette abondance conditionne la couleur plus foncée, brun à noir de la masse fine. Malgré le manque de certaines données physico-chimiques, il apparaît que les concentrations totales des éléments présentent les mêmes évolutions que dans CSL-1, en augmentant vers la surface. Il est possible d'imaginer que les autres paramètres physico-chimiques auraient évolués en augmentant avec la surface, comme c'est le cas dans CSL-1.

Archéologiquement, cet ensemble peut être attribué à la dernière phase d'occupation du site, datée autour de 1000 à 700 BP. Ici, les céramiques étudiées par les données archéologiques correspondent aux céramiques du site de Balaté (cf. *infra*) (van den Bel 2012).

UMiS	Prof. cm	Micromorphologie		Physico-chimie			Microconstituants anthropiques			Interprétations archéologiques	
		Indices	Interprétations	Granulo.	Éléments chimiques	Autres	CB	CE	Os		
Haut 1 et 2	25-38	Bioturbation ● : agrégats massifs de sol de surface	Sols de sub-surface actuel	-	-	-	●●●	● (A)		Phase 3 de l'occupation : 1000-1300 apr. J.-C.	
3	38-47	Bioturbation ●●● ; microlitages sub-horizontaux des sables	Succession d'anciens horizons de surface (paléosurfaces)		CEC ; Ca éch et tot ●●	Corg ●	●●●		●	Phase 2 de l'occupation	sous-phase 2C: rejets de nourriture
4	47-66						●●	●●● (B à E)			sous-phase 2B
5	66-74			Sables ●	P, Ca, Mg, Mn éch et Ca, Mn tot ●●	C/N ●●	●●●	●● (F et G)			sous phase 2A cendres : crémation des corps ? Funéraire ?
6	74-83	Bioturbation ●● ; empoussièrement masse fine ●	Bas de l'anthroposol	-	Ca, P, Mn éch et Ca et Mn tot ●	C/N ●		● (H et I)		Phase 1B de l'occupation : 2300 avt. J.-C	
7 Bas	83-90	Zone lavée de fine ; revêtements argileux empoussiérés et limpides	Substrat alluvial	-	Al, P, K et Na tot ●	pH ●	●			Défrichements Transition substrat alluvial apparent/anthroposol	

Légende : CB= charbons ; CE = céramiques ; (●) = rare ou absent ; ● = un peu/faiblement concentré ; ●● = fréquent /moyennement concentré; ●●● = abondant/concentré. Note : la flèche, à gauche du tableau, permet de suivre l'ordre de dépôt des sédiments, en lien avec les interprétations précédentes. En terme de chronologie, le bas correspond aux niveaux les plus anciens, et les niveaux les plus récents sont positionnés en haut.

Tableau 94 : Résumé des données géoarchéologiques et interprétations – profil CSL-2.

I.1.3. Synthèse des deux profils étudiés

I.1.3.1. Les données de la micromorphologie

Le niveau anthropique noir et épais résultant d'une accumulation progressive, se repère dans les deux profils. Toutefois, des variations ténues sont perceptibles entre les deux profils qui témoignent d'intensités différentes dans les processus pédo-sédimentaires.

Dans CSL-1, les microlitages sont assez diffus alors que dans CSL-2 ils sont bien marqués. Cela atteste que la bioturbation pédofaunique, par le remaniement des sédiments qu'elle induit, vient masquer les paléosurfaces. Cette bioturbation a été continue et contemporaine de l'accrétion dans CSL-1, entraînant des épisodes de stabilisation moins bien définis, qui sont peut-être aussi moins nombreux et/ou de moins longue durée. En conséquence, la reconnaissance des temporalités d'occupation est clairement impactée par la bioturbation, en tant que phénomène contemporain des dépôts, et donc de l'occupation, ou bien comme agent post-dépositionnel, lors des phases d'abandon. L'inscription différentielle des paléosurfaces entre les profils pourrait aussi s'expliquer par une pression anthropique différente, moins intense dans CSL-1 (de type passage par exemple), que dans CSL-2 (passage plus réguliers, quotidiens).

En terme de nature et d'abondance des constituants anthropiques, ces deux séquences se différencient également. CSL-2 apparait plus riche en tessons de céramique, et contient des microesquilles d'os résiduelles. En revanche, l'anthroposol de CSL-1 contient 12% de charbons en plus que celui de CSL-2 : ils atteignent 30% sur 20 cm d'épaisseur, quant ils ne sont qu'à 18 % dans CSL-2.

I.1.3.2. Les données de la physico-chimie

A. Comparaisons CSL-1 et CSL-2

Si l'on s'intéresse exclusivement aux résultats physico-chimiques des deux séquences étudiées sur ce site, la moyenne et l'écart type de certains paramètres analysés laissent apparaitre une signature chimique différentielle entre les deux profils (**Tableau 95**).

Les deux anthroposols sont à dominante sableuse malgré des microvariations texturales. On remarque globalement que la susceptibilité magnétique, ainsi que les concentrations moyennes échangeables du phosphore, du calcium et du manganèse, sont plus importantes dans l'anthroposol de CSL-2, alors que la fraction argileuse des sédiments, qui pourraient induire ces fortes concentrations, y est légèrement plus basse que dans CSL-1.

En outre, c'est dans le profil CSL-2, où le plus grand nombre de céramiques a été recensé, que la susceptibilité magnétique est en moyenne plus importante que dans CSL-1 (**Figure**

142). Si l'on regarde plus particulièrement vers 55 cm de profondeur, elle est près de 1,5 fois plus élevée dans CSL-2 où de nombreux tessons sont visibles, à la différence de CSL-1 où aucun tesson n'a été repéré pour la même profondeur. Ici il est très probable que l'augmentation de la susceptibilité magnétique soit liée à la présence des tessons de céramique, comme cela a pu être argumenté dans les *terra preta* (Arroyo-Kalin 2008). Le fait que l'anthroposol de CSL-1 soit légèrement moins riche en charbon que celui de CSL-2, vient appuyer cette hypothèse, où l'augmentation de la susceptibilité magnétique serait alors davantage régie par les tessons de céramique, plutôt que par les charbons (**Figure 143**).

En revanche, l'aluminium libre, et les concentrations totales du manganèse, de l'aluminium et du fer, qui révèlent les conditions de milieu, sont légèrement plus importantes dans le profil CSL-1, où l'engorgement des sols a pu être plus important que dans CSL-2.

	Argiles	Limons	Sables	Susc. mag	CB (%)	P éch	Ca éch	Al éch	Mn tot	Al tot
	(%)					(cmol/kg)				(ppm)
CSL-1	**10**/1	**7**/1	83/2	173/13	**19**/7	19,2/3,1	0,09/0,05	**0,90**/0,10	64/24	**12683**/1930
CSL-2	8/1	4/1	**88**/2	**295**/34	18/8,5	**29,8**/6,6	**0,12**/0,03	0,69/0,06	**97**/27	10397/1436

Légende : valeurs les plus élevées.

Tableau 95 : Moyennes/écarts-types des paramètres physico-chimiques qui présentent des variations significatives dans l'anthroposol (jusqu'à 70 cm de profondeur) des deux profils de Chemin Saint-Louis.

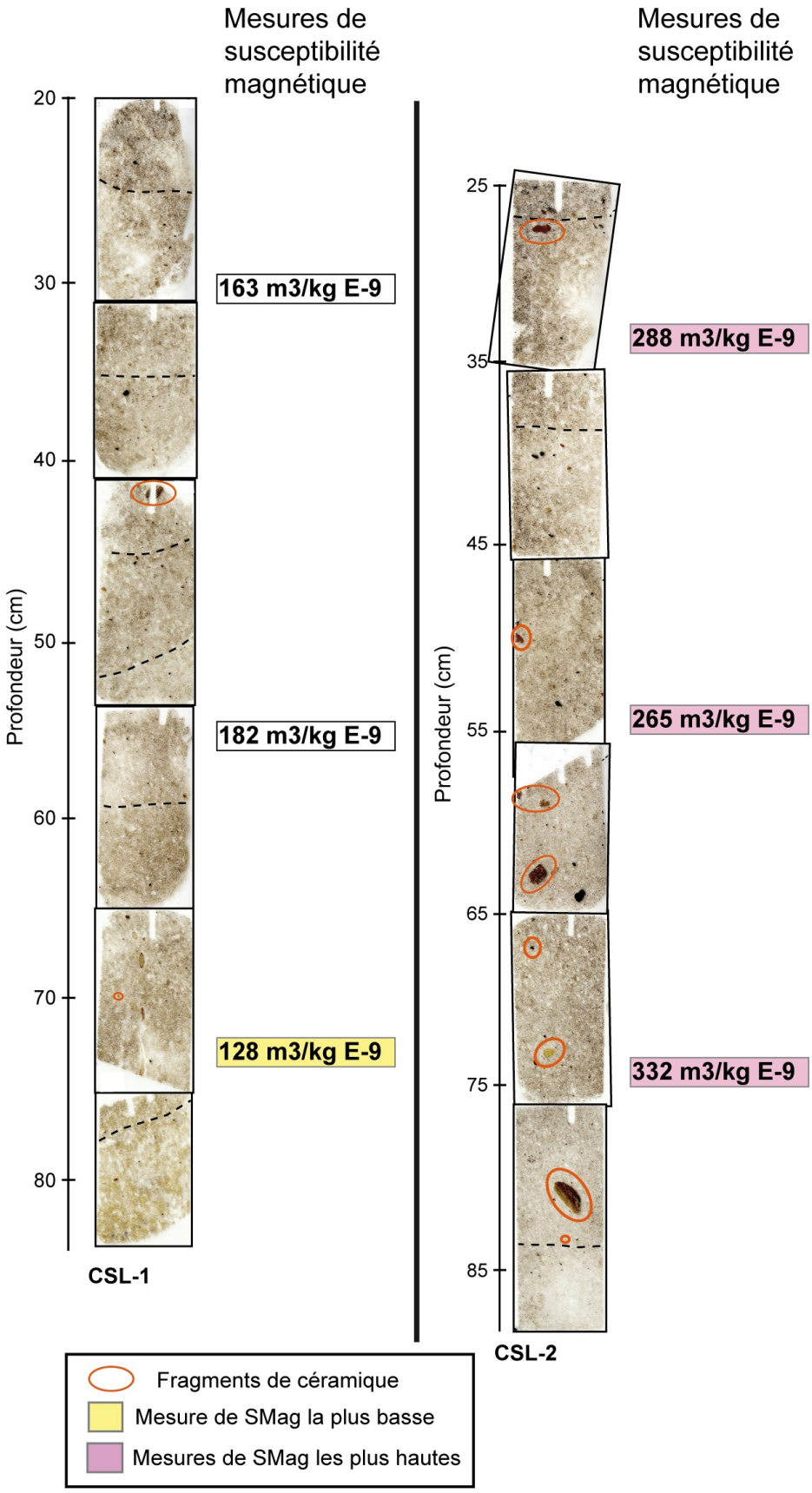


Figure 142 : Mesures de susceptibilité magnétique dans CSL-1 et CSL-2, en lien avec la présence des fragments de céramiques observés en lames minces.

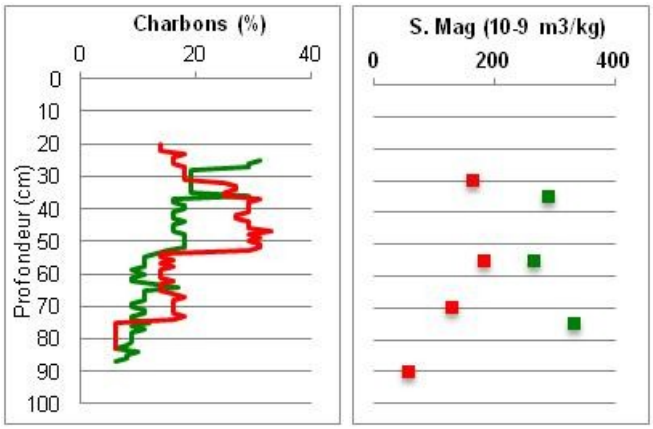


Figure 143 : Évolution des charbons comptabilisés en lames minces, et de la susceptibilité magnétique en fonction de la profondeur, dans CSL-1 (en rouge) et dans CSL-2 (en vert).

B. Synthèse de l'enrichissement de l'anthroposol de CSL par rapport au sol naturel et spatialisation des éléments chimiques en fonction des structures archéologiques.

L'utilisation des résultats obtenus par Birk & Glaser (in van den Bel 2012) sur de nombreux profils de l'anthroposol du site de CSL a permis d'évaluer son enrichissement et/ou son appauvrissement en éléments chimiques en terme de concentrations pseudo-totales, par rapport à un profil de référence R1.

De manière générale, l'anthropisation du milieu a joué un rôle dans l'augmentation des concentrations en phosphore, et dans une moindre mesure pour le manganèse. Les rejets anthropiques de type restes de nourriture ou excréments humains peuvent être les facteurs principaux de l'enrichissement en phosphore (Glaser & Birk 2012), et les restes de palmes ont pu augmenter la concentration en manganèse (Kern et al. 2015).

En revanche, les anthroposols sont très nettement appauvris en calcium, magnésium et fer par rapport au sol naturel. Le calcium et le magnésium ont probablement été apportés dans les sols lors de l'occupation (rejets de nourriture et/ou de cendres), et ont du être lixiviés et exportés plus rapidement que le phosphore et le manganèse étant donné que ce sont des éléments relativement mobiles dans les sols sableux.

D'après les **figures 144 et 145**, il apparaît que les évolutions spatiales des concentrations des éléments chimiques au sein de l'enceinte du site sont en grande partie liées aux différentes structures anthropiques mises au jour lors des fouilles. Le phosphore augmente préférentiellement à proximité des fosses à céramique puis dans les zones de dépôts de céramiques. Le magnésium a tendance à augmenter dans les structures archéologiques sans préférence évidente. Le manganèse a tendance à augmenter dans la zone délimitée

par le fossé, et le fer semble également être davantage concentré dans les espaces à dépôts de céramique.

Le fossé mis en évidence lors de la fouille pourrait correspondre à une zone préférentielle de rejet. Les structures telles que les fosses à dépôt de céramique ainsi que les zones à épandage de céramiques constituent également des aires de rejet privilégiées.

Finalement, l'analyse géoarchéologique entreprise sur ces deux séquences anthropiques du site de Chemin Saint-Louis a permis de mettre en évidence des différences notables. Cela peut témoigner de modes d'occupation des sols différents au sein du site. Si l'on se base sur les modèles de formation des *Terra Preta lato sensu* dans lesquels les degrés d'enrichissement des sols en terme de constituants anthropiques (céramiques et charbons) sont corrélés à différents modes d'occupation anthropiques, CSL-1 évoquerait un sol extérieur, en périphérie d'une zone d'habitat du type *terra mulata* (prédominance des charbons, pas de traces d'une forte pression anthropique), alors que CSL-2 se rapprocherait d'un sol d'habitat type *terra preta stricto sensu* (rejets domestiques, succession de niveaux de surface anciens encore nettement visibles en lames minces) (Woods & McCann 1999 ; Arroyo-Kalin 2010 ; Denevan 2009 ; Costa et al. 2013).

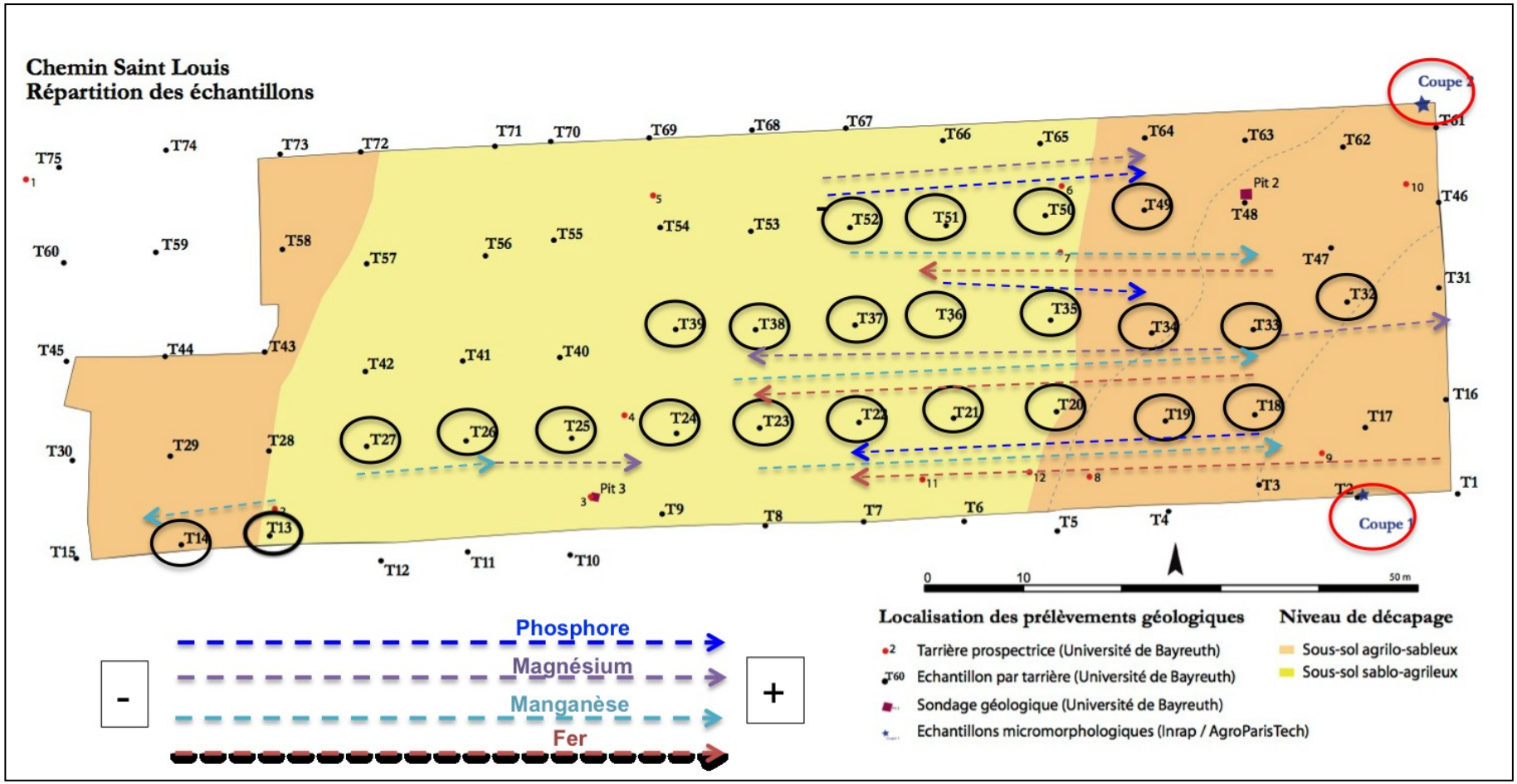


Figure 144 : Évolution spatiale des concentrations pseudo-totales en phosphore, magnésium, manganèse et fer dans l'enceinte du site de Chemin Saint-Louis (adapté de van den Bel 2012).

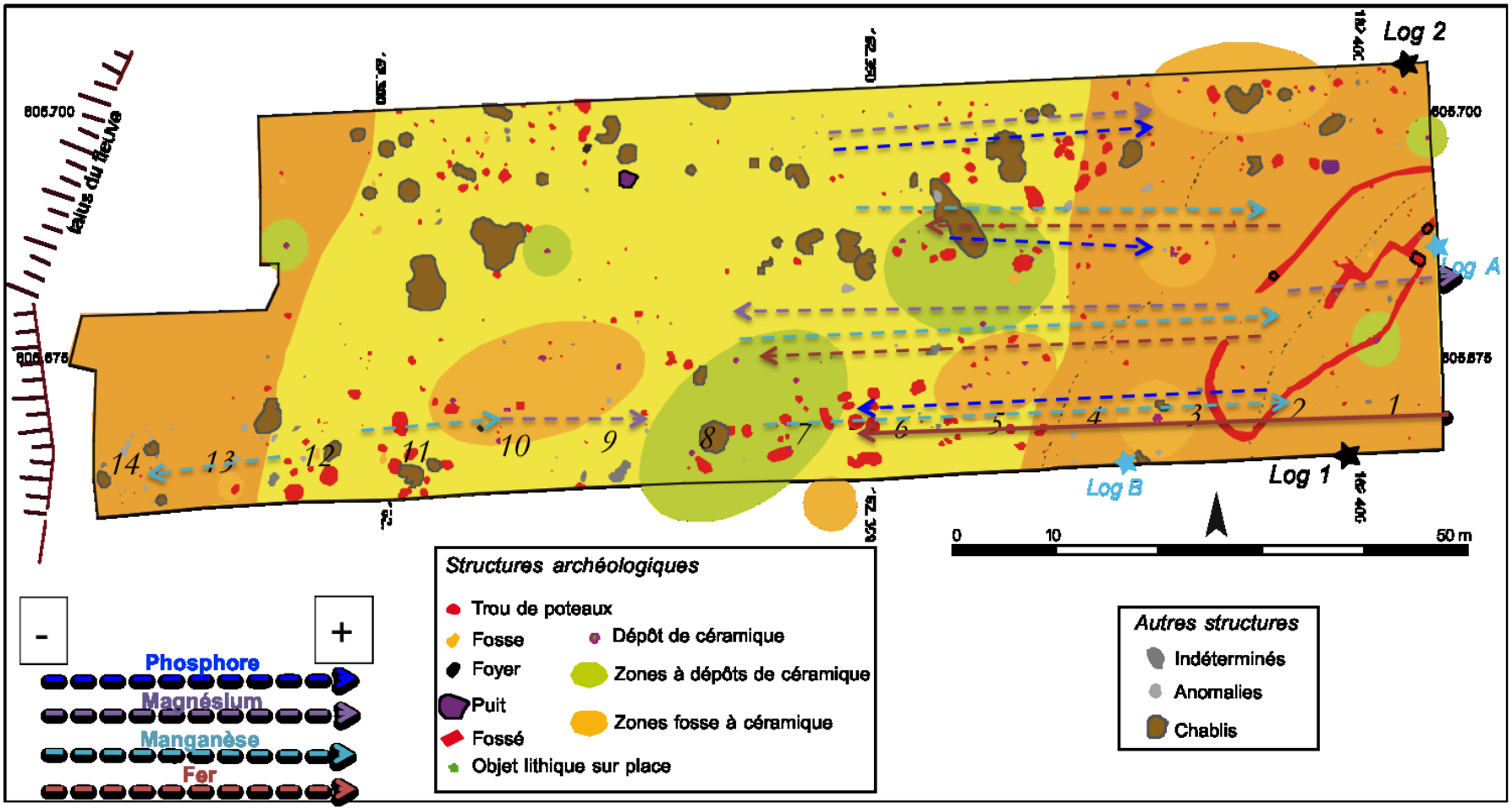


Figure 145 : Évolution spatiale des concentrations pseudo-totales en phosphore, magnésium, manganèse et fer dans l'enceinte du site de Chemin Saint-Louis en correspondance avec les structures archéologiques (adapté de van den Bel 2012).

I.1.3.3. Synthèse de l'occupation du site de CSL

Les observations géoarchéologiques montrent que la formation des terres noires pourrait avoir démarré avec la fin de la 1ère phase d'occupation du site, comme le suggère van den Bel (2012). Elle correspondrait à la sous-phase 1B, datée autour de 3 800 et 3 500 BP (2300 cal BC) (ibid.). Elle s'observe dans le bas des deux séquences étudiées dans ce travail (CSL-1 = UMiS 5 et 6 ; CSL-2= UMiS 6). Cette date ancienne cale l'origine de la formation de ces anthroposols noirs guyanais près de 1000 ans après le début de la formation des Amazonian Dark Earth en Amazonie brésilienne, où les sites les plus anciens recensés à l'heure actuelle sont datés autour de 5 000 cal. BP (Miller 2009, cité par Arroyo-Kalin 2012).

Cette période correspond à l'*ECA*, phase A, selon van den Bel (2015) qui se caractérise par des populations sédentaires qui pratiquaient l'horticulture. Elle a également été reconnue sur le site Eva 2. Les analyses d'amidon ont révélé la présence de maïs et de marante ou dictame dans ces deux sites. Selon lui, ces éléments indiquent une période d'innovation dans la manière de transformer la nourriture. Cette phase archéologique 1 du site de Chemin Saint-Louis est attribuée au complexe céramique Balaté, dénommé ainsi car il a été déterminé sur le site Balaté (cf. *infra* - van den Bel 2015). Selon l'archéologue, cette première phase d'occupation du site a eu lieu sur le sommet de la levée alluviale afin, très probablement de se protéger des crues encore possible à cette époque dans le bas Maroni (M. van den Bel com. pers.).

Il y aurait ensuite eu une longue période d'occupation du site, attribuée à la phase 2, entre 2 200 et 1 700 ans BP (soit entre 300 BC et 400 AD) (van den Bel 2012). Cette occupation pérenne a entraîné l'accumulation des sédiments sur une quarantaine de centimètres d'épaisseur. L'apport régulier des rejets liés aux activités humaines anciennes a favorisé la formation de cet anthroposol noir épais. Nous avons pu l'observer de manière assez distincte dans le profil CSL-2, où les trois sous-phases (2A, 2B et 2C) définies par l'archéologue ont pu être déclinées en microhorizons (UMiS 5, 4 et 3). Dans le profil CSL-1, cette seconde période d'occupation du site apparaît également, de manière plus ténue, en terme de restes anthropiques, et sans distinction des sous-phases chronologiques.
Cette seconde période d'occupation correspond à l'*ECA*, phase B, de van den Bel (2015). La série céramique définie par l'archéologue pour cette phase est à part entière (complexe céramique de Saint-Louis), car elle ne semble pas présenter de relations particulières avec d'autres complexes céramiques définies dans les Guyanes, sauf certains modes de décoration retrouvés en Amazonie (van den Bel 2015). Culturellement il est fort probable que le bassin du Maroni soit associé à la sphère Saladoide/Barrancoide, avec des

sites caractérisés par la présence d'un anthroposol noir et par des occupations multiples et successives (ibid.).

Une phase d'abandon, ou de non occupation humaine, est observée durant environ 500 ans entre la phase 2 et la dernière phase d'occupation du site, la phase 3 (van den Bel 2012). Au sein du sol, cela a pu se traduire par un arrêt/ralentissement de l'accumulation des apports anthropiques, et par une homogénéisation des constituants avec une reprise de la pédogénèse et la bioturbation. Cette phase d'abandon est difficilement décelable dans le profil CSL-1. Elle a pu favoriser le mélange des microdépôts anthropiques par la bioturbation, masquant leur individualité et les temporalités. En revanche, dans le profil CSL-2, cette phase d'abandon du site, pourrait correspondre en partie à l'UMiS 3 où les charbons sont répartis de manière assez homogène en lien probable avec des remaniements verticaux légers liés à une bioturbation plus intense et dans un niveau où les tessons de céramiques ne sont pas présents, pouvant marquer une désaffection momentanée.

Enfin, au-dessus, viennent se déposer les sédiments appartenant à la dernière phase d'occupation du site, phase archéologique 3, datée autour de 1000 à 700 BP (900-1300 cal AD). Elle s'observe bien dans les deux profils étudiés dans ce travail. Dans le profil CSL-2, elle est représentée, à 35 cm de profondeur, par un pic de charbons, qui vient marquer la reprise de l'activité humaine. Cette dernière phase d'occupation correspond au *LCA* (van den Bel 2015 : 108). Bien que cette période soit caractérisée par un intense développement culturel dans toute la région Amazonienne (Roosevelt 1999 ; Sombroek et al. 2002), il semble qu'à Chemin Saint-Louis l'occupation ait été moins importante ou d'une autre sorte que durant la phase 2 (van den Bel 2015). La production céramique indiquerait deux occupations différentes, une Koriabo (que l'on retrouve également sur le site de Balaté) et une Barbakoeba (ibid.).

I.2. Balaté

I.2.1. BAL-1

Dans ce profil, les huit UMiS correspondent, du bas vers le haut, au substrat alluvial et aux couches anthropisées. Ces dernières ont été regroupées en trois principaux ensembles microstratigraphiques (**Annexe 1 – Planches 13 et 14**).

L'observation de la lame mince provenant du sondage S5, entre 29 et 37 cm de profondeur, a permis de mettre en évidence la continuité dans la microstratigraphie observée sur le profil BAL-1.

Le substrat alluvial (58 – 56 cm, UMiS 8)

Le bas du profil observé en lames minces correspond à la partie supérieure du substrat alluvial. Du point de vu micromorphologique, cette unité est typique d'un dépôt alluvial. D'après les analyses physico-chimiques réalisées dans le sondage 5, ce niveau est marqué par des taux importants en fractions argileuse et limoneuse, la plus forte CEC, et les plus importantes concentrations en magnésium échangeable, aluminium libre et fer total. Un palier descendant du sodium échangeable et de l'aluminium libre, ainsi que du fer total marque la limite supérieure du substrat, indiquant très probablement le toit de la nappe d'eau alluviale vers 60 cm de profondeur.

Le premier ensemble, les débuts de l'anthropisation (56 – 43 cm, UMiS 7 et 6)

Dans ce niveau, et au sein d'une même UMiS, les matériaux sédimentaires sont bien contrastés en terme de couleur et de texture. Il s'agit d'une juxtaposition de plages argileuses du substrat sous-jacent, et de plages brun clair remaniées par l'activité biologique, et présentant des caractères proches des couches anthropiques sus-jacentes. Ici, l'activité biologique n'a pas eu le temps et/ou l'efficience de remanier entièrement les apports alluviaux, à l'inverse de l'anthroposol proprement dit. Dans cet ensemble, la présence de revêtements microlaminés empoussiérés témoigne, comme à Chemin Saint-Louis, d'une transformation locale du couvert végétal liée aux activités anthropiques. La limite supérieure de l'UMiS 6 présente les caractères d'un faciès de surface ancien avec des grains de quartz agencés sub-horizontalement.

En mettant en parallèle les observations micromorphologiques faites sur les sédiments du profil BAL-1 avec les résultats physico-chimiques de S5, il est intéressant de noter que le passage dans cet horizon de transition se dénote par un palier avec une légère augmentation du pH ainsi que de certains cations échangeables tels que calcium, potassium et magnésium. Cette tendance est également vraie pour le carbone organique et le rapport C/N. Ces éléments marquent probablement l'anthropisation du milieu, notamment par l'apport de charbons et possiblement de cendres dans le sol. Les taux d'argiles diminuent drastiquement dans la partie supérieure de ce niveau, au passage dans l'anthroposol.

Le deuxième ensemble, l'anthroposol (43 – 29 cm, UMiS 5, 4 et 3)

Cet ensemble est principalement caractérisé par d'importants apports en macro- et microcharbons, dont les abondances atteignent leur maximum du profil (15%). Ceci entraine un empoussièrement accru de la masse fine, qui se fonce, passant du brun clair au brun foncé vers la surface.

Le bas de l'anthroposol a été remanié, marqué par des juxtapositions de plages bioturbées (UMiS 5). Dans l'UMiS 4, la masse fine apparaît légèrement plus massive. Ce trait microstructural pourrait être le fait de piétinements, vestiges par exemple de la proximité d'une ancienne surface. Celle-ci serait matérialisée par un macrocharbon déposé quelques centimètres au-dessus, au moment des activités précolombiennes, soit par balayage, piétinement ou rejet à la surface du sol (Browne Ribeiro 2014). D'après les travaux ethno-géoarchéologiques de Mallol et al. (2007) sur les signaux micromorphologiques des structures de combustion de la population Hadza de Tanzanie, il apparaît que la disposition des charbons et leur taille, à ce niveau, pourraient résulter d'une zone de foyer ouverte. En effet, les nombreux charbons présents ici sont en intercalations dans la microporosité, disséminés dans la matrice (**Annexe 1 - Planche 7-N**). Le macrocharbon pourrait alors délimiter ici une ancienne zone de surface en lien avec la proximité d'un foyer (Mallol et al. 2007).

De plus, les microesquilles d'os résiduelles présentent dans ce niveau, aussi bien dans le profil BAL-1 que dans S5, sont corrélées à la concentration du phosphore total qui présente une légère augmentation vers 30 cm de profondeur. Ceci peut témoigner de la présence de résidus osseux riches en apatite (Oonk et al. 2009). Il aurait été ici nécessaire de connaître les concentrations en calcium et phosphore assimilable afin de valider cette hypothèse. Ces restes osseux caractérisent une aire où les restes de nourriture sont présents, ce qui pourrait correspondre à une zone de foyer, où les aliments ont été cuits puis consommés.

En outre, les revêtements argileux sont toujours présents dans ce niveau. Ils sont essentiellement limpides et certains sont microlaminés empoussiérés en remontant vers la surface, révélant un dénudement de la végétation sus-jacente. Ceci indique également la proximité d'une ancienne surface.

Les dosages totaux des éléments majeurs réalisés dans le profil BAL-1 révèlent une légère augmentation globale de tous ces éléments, sauf du calcium, corrélée à une augmentation de la susceptibilité magnétique et des abondances en charbons. Potassium et magnésium pourraient être des résidus d'apports anciens de cendres.

Le fait que le sodium, le manganèse ainsi que le fer et l'aluminium total augmentent également dans ce niveau peut être attribué à un phénomène de remontée de la nappe d'eau alluviale, en lien avec la fréquence des imprégnations ferrugineuses visibles dans la

matrice des sols. Ce phénomène peut être post-dépositionnel, plutôt que contemporain de l'occupation et résulter d'un battement saisonnier de la nappe alluviale.

Le dernier ensemble (29 – 15 cm, UMiS 2 et 1)

Ici, les nombreux revêtements argileux témoignent d'un lessivage plus important des sédiments par rapport au niveau sous-jacent. Les nodules ferruginisés amorphes présents en quantité importante évoquent un milieu plus humide favorisant la dynamique du fer (processus rédoxiques). La microstructure principalement microagrégée fait état de la reprise de la pédogénèse et des activités biologiques, qui contrôlent la nature et la distribution des microstructures. Ce type de microstructure, associée à la baisse générale de la concentration des charbons, évoquent une déprise humaine par rapport au second ensemble. Cet ensemble témoignerait ainsi d'un faciès d'abandon avec reprise de la pédogénèse et des activités biologiques, en lien avec le battement périodique de la nappe alluviale.

I.2.2. BAL-2

Dans ce profil, les sept UMiS correspondent du bas vers le haut du profil au substrat alluvial, aux couches anthropisées, et au remblai sub-actuel. Les couches anthropisées ont été regroupées en deux ensembles microstratigraphiques principaux (**Annexe 1 – Planche 15**).

Le substrat (100 – 88 cm, UMiS 7)

Ce niveau est l'horizon naturel le plus profond étudié sur la plaine alluviale. Il se distingue notamment par les revêtements argileux et par les imprégnations ferrugineuses. Les premiers semblent indiquer des axes préférentiels verticaux de circulation de flux chargés en argiles et témoignent de phénomènes d'élu-illuviation. Les accumulations de fer marquent le fait que cet horizon a été gorgé d'eau de manière saisonnière générant des processus rédoxiques. Ceci est cohérent avec la proximité du fleuve Maroni, et de la crique Balaté, ainsi que celle de la nappe alluviale (phréatique).

Le premier ensemble, les débuts de l'anthropisation (88 – 67 cm, UMiS 6 et 5)

Il marque la transition entre le substrat alluvial et les niveaux anthropiques sus-jacents. La dynamique pédologique de la plaine alluviale apparaît encore nettement (revêtements, imprégnations ferrugineuses), juxtaposée à des traces d'occupation (revêtements empoussiérés, plages brunes provenant des niveaux supérieurs). De plus, les agrégats basculés que l'on retrouve ici témoignent de remaniements mécaniques du sol, liés

probablement à d'anciennes phases érosives d'origine anthropique (Macphail et al. 1990). Ces caractères pourraient ainsi matérialiser une phase de grattage du sol et de mélange d'horizons qui serait reliée à la préparation des sols au moment de l'occupation. Dans d'autres contextes, ces traits d'anthropoturbation sont interprétés comme résultant d'une mise en culture des sols (Macphail et al. 1990 ; Gebhardt 1992), mais cette interprétation ne semble pas convenir dans ce contexte du fait notamment de la basse concentration des microcharbons. De plus, la présence de revêtements empoussiérés atteste d'un changement de couvert végétal durable en lien avec cette installation.

Le second ensemble, les débuts de l'anthropisation (67 – 48 cm, UMiS 4, 3 et 2)

Comme dans les séquences précédentes, cet ensemble est marqué par son enrichissement en fraction fine empoussiérée, corrélé à l'augmentation des charbons dans la masse. La présence d'un tesson de céramique marque un ancien niveau de surface vers 60 cm de profondeur, au-dessus duquel ont été déposés dans le sol des macrocharbons. Une « poche » d'une vingtaine de macrocharbons dont la taille est supérieure à 2 mm de diamètre est ainsi présente. Leur abondance, dans une zone limitée, ainsi que la structure assez massive de la matrice adjacente, indiquent une origine anthropique. De plus, un agrégat de sol rubéfié visible dans ce niveau témoigne également de l'action anthropique. Ces éléments traduiraient la proximité d'une zone de surface de combustion, en vu par exemple de préparer / nettoyer le terrain, pour l'implantation de l'habitat ou pour une mise en culture.

Dernier niveau, remblai moderne (48 – 40 cm, UMiS 1)

Il forme la troncature supérieure de l'anthroposol et constitue le remblai moderne, dans lequel des fragments de l'anthroposol ont été remaniés avec des apports de sédiments exogènes lors des travaux modernes qui ont eu lieu sur le site. Notons que l'anthroposol originel devait encore s'étendre sur au moins 20 cm d'épaisseur, comme peuvent l'attester la structure et la nature du remblai observé sur le terrain et en lames minces. L'anthroposol dans son ensemble aurait alors atteint environ 40 cm d'épaisseur à cet endroit du site.

I.2.3. BAL-3

Dans ce profil, les six UMiS correspondent, du bas vers le haut au substrat alluvial, et aux couches anthropisées. Ces dernières ont été regroupées en deux principaux ensembles microstratigraphiques (**Annexe 1 – Planche 17**).

Substrat alluvial (100 – 89 cm, UMiS 6)

Ce niveau est également l'horizon naturel le plus profond étudié sur ce site (avec BAL-2, UMiS 7). Il témoigne d'un fonctionnement des sols typiques d'une plaine alluviale, sans traces d'anthropisation. Il possède les mêmes caractères optiques que ce qui a été observé dans le profil BAL-2.

Premier ensemble, les débuts de l'anthropisation (89 – 69 cm, UMiS 5 et 4)

Comme dans le profil précédent, la dynamique de la pédogénèse de la plaine alluviale apparaît encore nettement dans le bas de ce niveau (UMiS 5) avec des revêtements jaunes et des imprégnations ferrugineuses. Plus on remonte vers la surface de l'UMiS 4, plus l'empoussièrement de la masse fine est visible. De plus, on observe la même juxtaposition de plages jaunes (du substrat) et de plages brunes (des niveaux sus-jacents) que dans le profil précédent. Ce phénomène marque bien cette zone de transition entre le substrat et les niveaux anthropiques supérieurs, témoignant de l'anthropoturbation du substrat alluvial (grattage/balayage) par les populations précolombiennes lors de leur première installation.

Second ensemble, l'anthroposol (69 – 40 cm, UMiS 3, 2 et 1)

Au même titre que dans les séquences précédentes, l'anthroposol est ici individualisé par un empoussièrement de la fraction fine, dont témoigne l'augmentation graduelle des charbons vers la surface. La présence, encore dans ce niveau, d'imprégnations ferrugineuses, vient marquer un engorgement notable du sol à cette profondeur. Etant donné l'emplacement de ce profil, le plus proche du fleuve Maroni, cela ne paraît pas incohérent avec la présence d'une nappe d'eau alluviale haute dans cette séquence, favorisant l'hydromorphie saisonnière des sédiments et les processus rédoxiques. Ces derniers auraient pu, en partie du moins, masquer les indicateurs de l'anthropisation dans le sol. Néanmoins, sous un fragment de céramique sub-horizontal, qui matérialise une ancienne surface, la masse fine apparaît plus compacte (**Annexe 1 - Planche 17**), témoignant probablement d'une phase de stabilisation plus longue, en lien avec l'occupation, dans une zone de passage par exemple (piétinement). Plusieurs microesquilles d'os résiduelles ont été observées, possiblement en lien avec la proximité des urnes funéraires.

L'anthroposol correspond ici à une alternance de traits pédologiques corrélés à la hauteur de la nappe alluviale, où les variations saisonnières de la zone de battement semblent moins marquées du fait notamment de la proximité du fleuve à cet endroit du site, et par

les traces de l'occupation ancienne qui sont encore visibles, bien que ténus, en lames minces.

I.2.4. Synthèse des trois profils étudiés : les données de la géoarchéologie et de l'archéologie

Comme précisé précédemment, deux populations se seraient succédées sur le site de Balaté, la première de tradition Arauquinoïde, caractérisée par des céramiques de la culture Barbakoeba, et la seconde correspondant aux Koriabo. L'occupation du site, contemporaine de la période céramique tardive, soit la phase 3 de Chemin Saint-Louis, se serait ainsi échelonnée entre 1000 et 1500 cal. AD environ (van den Bel 2015).

Le profil BAL-1, bien qu'il ait été prélevé à proximité d'un lambeau de sol constitué d'un épandage de céramiques fragmentées, ne contient aucun fragment de céramique. Toutefois, c'est le profil qui contient le plus gros charbon, ce dernier matérialisant la limite supérieure d'un niveau riche en rejets charbonneux où la masse fine est plus massive que dans le reste de la séquence.
En outre, de manière générale, des revêtements argileux ont été observés dans l'anthroposol à cet endroit du site, à la différence du profil 3 de Balaté, et des deux profils de Chemin Saint-Louis, où ils sont localisés dans le bas des séquences, au niveau de la transition anthroposol/substrat, et du substrat alluvial. Le fait que ces revêtements aient pu se former dans l'épaisseur de l'anthroposol vient révéler la proximité d'anciens niveaux de surface, et la fréquence des apports cendreux, favorisant l'augmentation du pH et ainsi la défloculation des argiles (Courty et al. 1989 ; Huismann et al. 2012). Selon ces observations, il aurait pu y avoir une zone de foyer à proximité, où charbons et cendres auraient été produits, puis balayés. Il est également probable que ce foyer aurait servi à la préparation de la nourriture.

Le profil BAL-2 est le plus proche de la crique Balaté, à 20 mètres environ vers le nord. Les données de la micromorphologie attestent de deux phénomènes successifs, pouvant caractériser deux phases d'utilisation de cette zone du site, séparées par une limite matérialisée, entre autres, par un fragment de céramique à plat (UMiS 4). La première phase, caractérisée principalement par les agrégats basculés, témoignerait d'une transformation volontaire du sol par les populations précolombiennes, au moment de leur installation sur les dépôts alluviaux, afin de préparer le sol, très probablement (aplanissement du terrain par exemple, grattage des végétaux, dessouchage).

La seconde phase d'utilisation se distingue par l'augmentation drastique des charbons (à partir de 55 cm de profondeur), pouvant indiquer une seconde phase de nettoyage du terrain, à l'aide du feu pour des défrichements microlocaux.
Ces microunités stratigraphiques se succèdent sans laisser apparaître de phase importante de reprise de la pédogénèse témoignant que ces deux phénomènes d'occupation se suivent rapidement dans le temps. Etant donné les résultats des datations 14C et des observations céramiques, ces deux phénomènes observés dans la stratigraphie pourraient correspondre à deux phases d'occupation du site, la plus profonde correspondant à la période Arauquinoïde et la plus haute, à l'installation des Koriabo : il se peut que ce soit l'arrivée des seconds qui ai motivé le départ des premiers, comme ce fut par exemple le cas sur le site de Pointe Morne où les Koriabo vinrent supplanter les Aristés.
Cette hypothèse est confirmée par la présence du fragment de céramique qui sépare ces deux niveaux d'occupation. Son dégraissant principalement végétal de type *kwepi* ou *caraipé*, ainsi que les traces de peinture noires et rouges, correspondraient aux observations faites par M. van den Bel (2015), rattachant ce tesson à la culture Koriabo (**Annexe 1 - Planche 16**).

Le profil BAL-3 a été prélevé à proximité du secteur 10, déterminé par les archéologues lors de la fouille, comme une zone à dominante funéraire où plusieurs urnes ont été mises en évidence. Les observations micromorphologiques évoquent, ici aussi, deux phénomènes successifs, qui correspondent globalement a ce qui a été observé dans le profil BAL-2.
Il y aurait d'abord eu un premier grattage/nettoyage de surface du substrat alluvial, pour préparer le sol au défrichement plus important, par le feu. Néanmoins, à la différence du profil 2, les macrocharbons sont moins abondants ici, et les microesquilles d'os plus fréquentes. Cela peut indiquer la proximité de la zone funéraire, ainsi qu'un certain éloignement spatial du centre du foyer de combustion. La céramique de ce profil présente principalement un dégraissant minéral, différent du fragment apparu dans le profil 2 (**Annexe 1 - Planche 18**). Il est cependant difficile de le rattacher à un complexe céramique. Néanmoins, étant donné son emplacement dans la stratigraphie, et en comparant avec celle apparue sur le profil BAL-2, il serait possible de la rattacher également au complexe Koriabo.

Selon les observations des céramiques effectuées par M. van den Bel (2015), bien que Balaté soit contemporain de la phase 3 d'occupation de Chemin Saint-Louis, les céramiques ont des aspects différents. Si elles présentent un dégraissant et une

morphologie similaires, les décors ne sont pas les mêmes, suggérant que ces deux sites pourraient correspondre à des espaces de vie différents (ibid).

I.3. Synthèse des observations géoarchéologiques faites sur la plaine alluviale du Maroni

Sur les cinq séquences provenant des deux sites archéologiques, les couches sont essentiellement organo-minérales en lames minces. Au sein des anthroposols, l'organisation des sédiments en microunités superposées révèle une accumulation progressive, typique d'anthroposols cumuliques (Cammas & Wattez 2009). Cela caractérise une succession normale des horizons des sols, qui a été modifiée par des phénomènes, ici principalement anthropiques, entrainant un épaississement (dilatation) anormal des sols par rapport aux sols naturels adjacents (ibid).
La nature et la texture de la fraction minérale des couches indiquent que les apports sédimentaires sont principalement d'origine alluviale. Les sables évoquent des apports de forte énergie et proximaux, les argiles des apports d'une compétence plus faible. Néanmoins lors de crues saisonnières, sables, limons et argiles peuvent être transportés et déposés ensemble.
Sur le site de Chemin Saint-Louis, compte tenu de la topographie et de l'altitude du site, il s'agirait plutôt de crues à caractère exceptionnel à fréquence faible, alors que sur le site de Balaté, la proximité du fleuve et de la crique Balaté favoriserait des crues plus fréquentes. L'hydromorphie saisonnière des sédiments est également plus développée sur le site de Balaté, du fait de la proximité de la nappe alluviale (traits rédoxiques, dans les profils BAL-2 et BAL-3 principalement). Ces caractères sont tout à fait cohérents avec la position géomorphologique des sites sur la basse terrasse alluviale Holocène (T4) du Maroni.

L'abondance des résidus végétaux sous forme de poussières brunes ou encore de restes carbonisés indique des apports végétaux très importants dont l'origine anthropique a été démontrée précédemment. La fragmentation et la répartition des résidus végétaux, intimement mélangés à la fraction minérale par l'activité biologique principalement, témoignent d'une évolution pédologique *in situ*. Il en est de même pour la répartition de la fraction fine autour et entre les grains de sables. Entre les UMiS, des variations fines dans la nature et le degré d'expression des différents processus pédologiques peuvent être distinguées. Ces variations marquent des rythmes d'accumulation, comme les lits lavés ou les niveaux bioturbés, qui constituent des traces d'anciennes surfaces et marquent des épisodes plus ou moins longs de stabilisation des sols.

Ici, nous sommes face à une dualité d'apports d'origine différente, entre les sédiments fluviatiles, et les apports liés aux activités humaines anciennes (**Figures 146 et 147**).

Sur le site de Chemin Saint-Louis, sur la levée du fleuve (*levee backslope*), la succession des horizons de surface ou de sub-surface qui apparaît en lames minces et également sur le terrain, a été identifiée dans l'anthroposol sableux noir des deux profils étudiés. Cette bonne conservation de la séquence archéologique est très certainement le fait de conditions taphonomiques particulières, avec des apports sédimentaires successifs témoignant de recouvrements rapides lors des phases d'occupation du site (**Figure 146**).
À Balaté, les processus post-dépositionnels ayant affecté l'anthroposol sont complexes, avec des effets de conservation différentielle des niveaux archéologiques, du fait des activités précolombiennes et modernes, et des remaniements naturels, avec essentiellement les processus liés à l'hydromorphie des sols. Dans les trois profils étudiés à Balaté, il apparaît que la stratigraphie est moins développée que sur le site de Chemin Saint-Louis, très probablement en lien avec des apports sédimentaires anthropiques plus limités (moindre dilatation). De plus, l'anthroposol de Balaté ayant été largement tronqué dans sa partie supérieure, cela a pu favoriser des processus post-dépositionnels tels que le lessivage, oblitérant ainsi une partie des traces de l'occupation humaine ancienne.

Grâce aux ACP, l'hétérogénéité des données micromorphologiques et physico-chimiques laisse apparaître des différences entre les anthroposols étudiés dans ce contexte. Sur le site de Chemin Saint-Louis, l'anthroposol du profil CSL-1 est ainsi défini essentiellement par les charbons comptabilisés en lames minces. Cela correspond aux observations micromorphologiques, indiquant que ce profil est le plus riche en charbons, avec des abondances > 30 % et sur une épaisseur importante du profil. CSL-2, quant à lui, est caractérisé par le manganèse et les céramiques, ainsi que par le phosphore échangeable. Cela vient également étayer les données micromorphologiques stipulant que ce profil est plus riche en marqueurs anthropiques que CSL-1.
Enfin, l'anthroposol du site de Balaté semble présenter des marqueurs physico-chimiques différents entre le sondage 5 et le profil BAL-1, bien que ces deux profils soient quasiment côte à côte sur le site. Précisons toutefois que les échantillons analysés dans BAL-1 ont été prélevés plus haut dans la séquence et essentiellement dans l'anthroposol, alors que le sondage 5 a été échantillonné plus en profondeur, et largement dans le substrat alluvial, ce qui peut expliquer ces différences.

L'anthroposol de Balaté se distingue bien de celui de Chemin Saint-Louis en ce sens qu'il semble moins enrichi en vestiges de l'anthropisation ancienne, aussi bien directs qu'indirects.

En outre, de manière générale à la lumière des résultats physico-chimiques obtenus dans ces séquences, les anthroposols archéologiques étudiés sur ces sites présentent des qualités agronomiques assez différentes de celles des Terra Preta *lato sensu* développées sur la plaine alluviale du fleuve Amazone (Costa et al. 2013). Les taux de carbone organique (même méthode analytique) atteignent ici au maximum 0,94% dans l'anthroposol de Balaté (Sondage 5, à 30 cm de profondeur). Cette valeur est très en deçà des taux de carbone obtenus dans les *terra preta strico sensu*, qui présentent une moyenne à 2,6% (Costa et al. 2013). En revanche, elle se rapproche des valeurs minimum de carbone organique mesurées dans les *terra mulata* qui sont de 0,97% (ibid.) (cf. Partie 1-chapitre 4). Néanmoins, comme nous l'avons vu précédemment, d'après les taux de carbone organique obtenus sur le profil de référence (R1) provenant de la même terrasse alluviale (T4) du Maroni, à l'extérieur de l'emprise du site de Chemin Saint-Louis (Birk & Glaser in van den Bel 2012), il apparaît que les anthroposols des sites archéologiques de CSL et BAL sont légèrement enrichis en carbone organique par rapport au sol naturel. Les valeurs de pH restent globalement acides (< 5) dans les trois séquences analysées. Elles se situent dans la large fourchette du pH des Terra Preta *lato sensu*, qui vont de 4,3 à 6,6 (pour une même méthode d'analyse – pH H_2O).

Malgré ces résultats, il ne semble pas approprié de considérer les anthroposols noirs de la plaine alluviale du Maroni comme des *terra mulata*. Ce dernier point est discuté plus loin.

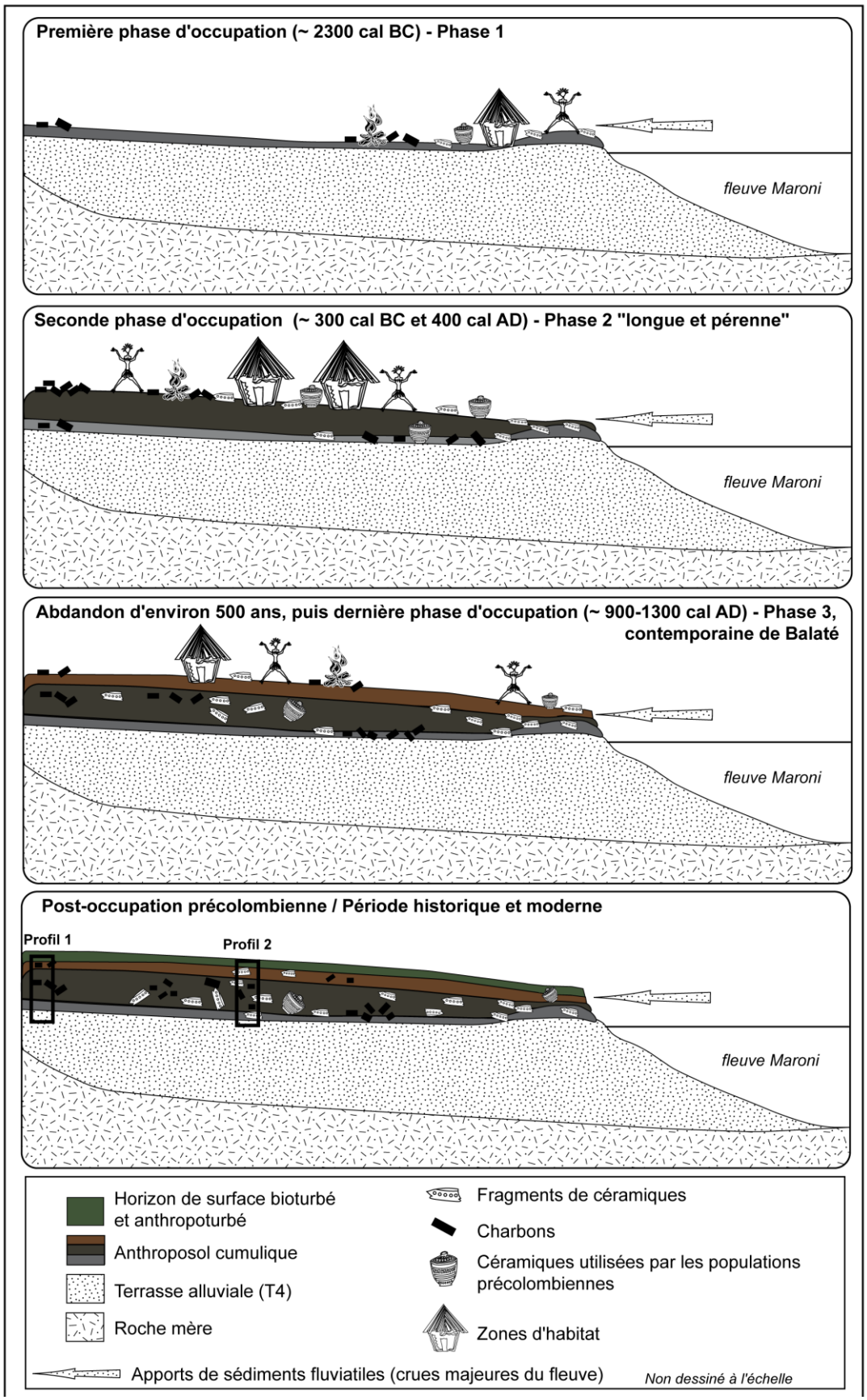


Figure 146 : Représentation schématique de la formation et de l'évolution possible d'anthroposol sur le site de Chemin Saint-Louis, fondée sur les données de la géoarchéologie et de l'archéologie.

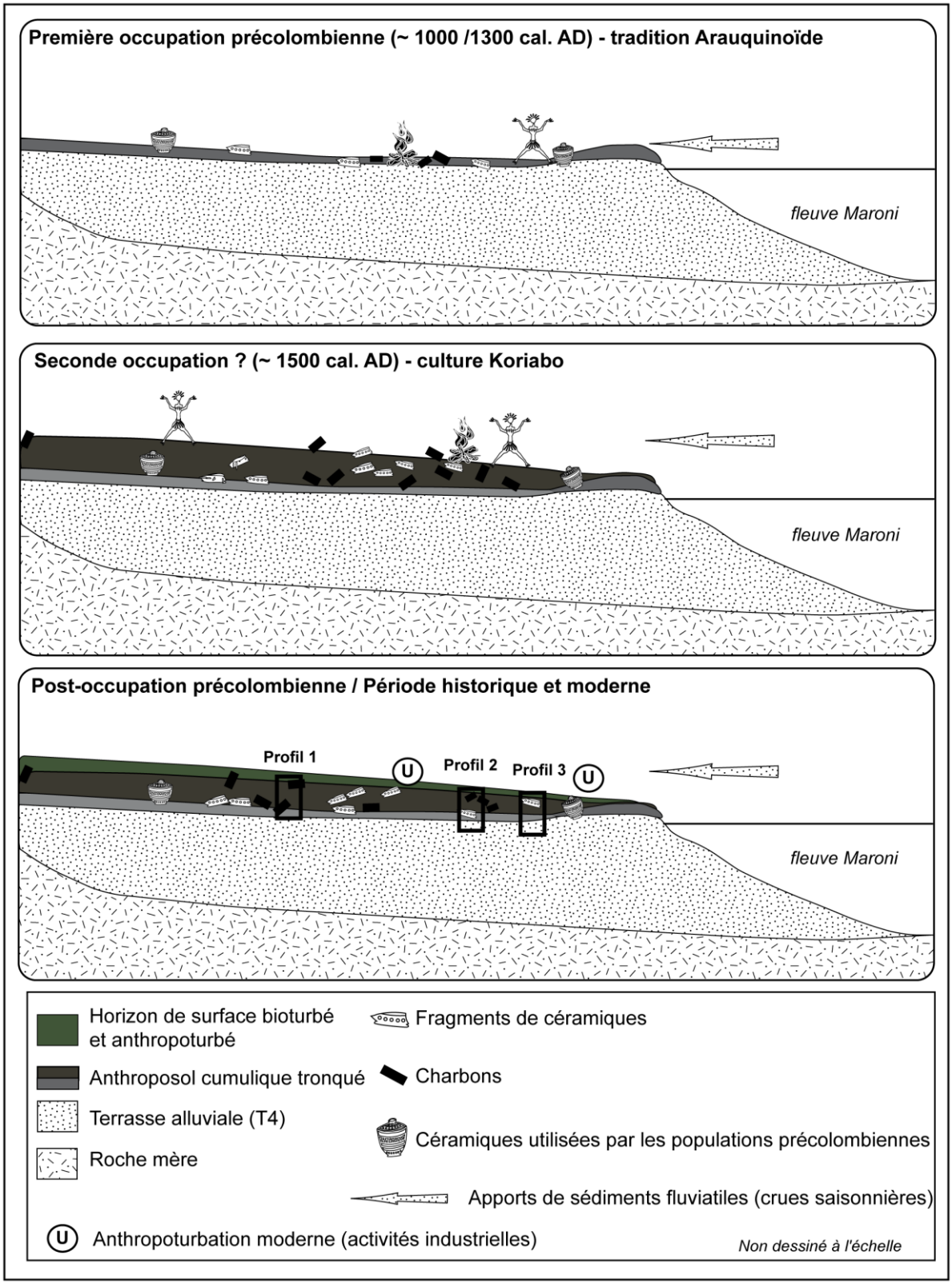


Figure 147 : Représentation schématique de la formation et de l'évolution possible de l'anthroposol sur le site de Balaté, fondée sur les données de la géoarchéologie et de l'archéologie.

II. Les anthroposols des montagnes couronnées

II.1.Dans l'enceinte du site

Parmi les trois montagnes couronnées étudiées dans ce travail, c'est uniquement au sein de la MC 87 que les anthroposols « *in situ* » dans l'enceinte ont fait l'objet d'une étude géoarchéologique (MC 87-3 et 4). L'observation de ces deux séquences pédologiques et archéologiques, situées à proximité l'une de l'autre, permet d'appréhender la variation spatiale des marqueurs anthropiques. Il est important de rappeler qu'entre ces deux profils, la pente est très faible, d'environ 5% (V. Freycon com. pers.). De plus, les anthroposols sont ici mis en regard du profil observé hors de l'enceinte, sur le talus externe du fossé (MC87-5). Cela permet de préciser les marqueurs géoarchéologiques de l'anthropisation des sols, en partant de l'hypothèse que les sols dans l'enceinte sont plus enrichis en marqueurs de l'anthropisation, par rapport à l'extérieur.

II.1.1. MC87-3

Trois UMiS ont été déterminées dans ce profil, sur la base de variations ténues de microstructure. Chaque UMiS est interprétée ici, du bas vers le haut de la séquence, dans l'ordre des dépôts (**Annexe 1 – Planche 25**).

Niveau inférieur, une anthropisation ténue (28 – 21 cm, UMiS 3)
La présence d'un réseau de fissures ayant affecté la matrice témoigne de phénomènes d'humectation / dessiccation liés à l'alternance saison humide / sèche. Les fissures sont comblées en partie par des revêtements argileux. La forme et la couleur de ces revêtements (limpides jaunes à oranges, en comblement partiel dans la microporosité) indiquent un processus de lessivage actif dans ces sols. La coloration jaune des argiles, leur limpidité et leur épaisseur, favorise l'hypothèse d'une formation lente, par infiltrations d'eau, sous un sol non dénudé, de type forestier (Quénard et al. 2011; Sauzet et al. 2016). Certains revêtements sont microlaminés jaunes/oranges, ce qui témoigne de phases successives et rythmées de lessivage. Les revêtements oranges sont caractéristiques d'une ferruginisation plus importante que les jaunes (Huisman et al. 2012).
On observe dans cet horizon une bioturbation ancienne très majoritairement de type géophage, et quelques rares plages remaniées par les enchytraeides qui ont été fossilisées et fixées par les revêtements argileux qui remplissent la porosité adjacente. Ainsi, cette

première phase de bioturbation, sans caractère de surface, est suivie d'une phase de lessivage.
Par la suite, une seconde phase de bioturbation (géophages et enchytraeides) vient reprendre par endroits les revêtements argileux, en les fracturant. Ces caractères suggèrent un remaniement modéré par les enchytraeides (microboulettes entre 50 et 100 microns) et dans une moindre mesure par les géophages (macroagrégats) postérieurement au lessivage.
Dans ce niveau, les traces de l'anthropisation sont ténues : les microcharbons ne représentent pas plus de 10%, et ils ont une taille inférieure à 500 micromètres. Les rares agrégats brûlés visibles sont uniquement des agrégats noirs et ils ne dépassent pas 5% de la lame.
La physico-chimie révèle l'augmentation conjointe du rapport C/N, et du calcium échangeable dans le bas de ce niveau. La susceptibilité magnétique présente une légère augmentation qu'il est possible de rattacher à la présence des agrégats brûlés noirs et des charbons. Ces résultats physico-chimiques associés aux rares constituants anthropiques et à des caractères de surface peu exprimés (peu d'activité biologique, pas de litage des constituants) suggèrent des enrichissements par percolation ou par la bioturbation à la suite d'apports cendreux et charbonneux dans un sol d'occupation sus-jacent, assez profond, plutôt qu'un sol d'occupation de surface *in situ*.

Le sol anthropisé (21 – 10 cm, UMiS 2)

Dans ce niveau, les quelques revêtements argileux limpides marquent une phase de lessivage des argiles anciennes, similaire à ce qui a été observé dans l'UMiS 3. Ici, les revêtements argileux sont néanmoins moins abondants que dans le niveau inférieur. Cette unité est presque entièrement remaniée par l'activité biologique. En effet, la présence de revêtements argileux, cassés et pris dans la matrice, atteste de leur remaniement post-dépositionnel par une bioturbation assez active. A la différence du précédent, ce niveau contient différents types de traces anthropiques. La présence d'incisions en V ou en U, ainsi que des discontinuités dans la matrice (massif en dessous, microagrégé au dessus) suggèrent des activités de remaniement du sol de type grattage en vue de leur préparation pour l'installation ou la mise en culture. Les agrégats jaunes sont assez présents ici (environ 10% de la lame), corrélés à l'augmentation des charbons (15% en moyenne). Ces constituants anthropiques marquent la proximité d'une zone de combustion de sol de surface de type brûlis. Les quelques revêtements argileux gris et empoussiérés, étayent cette interprétation puisqu'ils témoignent de la proximité d'une ancienne surface dénudée. En outre, certains des plus gros charbons (entre 500-1000 microns) présentent des

revêtements argileux limpides dans les pores du bois. Or, la présence des revêtements argileux dans ce niveau a pu être favorisée par une augmentation du pH, elle-même due à la présence de cendres dans les sols (Huisman et al. 2012). Les charbons agissent alors comme des filtres, en récupérant les particules argileuses libérées (ibid.).

L'ensemble de ces caractères témoigne de la formation d'un ancien niveau de surface bien agrégé aux dépens d'un niveau plus profond, riche en revêtements argileux. Ceci indiquerait une disparition de l'horizon de surface ancien probablement enlevé par les activités anciennes qui ont eu lieu à cet endroit de l'enceinte. Dans cette unité la distribution hétérogène des plages massives, des plages remaniées par les géophages et par les enchytraeides suggère une durée de vie relativement courte de ce niveau, qui n'a pas eu le temps d'arriver à un état d'équilibre similaire à un horizon de surface actuel.
D'un point de vu physico-chimique, l'anthropisation du milieu est marquée par une augmentation conjointe du rapport C/N et de la susceptibilité magnétique, ainsi que des éléments totaux que sont calcium, magnésium, sodium, fer et aluminium principalement, et dans une moindre mesure potassium et manganèse. Ces enrichissements viennent confirmer le fait que des apports cendreux ont eu lieu dans ce niveau, favorisant la défloculation des argiles. L'augmentation du sodium, associée au calcium et à l'aluminium pourrait également indiquer la présence de restes de nourriture de type poisson (Arroyo-Kalin et al. 2009; Couture et al. 2016).

Surface (10 – 5 cm, UMiS 1)
Ce niveau de surface est entièrement remanié par la bioturbation, avec une distribution régulière des déjections des enchytraeides et des géophages (*P. Corethrurus*). Les papules sont ici assez fréquentes, indiquant un remaniement des sols par apports de matériaux provenant d'horizons plus profonds. En effet, la présence de papules, c'est à dire des fragments de revêtements argileux roulés, dans la matrice des sols, témoignerait du fait que les sédiments ont subi l'effet du lessivage avant leur remaniement. Dans ce niveau très bioturbé, c'est probablement les géophages, capables d'aller assez profondément dans les sols, qui ont remonté / ingéré des sédiments des niveaux inférieurs. Comme ces derniers sont riches en revêtements argileux, leur transport aurait favorisé la formation des papules. Les revêtements argileux présents dans les niveaux inférieurs se sont donc probablement formés avant que la bioturbation agisse sur la structure du sol de surface actuel. Il est difficile d'évaluer le temps qu'il a pu y avoir entre la formation de ces revêtements et la bioturbation (absence de référentiel). En outre, l'anthropisation a

également pu jouer un rôle non négligeable dans l'apport de ces matériaux des niveaux profonds à la surface des sols par les grattages par exemple.

Les microcharbons comptabilisés sont plus abondants dans ce niveau, atteignant presque 20%. Les agrégats brûlés jaunes sont toujours les plus abondants, associés à quelques agrégats rouges. Ces constituants anthropiques sont les résidus des dernières traces de l'anthropisation qui se sont accumulées à la surface. En effet, ce niveau de surface actuelle doit à peu près correspondre à la surface du sol lors de l'abandon du site par les populations précolombiennes, l'accrétion de ces sols étant quasiment nulle. Notons, de plus, que les revêtements argileux sont ici essentiellement présents à la limite avec le niveau inférieur, et sont très peu nombreux par rapport aux horizons sous-jacents. Ceci témoigne de l'arrêt, à partir de cette unité, du lessivage des argiles, en lien probablement avec une diminution des apports cendreux (abandon du site ou de la zone par les populations anciennes), et/ou augmentation de la dissolution des cendres et de la lixiviation des éléments chimiques du fait de la proximité avec la surface.

En terme de physico-chimie, ce niveau présente les mêmes caractères qu'un sol naturel de surface. Cela est cohérent avec le fait que l'on se trouve dans un niveau de surface d'un site archéologique abandonné depuis des centaines d'années, laissant le temps aux sols de revenir dans un état d'équilibre. Ainsi, ce niveau de surface actuel témoigne à la fois de la capacité de résilience des sols, en terme de physico-chimie notamment, tout en ayant gardé des traces de l'anthropisation ancienne du milieu (effet mémoire), qui ont eu une répercussion directe sur les processus pédogénétiques (intensification des traits de lessivage, importante bioturbation).

II.1.2. MC87-4

Dans ce profil, les trois UMiS caractérisées ont été regroupées en deux ensembles principaux, qui sont décrits du bas vers le haut de la séquence, dans l'ordre de dépôts des sédiments (**Annexe 1 – Planche 26**).

Transition substrat/anthroposol (40 – 33 cm, UMiS 3)

Ce niveau présente quelques revêtements argileux, limpides, du même type que ceux qui ont été observés dans le haut du profil 3 (bas UMiS 1). Certains, plus rares, sont empoussiérés. Ils viennent marquer, comme dans les anthroposols de la plaine alluviale, la

présence d'une ancienne surface à proximité où des modifications du couvert végétal ont eu lieu (ouverture du milieu par la mise à nu des sols).
L'observation des résidus excrémentaux de la bioturbation indique qu'ici, ce sont uniquement des éléments biotiques fossiles, et que l'activité pédofaunique n'est plus dynamique (J.-F. Ponge com. pers.). Les constituants anthropiques que sont charbons et agrégats brûlés représentent une part non négligeable de la lame, environ 35 %.
D'après la physico-chimie, le passage dans ce niveau de transition est bien marqué par la diminution nette, par rapport aux couches sus-jacentes, de plusieurs paramètres : le C/N, la susceptibilité magnétique, les concentrations totales en phosphore, calcium, potassium, magnésium et sodium. L'évolution de ces paramètres dans les sols indiquerait qu'ils sont étroitement liés à l'anthropisation du milieu. Ce niveau correspond à la partie inférieure de l'anthroposol, dans lequel des reliquats de l'occupation ancienne sont encore visibles et qui présente des caractères optiques proches de ce qui a pu être observé dans les niveaux supérieurs du profil 3 (bas UMiS 1).

L'anthroposol (33 – 5 cm, UMiS 2 et 1)

Ce niveau s'étend sur environ 30 cm d'épaisseur. Il est marqué par un important empoussièrement de sa masse fine et par une intense bioturbation. Néanmoins, une nette différence entre les déjections est visible entre ces deux UMiS. En profondeur, les formes mamelonnées des déjections sont moins reconnaissables, et très largement reprises pas les enchytraeides, indiquant une ancienneté plus grande de la bioturbation dans l'UMiS 2 par rapport à l'UMiS 1 (J.-F. Ponge com. pers.). Cette intense bioturbation peut avoir dénaturé les caractères typiques du travail du sol par les populations anciennes. En revanche, ici, l'activité biologique de type enchytraeides est le marqueur d'une ancienne surface. Au sein de l'UMiS 2, quatre microniveaux successifs ont été caractérisés : du bas vers le haut D, C, B et A. Les paléosurfaces sont matérialisées par des alignements de litho et pédoreliques qui forment des *pseudo microstoneline*. La disposition de ces roches n'est pas sans rappeler le phénomène de *stoneline*, délimitant un sol compact en-dessous, et un sol bioturbé au-dessus (cf. *supra*). Néanmoins, ici, le sol apparaît bioturbé aussi bien au-dessus qu'en-dessous de la limite. Ces quatre microzones sont attribuées à l'existence d'anciennes zones de surface en lien avec l'occupation précolombienne. Cela est d'autant plus marqué entre les sous-niveaux C et D, où la limite est matérilisée par deux gros fragments rocheux.
D'après les comptages, les constituants anthropiques (micro et macrocharbons, agrégâts brûlés noirs, rouges et jaunes), regroupés, constituent par endroits, quasiment 50% de la matrice du sol.

Dans l'UMiS 1, la présence d'un fragment de céramique et d'un morceau d'argile travaillé à environ 10 cm de profondeur, soit relativement près de la surface actuelle, alors que le site aurait été abandonné autour du 13ème siècle de notre ère (Hildebrand et al. en préparation), soit il y a plus de 700 ans, suggère, d'un point de vue du fonctionnement des sols, une grande stabilité dans le temps, avec très peu d'érosion et d'accrétion naturelle. En outre, le fait que le tesson de céramique soit bien « emballé » dans la masse fine alentour évoque un état d'abandon. Les cinq microniveaux successifs distingués dans l'anthroposol témoignent d'une accumulation progressive des sols, et leur confère un caractère cumulique, au même titre que ce qui a pu être observé dans les séquences de la plaine alluviale du Maroni.

Les caractères physico-chimiques indiquent que le carbone organique augmente jusqu'à la surface, et atteint 12% à la surface actuelle de ce profil. Cette valeur est très élevée pour des sols tropicaux humides, même pour un horizon de surface (Brossard et Ferry com. pers.). Elle traduit d'importants apports anthropiques qui se sont concentrés à la surface du sol. Ceci est en accord avec l'hypothèse que la surface actuelle doit correspondre à la dernière surface d'occupation du site avant abandon, au même titre que ce qui a été observé dans le profil voisin MC87-3 (cf. *supra*).

L'augmentation du pH, de la susceptibilité magnétique, du rapport C/N et du magnésium total dans l'anthroposol serait en lien avec l'abondance des charbons, des agrégats brûlés, et l'apport de cendres. Les deux pics du phosphore et du calcium total, associés en bas de l'anthroposol à un pic du calcium échangeable et du sodium total, pourraient être des résidus d'anciens restes de nourriture de type os de poisson (Oonk et al. 2009 ; Couture et al. 2016). Leur association également dans le haut du niveau, à un pic de potassium total, serait un marqueur de la présence de cendres.

Les analyses MEB effectuées sur certains agrégats brûlés révèlent qu'ils sont constitués de phosphore, potassium, chlore et calcium en petites quantités. Ces éléments pourraient constituer des résidus chimiques des activités humaines anciennes, en lien par exemple avec une zone de rejet où des résidus de nourriture de type os (phosphore, calcium, chlore) ou cendres (calcium et potassium) auraient été accumulés sur le sol. Le sol aurait ensuite été brûlé, puis gratté et/ou nettoyé. Cette signature peut correspondre à des pratiques courantes actuelles chez les populations amérindiennes qui brûlent, puis qui nettoient leurs zones de rejet après un certain temps d'accumulation de résidus organiques et inorganiques (Silva et al. 2009 ; Schmidt et al. 2014).

II.2.Extra-site : MC87-5

Les deux UMiS sont ici interprétées du bas vers le haut de la séquence (**Annexe 1 - Planche 28**).

Partie inférieure de la séquence (34-15 cm, UMiS 2)

Ce niveau repose sur des fragments rocheux et de nombreux cailloutis. Il présente des déjections de géophage de type P. *corethrurus*. Les runiquartz et les pédo/lithoreliques sont plus nombreux dans cette UMiS que dans les couches sus-jacentes. La présence de charbons, bien qu'en quantité modérée, témoigne de l'anthropisation passée. Le fait de ne pas retrouver d'agrégats de sol brûlés dans ce profil indique que les phénomènes de combustion de la surface des sols, de type brûlis, sont restés contenus dans l'enceinte, c'est-à-dire dans la zone d'occupation proprement dite. D'après les résultats physico-chimiques, le phosphore augmente légèrement dans ce niveau, en lien probablement avec les déchets anthropiques type macrocharbons.

Le fait que les pics de charbons et des pédo / lithoreliques soient corrélés peut indiquer la présence de paléosurfaces anthropiques de type *pseudo microstoneline*. Cela peut matérialiser les différentes surfaces de remblai au moment du creusement du fossé : les pédo / lithoreliques ont pu se concentrer en surface par résidualisation, avec les effets du ruissellement de surface, par apports gravitaires (poids des particules) avec les micromouvements des particules sédimentaires, et/ou par piétinement des sols (Lenoble & Bordes 2001). Ces matériaux proviendraient des niveaux de sol plus profonds. Leur accumulation marquerait ici deux phases distinctes de remblai. Les charbons les plus grossiers (macrocharbons) ont également pu venir s'accumuler avec les pédo / lithoreliques lors du déplacement des sédiments du fossé. Ces charbons auraient ainsi été rejetés dans le « fossé » ou autour du site par les populations précolombiennes, avant le creusement du fossé. Ils pourraient alors marquer une première phase d'ouverture du milieu pré-creusement du fossé (?).

Sub-surface (15 – 5 cm, UMiS 1)

L'estimation des abondances des charbons et des pédo/lithoreliques ainsi que des runiquartz a permis de mettre en évidence que ce niveau en contient environ deux fois moins que le niveau sous-jacent. Il est intéressant de noter, en outre, qu'un « nouveau » type de lithorelique a été observé dans ce niveau, non observé sur les deux autres profils, MC87-3 et MC87-4, des sols de l'enceinte, dans lequel des minéraux en forme de bâtonnets noirs sont visibles (E. Fritsch com. pers.) (**Annexe 1 - Planche 19 : D**). Ce trait pourrait témoigner du fait que les sédiments n'ont pas évolué de la même manière que les sols de

l'enceinte. Ils pourraient provenir d'horizons plus profonds, ce qui confirmerait l'hypothèse qu'ils proviennent du creusement du fossé où les dépôts sont plus épais d'au moins 3 m de plus que dans l'enceinte (2 m encore visibles dans le paysage et 1 m de comblement du fossé).

D'un point de vue physico-chimique, ce niveau de sub-surface est caractérisé, par une augmentation des concentrations de certains cations échangeables et éléments totaux. Toutefois, P, Ca et Mn ne montrent pas d'augmentation de leur concentration à la différence des profils MC87-3 et 4. Cela peut révéler que ces sédiments, provenant des horizons profonds, n'ont pas été enrichis par les rejets anthropiques. Il est intéressant de noter que la fraction argileuse diminue dans ce niveau, à la différence des deux profils de l'enceinte. Cela peut révéler que ces sédiments, provenant des horizons profonds, n'ont pas été enrichis par les rejets anthropiques. Il est intéressant de noter que la fraction argileuse diminue dans ce niveau, à la différence des deux profils de l'enceinte.
Cela vient étayer l'hypothèse que ce profil est issu du remblai du creusement du fossé, avec une inversion de la stratigraphie qui se repère dans les résultats granulométriques et les concentrations en fer et aluminium libres qui présentent ici une tendance à diminuer, à l'inverse des profils de l'enceinte.

II.3.Synthèse des trois profils étudiés sur la montagne couronnée 87

II.3.1. Données de la micromorphologie

Si l'on compare les deux profils de l'enceinte juxtaposés de la MC 87, qui sont topographiquement situés au même niveau (pente quasi-nulle), et en considérant la même profondeur de sol, de nombreux revêtements argileux s'observent dans MC87-3 alors qu'ils n'apparaissent pas dans MC87-4. Rappelons que dans le premier ces revêtements sont distribués sur quasiment toute l'épaisseur inférieure, entre 10 et 30 cm de profondeur, alors que dans le second les revêtements ne sont présents qu'à partir de 30 cm de profondeur.

Il n'existe pas, à notre connaissance, de données sur la présence et la localisation d'un horizon d'accumulation d'argile meuble dans les Ferralsols. (WRB 2014 et RP 2008 pour les ferrallitisols). De plus, si l'on regarde les données de la granulométrie, il apparaît que dans ces niveaux comportant des revêtements argileux, MC87-4 est plus riche en fraction argileuse que MC87-3. Cela révèle que dans ces profils, les revêtements argileux

proviennent de phénomènes locaux de redistribution des argiles *in situ*, sans formation d'un horizon d'accumulation (type Bt). C'est l'anthropisation du milieu par l'apport massif de cendres favorisant l'augmentation du pH et la défloculation des argiles, qui, selon toute vraisemblance, serait le facteur principal induisant la formation de ces revêtements argileux (Courty et al. 1989; Arroyo-Kalin 2008; Huismann et al. 2012).

Le fait de les trouver dans quasiment toute l'épaisseur du profil 3, et uniquement dans le bas du profil 4, est en faveur de l'hypothèse formulée stipulant que MC87-3 correspond à un horizon assez profond, trouvé en surface actuellement après décapage des niveaux supérieurs par les populations précolombiennes. Ces revêtements, de par leur aspect, pourraient *a priori* s'être formés sous un niveau anthropique (aujourd'hui disparu), enrichi en charbons et en cendres, qui aurait ensuite été décapé par les activités des précolombiens. La présence des revêtements argileux dans ce profil témoignerait de phases durables de stabilisation des sols durant l'occupation humaine (C. Cammas com. pers.). Certains d'entre eux sont cassés et associés à la matrice alentour indiquant qu'ils ont subi des remaniements post-dépositionnels après leur formation initiale, en lien avec les activités humaines sus-jacentes (grattages, nettoyages des sols) et/ou la bioturbation (papules) (Arroyo-Kalin 2008). Ce trait traduit donc l'alternance de processus pédogénétiques, (lessivage/bioturbation) et de remaniements anthropiques, qui ont pu se répéter plusieurs fois dans le temps, aussi bien au moment de l'occupation, qu'après, associés au phénomène d'humectation / dessiccation des argiles. Les rares incisions en V et U distinguées dans ce profil favorisent l'hypothèse des remaniements mécaniques des sols liés aux activités humaines anciennes, et donc d'un décapage intentionnel des niveaux supérieurs.

Ainsi, d'après les observations, MC87-3 correspond à un sol érodé laissant affleurer en surface, sur les 30 premiers centimètres, les horizons inférieurs, qui n'ont pas été observés sur le profil 4, puisqu'ils sont trouvés plus profondément, autour de 70 cm de profondeur, dans un sol naturel (Ferry et al. 2003). En outre, le fait que la bioturbation soit globalement assez développée dans le profil 3, et que ce dernier contienne des fragments végétaux frais, notamment dans l'UMiS 2, indiquent que, si ce profil a été érodé, il l'a été il y a assez longtemps, laissant le temps aux racines modernes de descendre dans le sol jusqu'à au moins 20 cm de profondeur. Dans ce profil, les vestiges de l'anthropisation des sols sont assez ténus. Cela vient corroborer l'hypothèse d'un décapage des niveaux supérieurs plus riches en restes anthropiques.

Le profil MC87-4, plus riche en restes anthropiques, correspond à un sol cumulique, au même titre que les anthroposols étudiés sur la plaine alluviale du Maroni (cf. *supra*) : les différents niveaux de surface mis en évidence témoignent d'une accumulation progressive des sols. La juxtaposition des différents agrégats brûlés, ainsi que leurs compositions internes (granules ronds et/ou sub-anguleux rouges et/ou jaune), révèlent un travail du sol par les populations anciennes (C. Cammas com. pers.). Il est possible de différencier l'organisation originelle et naturelle des sols, composée de petits agrégats massifs, de la même couleur que la matrice argileuse, et présentant des intercalations boueuses (type colluvions fines), des agrégats anthropiques, incorporés dans la matrice par le piétinement, et/ou plus probablement par le travail du sol. Il pourrait s'agir alors de résidus de grattage par exemple. Les nombreuses microparticules charbonneuses composant la matrice de l'anthroposol, associées à l'abondance des agrégats brûlés, indiquent la présence d'anciens niveaux de surface qui ont brûlés successivement avant d'être nettoyés. MC87-4 témoigne ainsi d'un sol d'occupation, ayant été affecté par cinq phases d'accumulation / brûlage / nettoyage successives. Ces différentes phases sont, *a priori*, assez proches dans le temps, étant donné la faible épaisseur de ce niveau (environ 30 cm).

Pour ces deux profils de l'enceinte du site, MC87-3 et MC87-4, la surface actuelle observée correspond vraisemblablement à la dernière surface d'occupation du site à l'époque précolombienne. Depuis l'abandon du site, autour du 13ème siècle de notre ère, ce niveau a subi les différents processus pédogénétiques inhérents au milieu, induisant un phénomène de résilience des sols, tout en conservant les dernières traces des activités humaines.

Si l'on considère à présent l'extérieur de la MC 87, avec le profil 5 provenant du talus externe du fossé, les caractères microscopiques se rapprochent des sols du profil 3. Ces derniers sont globalement assez massifs fissuraux à agrégés, avec des caractères pédo-sédimentaires typiques d'horizons profonds. De plus, le profil 5 est formé d'une alternance de microniveaux assez compacts à très grumeleux, du fait de la bioturbation. Ces traits caractérisent un milieu plus ouvert, typique de sols de surface (C. Cammas com. pers.). Les microfaciès de bioturbation ne semblent pas indiquer de rythmes particuliers. On assisterait ici à une accumulation progressive des sédiments, où l'activité biologique est assez identique dans tous les horizons, rappelant un fonctionnement de sol de surface, sur les 30 cm supérieurs du profil, observés en lames minces.
Ces données viennent confirmer l'hypothèse selon laquelle le profil 5, situé sur le talus externe du fossé correspond à des « vidanges » ou à une partie du creusement du fossé. Le fait de ne pas retrouver d'agrégats brûlés pencherait en faveur de l'hypothèse que ce

profil correspondrait davantage au rejet des sédiments du creusement du fossé, plutôt qu'à une vidange. Cependant, les charbons sont tout de même présents, atteignant 15% en profondeur, dont les plus gros (macrocharbons) sont trouvés autour de 30 cm de profondeur. Leur présence peut alors, soit être liée à l'anthropisation du milieu, pré- ou post- comblement du fossé, soit provenir de paléofeux naturels. Cette dernière suggestion semble peu probable du fait, notamment, de la forme et de la structure des charbons, très similaires à ceux observés dans les sols de l'enceinte et dans les fossés (R. Thomas com. pers. - **Annexe 1 - Planche 23**). Selon toute vraisemblance, le fait que les pics de charbons soient liés aux pics de pédo/lithoreliques indique deux phases principales de remblai dans la mise en place de cette partie du talus externe. Il semblerait ainsi plus cohérent que les charbons présents dans le profil 5 proviennent d'un premier rejet anthropique, antérieur ou juste contemporain au creusement du fossé, lors d'une première phase d'ouverture du milieu.

II.3.2. Les données de la physico-chimie des sols

Les résultats physico-chimiques viennent étayer les hypothèses micromorphologiques. Dans les profils 3 et 4, la majorité des paramètres mesurés évoluent à peu près de la même manière avec la profondeur, sauf pour les éléments totaux qui présentent des variations assez significatives entre les profils. Parmi les paramètres qui évoluent de la même manière, le C/N, le Corg, la CEC et la S. Mag, il apparaît néanmoins que dans MC87-4 les valeurs sont globalement supérieures à celles de MC87-3. Concernant les éléments totaux, en P, Ca, K et Mn, les concentrations sont également supérieures dans le profil MC87-4. Toutes ces données favorisent l'hypothèse que MC87-4 correspond à une succession de niveaux de surface, en place, qui ont, au fur et à mesure de l'occupation, été enrichis lors des activités humaines anciennes (brûlis, rejets de cendres et de charbons, résidus de nourriture), alors que les niveaux supérieurs les plus enrichis de MC87-3 ont été enlevés et ne sont plus quantifiables actuellement.

En outre, le fait que la granulométrie ne soit pas homogène, à la différence des profils MC87-3 et 4, vient souligner que ces sédiments ne se sont pas mis en place naturellement. Les taux d'argile mesurés évoluent dans le sens inverse des sols de l'enceinte, au même titre que les concentrations en fer et aluminium « libre ». Ces caractères physico-chimiques témoigneraient d'une inversion de la stratigraphie dans MC87-5 par rapport aux deux profils de l'enceinte.

II.4.Sols anthropisés vs sols non anthropisés

L'observation des lames minces de Ferralsol naturel développé sur schistes (fosses du bassin B) et sur pegmatites (fosses du bassin I), a pu servir, dans ce travail, de référentiel naturel en terme de traits micromorphologiques. Toutefois, bien que les sols étudiés dans le cadre du projet ECEREX, soient à la fois des Acrisols et des Ferralsols, ils ne sont pas tout à fait développés dans les mêmes conditions topographiques, puisqu'ils se situent aussi bien à l'amont (fosse B5 et B6), que sur les versants (fosses I1 et B4) des bassins (cf. Partie II-chapitre 2). Ils peuvent être caractérisés par un drainage vertical profond, dans le cas des Ferralsols – pour les fosses I1 et B5 -, ou par un drainage latéral superficiel pour les Acrisols - pour les fosses I4 et B4. Il est néanmoins possible de distinguer quelques différences notables entre la structure de ces sols naturels par rapport aux sols anthropisés des montagnes couronnées.

II.4.1. Principaux points de disparité

Six principaux traits micromorphologiques présentent des divergences importantes par rapport aux anthroposols développés sur les montagnes couronnées. Ils ont été distingués dans les lames minces des sols naturels.

- Des **microstonelines** apparaissent très nettement dans les sols des fosses B4 et B5, dès l'horizon de sub-surface et respectivement à environ 5 cm et 15 cm de profondeur (**Annexe 1 - Planches 42 et 43)**. Elles sont composées de nodules de fer à granoclassement inverse, la dimension des nodules diminuant avec la profondeur. Dans la fosse B4, ces éléments composent environ 50% de la matrice jusqu'à 25 cm, avant de devenir plus discrets avec la profondeur, pour disparaître quasiment vers 80 cm (**Annexe 1 - Planche 42**). Dans la fosse B5, les nodules de fer composent plus de 50% de la matrice jusqu'à 30 cm, pour diminuer avec la profondeur, et augmenter de nouveau légèrement vers 60 cm (**Annexe 1 - Planche 43**). Dans les anthroposols étudiés dans ce travail, ce type de microstoneline, ainsi que les éléments les composant, n'ont pas été observés de manière aussi bien triés et aussi nombreux.

- Dans les sols naturels, la **structure originelle de la roche mère** (type isaltérite) est encore observable en lames minces, dès 30 cm de profondeur pour la fosse B4, et à partir de 90 cm pour la fosse I4. Elle se traduit par une concentration en minéraux typiques de roches schisteuses comme les micas, conférant un aspect « en bâtonnets »

à la matrice (**Annexe 1 - Planche 42 : C-E-F-G, Annexe 1 - Planche 46 : D, E-E', F**). Ces sols sont ainsi peu évolués par rapport aux sols anthropisés observés dans ce travail.

- En terme d'**agrégation du sol**, il est généralement reconnu que les Ferralsols et Acrisols développés sous climat tropical humide, sont globalement agrégés (WRB 2014). Selon leurs caractères microscopiques, observés ici, ces agrégats sont assez homométriques, et plutôt des macroagrégats (> 1000 microns), de couleur homogène, jaune en LOI, comme cela a pu être observé dans les fosses B5 et B6 jusqu'à 45 cm de profondeur environ (**Annexe 1 - Planches 43 et 44**). Dans les sols anthropisés la matrice est formée d'une juxtaposition d'agrégats d'origine et de dimensions variées traduisant une évolution différente des sols, plus complexe, en lien avec l'occupation humaine ancienne. **L'intense bioturbation a conféré à la matrice l'essentielle de son aspect dans les deux cas. Toutefois, dans les sols naturels, les macroagrégats liés à la présence de *Pontoscolex corethrurus* n'ont pas été observés.**

- Si l'on considère uniquement la **couleur des sédiments**, il apparaît que les sols naturels développés sur schistes, sont bruns jaunes jusqu'à 20 cm de profondeur environ, puis la couleur de la matrice est essentiellement régie par la présence des oxydes de fer : la goethite favorisant une matrice jaune (fosses B4 et B5), la prédominance d'hématite, une matrice rouge (fosse B4 à partir de 60 cm de profondeur, et B6) (Stoops et al. 2010). Dans les anthroposols, la couleur des sols est régie par la présence des oxydes de fer associés aux rejets anthropiques, essentiellement sous la forme des microcharbons (ponctuations noirs) conférant une couleur brun à brun foncé à la matrice.

- Des **traits argileux** sont observés dans les lames des sols naturels. Ils sont assez rares, et essentiellement limpides, parfois cassés, sous la forme de papules (fosses B6 et I4), ou sous la forme d'intercalations (fosses B4 et I1) (**Annexe 1 - Planche 42 : F et Annexe 1 - Planche 45 : B**), ou encore sous la forme de remplissage dans la microporosité (fosse B5) (**Annexe 1 - Planche 43 : C**). C'est l'activité de la faune du sol qui est venue remanier ces revêtements. Dans les fosses B5 et I1, ils apparaissent dès 30 cm de profondeur, alors que dans les trois autres fosses, ils sont présents assez bas dans les profils, à partir de 70 cm environ. Dans les anthroposols, de nombreux revêtements argileux sont observés, notamment MC 87-3 au-dessus de 30 cm de profondeur. De plus, certains revêtements argileux sont microlaminés empoussiérés, ce qui n'est pas le cas dans les profils naturels observés ici.

II.4.2. Principaux points de similitude

Les deux aspects similaires observés entre les lames des Ferralsols-Acrisols et les anthroposols proviennent essentiellement des restes végétaux non brûlés. Dans les sols naturels, ainsi que dans les anthroposols, dans les niveaux superficiels actuels, entre 0 et 20 cm de profondeur, les **phytolithes** apparaissent plus abondants, leur présence conférant une coloration plus grise à la masse fine. De plus, la couleur et l'aspect global des **fragments de végétaux frais** dans le niveau de sub-surface dans les sols anthropisés sont assez similaires à ceux observés dans les sols naturels (fosses B4, B5 et I4) (**Annexe 1 - Planches 42, 43 et 46 : A**). Toutefois, la taille importante et la morphologie mieux définie de ces végétaux semblent témoigner de conditions de conservation nettement meilleures dans les sols naturels.

II.5. Comparaison des caractères physico-chimiques des anthroposols des MC 87 et 88 avec les données COUAC (sol naturel et anthroposol)

Les analyses physico-chimiques, réalisées dans le cadre du projet Couac, sont utilisées ici à titre de comparaison pour **évaluer les principales différences que présentent les anthroposols des montagnes couronnées 87 et 88, par rapport à leur homologue naturel, Saut Lavillette**. Nous avons choisi de présenter les résultats en utilisant les moyennes comme pour les anthroposols de la plaine alluviale, en utilisant les découpages de profondeur des pédologues, soit entre 0-20 cm et 20-40 cm.

Il est possible de comparer directement les résultats obtenus dans ce travail avec les données de Couac, grâce aux méthodes d'analyse qui sont identiques : pour le pH (H_2O), le carbone organique, la CEC et les cations échangeables que sont Ca, K, Mg, Mn, Na, Fe et Al, extraits à la cobaltihéxamine. En revanche, pour le phosphore assimilable (P ass), la méthode utilisée dans ce travail (Olsen Dabin) permet d'en extraire davantage par rapport à la méthode utilisée dans Couac (Olsen). Ainsi, ici, les valeurs du P ass de Couac ne sont utilisées qu'à titre indicatif. Le phosphore total, lorsqu'il a été mesuré, a été extrait à l'eau régale, dans le projet Couac, soit directement comparable avec les résultats de ce travail.

		Saut Lavillette (GF-SLS)	MC88 enceinte (GF-MC)	MC 87-88 périphérie (T310, TC, T, TB)		MC87 enceinte (SA2)		MC87-3 enceinte		MC87-4 enceinte		MC87-5 talus externe	
Profondeur (cm)		**0-20**	**0-20**	**0-20**	**20-40**	**0-20**	**20-40**	**0-20**	**20-30**	**0-20**	**20-40**	**0-20**	**20-40**
$\delta^{13}C$		*-28,1*	-27,7	-27,9	-27,0	-27,4	-26,7	-26,4	-22,7	-26,2	-23,4	n. m.	
pH (eau)		4,3	4,6	*4,2*	4,7	4,4	4,6	4,6	4,8	4,3	4,7	4,7	4,8
Argiles (%)		52	58	n.m.	**66**	*50*	51	59	55	62	63	61	64
Limons (%)		15	*9*	n.m.	*9*	23	17	15	20	14	17	18	17
Sables (%)		33	33	n.m.	25	27	32	26	25	24	20	21	*19*
C organique (%)		2,91	3,45	4,58	1,98	4,02	2,75	4,04	2,89	7,05	3,52	2,33	*1,78*
C/N		14,1						16	17	**18**	19	16	18
CEC (cmol/kg)		2,30	*1,64*	n.m.	1,95	2,68	2,02	3,26	2,29	4,78	2,27	2,02	1,81
P éch. (mg/kg)		*1,20*°	1,84°	< 10*	< 10*	< 10*	< 10*	19,5	15,1	23,8	18	5	6,2
P total (mg/kg)		*158*	613	n. m.	n. m.	n. m.	n. m.	469	447	521	558	502	537
Cations éch. (cmol/kg)	**Ca**	0,18	n. m.					0,16	n. u.	0,24	n. u.	*0,05*	n. u.
	Mg	0,16						0,21		0,16		*0,19*	
	K	0,07						0,08		0,10		*0,03*	
	Na	**0,08**						0,05		0,04		*0,03*	
	Mn	*0,004*						0,01		0,01		0,01	
	Al	1,53						2,77		4,63		*1,33*	

Légende : Echantillonage concernant le programme Couac : Saut Lavillette n=10 (0-20 cm); MC 87 int (enceinte) n=5, (0-20 cm et 20-40 cm); MC 88 int (enceinte) n=4 (0-20 cm) ; MC 87 ou 88 ext (périphérie) n=31 (0-20 cm et 20-40 cm). Sur fond vert = référentiel naturel ; sur fond rose = enceinte des sites ; sur fond jaune = périphérie. Les trois profils de la MC 87 étudiés dans ce travail correspondent aux trois colonnes de droite. Valeurs les plus fortes (en rouge et jaune), valeurs les plus basses *en italique* ; n. m. = non mesuré ; n.u. = non utilisé ici ; ° analyses laboratoire du Cirad (méthode Olsen), * seuil de détection.

Tableau 96 : Comparaisons des résultats physico-chimique obtenus dans ce travail avec ceux du programme Couac, et par rapport à un homologue naturel.

Dans le **tableau 96**, il est possible de distinguer les paramètres physico-chimiques qui ne présentent pas de différences significatives entre les anthroposols et le référentiel naturel, et d'autres qui varient de manière plus marquée. Pour les paramètres avec suffisamment de mesures, un test de student, avec un intervalle de confiance à 95% a été effectué, afin de réaliser des graphiques selon la méthode Ferry & Freycon (2012). Ce test est matéralisé par les barres d'erreurs. Les résultats des profils MC87-3 et MC87-4 ont été regroupés en une seule et même entité dans les graphiques. Il est précisé dans chaque graphique lorsque les données proviennent du projet Couac. Si les données n'étaient pas assez nombreuses, seules les moyennes ont été utilisées à des fins de comparaisons.

Dans les graphiques suivant, les enceintes des montagnes couronnées sont en rouge, l'extérieur des sites est en jaune et l'homologue naturel en vert.

II.5.1. Les paramètres physico-chimiques non significatifs : pH et granulométrie

Les sols des montagnes couronnées et de leur « homologue naturel » sont acides, autour de 4. La moyenne du pH mesuré dans les sols des montagnes couronnées est légèrement supérieure au sol témoin, sans que cela ne soit véritablement significatif (**Tableau 96 et Figures 148 et 149**).

Selon la granulométrie, tous les sols sont dominés par la fraction argileuse (**Tableau 96**).

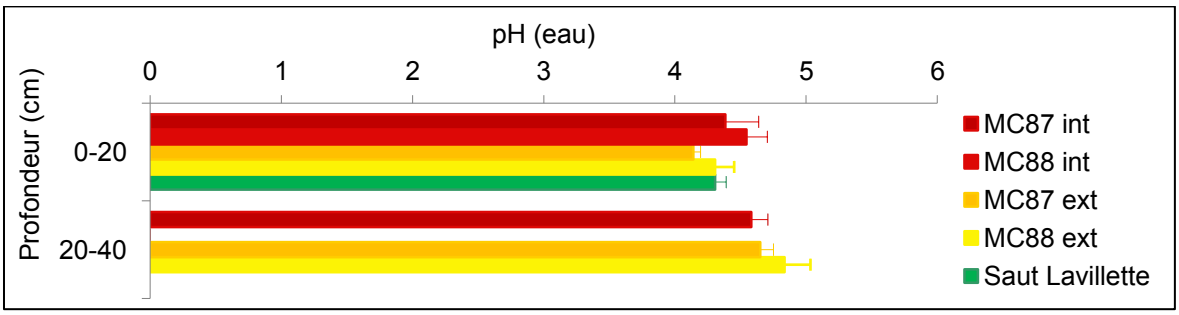


Figure 148 : Graphique présentant les valeurs du pH dans les profils du projet (modifié d'après de Ferry & Freycon 2012).

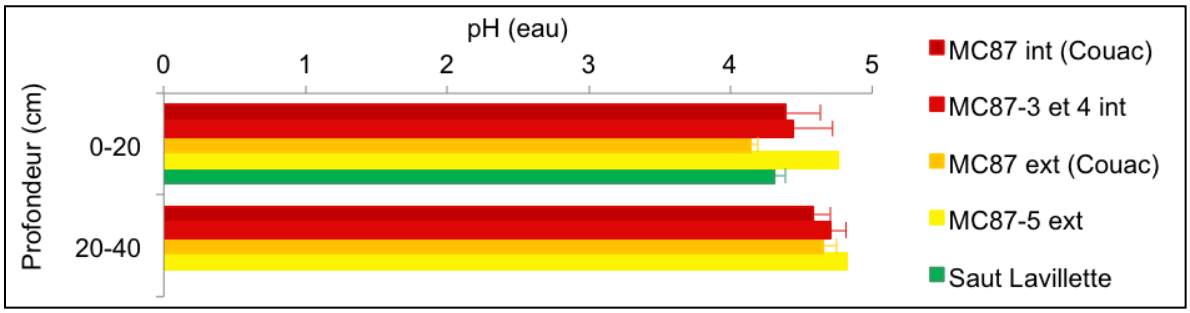


Figure 149 : Graphique présentant les valeurs du pH, comparaison entre les profils du présent travail et ceux du projet Couac dans la MC 87 (selon la méthode de Ferry & Freycon 2012).

II.5.2. Les paramètres physico-chimiques présentant des différences significatives

Les autres variables analysées apportent, quant à elles, des tendances plus ou moins nettes entre le site témoin et les sites précolombiens.

II.5.2.1. δ13C

Même si le signal du $\delta^{13}C$, témoigne globalement d'une végétation forestière concordant avec la végétation que l'on trouve actuellement sur ces sites (**Tableau 96**), des variations sont visibles entre les anthroposols et l'homologue naturel. La question du rôle de l'homme et de ses activités dans ces variations peut être posée. En effet, comme cela a été mentionné précédemment les phénomènes de combustion de la végétation peuvent faire varier ce paramètre. Le fait que la moyenne du $\delta^{13}C$ soit plus faible (entre 0-20 cm) de deux unités sur le site témoin (-28 ‰) par rapport aux sites anthropisés, et notamment dans MC87-3 et MC87-4 (-26 ‰) peut certainement indiquer que l'anthropisation du milieu, et ainsi les modifications du couvert végétal, ont légèrement influé sur la valeur du $\delta^{13}C$, en le faisant augmenter de deux unités. Toutefois ces valeurs restent basses, typiques des horizons de surface sous forêt (Desjardins et al. 1991).

Un peu plus en profondeur dans les profils MC87-3 et MC87-4, entre 20-40 cm, la moyenne du $\delta^{13}C$ augmente de trois unités supplémentaires (-23 ‰). L'apport de matériaux provenant de végétations terrestres de type C4 ainsi que l'accélération de la minéralisation de la matière organique pourraient être à l'origine de cette augmentation du $\delta^{13}C$ (Glaser & Zech 2005). Elle serait ainsi due, dans un passé assez récent, à une végétation plus exclusivement de type C4 (Desjardins et al. 1991). Cette signature isotopique viendrait indiquer une première phase d'installation des populations précolombiennes. En tout état de cause, les données isotopiques n'indiquent pas de phénomène de déforestation majeure sur ces sites archéologiques.

II.5.2.2. Teneur en carbone

La **figure 150** montre qu'au sein des sites archéologiques (en rouge), le carbone organique augmente très nettement par rapport au site témoin (en vert) dans les vingt premiers centimètres du sol. Par exemple, dans le site MC 87, les valeurs sont près de 90 % plus fortes que dans les sols de Saut Lavillette (Ferry & Freycon 2012). En revanche, dans le site MC 88 les valeurs de carbone organique sont juste légèrement supérieures à celles de Saut Lavillette. En outre, il apparaît que les sols se trouvant en périphérie des enceintes de MC

87 et 88 (en jaune) sont 40 % plus riches en carbone que les sols témoins de Saut Lavillette (ibid.).

Dans la partie inférieure des sols des montagnes couronnées, entre 20-40 cm, les taux de carbone organique diminuent largement, tout en restant importants. Les sols de la périphérie ont un taux de carbone qui a diminué plus nettement que les sols de l'intérieur. Du point de vu pédologique, ce phénomène pourrait s'expliquer par deux phénomènes possibles : (i) la pédogénèse est plus active hors de l'enceinte, et la topographie, loin d'être plane, même sur le chemin reliant les deux montagnes couronnées, a pu entraîner le lessivage plus rapide des sols ; (ii) en périphérie, les sols n'ont été enrichis par les activités humaines que sur les vingt premiers centimètres, formant un enrichissement relatif essentiellement en surface, que l'on pourrait associer à des voies de passage (ibid).

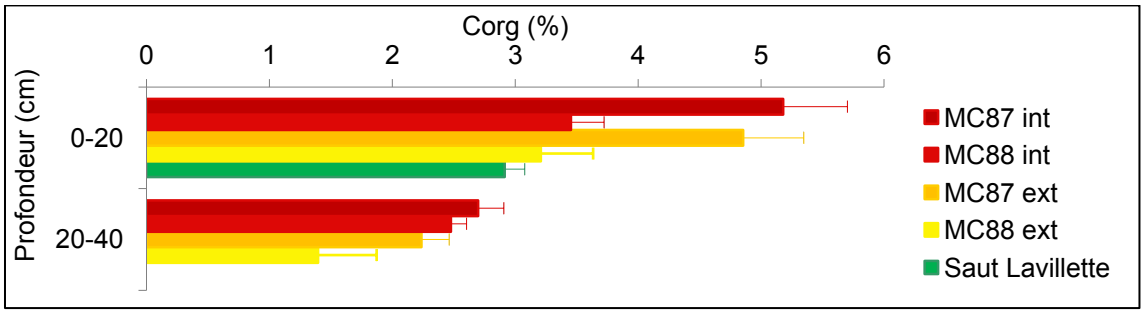


Figure 150 : Graphique des teneurs en carbone organique dans les profils du projet Couac (modifié d'après Ferry & Freycon 2012).

La **figure 151** est en accord avec le fait qu'au sein de la MC 87, les taux de carbone organique sont nettement plus importants que dans le site témoin. Ici, on s'aperçoit que les profils 3 et 4 de la MC 87 sont plus riches en carbone organique que les sols analysés dans le projet Couac pour ce même site (seconde ligne rouge). Ces importantes concentrations en carbone organique sont essentiellement portées par les sols du profil 4. La barre d'erreur témoigne de la variation intra-site importante entre MC87-3 et MC87-4. Cela est valable jusqu'à 40 cm de profondeur. Le profil MC87-5, que l'on considère ici comme extérieur, est différent des profils prélevés à l'extérieur par le projet Couac, car MC87-5 se situe sur le talus externe du fossé, directement en bordure du fossé, alors que les autres profils extérieurs se situent sur le chemin entre les deux montagnes couronnées 87 et 88, sur un transect. MC87-5 ne présente ainsi pas les mêmes enrichissements en carbone organique que les potentielles voies de passage du projet Couac.

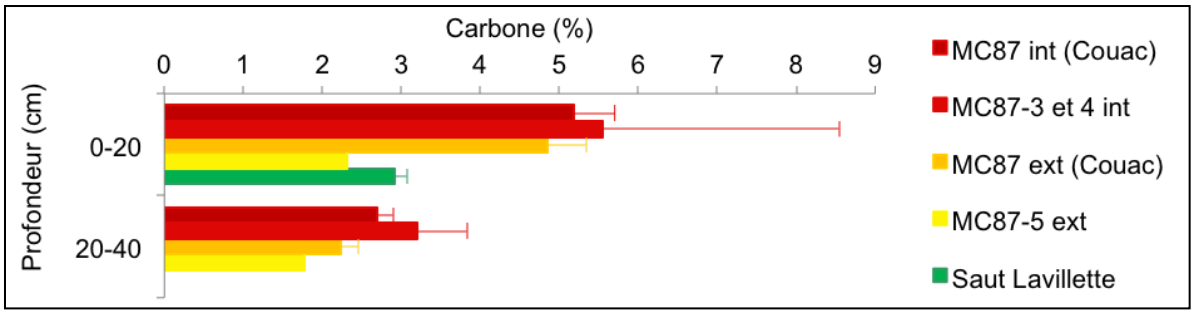


Figure 151 : Graphique des teneurs en carbone organique. Comparaison entre les profils du présent travail et ceux du projet Couac dans la MC 87, (selon la méthode de Ferry & Freycon 2012).

II.5.2.3. C/N

La **figure 152** permet de voir que le rapport C/N est supérieur dans les profils anthropisés (intra et extra-site) par rapport au référentiel naturel. Il est intéressant de noter que ce rapport apparaît similaire entre l'intérieur et l'extérieur de l'enceinte entre 0-20 cm de profondeur, alors qu'il est plus élevé entre 20-40 cm de profondeur dans les profils à l'extérieur de l'enceinte, au niveau des possibles voies de passage. Cela semble cohérent avec l'évolution naturelle du rapport C/N en fonction de la profondeur, qui tend à augmenter (B. Ferry com. pers.). Le rapport C/N est ici supérieur à 15, aussi bien à l'intérieur, qu'à l'extérieur du site. Les populations précolombiennes ont ainsi pu nettoyer des voies de passage, par le brûlis, afin de faciliter l'accès au site, entre les MC 87 et 88 (Goldberg & Macphail 2006). Il serait toutefois nécessaire de réaliser davantage d'analyses et d'observations sur le terrain pour valider cette hypothèse.

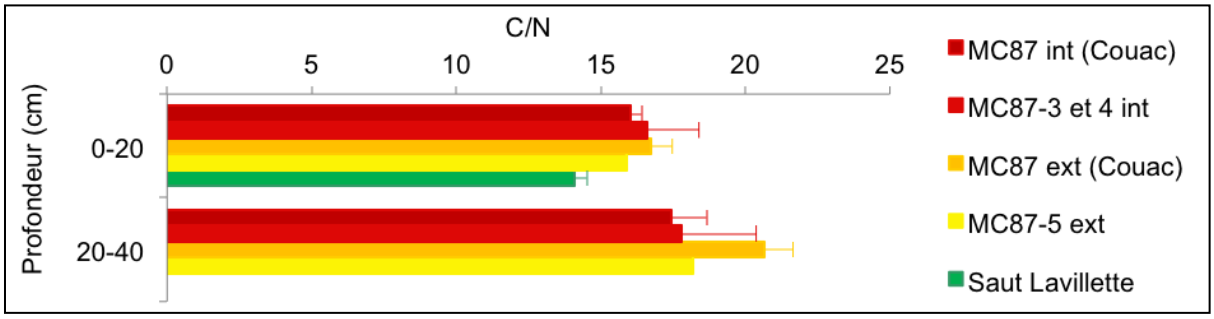


Figure 152 : Graphique d'évolution du rapport C/N. Comparaison entre les profils du présent travail et ceux du projet Couac dans la MC 87 (selon la méthode de Ferry & Freycon 2012).

II.5.2.4. Réserves nutritives : CEC, phosphore assimilable et cations échangeables

Il est connu que, dans un sol, ce sont les matières organiques qui portent les charges positives (Baize 2000). Ainsi, l'enrichissement avéré en carbone organique des sols anthropisés, entraine une CEC supérieure au site témoin naturel, comme le montrent les valeurs moyennes dans les sols de la MC 87 (**Tableau 96**). Si l'on s'intéresse plus

particulièrement au phosphore assimilable, dans les montagnes couronnées, ses concentrations sont importantes, près de deux fois supérieures au site témoin dans la MC 87, entre 0-20 cm (**Figure 153**). En outre, d'après la **figure 154**, les profils analysés dans ce travail contiennent plus de phosphore assimilable que les sols anthropisés étudiés dans le projet Couac, provenant du même site, MC 87. Comme cela a été précisé précédemment, les méthodes d'extraction n'étant pas les mêmes, il convient de modérer ces résultats. En effet, la méthode Olsen modifiée Dabin extrait davantage de phosphore que la méthode Olsen. Ainsi, il est logique que les profils analysés dans ce travail présentent davantage de P ass que les profils Couac.

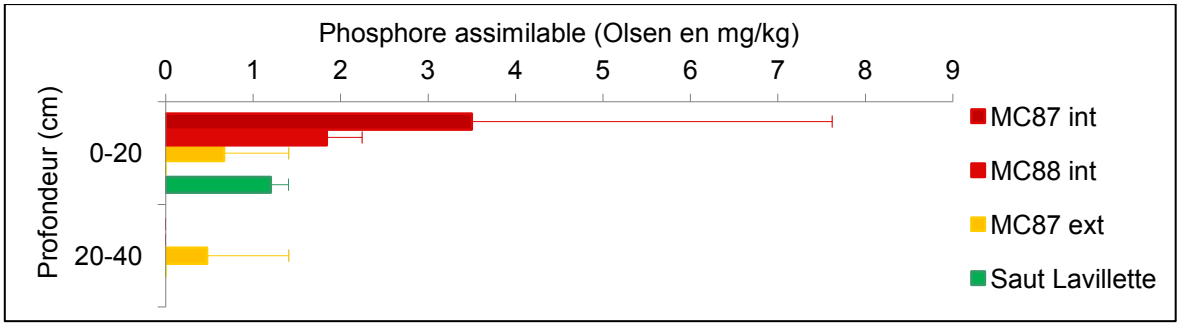


Figure 153 : Graphique des concentrations en phosphore assimilable-Olsen, dans les profils du projet Couac (modifié d'après Ferry & Freycon 2012).

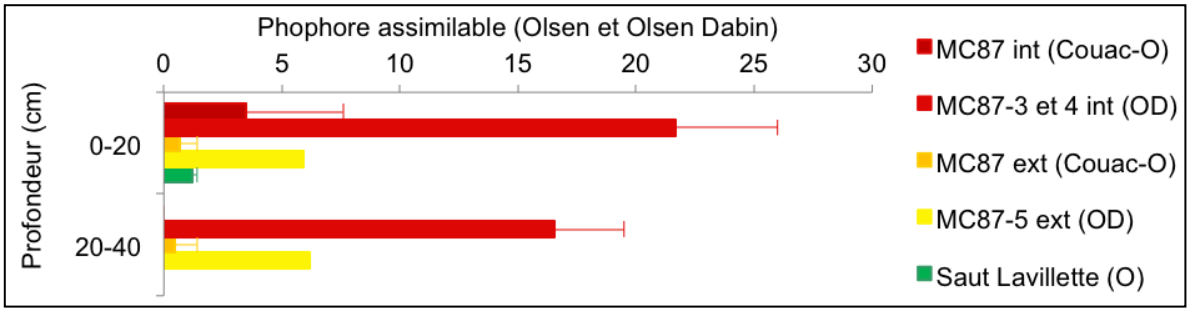
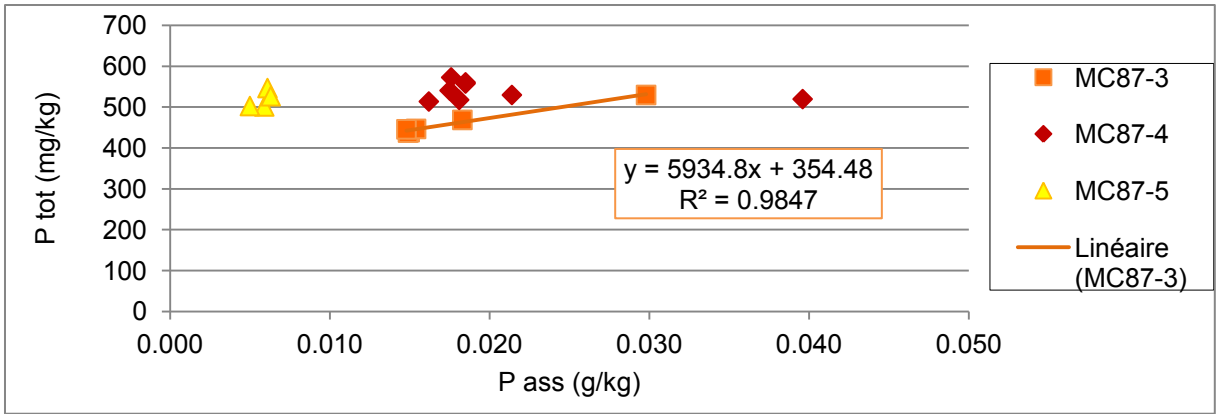


Figure 154 : Graphique des concentrations en phosphore assimilable-Olsen (O) et Olsen-dabin (OD), dans la MC 87. Comparaison des profils étudiés dans ce travail à ceux du projet Couac (d'après la méthode de Ferry & Freycon 2012).

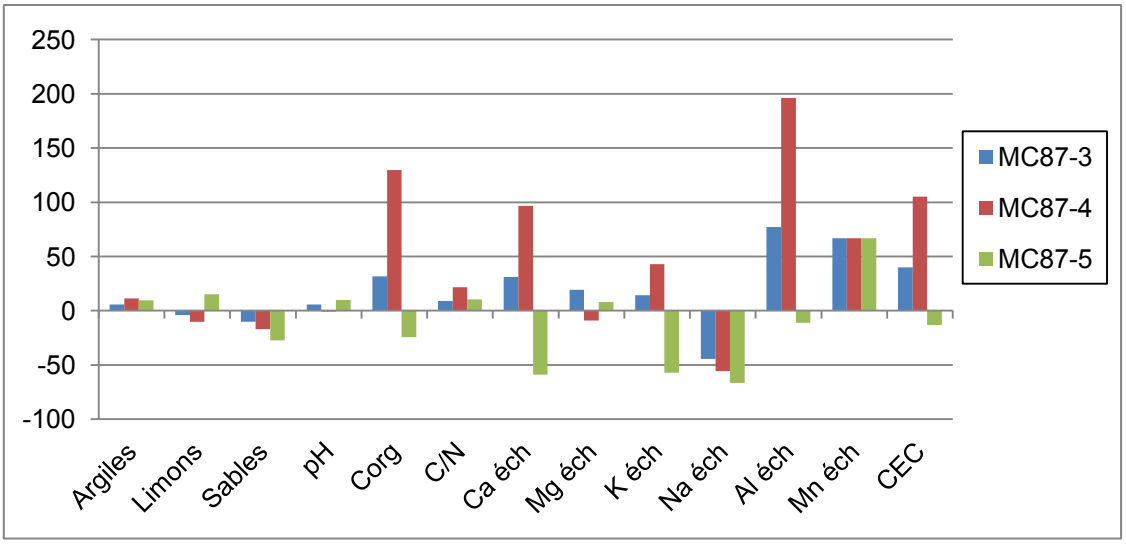
Les pédologues qui ont analysés les profils du projet Couac remarquent, en outre, qu'il semble exister une corrélation positive entre le Ptot et le Pass dans les sites archéologiques où « *le P total apporté à l'époque via différentes activités humaines (os de poisson, excréments animaux et humains) doit encore fonctionner à l'heure actuelle en tant que P assimilable pour les plantes* » (Ferry & Freycon 2012). De manière générale cette relation directe en Ptot et Pass n'est pas observée dans les profils anthropiques étudiés dans ce travail, sauf pour MC87-3 où il apparaît une très forte corrélation entre ces deux paramètres : R^2 est très proche de 1 dans la **Figure 155**.



Légende : les profils intra-site sont représentés par les carrés et les losanges, et le profil extra-site par des triangles jaunes.

Figure 155 : Graphique présentant les résultats du phosphore total en fonction du phosphore assimilable, sur les trois profils analysés dans MC 87.

Les concentrations des cations échangeables majeurs analysés dans les trois profils anthropisés de ce travail présentent des différences également assez significatives par rapport à l'homologue naturel, entre 0-20 cm de profondeur (**Tableau 96-Figure 156**) : calcium, magnésium, potassium et manganèse, échangeables, sont plus concentrés dans les profils anthropisés. Cela traduirait une corrélation positive entre l'occupation humaine ancienne et ces concentrations en cations, qui pourraient marquer entre autre, la présence ancienne de cendres dans les anthroposols. En outre, il est intéressant de noter que l'aluminium est également plus concentré dans les profils anthropisés, principalement dans MC87-4. Ceci est en corrélation avec les observations faites dans les sols des *terra preta* étudiés par M. Arroyo-Kalin qui stipule que Ca et Al sont liés dans les sites Hatahara and Lago Grande. Selon Pierce et al. (1998) le ratio Ca : Al est autour de 1 : 11. Ainsi si l'on considère que la majorité du calcium provient des cendres alors le « gain » en aluminium mesuré dans les profils MC87-3 et MC87-4 est proportionnel à ce ratio (selon Arroyo-Kalin 2008).



Légende : cette figure a été réalisée de la même manière que les figures 86 à 90, en utilisant la formule : $100 \times {}^{(moyenne\ du\ profil\ considéré\ -\ moyenne\ de\ R1)}/_{moyenne\ \ de\ R1.}$

Figure 156 : Enrichissement (positif) et appauvrissement (négatif) relatif des trois profils (entre 0-20 cm de profondeur) du site MC 87 par rapport à leur homologue naturel Saut Lavillette.

II.6.Remplissage des fossés

II.6.1. MC87-1

Au sein du remplissage du fossé de la MC 87, dix unités microstratigraphiques regroupées en **quatre phases** successives ont été définies dans la séquence analysée. Elles sont décrites du bas vers le haut dans l'ordre des dépôts (**Tableau 97 et Annexe 1 - Planche 29**).

Phase A - de 60 cm de profondeur jusqu'au fond du fond du fossé, UMiS 8 à 10.

Cette première phase est marquée par une abondance de macrocharbons, et très peu d'agrégats brûlés. La fraction composée de macrocharbons, ici en postion secondaire, est dominante par rapport au reste de la séquence. La conservation de ces macrocharbons, peu ou pas fragmentés, indique qu'ils n'ont pas subi d'importants processus pédogénétiques de surface ou de sub-surface, témoignant d'un enfouissementt assez rapide. L'aspect massif et non bioturbé de l'UMiS 10, favorise également cette hypothèse. Parmi les charbons, la présence de restes de probables feuilles de palmier également brûlées (R. Thomas com. pers.), associées aux macrocharbons de bois suggère que toutes les parties des plantes (arbres ou arbustes) ont été brûlées (**Annexe 1 - Planche 23 : D**). Ces restes semblent, ainsi, indiquer une phase durant laquelle les populations ont cherché à nettoyer le terrain en brûlant de manière indifférenciée (?) toutes les parties

anatomiques aériennes constituants la végétation, avant de jeter les résidus carbonisés dans le fossé.

Parallèllement, à partir du fond du fossé et en remontant vers la surface, les agrégats brûlés présentent une dynamique particulière. Les agrégats jaunes apparaissent d'abord, puis les agrégats rouges, et enfin, les agrégats noirs nettement moins abondants. Comme discuté précédemment, ces agrégats constituent la croûte superficielle brûlée d'un sol chauffé. Ici, ils sont en position secondaire, et leur présence dans le fossé résulte d'un rejet intentionnel à la suite du nettoyage / curage d'un sol brûlé. La localisation de ce dernier reste à définir, car même dans les profils de l'enceinte, les agrégats brûlés ne semblent pas directement en place, et ont pu subir quelques remaniements (grattage, balayage de proximité). La présence de ces mêmes agrégats brûlés dans le profil de l'enceinte, MC87-4, semble bien indiquer que le sol d'où proviennent ces agrégats brûlés se situe à l'interieur de l'enceinte, et probablement très proche de cet endroit du fossé (la forme et la structure des agrégats favorisent l'idée d'un transport/remaniement sur une courte distance). La prédominance des agrégats jaunes moins chauffés pourrait suggérer qu'il s'agit d'une zone plutôt périphérique qui a été curée ou bien d'un curage du sol, afin peut-être de régulariser ou d'aplanir le terrain. Ceci est corrélé au fait d'observer des agrégats de sol qui ont conservé leur structure d'origine, révélant qu'ils proviennent de la sub-surface.
Les pédo/lithoreliques sont également abondantes dans le fond du fossé. Cela est lié à la proximité du substrat en place formé par des altérites, qui ont été entaillées lors du creusement du fossé (M. Mestre com. pers.). En terme de physico-chimie, la prédominance des macrocharbons fait augmenter le rapport C/N. Les concentrations totales du phosphore, du potassium, du magnésium, du manganèse et du sodium augmentent progressivement avec la surface, marquant l'augmentation des rejets anthropiques. La limite entre la phase A et B est marquée par une légère augmentation du calcium et du magnésium échangeables et un pic du calcium total, provenant possiblement de la présence importante de résidus cendreux, associés aux nombreux macrocharbons.

Phase B – de 40 à 60 cm, UMiS 6 et 7.

En remontant vers la surface, les macrocharbons deviennent moins abondants. L'aspect massif des sédiments (UMiS 7) témoigne de la rapidité des rejets. Le haut de cette seconde phase de remplissage du fossé (UMiS 6) est marquée par des colluvions fines. Elles correspondent à des apports de courte distance, provenant très probablement des parois du fossé. Elles sont associées à des revêtements argileux. Ces éléments pourraient

témoigner d'un fonctionnement ouvert du fossé, qui a davantage subi la pédogénèse (lessivage, érosion, colluvionnement). Les rejets anthropiques sont du même type que dans la phase A, avec cette fois une prédominance des agrégats rouges, et plus d'agrégats noirs, provenant du nettoyage d'une zone de surface qui a subi des brûlis successifs.

Les résultats de la de physico-chimie révèlent que les concentrations totales du potassium, magnésium et manganèse augmentent légèrement du bas du fossé jusqu'à 30 cm de profondeur environ, formant comme « un ventre », dont les plus fortes concentrations se trouvent dans cette phase de rejet B. La limite avec la phase C supérieure vers 40 cm de profondeur, est materialisée par une discontinuité qui se repère principalement dans les mesures de la susceptibilité magnétique, et du phosphore total, suivant une évolution similaire, en augmentant jusqu'à 40 cm de profondeur avant de diminuer à nouveau vers la surface. Le P ass augmente également du fond du fossé jusqu'à 40 cm de profondeur. Ces concentrations sont en lien avec l'augmentation des agrégats brûlés.

Phase C - de 40 cm à 25 cm de profondeur, UMiS 3 à 5.

La microfissuration générale de la matrice, sans organisation préférentielle est principalement liée au phénomène d'humectation/dessiccation des argiles, plutôt qu'à des épisodes de piétinement. Par endroits des entassement d'agrégats sont visibles, formant une porosité d'entassement, typique d'un remblaiement, essentiellement d'origine anthropique ici (Cammas 1994 ; 1999). À d'autres endroits, la microstructure plus massive indique une compaction des sols, probablement du fait de l'entassement des rejets et de la terre.

En terme de constituants anthropiques, c'est dans les UMiS 3 et 5 que les macrocharbons sont les plus abondants dans cette phase. Ils sont associés à des agrégats brûlés des trois types, présents plus abondamments que dans les phases de remplissage précédentes. Ces caractères révèlent, comme pour les séquences sous-jacentes, du nettoyage/curage d'un sol qui a subi des brûlis successifs. Dans cette phase, on assiste à la diminution des macrocharbons en faveur des microcharbons. Ceci suggère une combustion des végétaux moins massive que précédemment. Ce caractère, associé à l'augmentation des agrégats brûlés semblerait traduire une intensification des combustions et des curages qui deviennent plus extensifs et / ou plus rythmés, évoquant des épisodes successifs de réaménagement de l'espace, plutôt que des défrichements / ouvertures de la forêt de la phase A.

Sur le plan chimique, il y a une augmentation conjointe de la susceptibilité magnétique et du P tot, ainsi que du pH, par rapport à la surface. Le calcium, le potassium et le magnésium, aussi bien échangeables que totaux, ont aussi été impactés par ces apports anthropiques. Ces enrichissements suggèreraient une intensification des apports cendreux, qui concorde avec les observations micromorphologiques.

Phase D – de la surface à 25 cm de profondeur, UMiS 1 et 2.

En remontant vers la surface, la concentration charbonneuse diminue graduellement dès l'UMiS 2, alors que les agrégats brûlés des trois types commencent à diminuer seulement dans l'UMiS 1. Ceci marque la perduration des curages / nettoyages qui, cependant, diminuent en intensité. Dans l'UMiS 1, seuls les agrégats jaunes et les charbons sont encore assez abondants, les agrégats rouges et noirs ayant quasiment disparus. Cela peut marquer un dernier curage anthropique, plus en périphérie de la zone de chauffe, ou sous les sols de surface. En outre, l'abondance des pédo/lithoreliques et des runiquartz, peut être liée à leur plus forte concentration dans la partie supérieure du sol adjacent, visible sur les parois du fossé. Leur présence peut aussi être favorisée par une érosion différentielle de type *pseudo microstoneline*, par ruissellement et donc résidualisation des éléments, assez caractéristiques d'un sol de sub-surface, puisque l'UMiS 1 est en surface actuellement. On assiste alors à une « compétition » entre accumulation essentiellement d'origine anthropique (charbons, agrégats jaunes) et bioturbation ainsi qu'en témoigne la microstructure agrégée. Les propriétés chimiques de l'UMiS 1 semblent principalement conditionnées par la proximité de la surface et la capacité de résilience des sols : niveau plus riche en réserves nutritives (CEC et cations majeurs échangeables), ainsi qu'en aluminium « libre » et en carbone organique.

<table>
<tr><th>UMaS</th><th>Prof. (cm)</th><th>Hypothèses archéologiques/datations</th><th>UMiS associées</th><th>Interprétations</th></tr>
<tr><td>1</td><td>0-13</td><td>Horizon superficiel actuel</td><td>1 et 2</td><td>Phase D : derniers nettoyages / curages des sols brûlés de l’enceinte.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">2</td><td>13-25</td><td rowspan="3">Partie supérieure du remplissage du fossé</td><td rowspan="2">3, 4 et 5</td><td rowspan="2">Phase C : intensification des combustions et des curages qui deviennent plus extensifs et / ou plus rythmés que dans les phases A et B.</td></tr>
<tr><td>25-40</td></tr>
<tr><td>40-60</td><td>6 et 7</td><td>Phase B : intensification des combustions par rapport à la phase A, brûlis successifs.</td></tr>
<tr><td>3</td><td>60-90</td><td>Partie inférieure du remplissage du fossé</td><td>8, 9 et 10</td><td>Phase A : les macrocharbons montrent l’ouverture du milieu, avec un rythme moins marqué qu’au-dessus – enfouissement rapide
Dans le fond du fossé : colluvions naturelles, milieu assez humide.</td></tr>
<tr><td>4</td><td>90-110</td><td>Fond du fossé : substrat en place, altérites entaillées lors du creusement du fossé</td><td>Non prélevé</td><td>Non observé</td></tr>
</table>

Tableau 97 : Unités de terrain et hypothèses archéologiques mises en regard des résultats micromorphologiques et interprétations du remplissage du fossé.

II.6.2. MC87-2

Il est important de rappeler que le profil 2 du fossé de la MC 87 a été prélevé entre de gros blocs de latérite et la paroi du fossé côté intérieur de l’enceinte. Ce prélèvement recouvre la partie médiane du remplissage du fossé. L’hypothèse de travail était que, dans le cas de la présence ancienne d’une palissade en bois ou en végétaux non ligneux calée par ces blocs, un remblai pourrait être observé à cet emplacement. Cinq UMiS regroupées en 4 phases principales ont été définies au sein de ce profil (**Tableau 98 et Annexe 1 – Planche 31**). Elles sont décrites du bas vers le haut, dans l’ordre de dépôt. Dans cette séquence, la proportion d’agrégats brûlés des trois types reste constante. Ceci témoigne d’une perduration des rejets liés à l’entretien, de type curage/nettoyage, des sols de l’enceinte.

Phase A de la séquence analysée : de 59 à 65 cm de profondeur, UMiS 5.

Si ce niveau est le plus pauvre en charbons de la séquence observée, les comptages attestent néanmoins d’une abondance, toutes fractions confondues, de plus de 25%. La microagrégation provient d’un remaniement biologique de type enchytraeides. Cela

suggère la proximité d'une surface ancienne. Dans cette unité, et c'est la seule à présenter de tels caractères, certains agrégats brûlés sont entourés d'un enrobage d'argiles limpides organisées en revêtements, et parfois en remplissage dans les microfissures. La présence de ces revêtements témoignerait de la translocation de la fraction argileuse favorisée par un passage dans des conditions de milieu microlocale plus alcalines. Le pH augmente très légèrement (0,5 unité à 1 unité) dans ce niveau. Ceci pourrait être dû à la présence d'anciennes cendres carbonatées (Courty et al. 1989 ; Huisman et al. 2012). En terme de processus, ces revêtements se sont possiblement formés suite à la dissolution des cendres qui enrobaient originellement les agrégats brûlés, créant des cavités qui ont ensuite été comblées par des argiles formant soit des revêtements, soit des remplissages. Cette première période de comblement du fossé correspond à un rejet anthropique assez massif, remanié ensuite par les processus pédogénétiques, notamment la dessiccation / humectation des argiles et la bioturbation. D'après les datations des archéologues, ce niveau remonterait à 1570+/- 30 ans BP.

Phase B de la séquence analysée : de 46 à 59 cm de profondeur, UMiS 3 et 4.

Dans cette phase de remplissage du fossé, représentée essentiellement par l'UMiS 4, la bioturbation est très peu développée, moins que dans l'unité sous-jacente. Ceci concorde avec l'aspect des charbons dont la taille importante et les caractères morphologiques peuvent indiquer un enfouissement assez rapide. L'abondance des agrégats brûlés révèle un rejet anthropique important, au même titre que la phase A. L'UMiS 3 formée de plusieurs graviers d'environ 1 à 2 cm de diamètre alignés sub-horizontalement, à la manière d'une *microstoneline*, semble fossiliser l'UMiS 4. A nouveau, l'activité biologique bien exprimée, indique que l'UMiS 3 correspond à une ancienne surface. Le fossé, à cette période de l'occupation du site, aurait eu un fonctionnement ouvert. Si l'on se réfère au profil précédent, le fait que vers 45 cm de profondeur le fossé ait pu fonctionner de manière ouverte, concorde avec l'UMiS 6 du profil MC87-1 (cf. *supra*) (**Figure 157**).

Phase C de la séquence analysée : de 30 à 46 cm de profondeur, UMiS 2.

L'impact anthropique, comme les niveaux sous-jacents, est principalement marqué par des agrégats brûlés et des charbons. Les rejets anthropiques massifs perdurent également pendant cette phase. La bioturbation importante (microagrégation de la masse fine) associée à une accumulation de résidus racinaires agencés sub-horizontalement à la limite supérieure marquent également un niveau de surface ancien.

Dernière phase de remplissage de la séquence analysée : de 18 à 30 cm de profondeur, UMiS 1.

Cette unité présente une microstructure globalement assez massive. Ceci, ainsi que la taille et la morphologie des charbons et des agrégats brûlés, témoignent d'un enfouissement assez rapide, ne laissant pas le temps à la bioturbation d'agir en surface. C'est ici qu'une plus grande diversité de restes anthropiques a été observée tels qu'un fragment de céramique, des microesquilles d'os, en plus des charbons et des agrégats brûlés toujours très abondants.

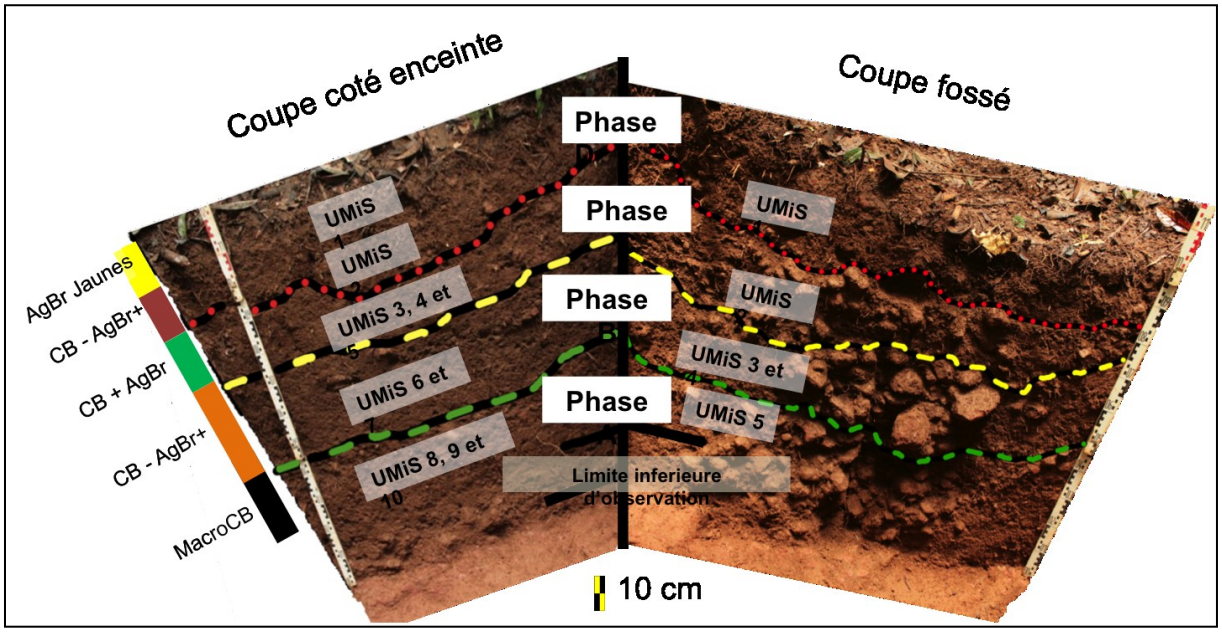
UMaS	Prof. (cm)		Hypothèses archéologiques (observations partie centrale) / datations (C^{14} charbons)	UMiS associées	Interprétations géoarchéologiques (observations sur le côté du remplissage vers le site)
	Partie centrale	Côté vers le site			
1	0-20		Horizon superficiel actuel		Non prélevé
2	20-70	20-30	Phase de comblement naturelle, postérieure à l'occupation ou contemporaine de l'abandon du site (quelques blocs de latérites, sans charbons)	1	Dernière phase de rejets anthropiques riche en restes de l'occupation : charbons, agrégats brûlés, céramique, microesquille d'os. Enfouissement assez rapide.
		30-46		2	Phase C : rejets anthropiques qui perdurent. Ancien niveau de surface marqué par une accumulation de racines.
		46-60		3 et 4	Phase B : rejet anthropique massif, dont la limite supérieure correspond à l'UMiS 3 (*pseudo microstoneline*). Recouvrement assez rapide.
3	70-120	60-80	Phase de comblement du fossé : aménagement anthropique avec de gros blocs de latérites en partie centrale du fossé, charbons et tessons de céramiques : **1570+/- 30 BP.**	5	Phase A : rejet anthropique massif . Fonctionnement assez ouvert du fossé – surface ancienne.
4	Non observé	80-120	Partie basale du comblement du fossé dont la mise en place serait juste postérieure au creusement du fossé : **1225 +/- 30 BP.**	Non prélevé	RAS
5	120 - …		Fond du fossé : substrat en place, altérites entaillées lors du creusement du fossé.	Non prélevé	RAS

Légende : sur fond rose pâle = partie du fossé observée dans ce travail ; en rose foncé = partie centrale du fossé décrite par les archéologues sur le terrain ; sur fond blanc = niveaux non prélevés et non observés dans ce travail.

Tableau 98 : Unités de terrain et hypothèses archéologiques mises en regard des résultats micromorphologiques et interprétations du fonctionnement du fossé.

II.6.3. Mise en regard des deux profils étudiés dans le remplissage du fossé de la MC 87 : MC87-1 et MC87-2

Comme précisé précédemment, ces deux séquences de remplissage du fossé présentent des similitudes, en terme de microstructure, de constituants et sur les emplacements d'anciennes surfaces (**Figure 157**). Leur observation conjointe a permis de mettre en évidence que le remplissage du fossé de la MC 87 correspond à un sol cumulique, qui s'est constitué par apports successifs et rythmés en quatre phases principales. Il est marqué par la présence d'anciennes surfaces, qui témoigneraient d'un fonctionnement différentiel du fossé : alternance entre des phases de rejets massifs riches en restes anthropiques (charbons et agrégats brûlés), et des phases de non utilisation du fossé, où il est resté ouvert laissant la bioturbation et le lessivage des sols s'exprimer. Ceci n'a pas valeur de généralités pour tout le fossé ceinturant le site MC 87, et est valable uniquement à l'endroit observé dans ce travail, c'est-à-dire à quelques mètres de la levée de terre marquant l'entrée du site.



Légende : AgBr Jaunes = agrégats brûlés jaunes prédominants ; CB = charbons ; AgBr = agrégats brûlés des 3 types ; « + » = abondant ; «- « = en moindre quantité qu'au-dessus.

Figure 157 : Mise en regard des UMiS dans les profils MC87-1 et MC87-2 dans le remplissage du fossé.

De plus, l'aspect massif fissural sans organisation préférentielle observé dans les phases de remplissage riches en rejets anthropiques ne serait pas en faveur de zones de piétinement. Il est alors fort peu probable que les populations anciennes se soient déplacées directement sur le fossé. Cela vient favoriser l'hypothèse des archéologues que la levée de

terre proche des prélèvements a été construite afin de franchir le fossé, et forme l'entrée du site (cf. *supra*).

Lors de la première phase A, les populations auraient brûlé assez massivement la végétation dans l'enceinte du site afin, par exemple, d'ouvrir leur milieu. Ils auraient ensuite gratté les produits de la combustion pour nettoyer / aplanir le terrain au moment de leur installation, puis auraient rejeté ces résidus dans le creusement du fossé.
Lors de la seconde phase B, les rejets marquent une intensification des combustions de surface par des brûlis successifs, peut-être en lien avec une intensification de l'occupation. Une phase de bioturbation bien marquée, sépare les deux ensembles des phases B et C, aux caractères structuraux différents dans le profil 1. Ceci révèle une pause dans l'accumulation qui aurait pu être assez longue. Elle se retrouve dans les deux séquences : haut de l'UMiS 6 dans MC87-1, vers 40 cm de profondeur, et UMiS 3 en elle-même dans MC87-2, vers 45 cm de profondeur (**Figure 157 – pointillés jaunes**). Cette limite s'observe également dans l'évolution de certains paramètres physico-chimiques, analysés dans MC87-1 (cf. *supra*).
La phase C, correspond à une reprise des rejets dans cet endroit du fossé qui peut avoir deux origines : (i) une reprise de l'occupation après un abandon momentané ; (ii) un changement dans la gestion et la localisation des zones d'accumulation des déchets, associés éventuellement à un déplacement de la zone d'occupation dans l'enceinte. Par exemple, l'observation des deux profils juxtaposés dans l'enceinte du site MC87-3 et MC87-4 démontre que les populations précolombiennes ont intentionnellement géré leur espace de manière différentielle, en nettoyant les déchets accumulés en surface à l'emplacement du profil MC87-3.
Enfin, la dernière phase de comblement du fossé, la D, correspond à la continuité de ces rejets anthropiques, et probablement à la dernière avant l'abandon du site.
Ainsi, il est possible d'imaginer que la partie supérieure du profil MC87-3 de l'enceinte qui a été tronquée par les activités humaines anciennes, a pu se retrouver finalement rejeté dans le remplissage du fossé. Le fossé est alors le dernier espace où les résidus du nettoyage des sols de l'enceinte sont accumulés puis piégés.

L'enceinte du site MC87 mesure environ 1 hectare et à la différence des sites de Pointe Morne et Pointe Blondin qui ont été fouillés (Mestre & Hilderand 2011 ; Mestre 2012), ici les données de l'archéologie ne permettent pas, actuellement, de définir l'extension de l'occupation dans l'enceinte : était elle entièrement investie ? Existait-il un ou plusieurs noyaux ? Dans ce cas, ceux-ci se sont-ils déplacés au cours du temps ? Une fouille du site

dans et autour de l'enceinte, aurait été nécessaire pour étayer l'une ou l'autre de ces hypothèses.

Toutefois, selon les données de l'archéologie, il semblerait que l'époque où ce site a été occupé corresponde à un moment où la démographie a augmenté, les deux grands bassins fluviaux amazoniens étant densément peuplés dès le début de notre ère (Rostain 2007). De plus, la volonté de s'installer sur un sommet de colline aussi spacieux et de prendre le temps et la force de nombreux hommes pour creuser un important fossé tout autour de ce sommet témoigne, selon nous, d'une réelle volonté de protection de la zone occupée, favorisant l'idée que de nombreuses personnes devaient occuper cette zone. L'existence de ces sites à fossé peut arriver lors d'une période d'instabilité dans les Guyanes, en lien avec une pression démographique accrue, et/ou des modifications environnementales, aussi bien que pour protéger une zone d'habitat des animaux présents en forêt comme les jaguars par exemple. La première hypothèse nous semble la plus probable, étant donné que de nombreuses chroniques des premiers colons, ainsi que la tradition orale Wayampi, révèlent l'aspect défensif associé à une palissade de ces sites (Erickson 2010 ; Mestre 2010).

II.6.4. Remplissage du fossé de la MC 88 : MC88-6

Dans le remplissage du fossé de la MC 88, six UMiS regroupées également en quatre phases principales ont été définies. Elles sont décrites du bas vers le haut, dans l'ordre de dépôt (**Annexe 1 – Planche 33**).

Phase 1 : de 59 à 88 cm de profondeur, UMiS 4, 5 et 6.

Ce niveau s'étend sur près de 25 centimètres d'épaisseur. Le fond du fossé (UMiS 6) présente une microagrégation qui témoigne d'un remaniement biologique de type enchytraeides. Les formes des déjections (mamelonnées et tassées) indiquent un phénomène ancien. Cela suggère que le fond du fossé est resté ouvert quelques temps avant un recouvrement rapide par l'UMiS 5.

Comme dans le fossé de la MC87, les pédo/lithoreliques sont abondantes dans le fond du fossé, du fait de la proximité avec le substrat induré et altéré, entaillé lors du creusement du fossé, selon les observations des archéologues sur le terrain.

Les UMiS 4 et 5 présentent un aspect plus massif qui résulte d'un apport rapide et d'épisodes d'engorgement des sols. La limite supérieure de l'UMiS 4 est marquée par une augmentation drastique de la bioturbation de type enchytraeides matérialisant un fonctionnement de sub-surface à ce niveau de remplissage. Les fréquents revêtements argileux visibles dans l'UMiS 4 traduirait un lessivage des sols favorisé ici par la présence

des cendres associées au manque de couverture végétale sus-jacente et à la proximité de la surface.
Très peu de restes anthropiques ont été observés dans ce niveau. La plupart des charbons sont finement fragmentés et distribués dans la matrice. Les macrocharbons sont rares et les agrégats brûlés, essentiellement des agrégats rouges, sont épars dans le remplissage. Ceci pourrait souligner un apport colluvial plutôt qu'un rejet intentionnel à la différence du fossé de la MC 87. Il est également possible, qu'ici, ces caractères marquent des rejets anthropiques intentionnels nettement moins importants que dans le fossé de la MC 87. Les activités humaines qui ont eu lieu sur ce site MC 88 auraient ainsi pu nécessiter des combustions moins massives de la végétation, ne correspondant alors pas à une ouverture du milieu drastique pour l'installation, mais plutôt à des défrichements d'une basse végétation.

L'hypothèse d'un rejet charbonneux plus ancien et donc plus évolué que dans le fond du fossé de la MC 87, entrainant davantage de fragmentation et de dispersion des matériaux par l'activité biologique peut être posée. Toutefois, les datations des deux fossés MC 87 et MC 88 sont assez « proches » dans le temps, d'un siècle environ, autour de 1225 ans BP pour la MC87 et autour de 1355 ans BP pour la MC88. Ces datations sont à considérer avec prudence car selon les archéologues, il se pourrait fortement que ces deux fossés aient fonctionné de manière synchrone (M. Mestre com. pers.). Ainsi, le fait d'observer, après plusieurs siècles d'abandon des sites, les rejets massifs du fossé de la MC 87, avec des macrocharbons bien structurés, et de ne pas en observer dans le remplissage de la MC 88 met en relief des activités humaines différentes pratiquées sur ces sites.
Les analyses granulométriques indiquent que les sédiments ont une fraction sableuse plus importante dans ce niveau. Ceci pourrait, éventuellement, être mis en relation avec une succession d'anciens niveaux de surfaces, dans lesquels le ruissellement, par érosion différentielle, aurait entraîné la fraction fine, et concentré, ainsi, la fraction plus grossière. Sur le plan chimique, le calcium échangeable et total, associés au magnésium échangeable, présentent des augmentations dans le bas du fossé, en lien probablement avec le rejet massif de charbons dans l'horizon supérieur (UMiS 2). Ces éléments chimiques qui seraient liés à la dissolution des cendres, auraient pu se concentrer par lixiviation dans le bas du profil.

Phase 2 : de 34 à 59 cm de profondeur, UMiS 3.
La concentration en charbons augmente légèrement par rapport aux sols sous-jacents, alors que les agrégats brûlés restent constants, et toujours principalement des agrégats

rouges. Les agrégats brûlés ont ici, pour la plupart, été ingérés par la faune du sol, formant des « microboulettes de sédiments brûlés » réincorporées ensuite à la matrice. Sur presque toute son épaisseur, ce niveau contient des pédo/lithoreliques en abondance. Ceci vient confirmer le fait que cette seconde phase de remplissage du fossé a du se faire via le colluvionnement, les pédo/lithoreliques étant des éléments plus lourds, auraient glissé le long des parois du fossé, entrainant des sédiments plus fins avec eux, ainsi que quelques charbons. Le fait que cette phase s'étende sur 30 cm d'épaisseur et que les charbons soient assez homogénéisés dans l'épaisseur témoignent d'apports successifs, remaniés assez régulièrement par la bioturbation, en lien avec l'idée d'un colluvionnement et d'un fonctionnement ouvert du fossé. En terme de physico-chimie, cet horizon contient les réminiscences des fortes concentrations de l'horizon supérieur d'accumulation anthropique.

Phase 3 : rejet anthropique massif – de 18 à 34 cm de profondeur, UMiS 2.

Ce niveau correspond à la zone la plus riche en charbons et en agrégats brûlés de la séquence. La matrice est assez massive à agrégée, très riche en particules charbonneuses. Certains agrégats brûlés, dont la taille est supérieure à 1 cm et la forme sub-arrondie, mammelonnée, indique qu'il s'agit d'anciennes déjections de *P. corethrurus* brûlées (J-F Ponge com. pers.). Il y aurait alors, dans ce niveau, un amas de déjections brûlées de ce type, non remaniées par les enchytraeides (**Annexe 1 - Planche 33)**. La présence de ce géophage est liée aux activités de brûlis, pratiquées sur les sols tropicaux (Ponge & Topoliantz 2006; Topoliantz et al. 2006). Ainsi, ces agrégats biologiques brûlés indiquent que cette espèce était active en surface dans l'enceinte pendant l'occupation par les populations amérindiennes anciennes. Leur présence suggèrerait, alors, une alternance de brûlis successifs durant lesquels *P. corethrurus* serait venu coloniser le site occupé.

D'autre part, parmi les nombreux agrégats brûlés, certains sont plus noirs à leur périphérie, témoignant d'effets de surface indiquant que l'agrégat a été chauffé sur toutes ses faces (**Annexe 1 - Planche 24 : L**). Ceci démontre que certaines chauffes ont été postérieures au grattage du sol, ce dernier étant lui-même à l'origine de la formation de ces agrégats. Enfin, dans plusieurs charbons apparaissent des revêtements argileux jaunes, possiblement favorisé par un enrichissement en cendres carbonatées (Huisman et al. 2012). Ce niveau correspond à un rejet massif de restes brûlés. Le fait de ne pas trouver de revêtements microlaminés sous l'UMiS 2 peut appuyer l'hypothèse d'un enfouissement rapide, ne laissant pas le temps au lessivage de les produire.

D'un point de vu physico-chimique, ce rejet est très bien marqué par une augmentation corrélée de la majorité des paramètres mesurés. Phosphore et calcium total, ainsi que P ass peuvent marquer des rejets de nourriture, riches en apatite de type os (Oonk et al. 2009). L'analyse MEB a permis de mettre en évidence que les agrégats brûlés présents dans ce fossé contiennent essentiellement du phosphore. Trouvés en position secondaire, ce rejet de charbons et d'agrégats brûlés pourrait alors marquer un nettoyage important d'une zone domestique, où la nourriture a été consommée. Ce niveau daterait de 810 +/- 25 ans BP (Hildebrand et al. en préparation).

L'analyse anthracologique a permis de mettre en évidence que les charbons présents dans ce niveau appartiennent majoritairement au genre *Tapirira* (Annexe 10). Comme précisé précédemment, trois espèces de ce genre ont été recensées sur le territoire guyanais, à savoir *T. guianensis, T. bethanniana* et *T. obtusa* (Molino et al. 2009). Or, les observations botaniques réalisées par D. Sabatier et J-F. Molino sur la MC87, dans le cadre du programme Couac, ont mis en évidence la présence de trois arbres appartenant au genre Tapirira, dont deux de l'espèce T. *guianensis* (D. Sabatier & J-F Molino com. pers.- Annexe 4). Il est intéressant de préciser que c'est cette espèce qui est la plus commune en Guyane, héliophile typique des végétations de forêts secondaires qui peut également se trouver en recrû dans les forêts matures (D. Sabatier com. pers.). Elle correspond au Mombin sauvage et ses fruits sont comestibles (**Figure 158**).



Figure 158 : Fruits et feuilles de Tapirira *guianensis* (source : R Pérez - http://biogeodb.stri.si.edu/).

L'espèce T. *bethanniana* est une espèce que l'on retrouve principalement dans les forêts dites matures, qu'il serait tout à fait possible de trouver sur les montagnes couronnées à l'heure actuelle (D. Sabatier com. pers.). Néanmoins, il semble qu'elle soit un peu moins

fréquente que les deux autres sur le territoire guyanais (J-F Molino com. pers.). Même si cette espèce n'a pas été observée de nos jours, cela ne veut pas dire qu'elle n'était pas présente lors de l'occupation des sites archéologiques MC 87 & 88.
En revanche, T. *obtusa* est une espèce inféodée aux sols hydromorphes qui a peu de chance d'être trouvée sur les collines des MC87 & 88. Elle se retrouve plus probablement en bordure de crique en contrebas des sites (D. Sabatier com. pers.).

Ainsi, les charbons rejetés dans le remplissage du fossé de la MC 88 peuvent *a priori* appartenir soit aux espèces T. *bethanniana*, et *guianensis*, s'ils proviennent d'arbres présents directement sur les sites ou à proximité, en haut des collines. Ils peuvent également provenir de l'espèce Tapirira *obtusa* s'ils correspondent à des charbons d'arbres situés en contrebas des collines des sites archéologiques dans les zones plus hydromorphes. Il serait plus probable que les arbres qui ont été coupés puis brûlés, dont les vestiges charbonneux sont retrouvés actuellement dans le remplissage du fossé de la MC 88, proviennent du sommet des collines, dans l'enceinte du site ou à proximité immédiate, facilitant le transport des arbres par les populations anciennes. Ces charbons correspondraient, selon nos observations, à des vestiges de nettoyage d'une zone domestique, de type foyer par exemple.

Niveau de sub-surface : de 5 à 18 cm de profondeur, UMiS 1.
Au-dessus de ce rejet anthropique massif, l'UMiS 1 correspond à un niveau marqué à la fois par une continuité des apports antropiques (charbons et agrégats) et par la pédogenèse actuelle. La matrice est assez massive, avec quelques fissures, plusieurs racines fraiches apparaissent et quelques chenaux de bioturbation liés aux passages d'enchytraeides y sont visibles. Les plages massives conservent des traits qui évoquent une croûte de surface formée de déjections effondrées de *P. corethrurus* (J-F Ponge com. pers.). Ceci révèle la prolifération de ce vers de terre endogé, cette fois-ci dans un milieu ouvert, moins riche en matières organiques. Les charbons, bien que toujours présents, ont nettement diminué par rapport à l'UMiS 2, et les agrégats brûlés sont assez rares, comme dans le bas du remplissage, sous l'UMiS 2. Leur aspect témoigne à nouveau d'un apport plutôt par colluvionnement que par volonté d'un rejet intentionnel dans le fossé. D'un point de vue physico-chimique, ce niveau ne présente pas les caractéristiques de sub-surface d'un Ferralsol, à la différence des autres profils analysés (carbone organique et réserves nutritives plus concentrés à la surface). Ce phénomène est à relier aux très fortes concentrations qui ont été enregistrées par les sols de l'UMiS 2 inférieure très riche en rejets anthropiques et en marqueurs physico-chimiques.

Finalement, le remplissage de ce fossé révèle trois périodes de remplissages du fossé (**Tableau 99**). La première, phase 1 et 2, étant assez peu marquée en terme de restes anthropiques, a favorisé un comblement lent et ouvert du fossé par des matériaux qui ont pu tomber de l'enceinte et dériver des parois du fossé (pédo/lithoreliques, charbons fragmentés, agrégats brûlés), avec néanmoins une certaine rythmicité des apports marquée par d'anciens niveaux de surface. La seconde, phase 3, témoigne d'un d'apport massif des rejets anthropiques, en lien avec une volonté de nettoyer l'espace de l'enceinte du site, *a priori* un espace dédié à un ou plusieurs foyer(s) domestique(s). La dernière, phase 4, correspond à des colluvionnements, comme dans les phases 1 et 2.

<table>
<tr><th>UMaS</th><th>Prof. (cm)</th><th>Hypothèses archéologiques/datations</th><th>Prof. (cm)</th><th>UMiS associées</th><th>Interprétations</th></tr>
<tr><td>1</td><td>0-10</td><td>Horizon superficiel actuel</td><td rowspan="2">5-16</td><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2">Phase 4, sub-surface actuelle : continuité des apports antropiques (charbons, agrégats) par colluvions et fonctionnement de la pédogenèse actuelle.</td></tr>
<tr><td>2</td><td>10-20</td><td>Phase de remplissage du fossé</td></tr>
<tr><td>3</td><td>20-30</td><td>Horizon charbonneux : 810 +/- 25 BP.</td><td>16-33</td><td>2</td><td>Phase 3 : rejets anthropiques massifs
⇨ nettoyage d'une zone domestique (foyer ?) où la nourriture a été consommée.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">4</td><td rowspan="2">30-90</td><td rowspan="2">Phase de remplissage du fossé</td><td>33-59</td><td>3</td><td>Phase 2 : colluvionnements, recouvrements lents, milieu plutôt ouvert.</td></tr>
<tr><td>59-88</td><td>4,5 et 6</td><td>Phase 1 : fond du fossé d'abord ouvert, engorgé, puis enfouissement par colluvionnement.</td></tr>
<tr><td>5</td><td>90-110</td><td>Fond du fossé : substrat en place, altérites entaillées lors du creusement du fossé : 1355 +/- 30 BP.</td><td colspan="2">Non prélevé</td><td>Non observé</td></tr>
</table>

Tableau 99 : Unités de terrain et hypothèses archéologiques mises en regard des résultats micromorphologiques et interprétations du remplissage du fossé de la MC 88.

En terme de rythme d'accumulation dans le temps, d'après les datations, entre les deux périodes de remplissage du fossé, environ 600 ans se sont écoulés, avec une accumulation d'environ 65 cm. Ramené à 100 ans, ce comblement sédimentaire revient à environ 10 cm. Ce rythme semble réaliste si l'on considère uniquement les phases de colluvionnements

essentiellement naturelles qui viennent combler le fossé très lentement dans le temps. En revanche dès lors qu'il y a rejets anthropiques volontaires, cette accrétion sédimentaire est plus importante (UMiS2). Pour avoir une meilleure vision du rythme d'accumulation purement anthropique, des datations plus systématiques et nombreuses dans le remplissage du fossé auraient été nécessaires.

II.7. Confrontation des résultats physico-chimiques obtenus dans ce travail avec les données Couac

La réalisation d'une ACP prenant en compte les données Couac avec le profil naturel de Saut-Lavillette, ainsi que cinq échantillons de surface de la MC 88, permet d'interpréter les résultats obtenus dans ce travail, en les confrontant à un corpus différent tout en les comparant à un profil naturel de référence.

Dans cette ACP 39 individus sont considérés pour 14 variables physico-chimiques (**Tableau 100 et Annexe 5 : 5**). Les cinq échantillons en bleus correspondent au profil naturel de Saut Lavillette. Les cinq échantillons de surface de la MC 88 de Couac, ont été ajoutés aux échantillons de surface des MC 87 et 88 obtenus dans ce travail. Les comptages micromorphologiques ne sont ici plus pris en compte, puisqu'ils n'ont pas été réalisés sur les échantillons Couac.

L'inertie cumulée des axes, indique que dès le 3ème axe, 83% de l'information de cette analyse est donnée (Annexe 5 : 5 - Inertie cumulée**).** Ainsi, les plans 1-2 et 2-3 seront suffisants pour tirer le maximum d'informations de cette ACP.
L'axe 1, horizontal, fourni 51% de l'information, et l'axe 2, vertical, 19% en plus, soit 70% de l'information totale donnée selon cette représentation (**Figure 159**). L'ajout des individus de Couac ne modifie pas la distribution des variables qui est sensiblement la même que dans les ACP des MC87 et 88 présentées dans les résultats (cf. Partie III). En effet, les variables qui étaient corrélées le restent, et celles opposées le sont également. Les variables les mieux corrélées positivement à l'axe 1, sont les mêmes que dans l'ACP MC 87 & 88, à savoir CEC, K, Al et Corg (Annexe 5 : 5 - Corrélations des variables-C1 gras). En revanche, puisque les comptages micromorphologiques ne sont plus utilisés dans cette ACP, c'est la variable Na qui est positivement corrélée à l'axe 2, opposée au C/N (Annexe 5 : 5 - Corrélations des variables-C2 gras).

Site-Profil	UMaS	Prof. moy. (cm)	Horizons	N° individus
MC 87-1	1-1	5	Sub-surface anthropique	1
MC 87-1	1-2	15		2
MC 87-1	1-3	30		3
MC 87-1	1-4	45	Fossé	4
MC 87-1	1-5	60		5
MC 87-1	1-6	75		6
MC 87-1	1-7	90		7
MC 88-6	6-1	10		8
MC 88-6	6-2	25		9
MC 88-6	6-3	45	Fossé	10
MC 88-6	6-4	60		11
MC 88-6	6-5	80		12
MC 87-3	3-1	3	Sub-surface anthropique	13
MC 87-3	3-2	8		14
MC 87-3	3-3	13	Horizon argileux	15
MC 87-3	3-4	18		16
MC 87-3	3-5	23		17
MC 87-3	3-6	28		18
MC 87-4	4-1	3	Sub-surface anthropique	19
MC 87-4	4-2	8		20
MC 87-4	4-3	13		21
MC 87-4	4-4	18	Anthroposol	22
MC 87-4	4-5	23		23
MC 87-4	4-6	28		24
MC 87-4	4-7	33		25
MC 87-4	4-8	38	Horizon argileux	26
MC 87-5	5-1	10	Sub-surface anthropique	27
MC 87-5	5-2	25		28
MC 87-5	5-3	40	MC87-5	29
MC 88	S1	10	Sub-surface anthropique	30
MC 88	S2	10		31
MC 88	S3	10		32
MC 88	S4	10		33
MC 88	S5	10		34
Saut-Lavillette	SL6	15	Sub-surface naturel	35
Saut-Lavillette	SL7	15		36
Saut-Lavillette	SL8	15		37
Saut-Lavillette	SL9	15		38
Saut-Lavillette	SL10	15		39

Légende : Chaque individu correspondant à un échantillon prélevé sur le terrain, il est défini ici par son numéro d'UMaS et sa profondeur moyenne.

Tableau 100 : Récapitulatif des individus considérés,

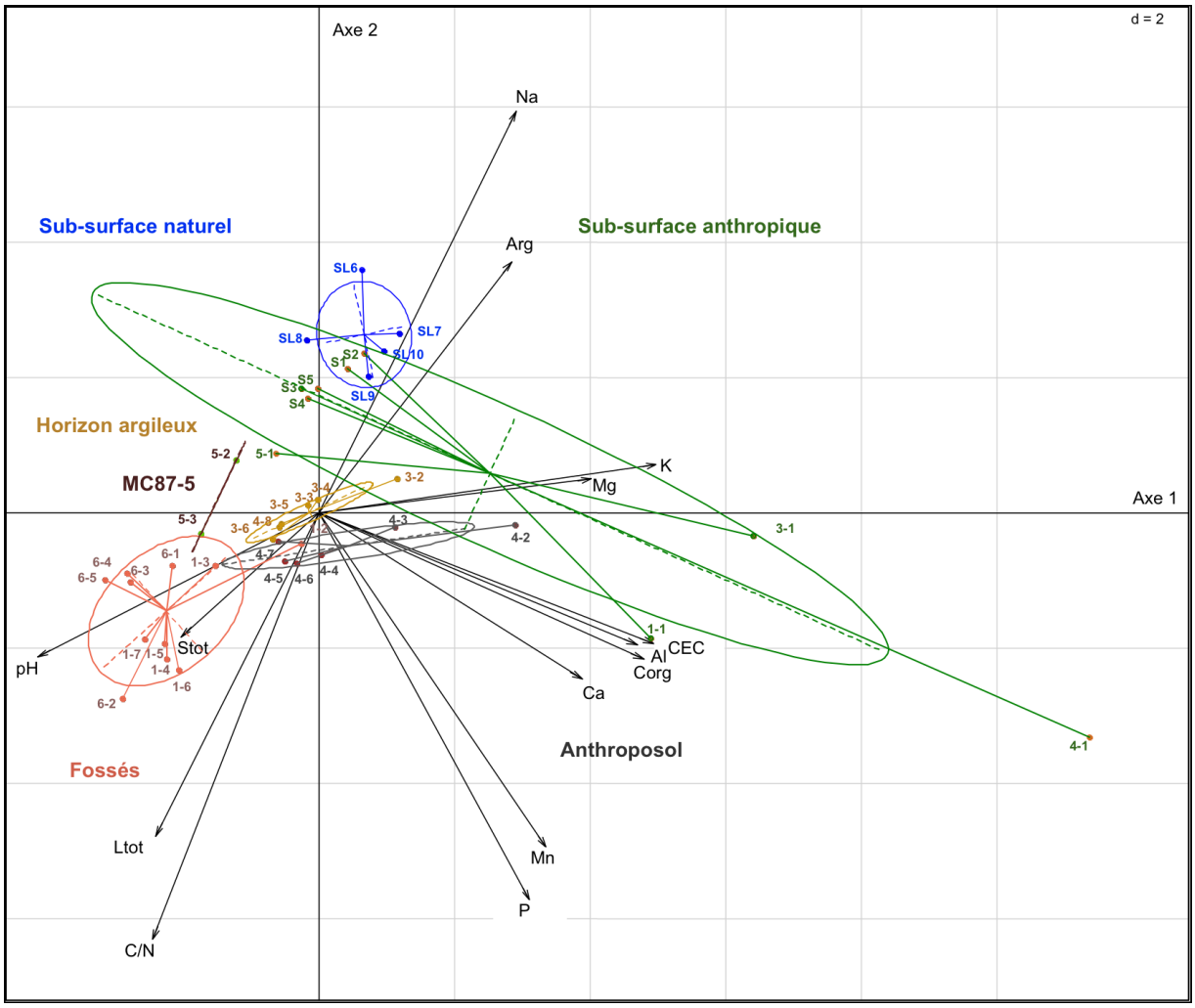


Figure 159 : ACP représentant les données des MC 87 & 88 et leur homologue naturel, selon les plans 1-2.

On peut voir dans cette ACP comment les individus du référentiel naturel (en bleu) viennent s'insérer parmi les profils anthropiques analysés. En effet, les individus de Saut-Lavillette sont assez regroupés, proches des individus Couac de la MC 88, attribués à l'horizon « Sub-surface anthropique ». Tous ces individus sont proches de l'axe vertical 2, vers le haut, caractérisés essentiellement par le sodium et la fraction argileuse. Ils s'opposent très nettement aux individus « Anthroposol » et « Fossés », ce qui concorde bien avec les observations précédentes. Le fait que les individus Couac de surface de la MC 88 soient proches de ceux de Saut-Lavillette est en lien avec le fait qu'il s'agit dans les deux cas des mêmes méthodes de prélèvements de sol, entre 0 et 20 cm de profondeur, sous la forme d'échantillons composites, favorisant l'homogénéisation des paramètres physico-chimiques considérés. Ils sont de plus, opposés aux trois échantillons de surface considérés dans les profils anthropisés de la MC 87 (1-1, 3-1 et 4-1) et par la même, opposés aux variables typiques des horizons de surface que sont la CEC associée au carbone

organique. Cela vient du fait que la surface considérée dans le cas des échantillons anthropiques 1-1, 3-1 et 4-1 correspond aux 10 premiers centimètres du profil, alors que pour les profils de Couac, la surface correspond aux 20 premiers centimètres.

L'axe 3, vertical, apporte 13% de l'information en plus des deux axes précédents (**Figure 160**). L'individu SL6 contribue positivement à former l'axe 2, et l'individu 4-1 y contribue négativement (Annexe 5 : 5 - Contribution des individus-Ax2 gras**)**. Le premier est également bien représenté selon cet axe, alors que le second ne l'est que très peu. Les individus SL7 et SL8 sont assez bien représentés selon l'axe 2 **(**Annexe 5 : 5 - Qualité de représentation des individus-Ax2 gras). À nouveau, l'axe 3 vient ici former une discrimination granulométrique entre les individus, positivement corrélé aux argiles, et négativement aux sables (Annexe 5 : 5 - Corrélation des variables-C3 gras).

Il est intéressant de considérer que lorsque les variables « agrégats brûlés » et « charbons » ne sont plus utilisées pour réaliser l'ACP, alors les entités « Anthroposol » et «Horizon argileux» se rejoignent, selon l'axe vertical 3 vers le pôle argileux. Cela vient indiquer que les seuls paramètres physico-chimiques ne reflètent pas correctement la pression anthropique que le sol a connue. En cela, les comptages micromorphologiques viennent ainsi apporter une importante information complémentaire. D'autre part, les trois individus anthropisés de notre étude (1-1, 3-1 et 4-1) appartenant à l'horizon « Sub-surface anthropique », ainsi que les individus « Fossés » sont, positivement corrélés aux variables C/N, limons totaux, phosphore et manganèse, négativement corrélées à l'axe 2 (Annexe 5 : 5 - Corrélation des variables-C2 gras). À l'opposé, les individus Couac, de Saut Lavillette et de la « Surface » de la MC 88 sont proches, bien corrélés positivement à l'axe 2, caractérisés essentiellement par le sodium.

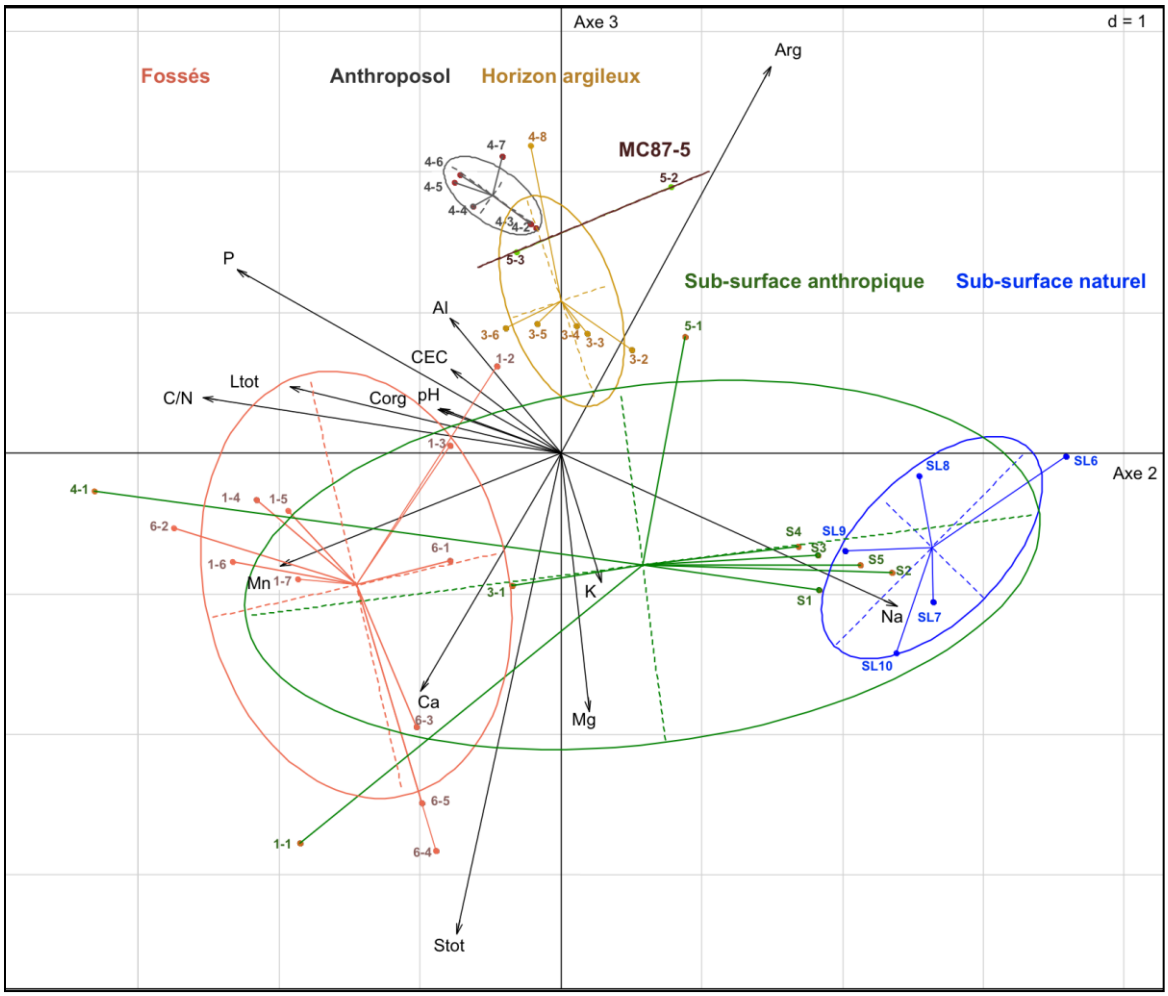


Figure 160 : ACP représentant les données des MC 87 & 88 et leur homologue naturel, selon les axes 2-3.

Finalement, l'hétérogénéité des données laisse tout de même apparaître des différences entre les profils de sol anciennement anthropisés d'une part, et les sols naturels, d'autre part, dans un même contexte biophysique. Le choix de décliner les échantillons par horizon a permis une vision plus globale de l'analyse. Néanmoins, il est nécessaire d'être prudent avec les « fausses » informations incluses dans les données de base de l'ACP. En effet, les individus de « MC 88 Couac » ne correspondent pas à des individus de surface à proprement parlé (V. Freycon com. pers.). Cela souligne un biais méthodologique, qui met en évidence la difficulté de comparer entre elles des données provenant notamment de méthodes de prélèvements différentes.

Selon ces ACP, il ressort généralement que l'anthroposol, soit le profil 4 de la MC 87, est opposé aux échantillons de surface. En revanche, il est souvent assez proche de « l'Horizon argileux », soit du profil 3, ayant comme point commun d'être défini par le pôle de la fraction argileuse des sédiments. L'anthroposol se distingue tout de même du profil 3 du

fait de son affinité avec certains paramètres physico-chimiques plus particulièrement liés à l'anthropisation comme le phosphore, le calcium, le carbone organique. Cela est en accord avec les observations précédentes témoignant que MC87-4 est plus riche, en terme de propriétés physico-chimiques, que MC87-3.

D'autre part, les échantillons des fossés sont assez disparates entre ceux de la MC 87 et 88, ce qui vient à nouveau confirmer les résultats précédents selon lesquels le fossé de la MC 87 serait plus marqué par l'anthropisation que le fossé de la MC 88 (sauf pour l'échantillon du niveau charbonneux, 6-2). En effet, les échantillons du fossé de la MC 87 sont plus généralement du même côté que « l'Anthroposol », attirés par les paramètres plus fortement liés à l'anthropisation des sols.

Enfin, le recours à l'ACP s'est révélé utile dans le cas du profil 5, pour lequel il était assez difficile de ranger les échantillons dans un horizon donné. L'analyse statistique est venue apporter une classification objective des échantillons selon les propriétés physico-chimiques utilisées, permettant un rapprochement possible de MC87-5 avec les « Horizons argileux » et « Fossés », confirmant le fait que ce profil correspond à des sols très peu riches en rejets anthropiques, avec des propriétés plus proches d'un sol profond argileux, provenant en partie du creusement du fossé.

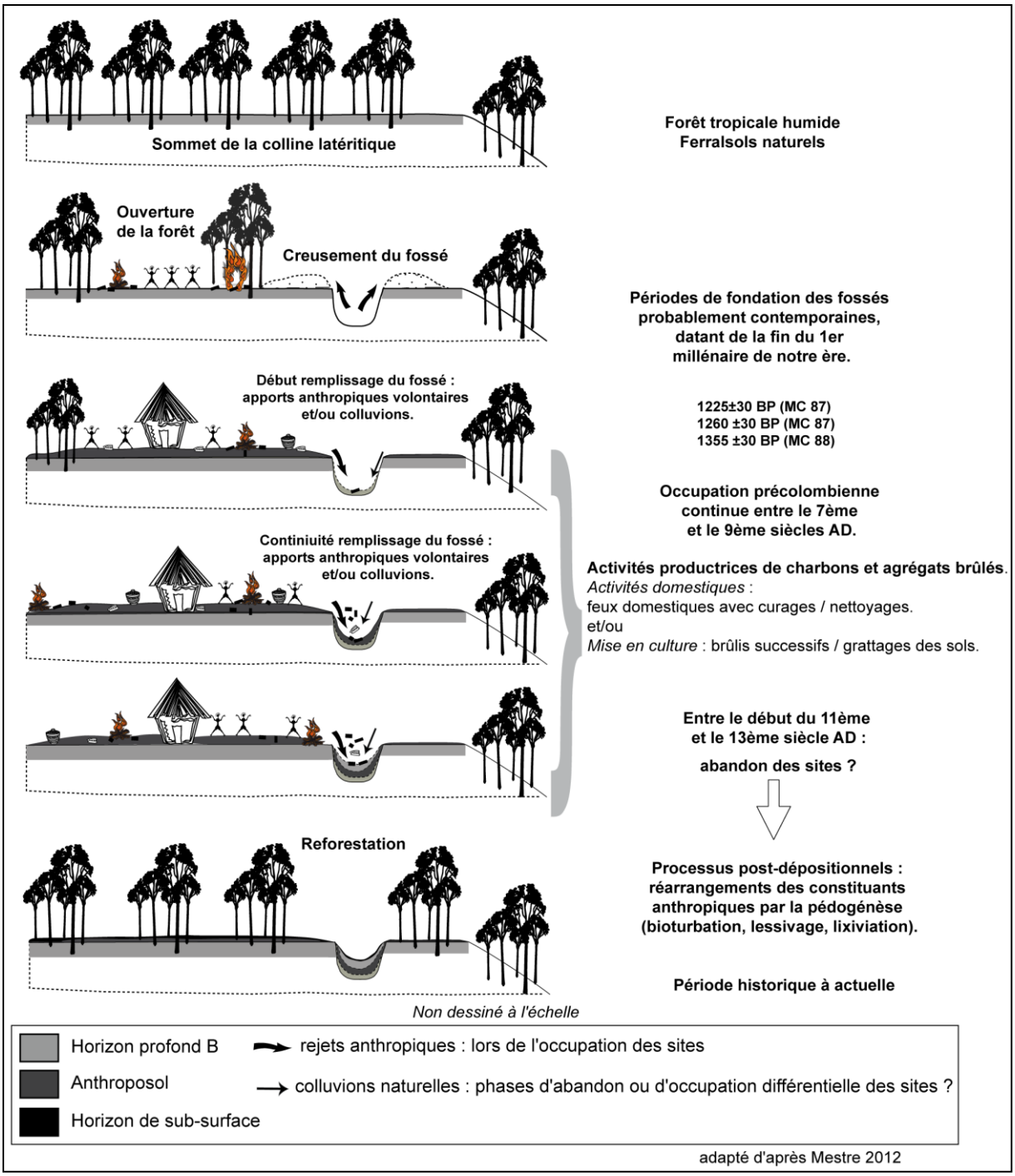


Figure 161 : Schéma synthétique de la chronologie des évènements ayant contribué à la formation des sols et des fossés dans les montagnes couronnées 87 & 88.

II.8.Remplissage des fossés de Yaou

Le site de Yaou appartient à la période de l'*ECA*, au même titre que Chemin Saint-Louis et Balaté (van den Bel 2015).

L'étude du remplissage des deux fossés reconnus sur ce site vient apporter des informations supplémentaires sur leur rôle, tout en complétant le référentiel des montagnes couronnées 87 & 88. Ceci permet d'investiguer plus largement l'origine de ces sites fossoyés sur le territoire guyanais.

II.8.1. Fossé 0

Les observations micromorphologiques réalisées sur les sédiments du remplissage du fossé 0 de Yaou, ont conduit à regrouper les huit UMiS discriminées en lames minces en trois phases principales (**Tableau 101 et Annexe 1 – Planche 35**). Elles sont décrites dans l'ordre de dépôt des sédiments.

Phase 1 : de 92 à 140 cm de profondeur, UMiS 4 à 8.

Ces unités présentent des ressemblances par l'aspect globalement massif de leur microstructure. Celle-ci peut être induite par plusieurs phénomènes : (i) l'état d'humidité des sédiments au moment de leur mise en place et après (traits d'hydromorphie) ; (ii) une accumulation rapide des sédiments, qui empêche leur agrégation par l'action de la bioturbation. De nombreux indices présents dans le fond du fossé (UMiS 8) témoignent de phénomènes d'engorgement des sédiments. Le fossé aurait alors fonctionné dans des conditions humides : l'aspect massif des sédiments, associé à des traits rédoxiques (végétaux avec un liseré rouge), à des pédoreliques qui sont pratiquement éteintes et uniformément colorées, avec pour certaines, un cortex qui commence à se former comprenant un nucléus central éteint (**Annexe 1 - Planche 19 : M et M'**) (E. Fritsch com. pers.), ainsi que des indurations du sol, formant des nodules plus rouges que la matrice environnante.

L'abondance et la nature des revêtements (microlaminés et empoussiérés) observés montrent un phénomène de lessivage important. L'augmentation des charbons à la limite supérieure de l'UMiS 8 suggère aussi la présence de cendres qui aurait favorisé l'augmentation du pH et le lessivage des argiles. D'un point de vue physico-chimique, cet apport ancien de cendres se note par de légères augmentations du calcium, du manganèse et du sodium échangeables.

La préservation du litage des macrocharbons indique un enfouissement rapide, car l'activité biologique n'a pas eu le temps de les fragmenter et de les disperser dans les sédiments. La rapidité du recouvrement et l'intensité du lessivage peuvent suggérer que les rejets anthropiques ont eu lieu en période de saison des pluies. Ces caractères pourraient alors constituer un indice de saisonnalité.
Comme pour la MC 87, les macrocharbons localisés au fond du fossé peuvent témoigner de l'arrivée des populations précolombiennes et de l'ouverture du milieu par le feu. Les UMiS 6 et 7 présentent quelques agrégats brûlés rouges essentiellement, témoignant de combustion de sols de surface sous conditions oxydantes, favorisant l'hypothèse de l'ouverture du milieu.

Les UMiS 4 et 5 contiennent un peu plus de vestiges anthropiques, notamment des agrégats brûlés noirs et rouges, dont des macroagrégats. Leur présence traduirait des activités de nettoyage / curage des sols de surface ayant subi des brûlis successifs. Toutefois, dans cette partie du comblement du fossé, les rejets anthropiques restent assez ponctuels, ne dépassant pas 10%. Ces deux UMiS sont séparées par un fragment de céramique orienté sub-horizontalement qui pourrait marquer deux épisodes de rejets distincts. Notons que le matériau utilisé pour fabriquer cette céramique n'est pas le même que la matrice du sol alentour. Il proviendrait d'une zone d'altération de type saprolite (E. Fritsch com. pers.).
Ainsi, d'après les données micromorphologiques, cette première phase de comblement, qui s'étend sur environ 60 cm d'épaisseur a commencé juste après le creusement du fossé, en période plutôt humide, et sa formation aurait été assez rapide (UMaS 1 et 2 des archéologues). La datation effectuée vers le fond du fossé indique que les premières accumulations remontent à 1900 +/- 30 cal. BP (Mestre 2012).

Phase 2 : de 80 à 92 cm de profondeur, UMiS 3.
Cette unité présente quelques fragments de végétaux non brûlés, qui évoquent une ancienne surface. Ici, le fait que les agrégats brûlés rouges et noirs diminuent drastiquement laissent supposer que ce niveau correspond à une période d'abandon/de non utilisation du fossé comme zone de rejet par les populations anciennes. L'UMiS 3 marque, ainsi, une transition entre la 1ère et la 2nde phase de comblement du fossé, durant laquelle les sédiments sont préférentiellement venus s'accumuler sous forme de colluvions fines. La matrice des sédiments constituant cette seconde phase est caractérisée par une microagrégation d'origine biologique, de type enchytraeides, favorisant l'hypothèse d'une période d'abandon du fossé durant laquelle il aurait été laissé ouvert. Il s'est alors comblé plus lentement que lors de la phase 1.

Phase 3 : de 26 à 80 cm UMiS 1 et 2.

Dans l'UMiS 2, et une partie de l'UMiS 1, l'augmentation des micro et macrocharbons, ainsi que des agrégats brûlés rouges et noirs et la présence de deux fragments de céramiques signalent la reprise des rejets anthropiques. Ces vestiges de l'occupation ancienne sont fissurés, suivant la même orientation que la masse fine adjacente. Par exemple, sous un macroagrégat brûlé agencé sub-horizontalement, apparaissent des fragments d'agrégats de sol brûlés (entre 1,5 mm et 0,5 mm), qui sont cassés et fissurés. Certains, plutôt les rouges, de forme sub-arrondie, sont incorporés dans la masse fine. Leur aspect révèle qu'ils ont subi des transformations post-dépositionnelles, liées à l'alternance saisonnière humectation / dessiccation.

Dans toute cette phase, on note l'apparition de déjections de géophages de type *P. corethrurus*, dont l'action est favorisée par l'enrichissement en charbons. La présence de revêtements empoussiérés et de revêtements limpides montrerait la présence ancienne de cendres. Ici, il y a également une nouvelle augmentation de la CEC, plus importante que dans la phase 1, associée à l'augmentation des rejets anthropiques.

Enfin, le haut de cette phase de comblement (haut UMiS 1) témoigne d'une diminution des apports anthropiques conjointement à une augmentation des pédo/lithoreliques. Ceci, comme dans les remplissages des fossés des MC 87 et 88, provient probablement de la proximité avec le niveau de surface qui a favorisé l'érosion différentielle (enlèvement des particules fines) et le colluvionnement de ces éléments grossiers le long des parois du fossé. En terme de chimie des sols, c'est dans ce niveau supérieur que le carbone organique, ainsi que le calcium et le magnésium échangeables sont les plus concentrés, en lien avec la proximité de la surface actuelle. Ceci témoigne encore une fois de la capacité de résilience des sols.

Les datations 14C effectuées sur des charbons prélevés dans l'UMiS 1 indiquent que l'ensemble du remplissage de cette seconde phase s'étend sur environ 1000 ans, de 1900 +/- 30 BP et jusqu'à 988 +/-29 cal. BP (Mestre 2012).

Les observations micromorphologiques indiquent que le fossé 0 semble globalement avoir été utilisé de manière rythmée par les populations amérindiennes anciennes et confortent les hypothèses archéologiques (**Tableau 101**). En effet, son remplissage est constitué d'une alternance de niveaux plus ou moins épais (entre 10 et 30 cm d'épaisseur – UMiS 1, 2, 4, 5 et 7) correspondant à des rejets enrichis en restes anthropiques (charbons, agrégats brûlés, céramiques) et de niveaux dont l'épaisseur est plus limitée (environ 10 cm – UMiS 3 et 6), sans traces notables de restes anthropiques. Ces derniers, pouvant correspondre à

des périodes de non utilisation du fossé, liées soit à une phase d'abandon du site par les populations anciennes, soit à l'utilisation d'une autre zone du fossé pour les rejets anthropiques. Durant ces phases d'abandon, le fossé s'est préférentiellement comblé par colluvionnement.

<table>
<tr><th>UMaS</th><th>Prof. (cm)
sous ≈20 cm d'un horizon moderne perturbé</th><th>Hypothèses archéologiques/ Datations (C14 sur charbons)</th><th>UMiS associées</th><th>Prof. (cm)</th><th>Interprétations géoarchéologiques</th></tr>
<tr><td>7</td><td>20-30</td><td>Phase d'érosion</td><td rowspan="4">1</td><td rowspan="3">26-54</td><td rowspan="4"><u>Phase 2 :</u>
dépôts lents – milieu préférentiellement ouvert.
Rejets anthropiques rythmés
Rejets anthropiques assez importants repris par la pédogénèse naturelle : humectation / dessiccation saisonnières</td></tr>
<tr><td>6</td><td>30-50</td><td>Phase d'utilisation anthropique du fossé.
≈ 1000 cal. AD (988 +/-29 BP)</td></tr>
<tr><td>5</td><td>50-60</td><td>Phase d'érosion</td></tr>
<tr><td>4</td><td>60-85</td><td>Reprise de l'utilisation anthropique du fossé.
≈ 600 cal. AD</td><td>2</td><td>54-80</td></tr>
<tr><td>3</td><td>85-105</td><td>Phase d'érosion</td><td>3</td><td>80-92</td><td>Phase d'abandon/ non-utilisation du fossé.
Milieu ouvert</td></tr>
<tr><td>2</td><td>105-120</td><td>Reprise de l'utilisation anthropique du fossé.
≈ 0 cal. AD (1900 +/-30 BP)</td><td>4
5
6</td><td>92-103
103-112
112-121</td><td rowspan="3"><u>Phase 1 :</u> postérieure au creusement du fossé.

Dépôts rapides formés par des rejets anthropiques ténus, anciens.
=> Premier apport anthropique – saison humide.</td></tr>
<tr><td>1</td><td>120-145</td><td>Mise en place suivant le creusement du fossé : érosion rapide des parois du fossé laissées à nues juste après son creusement.</td><td>7
8</td><td>121-132
132-140</td></tr>
</table>

<u>Légende</u> : en rose = niveaux de remplissage de la phase 1, en bleu = niveau de non utilisation, en vert = niveaux de remplissage de la phase 2.

Tableau 101 : Unités de terrain et hypothèses archéologiques mises en regard des interprétations géoarchéologiques du remplissage du fossé 0.

II.8.2. Fossé 2

Pour cette coupe, les douze UMiS discriminées en lames minces ont été regroupées en **trois phases principales**. Elles sont ici décrites dans l'ordre de dépôt des sédiments (**Tableau 102 et Annexe 1 – Planche 39**).

Phase A : de 212 à 258 cm de profondeur, UMiS 9 à 12.

Au-dessus du niveau d'argile rubéfié plaqué sur le fond du fossé observé par les archéologues sur le terrain, les traits pédo-sédimentaires montrent que le fossé a fonctionné ouvert sur environ 45 cm d'épaisseur, de manière rythmée et assez lente dans

le temps. La présence de racines et radicelles dans l'UMiS 12 indique une ancienne surface, et la bioturbation de type enchytraeides développée dans l'UMiS 11 témoignent de ce fonctionnement préférentiellement ouvert. Dans cette unité, les traits rédoxiques (ferruginisations) attestent des conditions d'engorgement des sédiments, comme ce qui a été observé dans le fond du fossé 0.

Les vestiges de l'anthropisation sont composés par des charbons et des agrégats chauffés noirs et rouges épars, très peu abondants et fragmentés. Certains sont repris dans des agrégats de bioturbation type déjections d'enchytraeides. Ces caractères favorisent l'idée d'un comblement du fossé essentiellement d'origine naturelle, par des colluvions fines provenant de l'érosion des parois du fossé et des zones dénudées adjacentes. En terme de chimie des sols, c'est le manganèse échangeable qui est le plus concentré dans le bas du fossé, lié au phénomène d'hydromorphie des sols.

Phase B : de 160 à 212 cm de profondeur, UMiS 5 à 8.

La limite entre la phase 1 et la phase 2 de comblement du fossé est matérialisée par l'augmentation des charbons, dans le haut de l'UMiS 8. L'ensemble de la phase est légèrement plus marqué par l'anthropisation. En effet, on distingue un fragment de céramique, associé à des charbons et des agrégats brûlés un peu plus abondants. Les agrégats brûlés présentent principalement une coloration rouge associés à quelques noirs. Ces éléments attestent d'une utilisation du fossé par les populations précolombiennes à des fins de rejets. Néanmoins, ces vestiges ne dépassent pas 10% d'abondance. Ils sont assez émoussés et fragmentés, témoignant de processus post-dépositionnels actifs après leur dépôt, comme ce qui a pu être observé dans la phase 1. La partie inférieure de ce rejet anthropique (UMiS 7) est le seul niveau du profil avec des agrégats brûlés jaunes. Des fragments végétaux ferruginisés dans un chenal entre les UMiS 6 et 7, et la bioturbation active dans l'UMiS 5 (déjections d'enchytraeides) indiquent que le fossé fonctionne encore de manière ouverte durant ces épisodes. L'activité biologique légèrement moins exprimée dans ce profil peut indiquer que la phase 2 de comblement s'est effectuée un peu plus rapidement que la phase 1 (colluvionnements et rejets anthropiques volontaires ponctuels).

Phase C : de 120 à 160 cm de profondeur, UMiS 1 à 4.

Les UMiS de cette phase 3 témoignent d'apports peu bioturbés et massifs, ce qui marquerait des apports rapides de type remblai. La base de cette phase (UMiS 4) ne contient que de rares vestiges anthropiques. Ces derniers, agrégats rouges et noirs, augmentent légèrement en remontant vers la surface, et les charbons sont plus concentrés

dans l'UMiS 1. Sur le plan des analyses chimiques, les sédiments sont marqués par une légère augmentation du Ca, du Mg, ainsi que de l'Al. Ces trois éléments sont liés à l'augmentation des charbons, et indiqueraient la présence ancienne de résidus cendreux.
Les observations micromorphologiques et les résultats des analyses chimiques concordent et étayent les hypothèses des archéologues, qui rattachent cette dernière phase de remplissage à un comblement volontaire lors du creusement d'un second fossé proche, le n°1 (non prélevé).

Finalement trois phases de remplissage ont été distinguées dans ce fossé 2 situé vers l'enceinte du site (**Tableau 102**). Elles correspondent globalement aux observations des archéologues, où chaque UMaS discriminées sur le terrain correspond à plusieurs UMiS repérées au niveau microscopique.

UMaS	Prof. (cm) ≈120 cm de remblai au-dessus	Hypothèses archéologiques	UMiS associées	Prof. (cm)	Interprétations géoarchéologiques
4	120-160	Comblement volontaire par des remblais massifs de terre lors du creusement du fossé 1, voisin.	1 2 3 4	120-125 125-132 132-140 140-160	**Phase C** : comblement volontaire massif assez rapide : restes anthropiques peu abondants.
5	160-210	Phase d'utilisation- fossé ouvert/engorgement	5 6 7 8	160-167 167-187 187-191 191-212	**Phase B** : apport un peu moins rapide – partiellement ouvert : restes anthropiques peu abondants et fragmentés, abimés.
6	210-260	Accumulation de matériaux issus du ruissellement et de l'érosion des parois dans la partie basse du fossé ; fossé ouvert/hydromorphie **1780 +/- 30 BP.**	9 10 11 12	212-226 226-236 236-251	**Phase A** : apport assez lent – fonctionnement du fossé relativement ouvert : principalement colluvionnements avec vestiges anthropiques épars et fragmentés.
7	260-270	Phase de brûlage de végétaux juste postérieure au creusement du fossé **1965 +/- 30 BP.**			Fond du fossé hydromorphe.

Légende : en blanc = fond du fossé, en bleu = niveaux de remplissage de la phase A, en beige = phase B et en orange = phase C.

Tableau 102 : Unités de terrain et hypothèses archéologiques mises en regard des interprétations géoarchéologiques du remplissage du fossé 2.

II.9.Comparaison des remplissages du fossé 0 et du fossé 2

L'observation du comblement des fossés 0 et 2 du site de Yaou témoigne de différence dans l'intensité des rejets anthropiques. En effet, il apparaît nettement que le fossé 0 est

plus enrichi en restes anthropiques que le fossé 2. Ceci se repère également d'un point de vue physico-chimique où les moyennes du pH, du carbone organique, de la CEC ainsi que de la majorité des cations échangeables et de la susceptibilité magnétique sont supérieures dans le fossé 0 (cf. Résultats). De plus, il est probable, au vu des nombreux traits d'hydromorphie observés dans le fossé 2, qu'il concentre plus facilement les écoulements d'eau que le fossé 0. L'intensité de l'altération dans ce fossé aurait alors été plus importante, favorisant par la même la lixiviation des éléments chimiques et augmentant les concentrations en ions fer et aluminium libres comme cela a pu être observé dans les résultats.
Si l'on s'intéresse à la vitesse de comblement de chaque fossé, en fonction des datations effectuées par les archéologues, il apparaît que le fossé 0 s'est comblé de 70 cm d'épaisseur en 1000 ans, alors que le fond du fossé 2 s'est comblé de 40 cm en 200 ans. Ces dernières données concernent uniquement la phase A de comblement du fossé 2.

En résumé, selon les données de l'archéologie et de la géoarchéologie, le site de Yaou a connu plusieurs phases successives d'occupation rattachées à des aménagements plus ou moins importants (**Figure 162**). Après une première phase d'ouverture du milieu, les deux fossés auraient été creusés à peu près à la même époque, d'après les datations C14 soit autour de 1900 cal. BP. Toutefois d'après les archéologues, il semblerait plus plausible qu'un premier fossé, ici le fossé 2, ait été creusé, suivi un second, le fossé 0. L'existence de ces deux fossés sur le site de Yaou est difficilement compréhensible à l'heure actuelle (M. Mestre com. pers).
Néanmoins, selon les observations des archéologues, le comblement du fossé 0 semble s'être effectué principalement depuis l'intérieur de l'enceinte où un niveau d'anthroposol noir, *a priori* en place et enrichi en « *nodules d'argile rubéfiée* » (nos agrégats de sols brûlés) a été distingué (Mestre 2012). Ainsi, les constituants anthropiques observés dans le remplissage du fossé 0 proviennent essentiellement de cet anthroposol.
Dans le fossé 2, les colluvions proviendraient de l'extérieur de l'enceinte, donc d'une zone du site moins riche en restes anthropiques, ce qui expliquerait le peu de constituants anthropiques trouvés dans son comblement. De plus, ce fossé a été creusé à l'origine avec 1 mètre de profondeur de plus, ce qui a pu entrainer un engorgement accru de ses sédiments.
Finalement, il se pourrait que le fossé 2 ait été rapidement laissé « à l'abandon » par les populations précolombiennes (mauvaise implantation par rapport à l'enceinte ?) favorisant ainsi l'utilisation du fossé 0 comme zone de rejet (bascule spatiale).

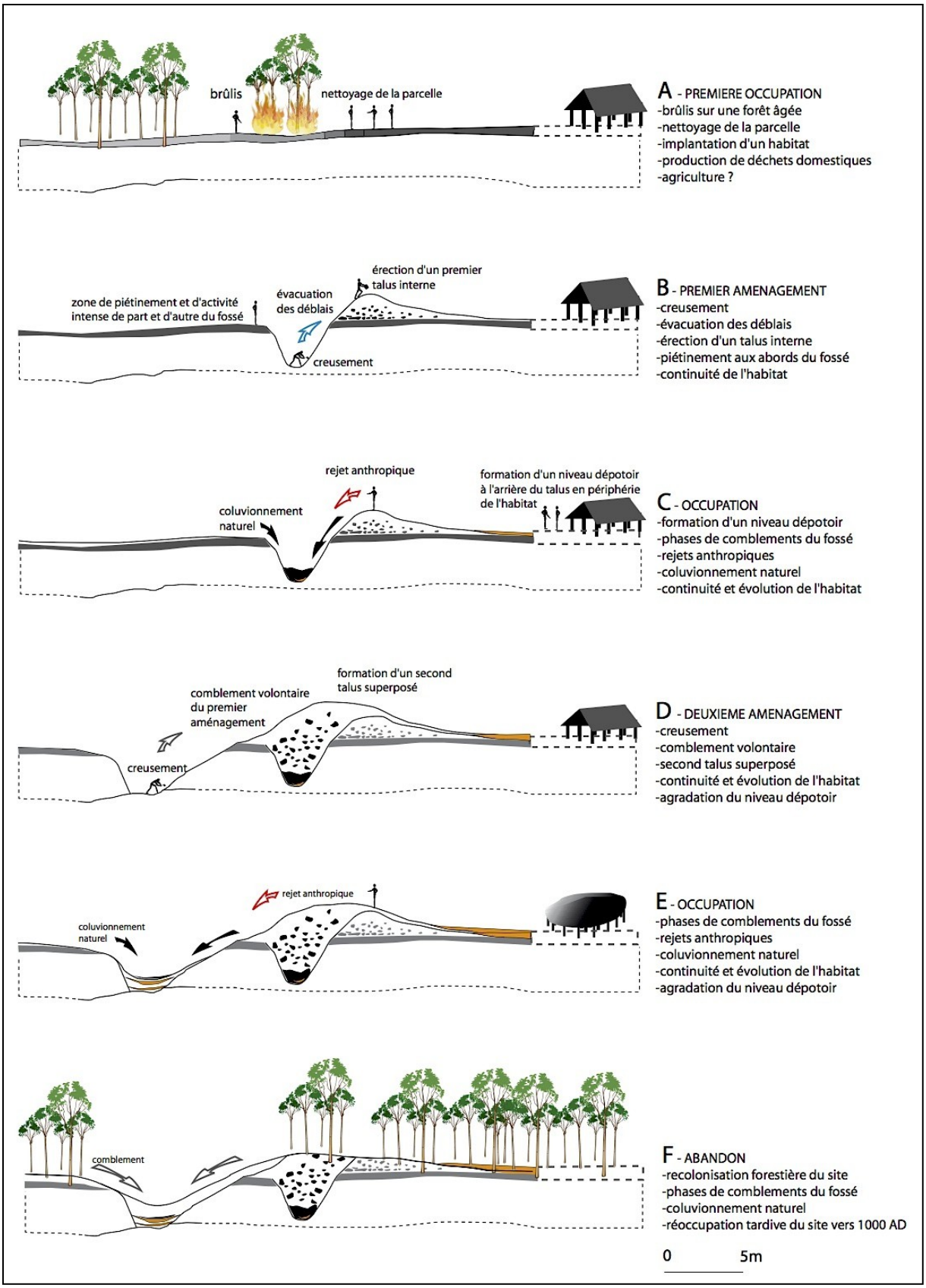


Figure 162 : Schémas hypothétiques de la formation des fossés sur le site de Yaou (tiré de Mestre 2012).

Partie V. Discussion / Synthèse

Discussion / Synthèse

Les résultats et les interprétations présentés précédemment ont permis de caractériser (i) les unités microstratigraphiques des anthroposols guyanais du corpus étudié, (ii) les principaux processus participant à leur formation, (iii) ainsi que les marqueurs d'anthropisation qui renseignent sur les activités humaines anciennes. A partir des résultats et des interprétations, trois thèmes de réflexions sont ici investigués et discutés. Le premier concerne l'interprétation des marqueurs anthropiques identifiés dans ce travail, en terme d'activités et de modes d'occupation des sols, en confrontant les résultats géoarchéologiques obtenus avec les données bibliographiques et ethnographiques. Le second correspond à une typologie des anthroposols amérindiens guyanais étudiés afin de discuter leur rattachement à la classification pédologique des anthroposols existante (Baize & Girard 2008 et FAO 2014). Le troisième thème vise à considérer les anthroposols guyanais dans un cadre régional et supra-régional, par le biais de comparaisons avec les Amazonian Dark Earth, afin de dégager leur typicité et spécificité.

I. Eclairages géoarchéologiques sur les modes d'occupation des sols guyanais

Les marqueurs directs et indirects discriminés dans ce travail témoignent de deux principales activités humaines élémentaires que sont la combustion et les rejets. En ce qui concerne les témoins de combustion, ce sont principalement des charbons qui ont été observés dans les sites de la plaine alluviale, alors que dans les montagnes couronnées, les agrégats brûlés constituent une source supplémentaire d'information.

Dans le contexte géographique amazonien, selon les données de l'archéologie (Glaser et al. 2001; Glaser 2007; Glaser & Birk 2012), et de l'ethnologie (Hecht 2003; Heckenberger et al. 2003; Silva 2009; Schmidt 2010; Schmidt et al. 2014), les accumulations de charbons peuvent avoir deux origines principales : domestique et/ou agricole. Les charbons peuvent être trouvés en position primaire, lors de combustions *in situ*, ou bien en position secondaire dans le cas d'amendement volontaire ou de rejets (Woods & McCann 1999; Arroyo-Kalin 2008; Denevan 2009). En outre, selon Rostain (2015), l'ouverture d'une clairière dans un espace boisé, pour l'installation des populations peut également expliquer l'accumulation de charbons de bois. En effet, pour toute installation humaine, il

est nécessaire au préalable d'ouvrir le milieu et de retirer le couvert végétal, aussi bien pour une mise en culture des sols, que pour construire des maisons (Rostain 1994).

Ainsi, afin de participer à la restitution des modes d'occupation des sols passés, nous avons voulu affiner l'origine des témoins de combustion du fait de leurs caractères intrinsèques et à l'aide de la bibliographie.
Dans le cadre de ce travail, nous avons, en outre, recherché des marqueurs / constituants permettant de discriminer, d'une part, les activités liées à la préparation de la nourriture, ou à la cuisson des céramiques (foyers), qui confèreraient un caractère domestique aux occupations, et d'autre part les activités agricoles. Ceci est important du fait des interprétations archéologiques concernant la fonction domestique ou agricole des sites, qui pourraient, dans certains cas, être complémentaires.

I.1. Des indices d'activités agricoles

L'ouverture du milieu (abatis / brûlis, *slash and burn*, *slash and char*) est largement documentée dans les études ethnographiques et archéologiques du bassin Amazonien où elle est généralement associée à l'agriculture (Balée 1989; Piperno & Pearsall 1998; Balée 2006; Piperno 2006; Arroyo-Kalin 2012) (**Figure 163**). Cette hypothèse de l'ouverture du milieu a été utilisée dans certains sites archéologiques guyanais pour expliquer la présence de niveau de charbons de bois à la base de la stratigraphie, qui, selon Rostain (2015) « *correspondrait à un brûlis destiné à dégager une clairière* ». C'est notamment le cas des champs surélevés du site de Sable Blanc, où les analyses de phytolithes réalisées par J. Iriarté démontraient la prédominance d'arbres avant l'installation des populations (ibid.). Ainsi, lorsque qu'un groupe humain choisi de s'installer dans une zone particulière à la végétation relativement dense, il est nécessaire qu'il pratique des défrichements en vue d'éventuels aménagements (Rostain 1994).

Pour une mise en culture des sols en forêt, en plus du défrichement de la végétation basse, il est nécessaire d'abattre des arbres (ibid.). Certains témoignages ethnographiques apportent des informations sur les techniques utilisées :
(i) la hache en pierre polie[1] était l'outil de base pour couper les arbres. Par exemple, chez les Akuryo du Suriname, « *un tronc de petit diamètre est attaqué à une bonne hauteur du*

[1] « *Plutôt que la hache en pierre taillée qui n'offrirait pas un tranchant aussi résistant pour s'enfoncer dans le tronc à couper et dont les arêtes et les négatifs d'enlèvement constitueraient autant de points de fracture éventuels* » (Rostain 1994 : 359).

sol avec la hache - tenue d'une seule main - sur toute sa circonférence et sur un tiers environ de son diamètre, puis cassé à la main » (C. De Goeje 1943, cité par Rostain 1994 : 359). Toutefois, si cet outil semble assez efficace pour abattre les gros troncs de la forêt primaire, il est en revanche moins approprié pour la forêt secondaire et la végétation basse (Rostain 1994) ;
(ii) le feu est également d'une aide précieuse pour attaquer les arbres épais au bois dur : d'après J. Amproux (1658, cité par Rostain 1994), « *le feu est mis au pied des arbres, préalablement entourés de mousse mouillée un peu plus haut pour éviter la propagation du feu vers le haut. L'arbre est ainsi miné petit à petit* » ;
(iii) enfin, une autre méthode consiste à faire mourir un arbre sur pied en le cernant afin de l'abattre plus facilement. Elle est pratiquée chez les Wayampi du Brésil : « *ils auraient annelé profondément les arbres à la hache pour les faire mourir, et ce n'est qu'un an plus tard qu'ils les auraient minés avec le feu. Un abattis se préparait donc sur deux ans. Par ailleurs, tant que les outils en fer été difficiles à se procurer, les Wayampi du haut Oyapock racontent que leurs « grands-parents» cherchaient des zones de forêt où il y avait peu de grands arbres. Cette attitude était sans doute résiduelle de l'époque de la hache en pierre* » (témoignage entendu en 1971 par P. Grenand, *in litteris*, 1992, cité par Rostain 1994).

En tout état de cause, selon les observations sur les pratiques actuelles dans la forêt amazonienne, les arbres coupés et la végétation basse sont brûlés préférentiellement lors de saisons sèches, plus propices à la combustion de la végétation (Pyne 1998 ; Arroyo-Kalin 2012; Steiner et al. 2004). Les combustions s'effectuent alors dans des conditions d'oxydation lentes, et les charbons produits présentent des structures de type biochar (Glaser et al. 2001; Glaser & Birk 2012). Dans le cas de brûlis pratiqués dans les montagnes couronnées, en contexte de forêt ombrophile, il vaut mieux que ces combustions soient maitrisées, lentes et localisées près du sol, afin de ne pas risquer un incendie de la forêt entière.

Pour les Amazonian Dark Earth, le degré de fragmentation des charbons constitue un caractère discriminant entre *terra preta stricto sensu* (habitat) et *terra mulata* (agricole) (Arroyo-Kalin 2008). Pour cet auteur, la prédominance des microcharbons, dont la granulométrie est la plus fine, comprise entre 2 et 100 micromètres, indiquerait une zone anciennement dédiée à l'agriculture (du moins préférentiellement), où les sols auraient été amendés de manière intentionnelle par l'apport de rejets charbonneux de toute taille. Dans les ADE, la relative absence des céramiques constitue également un élément

discriminant d'une ancienne zone agricole (Arroyo-Kalin 2008; Costa et al 2013). Ainsi, dans les sols archéologiques amazoniens, la présence de charbons de bois et leur degré de fragmentation constituent des indices de mise en cultures.

En outre, il est intéressant de noter que les populations Wayana de Guyane française préfèrent nettoyer des zones anciennement abandonnées (anciens villages) pour l'emplacement de leurs parcelles. En effet, dans ces zones, la végétation est de type secondaire, alors plus aisée à couper et à brûler (R. Duin com. pers.). La première chose qui est effectuée une fois que le milieu a été nettoyé de sa végétation, c'est la plantation d'un jardin nourricier. Ce sera dans un second temps, et uniquement si les plantes poussent correctement, que les habitations seront construites (Duin 2009). Ces pratiques actuelles amérindiennes sont particulièrement intéressantes à prendre en considération dans le cas des études archéologiques et plus particulièrement en ce qui concerne les modes de gestion des espaces.



Figure 163 : Parcelle brûlée, avec arbres brûlés et charbons de bois disposés sur le sol (source : Mestre & Delpech 2008) .

I.2. Des indices d'activités domestiques

Selon Glaser & Birk (2012), les combustions *in situ* de type domestique correspondent à des feux pour la cuisson des céramiques, la préparation de la nourriture, ou encore pour des raisons spirituelles. Toujours associées à des combustions lentes favorisant la formation de biochars, ces pratiques sont aujourd'hui traditionnellement observées chez les populations amérindiennes du bassin Amazonien (Hecht 2003; Schmidt 2010). Par exemple, les travaux ethnographiques de R. Duin (2009) sur les populations Wayana de Guyane française démontrent que les zones des foyers domestiques sont régulièrement marquées par des charbons qui forment une délimitation assez ronde dans le sol (**Figure 164**). Les sols sous l'espace du foyer se colorent en orange ou en blanc (ibid.). Selon ses observations, certains foyers sont réutilisés, alors que d'autres ne servent qu'une seule fois. Toutefois ils sont toujours nettoyés. La **figure 164** montre également la mobilité des espaces au sein d'un village actuel, qui peut par exemple expliquer le fait que de nombreux vestiges de foyers soient observés dans les sites archéologiques actuellement.



Légende : notez la marque laissée par le foyer domestique sur les sols.

Figure 164 : Exemple de mobilité des structures dans l'espace d'un site sur deux années d'observation (Duin 2009 : 130).

En effet, comme précisé précédemment (cf. Partie I - chapitre 2), les foyers domestiques sont avérés sur certains sites archéologiques guyanais (van den Bel 2012; Mestre & Rostain 2015; Rostain 2015). Au même titre que dans de nombreux contextes archéologiques, la présence de ces foyers est marquée sur le terrain par des charbons, des sols brûlés, rubéfiés (orangés à rouges), ainsi que des cendres. Ils sont généralement de forme circulaire, le plus souvent à plat, parfois en cuvette, et les accumulations peuvent atteindre une épaisseur de 20 cm (**Figure 165**). Les foyers peuvent être nombreux sur un même site : environ 12 ont été retrouvés sur Sable Blanc et 2 sur CSL (Rostain 2015; van

den Bel 2015), témoignant de la mobilité de cette activité dans l'espace d'un site, et de l'importance du feu dans la vie quotidienne des précolombiens (**Figure 165**).

Il est intéressant de noter que sur les sites archéologiques développés en contexte sableux de type chenier littoral, les fossiles directeurs qui marquent d'anciens feux sont les charbons et les cendres. Dans la majorité des cas, les sols rubéfiés n'apparaissent pas. Ceci peut expliquer le fait que les agrégats de sols brûlés n'aient été retrouvés que dans les montagnes couronnées et non sur les sites de la plaine alluviale du Maroni.

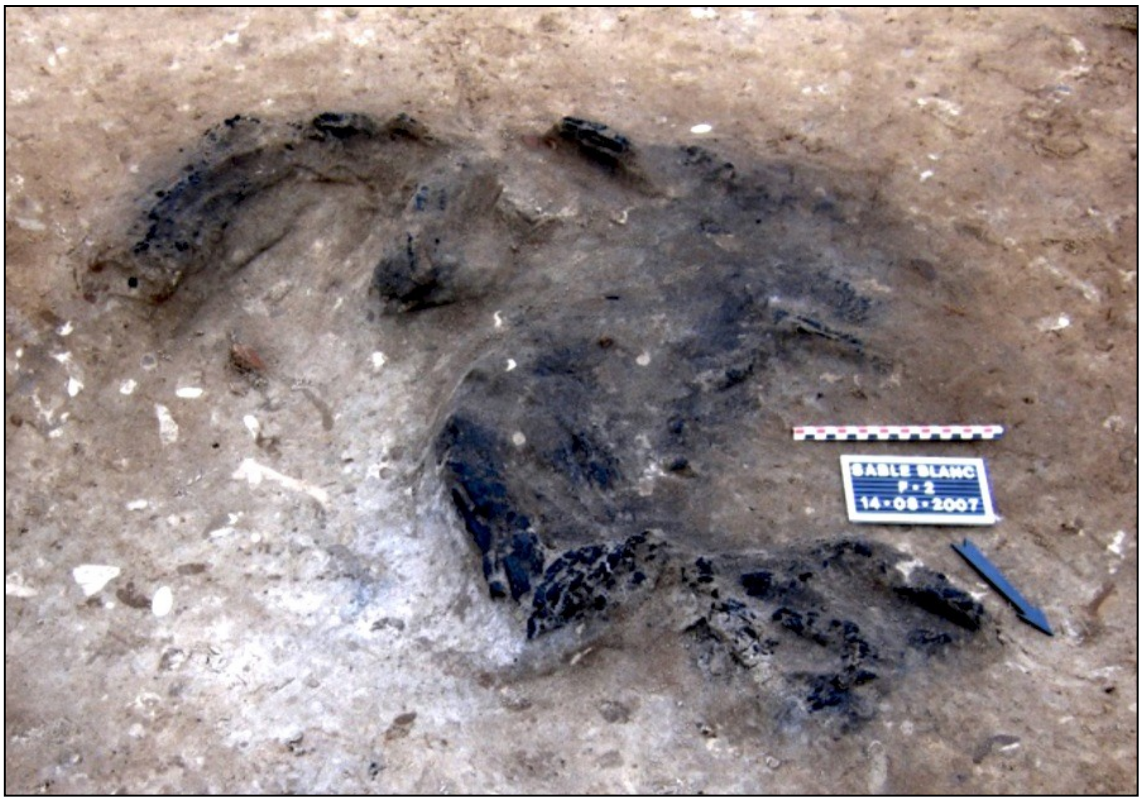


Figure 165 : Restes d'un foyer particulièrement bien conservé sur le site de Sable Blanc où l'on distingue encore les résidus de branches carbonisées (photo : S. Rostain).

Dans les Amazonian Dark Earth, les macrocharbons, dont la taille est comprise entre 100 et 2000 micromètres, marquent l'habitat (Arroyo-Kalin 2008). La présence des céramiques constitue également un élément discriminant d'une aire domestique (Arroyo-Kalin 2008; Costa et al 2013).

I.3. Les situations archéologiques

Pour les sites de Chemin Saint-Louis et la MC 87, les résultats des analyses des grains d'amidon sur des fragments de céramique constituent des indices directs d'activités domestiques et indirects de pratiques agricoles. En effet, les céramiques qui ont révélé la présence de maïs, de patate douce et de Marantacées, présentent des caractéristiques d'utilisation domestique (argiles de cuisson par exemple) (Pagán-Jiménez in van den Bel 2012). Ceci favorise l'hypothèse de la présence de foyers sur ces sites pour la préparation et la cuisson de ces plantes. Dans certaines céramiques, maïs et patate douce ont été retrouvés en association, ce qui pourrait révéler une tradition culinaire de production de petits pains comme des *tortillas* (Pagán-Jiménez et al. 2015). Les longues feuilles de Marantacées auraient alors été utilisées pour entourer la paâte confectionnée avec le maïs et la patate douce, à la manière d'un *tamale*[2] (ibid.) (**Figure 166**).



Légende : la préparation culinaire à l'intérieur formant une sorte de pâte est entourée par une longue feuille (source : http://www.foodnetwork.com/). Selon les observations de Pagán-Jiménez, durant l'époque précolombienne en Amazonie, la feuille pouvait correspondre à une Marantacée et la préparation culinaire à une pate de maïs et de patate douce.

Figure 166 : Type de *tamale*.

En outre, de manière plus indirecte il est possible d'imaginer que ces plantes ont été cultivées sur ces sites lors de l'occupation. Le maïs ne pousse pas naturellement dans le milieu amazonien. Sa reproduction est dépendante des hommes, et les graines doivent être conservées avec beaucoup de soin, par exemple dans une poterie (Pagán-Jiménez 2012). Théoriquement, le succès de la culture du maïs repose sur des espaces ouverts et nettoyés,

[2] Préparation culinaire traditionnelle mésoaméricaine.

car il s'agit d'une plante qui peut pousser sur des sols rocailleux, argileux ou argilo-sableux. Toutefois, la question de l'eau est l'aspect délicat de la production du maïs, car aussi bien un excès qu'un manque d'eau peut détruire les plantes (ibid.). Dans le cas de CSL, le fleuve Maroni et la crique Balaté étant à proximité du site, l'alimentation en eau n'a sans doute pas été un facteur limitant. Pour la région de la MC87, lors des saisons humides, les bas fonds des collines se remplissent de quelques dizaines de centimètres d'eau et contiennent parfois des poissons, qui, « *en Guyane, sont capables d'arriver partout où il y a de l'eau* » (B. Hérault com. pers.). Ainsi, dans le cas des MC, la présence du maïs dans ces sites peut favoriser l'hypothèse d'une mise en culture essentiellement saisonnière, au moment où les zones de bas fonds sont « en eau », lors des saisons des pluies. Toutefois, il ne faut pas non plus que les cultures de maïs soient trop arrosées par les pluies. Ainsi les populations amérindiennes anciennes résidant sur ces sites, ont dû faire montre d'adaptations par rapport à la météorologie et au climat, ainsi qu'à l'accessibilité à la ressource eau.

Concernant la patate douce, c'est une plante qui a besoin de chaleur et d'eau, sans pour autant que le sol soit détrempé, d'où la nécessité d'un sol drainant. Elle peut pousser sur des sols dont le pH est entre 4,5 et 6,5. Elle pousse très rapidement et peut recouvrir le sol après quelques semaines suite au semis (Woolfe 1992). Aujourd'hui, la patate douce est très largement utilisée par les populations amérindiennes, comme chez les Kayapó (Hecht 2003). Les conditions de milieu semblent tout à fait favorables à leur culture à CSL et sur les MC.

Sur les sites étudiés, il est probable que la mise en culture de ces plantes par les populations amérindiennes anciennes se soit faite dans des espaces ouverts au préalable, de type « jardin de maison » ou sous la forme de polyculture, comme c'est le cas des pratiques amérindiennes actuelles (Hecht 2003; Schmidt 2010). À la faveur de l'accumulation des déchets de la vie quotidienne associés à leur combustion, cela aurait permis de créer des espaces enrichis en nutriments favorisant la croissance des plantes (German 2003; Arroyo-Kalin 2008; Denevan 2009).

I.3.1. Sur la plaine alluviale

Dans les microanthraco séquences obtenues sur les sites de CSL et BAL, les charbons sont dominés par des éléments de taille inférieure à 100 micromètres. Sur la base des critères des ADE, cet indicateur, ainsi que la présence des revêtements argileux empoussiérés, sous l'anthroposol, dans les deux sites, expriment des activités préférentiellement agricoles.

Sur le site de Chemin Saint-Louis, il est finalement apparu que les deux profils étudiés dans ce travail présentent des caractères intrinsèques différents, qui permettent de rattacher chaque espace à un type d'activité.

Il est ainsi fort probable que l'endroit où le profil CSL-1 a été prélevé, sur la berme sud-est du site, correspondait, lors de la phase 2 d'occupation archéologique (microcharbons très abondants), à une zone d'accumulation des charbons. D'après les témoins micropédo-sédimentaires, c'est une zone où l'intensité d'occupation n'est pas très importante par rapport à CSL-2, plus au nord. Ainsi, CSL-1 peut représenter un espace de type « jardin de maison », à proximité de l'aire domestique. En outre, sur ce site, des fosses circulaires à ovales remplies de charbons ont été assimilées à des zones de cuisson (van den Bel 2012) (**Figure 167**).

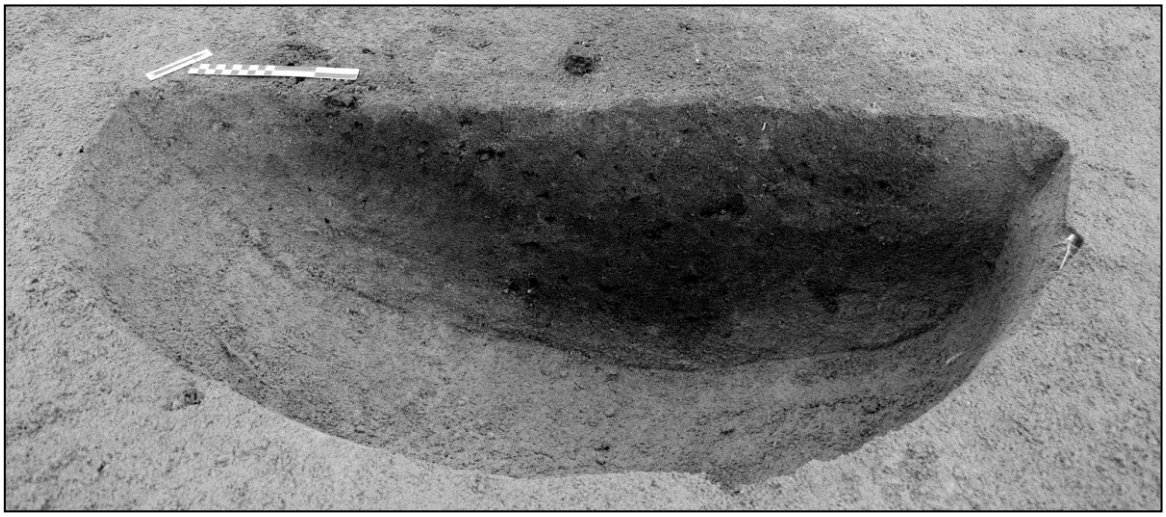


Figure 167 : Fosse circulaire à ovale remplie de charbons de bois, observée sur le site de Chemin Saint-Louis, attribuée à la phase de l'occupation 1 du site (photo : M. van den Bel).

A la différence de CSL-1, le profil CSL-2, contient moins de microcharbons, et nettement plus de tessons de céramiques. Cette zone au nord de la zone de fouille pourrait alors correspondre davantage à l'espace domestique, caractérisé également par des concentrations en phosphore et calcium échangeables et totales légèrement supérieures à CSL-1. Ces éléments révélent des apports d'origine domestique plus importants que dans CSL-1.

I.3.2. Sur les montagnes couronnées

- Mise en culture

Dans l'enceinte de la MC 87, ce sont les revêtements empoussiérés, ainsi que de rares indicateurs des remaniements des sols (incisions en U/V), associés à l'accumulation des charbons et des agrégats brûlés, qui indiquent des phénomènes de brûlis successifs. La présence de déjections brûlées de *Ponstoscolex corethrurus* contemporaines de l'occupation humaine ancienne dans l'enceinte de la MC87 témoigne également de phases de brûlis successives du couvert végétal.

Comme indiqué précédemment, les agrégats brûlés représentent des vestiges de sols de surface directement impactés par le feu. Selon nos observations, ce sont ici les agrégats rouges contenant des racines/radicelles qui attestent d'une première phase de combustion de la végétation, en condition oxydante, avant que la végétation n'ait recouvert les sols de surface. Les agrégats noirs correspondent à une recombustion des sols de surface après que la première couche de la végétation soit tombée au sol, conduisant à des cuissons des sols de surface en conditions plus réduites. Il est alors possible d'attribuer la présence de ces agrégats de sol brûlés à des phénomènes de brûlis successifs, associés à de la mise en culture (Browne Ribeiro 2014). Néanmoins, précisons que l'analyse des phytolithes réalisée dans le remplissage du fossé de la MC 87, *a priori* sans contamination actuelle, révèle la prédominance d'un couvert végétal de type forestier. Ceci indique, au même titre que ce qui a pu être observé par McMichael et al. (2012) dans des sites précolombiens dans la région de l'Amazone, que le feu ayant permis l'ouverture du milieu est resté confiné au niveau du sol forestier et à basse intensité, sans pénétrer la canopée et altérer la structure de la forêt.

- Espaces domestiques

En outre, sur les montagnes couronnées, l'existence de foyers domestiques peut être discutée si l'on considère que les céramiques ont dû être cuites, et la nourriture préparée. Ainsi, les agrégats brûlés peuvent également être des indices de la combustion de sols de surface dans le cas de foyers domestiques. En effet, le feu entraîne une altération des argiles des sols, favorisant la formation d'une « sole » chauffée présentant des traces de rubéfaction (agrégats rouges) et de carbonisation (agrégats noirs). Selon les observations de J. Wattez (2010) sur des foyers préhistoriques européens, il semblerait que la carbonisation ou/et la rubéfaction des sédiments, associées à la carbonisation de racines/radicelles résiduelles reflètent une combustion de forte intensité ainsi que des recombustions. Les agrégats brûlés présentant des racines et radicelles carbonisées

correspondent alors aux premiers sols de surface brûlés lorsque la végétation basse était encore présente sur la zone du foyer. En effet, la végétation n'est présente qu'une fois dans un foyer où le feu est pratiqué toujours au même endroit, car après la première chauffe, les sols sont trop indurés pour que la faune et la flore du sol puissent s'y introduire (du moins sur le court terme) (Wattez 1992, 2000).

Pour documenter la morphologie et les altérations thermiques des foyers domestiques précolombiens, en parallèle de ce travail, nous avons analysé une fosse découverte sur le site CHU-Belle Plaine, d'époque Troumassoïde tardif, daté entre le 11 et le 13ème siècle AD, le site, situé sur l'ile de Basse Terre, en Guadeloupe (Briand 2012 et van den Bel com**. pers.**). Si le contexte géographique est assez différent des montagnes couronnées, les datations archéologiques sont similaires. L'observation micromorphologique réalisée par l'auteure dans le cadre d'une mission post-fouille de l'Inrap, a permis de mettre en évidence la présence d'agrégats brûlés du même type que ceux repérés dans les anthroposols guyanais. En effet, les agrégats chauffés guadeloupéens présentent à peu près les mêmes caractères optiques : ils sont de la même couleur en lumière oblique incidente : noirs et rouges, avec parfois des gradients de couleurs (**Annexe 1 - Planche 47 : A', B', C' et D**) ; ils ont la même forme sub-arrondie, avec, pour certains, une croûte tout autour très fissurée témoignant d'un matériau plus dur, favorisant à nouveau l'idée de recuisson (**Annexe 1 - Planche 47 : B, B', C et C'**). Certains sont entourés de fins revêtements argileux limpides biréfringents, qui représentent des percolations favorisées par la probable présence ancienne de résidus cendreux anciens (**Annexe 1 - Planche 47**). Dans ce site guadeloupéen, ces rejets sont archéologiquement avérés comme étant liés aux foyers qui jouxtent cette fosse (van den Bel com. pers.).
Cela peut venir étayer notre hypothèse de la présence de foyers domestiques sur les montagnes couronnées guyanaises, bien que ceux-ci n'aient pas été observés lors des ouvertures des sondages manuels archéologiques.
Ainsi, même si les conditions de milieu et les populations anciennes qui ont occupé le site guadeloupéen et les montagnes couronnées sont différentes, les vestiges des foyers domestiques observés dans les sols sont similaires. Ceci apporte des perspectives intéressantes pour la constitution d'un référentiel micromorphologique sur les marqueurs des foyers domestiques dans le contexte des Antilles-Guyane.

Les analyses chimiques au MEB réalisées sur deux agrégats brûlés dans l'enceinte de la MC 87 livrent qu'ils sont composés d'une association de phosphore, potassium, et de chlore dans le profil MC87-4, et de trace de calcium dans MC87-3. Ces éléments chimiques

peuvent désigner des résidus de consommation de nourriture d'origine animale (Costa & Kern 1999). Les microesquilles d'os trouvées dans le rejet du fossé de la MC 87 (profil 2) attestent également de ce type de subsistance animale au sein du site.

- Rejets

Dans ces deux cas de figure, origine agricole ou domestique, les agrégats brûlés ont dans tous les cas été observés uniquement en position secondaire, roulés sur de courtes distances. Ceci est avéré par la couleur chez certains, où le rouge rubéfié au bord avec un cœur noir dénote d'une altération thermique différentielle entre le bord et le centre. Les couleurs et la forme des agrégats attestent de remaniements mécaniques, par raclage, curage par exemple, afin de nettoyer l'espace, puis de recombustions (alternance combustion / grattage / combustion) : la combustion fossilise les sols chauffés puis il y a détachement de ces agrégats de sols chauffés puis recombustion) (**Figure 168**). Ils pourraient alors correspondre à des grattages du sol superficiel, dans le but de nettoyer / aplanir la zone après qu'elle ait brûlée. Dans l'enceinte de la MC87, il apparaît que ces résidus ont pu être accumulés dans un premier temps à proximité de la zone domestique, au niveau du profil MC87-4, derrière les zones d'habitation par exemple, pour ensuite être rejetés dans le fossé (cf. *infra*-modèles d'occupation des sols). Comme précisé précédemment, le profil MC87-3 atteste également de ces remaniements intentionnels des sols, par une troncature de l'horizon de sub-surface.

Dans ce contexte, afin de distinguer les activités agricoles du domaine domestique, les remplissages des fossés nous apportent des indices complémentaires (**Figures 168 et 169**). Dans le fossé de la MC87, l'intensité des rejets charbonneux et des sols brûlés pourrait soutenir l'idée que l'enceinte du site, ou bien la zone à proximité du profil prélevé, jouxtant l'entrée du site, était préférentiellement de type domestique avec des foyers. Il est, en effet, possible d'imaginer que si les sols avaient été cultivés dans l'enceinte du site, les charbons et sols brûlés auraient été conservés en place afin d'améliorer leur fertilité comme dans les *terra mulata* (Arroyo-Kalin 2008; Denevan 2009), ou tel que c'est encore pratiqué actuellement chez certaines populations amérindiennes (Hecht 2003; Duin 2009; Schmidt 2010).

De plus, dans le fond du remplissage du fossé de la MC87, les macrocharbons sont abondants, parmi lesquels des restes probables de feuilles de palmier brûlées ont été observés (R. Thomas com. pers.). Ici, il semble que toutes les parties des plantes, aussi bien des troncs que des parties aériennes, ont été brûlées. Associés principalement aux

agrégats brûlés jaunes et rouges, ces restent constituent, selon nous, les premiers déchets créés par les populations anciennes lors de phases de brûlis visant à ouvrir la végétation dès leur arrivée sur les lieux. Durant cette phase, les populations ont cherché à nettoyer le terrain en brûlant toutes les parties des plantes constituant la végétation, puis ont jeté les résidus carbonisés dans le fossé. Ces éléments présents dans le fossé dévoileraient une volonté de nettoyer le terrain pour l'aménagement préférentiellement d'une zone d'habitat (**Figure 169**).

La question qui peut être posée concerne l'existence du fossé avant la phase de nettoyage du terrain, donc avant l'installation des populations sur le site. On peut en effet s'interroger sur la présence des populations anciennes sur le site MC 87 durant la phase de creusement du fossé. Vivaient-ils sur un autre site à proximité, par exemple la MC 88, et venaient-ils régulièrement pour creuser le fossé ? Une fois le fossé creusé se sont-ils installés rapidemment dans l'enceinte du site ? Ces points sont ici difficilement discutables avec le peu de données archéologiques. De plus amples recherches seraient nécessaires.

A propos de la MC88, le remplissage du fossé correspond principalement à des colluvions charbonneuses plutôt qu'à un rejet intentionnel. D'après nos observations, cela attesterait préférentiellement d'une mise en culture des sols où les charbons et les agrégats brûlés n'ont pas été rejetés dans le fossé mais probablement conservés dans l'enceinte du site. Le rejet anthropique massif, correspondant à l'UMiS 2, manifeste une modification dans la gestion de l'espace du site, en lien peut-être avec une réoccupation du site. En effet, plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer ce phénomène : (i) les activités génératrices de charbon de bois sont nombreuses entrainant une importante accumulation dans l'enceinte du site qui nécessitent de nettoyer l'espace périodiquement ; (ii) lors d'une réoccupation du site, ou d'une gestion différentielle de l'espace du site, il est fait place nette et ainsi les anciens détritus sont rejetés dans les fossés. Ce rejet massif présente, selon nos observations, les marqueurs préférentiels d'un curage de foyers domestiques. Ceci favorise l'idée d'une gestion différente de l'espace.

Ces éléments indiquent que les MC 87 et 88, présentent des modes d'occupation des sols différents. Ils pourraient alors représenter deux sites contemporains complémentaires, voire associés en terme d'activités humaines pratiquées. La MC 87 serait un site préférentiellement d'habitat et la MC 88 un site agricole (**Figures 171 et 172**). Ce type de phénomène a été observé chez les Wayampi, en Guyane française, par P. Grenand, où deux sites voisins sont occupés de manière temporaire et complémentaire (Grenand 1982).

Si, pour la montagne couronnée 88, la mise en culture d'une partie de l'espace délimité par le fossé est avérée, il est possible d'imaginer que le fossé entourant le site aurait alors eu comme utilité principale de protéger les cultures des animaux sauvages (**Figure 172**). En effet, si l'on prend par exemple un groupe de pécaris, qui vivent généralement en hardes de 6 à 9 individus, mais qui peuvent facilement atteindre la vingtaine d'individus, celui-ci peut aisément ravager une zone de culture si elle se trouve sur son passage, d'autant qu'ils se nourrissent de bulbes, de fruits et de racines qu'ils déterrent avec leur groin (Bomsel 2016). Une palissade aurait alors probablement était nécessaire pour empêcher les animaux de pénétrer dans le site et ravager les cultures.

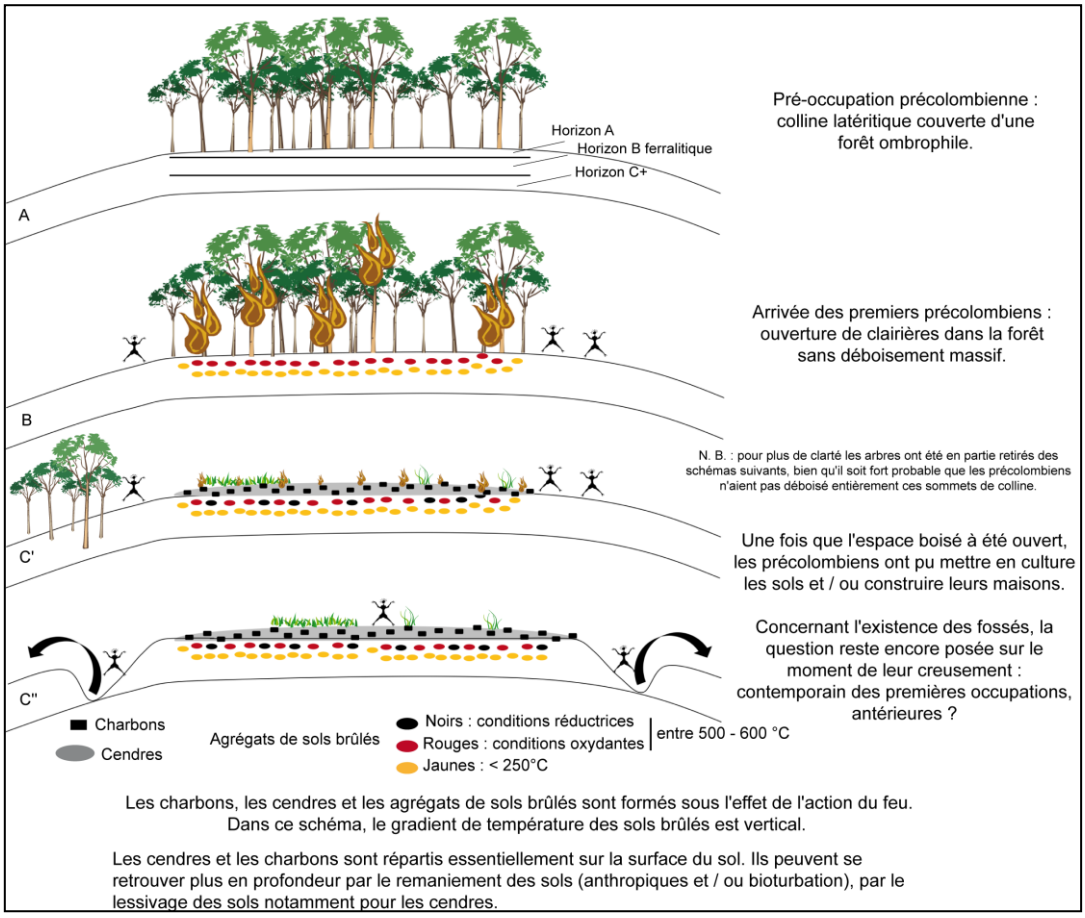


Figure 168 : Hypothèses d'ouverture du milieu et de la présence des résidus de combustion sur les MC 87 & 88.

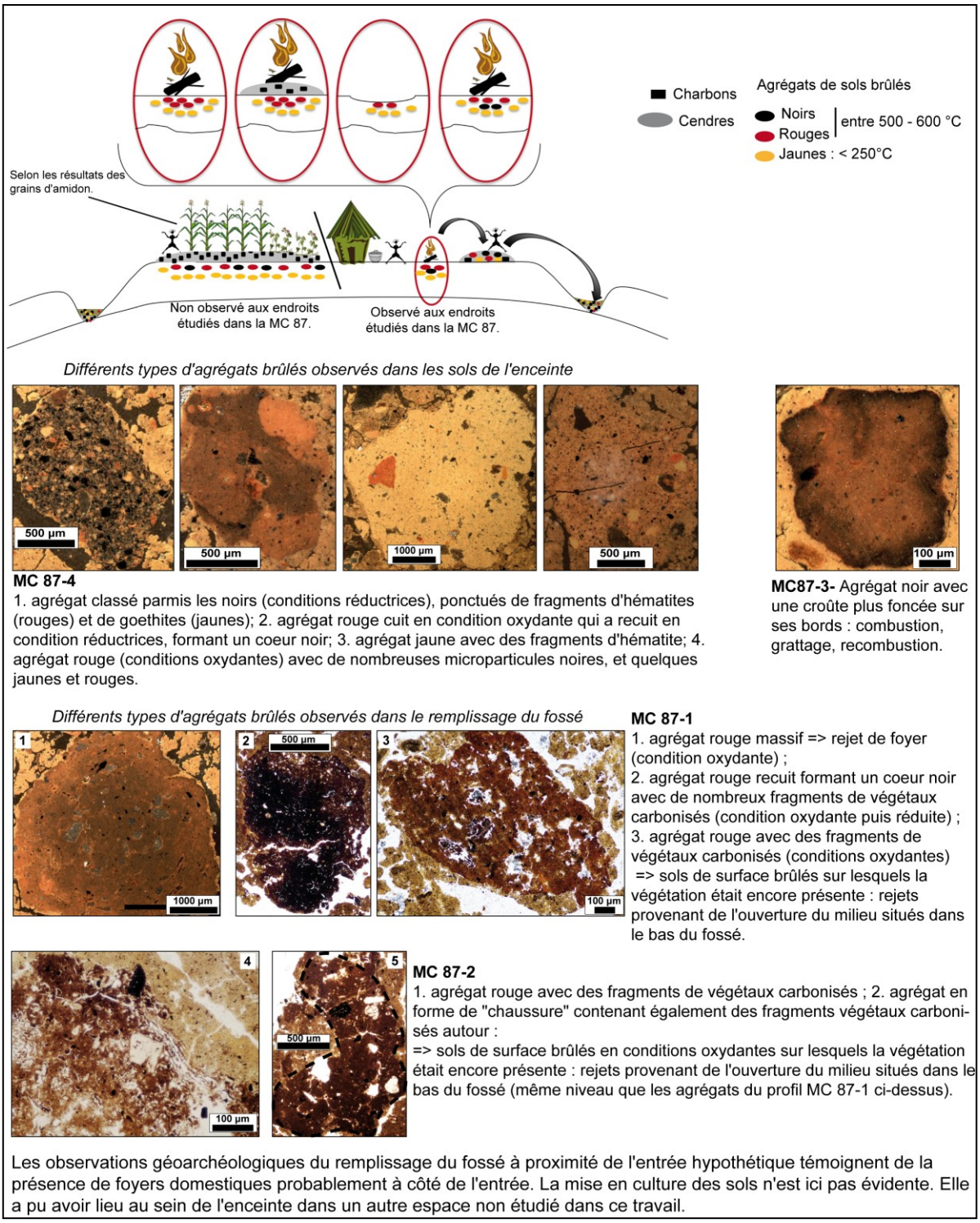


Figure 169 : Cas du remplissage du fossé de la MC 87.

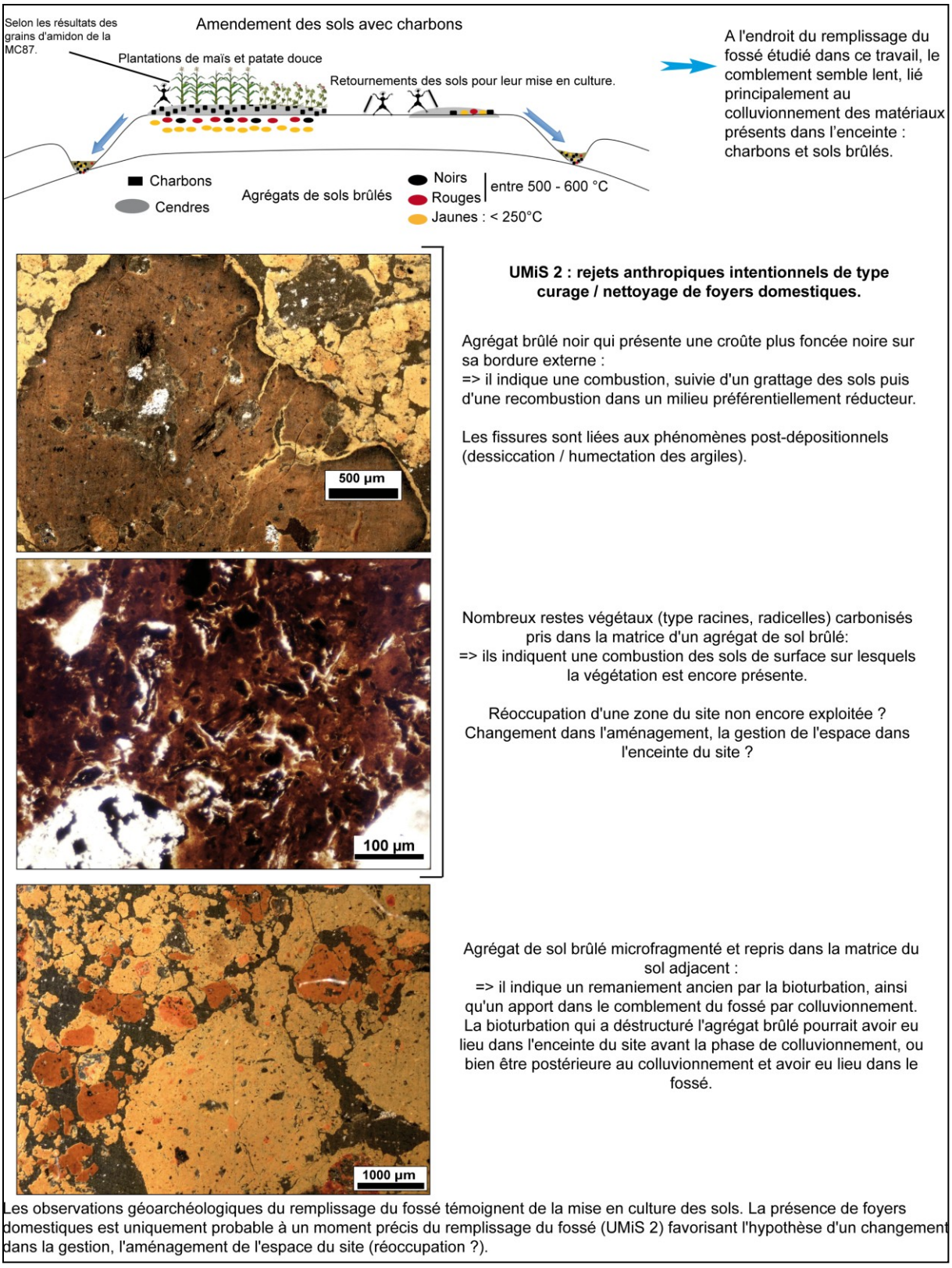


Figure 170 : Cas du remplissage du fossé de la MC 88.



Figure 171 : Exemple de sites voisins contemporains et complémentaires, sans palissade (dessin : F. Laurent-Brancier).



Figure 172 : Exemple de sites voisins contemporains et complémentaires, avec palissade (dessin : F. Laurent-Brancier).

Indices	Marqueurs	Processus	Interprétation
Indices d'activités agricoles (brûlis)			
Constituants anthropiques	Macrocharbons type biochar	Combustions lentes de la végétation : toutes les parties des plantes sont brûlées.	Brûlis primaire maitrisé, en conditions oxydantes dans le but d'ouvrir le milieu.
	Agrégats brûlés rouges + radicelles/racines	Sols de surface cuits en conditions oxydantes « unique » (Cornell & Schwertmann 1996).	
	Agrégats brûlés noirs + racines	Sols de surface recuits après que le premier couvert végétal soit tombé : conditions réductrices.	Brûlis successifs (Browne Ribeiro 2014).
	Charbons fins (< 100 micromètres)	Amendement des sols avec toutes les particules charbonneuses.	Mise en culture type *terra mulata* (Arroyo-Kalin 2008).
Traits pédo-sédimentaires	Revêtements argileux empoussiérés	Déstructuration de la surface du sol nu sous l'impact des gouttes de pluie, éluviation des particules grossières ou organiques dans le profil par apports de cendres (pH augmente la défloculation des argiles).	Changements drastiques dans le couvert végétal (Courty et al. 1989, Fedoroff & Courty 1994, Goldberg & Macphail 2006, Kühn et al. 2010).
	Déjections *P. corethrurus*. brulées	Vers de terre contemporain des phases de brûlage de la végétation.	Ouverture du milieu, brûlis successifs.
Grains d'amidon	Maïs, patate douce et Marantacées	Plantes préparées et consommées sur place.	Plantes cultivées non loin de la zone d'habitat type « jardin de maison ».
Indices d'activités domestiques (foyers)			
Constituants anthropiques	Charbons / Céramiques	Macrocharbons	*terra preta* (Arroyo-Kalin 2008)
Constituants anthropiques Chimie	Agrégats brûlés contiennent P + K + Cl	Traces chimiques résultant de la dissolution de nourriture d'origine animale (Costa & Kern 1999).	Rejets de foyers domestiques.
Grains d'amidon	Maïs, patate douce et Marantacées.	Plantes préparées et consommées sur place.	Lieu de cuisson de ces aliments.

Indices du nettoyage des sols			
Constituants anthropiques	Agrégats brûlés dont la périphérie est brûlée en conditions réduites.	Remaniements des sols brûlés et recombustion(s).	Phases de curage des foyers domestiques.
Traits pédo-sédimentaires	Revêtements argileux, jaunes, en remplissage et peu profonds.	Les sols plus profonds apparaissent à la surface, modification de l'horizonation pédologique des sols.	Troncature du niveau de sol supérieur : cas du profil MC87-3 dan l'enceinte du site.
	Agrégats basculés et/ou incisions en U/V	Modifications de l'organisation sédimentaire au niveau d'anciennes surfaces des sols.	Grattage, balayage des sols de surface.
Aménagements anthropiques	Fossés	Constituants anthropiques de l'enceinte jetés dans les fossés.	Zones de rejets privilégiées.

Tableau 103 : Synthèse des arguments discriminants chaque type d'activité anthropique.

Site	Profil	Domestique	Mise en culture	Zone de rejet	Autre
CSL	CSL-1		X	X	
	CSL-2	X			
BAL	BAL-1		X ?		
	BAL-2	X ?			
	BAL-3				X funéraire ?
MC 87	MC87-1	X		X	
	MC87-2	X		X	
	MC87-3	X			
	MC87-4	X			
	MC87-5				X rejet de creusement
MC 88	MC88-6	X (UMiS 2)	X	X	
Yaou	Fossé 0			X	
	Fossé 2			X	

Tableau 104 : Résumé des activités distinguées dans chaque profil étudié.

Finalement, tous les caractères géoarchéologiques discriminés révèlent une imbrication d'activités (**Tableaux 103 et 104**). Pour avancer sur ces points, il est donc nécessaire de prendre en considération les modèles d'occupation présentés dans la littérature archéologique et ethnologique, pour identifier et mieux caractériser les aires domestiques et agricoles.

II. Les modèles de spatialisation des activités humaines

II.1. Les données de l'archéologie

Le couplage des analyses chimiques des sols avec les données de l'archéologie (artefacts, écofacts), de l'ethnologie (ethno-géoarchéologie), des sources historiques, iconographiques ou encore par des expérimentations, permet de clarifier et de mieux discerner l'emplacement et le rôle des activités humaines anciennes dans un site archéologique donné (Costa & Kern 1999 ; Schmidt & Heckenberger 2009 ; Silva 2009 ;

Holliday et al. 2010 ; Middleton et al. 2010 ; Lopez Varela & Dore 2010 ; Schmidt et al. 2014). Il ressort de ces études une dichotomie spatiale, où l'extérieur des maisons est davantage enrichi en rejets par rapport à l'intérieur.

Cette dichotomie est observée dans de nombreux sites archéologiques développés en contexte de plaine alluviale dans le bassin Amazonien, où la plupart présentent un microrelief formé d'un replat central (*flat*) entouré de monticules (< 1 mètre) (Schmidt et al. 2014). D'après les auteurs, le village (maisons et jardins) était principalement localisé sur ces replats ou plateformes, alors que les zones de rejet intensives aux alentours forment des monticules de résidus. Ces monticules ont ensuite pu servir aussi bien de zones propices à l'agriculture, que pour les activités domestiques (habitat, foyers) (Schmidt 2010). En outre, comme précisé précédemment, les *terra mulata*, dédiées aux espaces agricoles sont plus étendues et entourent les aires de *terra preta stricto sensu*, constituant les aires domestiques.

En Guyane française, des aires de rejet ont également été distinguées dans les sites archéologiques.

Sur le site de Katoury, situé sur un chenier littoral à proximité de l'anse de Montabo (commune de Cayenne), entre deux maisons, une fosse dépotoir a été identifiée, contenant indistinctement des cailloux et des fragments de céramique (Mestre & Rostain 2015) (**Figure 171**).

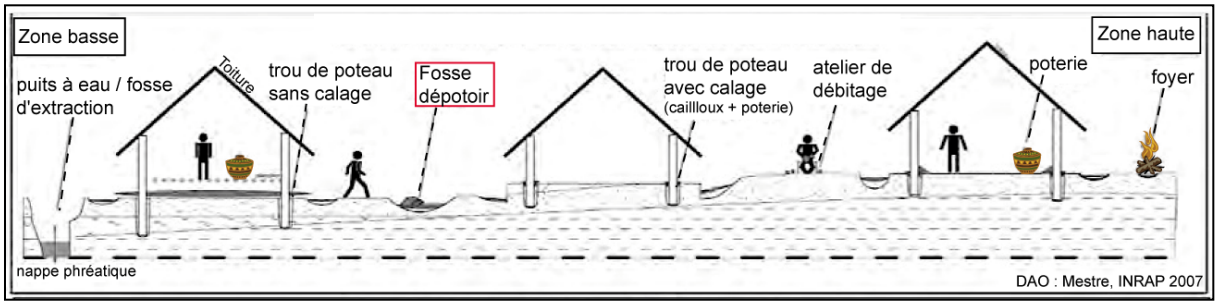


Figure 173 : Hypothèse de l'organisation de l'habitat sur le site de Katoury vers 1000 BP : les différents espaces ont été définis par les structures archéologiques mises au jour lors des fouilles (modifié d'après Mestre & Rostain 2015).

Sur le sommet du chenier, proche de la commune d'Iracoubo, la zone d'habitat du site de Sable Blanc, de culture Barbakoeba, a révélé des aires de rejet de part et d'autre des maisons restituées sur la base de la distribution des trous de poteaux. Beaucoup de tessons et de fragments de quartzite disposés de façon aléatoire ont été observés dans ces dépotoirs (Rostain 2015). La disposition des artefacts évoquait le résultat d'un balayage de déchets domestiques indésirables dans un coin de l'espace. Un des dépotoirs s'étendait

même sur une superficie d'environ 16 m^2 et s'enfonçait jusqu'à 50 cm de profondeur (ibid.).

II.2.Les données de l'ethnologie

Les études ethnologiques vont dans le même sens : en Amazonie dans la région du haut Xingu, au Brésil (Schmidt & Heckenberger 2009 ; Schmidt et al. 2014), une place circulaire, d'environ 200 mètres de diamètre, est entourée de maisons associées à leurs aires de rejets. Par exemple, chez les Asurini du Xingu, les zones de rejets sont placées en périphérie des zones d'habitation (Silva 2009). Chez ces derniers, la dynamique des rejets est en lien étroit avec le processus de nettoyage des aires d'activité. Avec une certaine périodicité, les aires de « cuisine » et de « repos » sont balayées, entrainant une grande quantité de matériaux variés, qui sont déposés dans les zones de rejets autour de ces aires d'activité (ibid.). D'après les observations de Silva (2009), les concentrations de déchets sont principalement de deux types. D'une part, elles forment des monticules, révélant des rejets intensifs accumulés dans une même zone donnée. D'autre part, elles constituent des zones plus étendues, où les déchets sont éparpillés sur le sol, ce qui résulte, entre autres de l'action des animaux domestiques qui viennent patrasser dans les déchets, ou directement des Asurini, dans leur manière de répandre les déchets au sol. Les déchets alors concentrés dans les zones de rejet sont ensuite habituellement brûlés, de manière périodique (ibid.). Ceci entraine l'accumulation de cendres et de charbons dans ces zones.

Dans le cas des populations *caboclos* vivant actuellement en Amazonie brésilienne, le pourtour des maisons peut être une zone de jardin (*home gardens*), où la fertilité des sols est améliorée par l'ajout de « terres brûlées » (*terra quemada*). Ces jardins sont nettoyés, balayés et les débris sont brûlés avant d'être ajoutés à nouveau dans des jardins, par exemple autour des semis et des jeunes arbres (WinklerPrins 2009). En outre, certains groupes amérindiens utilisent dans les deux sens (de manière indifférenciée) aussi bien leurs jardins comme zones de rejets, que leurs aires de rejets comme jardins (Hecht 2003 ; Schmidt & Heckenberger 2009). Sur le littoral guyanais, les champs surélevés correspondent à des parcelles agricoles qui se situent à proximité des lieux d'habitat, comme c'est le cas par exemple sur le site de Bois Diable (Rostain 2015).

Les observations de Hecht (2003) sur les populations Kayapó, laissent apparaître que la structure de leur village est traditionnelle et similaire à ce qui est observé chez les amérindiens suivant le bas Amazone, et plus particulièrement chez les groupes

appartenant à la langue Gê. La place centrale est entourée par des maisons autour desquelles des aires de préparation de la nourriture, associées à des jardins sont installées. Ces « jardins de porte » (*door yard*) ou « *home gardens* » contiennent des arbres fruitiers, des plantes médicinales, des semis, et de nombreux résidus de la vie quotidienne, qui peuvent ensuite être brûlés (Hecht 2003). A l'extérieur de ces espaces domestiques, plus éloigné des habitations, il y a une zone dédiée à de nombreux autres débris avec par exemple des os d'animaux, des charbons, des matériaux provenant de la toiture des maisons, ou encore des charbons provenant du nettoyage des foyers domestiques (ibid.). L'éloignement des détritus principalement organiques, des maisons, permet de repousser d'autant les chiens, les nuisibles et d'éviter à la vermine et aux parasites de se développer à proximité du lieu de vie.

D'après les études évoquées, il est possible d'élaborer un modèle conceptuel d'occupation, où trois aires principales peuvent être distinguées, en fonction de la nature et de l'intensité des transformations du sol, notamment en lien avec la circulation et l'accumulation des rejets (**Figure 174 et Tableau 103**) :

- Zones d'intense activité (vie quotidienne) - principalement de deux types :

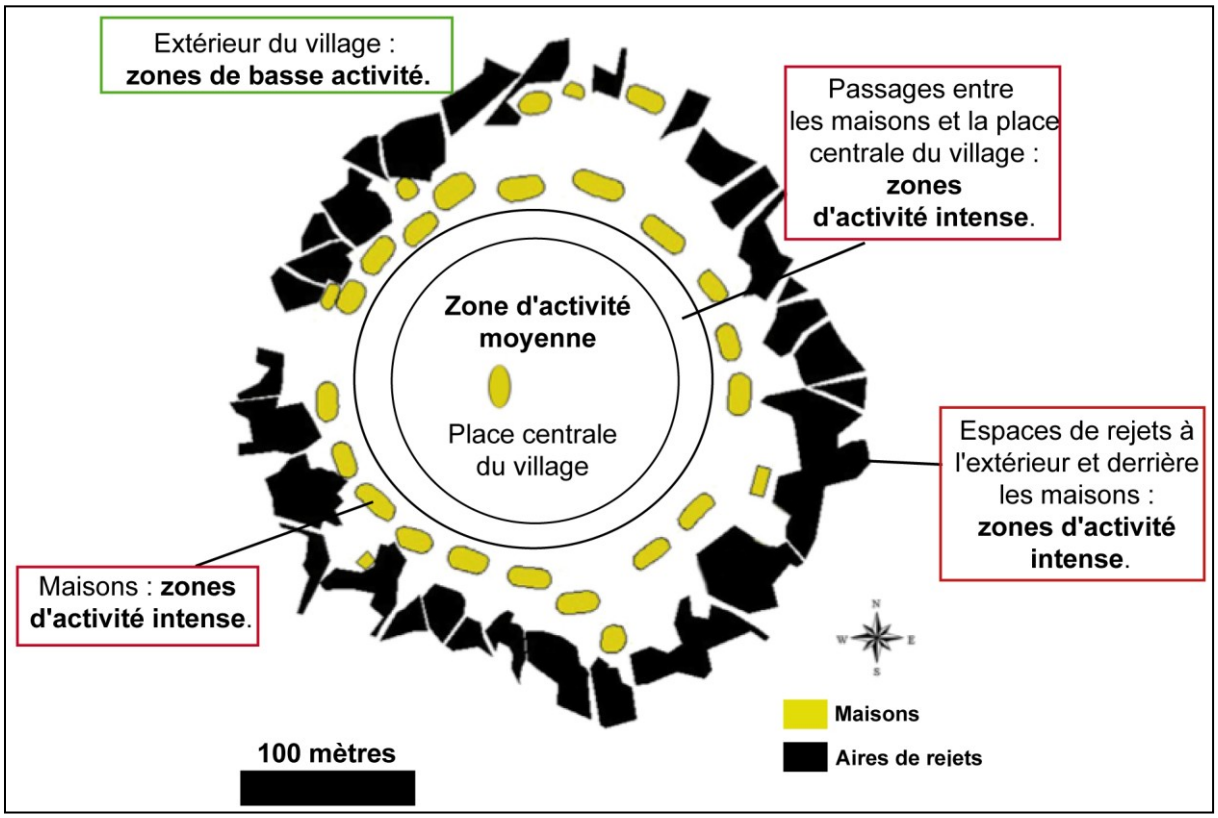
(i) *zones domestiques* : type cuisine, zone de nettoyage/rejet très proche des maisons (adjacente aux lieux d'habitat : ex. carbets). La fréquentation anthropique y est quotidienne et intense. Elles peuvent correspondre à des zones définies au Brésil comme des *terra preta*. Entre autres restes anthropiques, les céramiques ainsi que les os y sont souvent abondants.
(ii) *zones agricoles* : intègre le nettoyage et l'ouverture du terrain pour les plantations avec la pratique du brûlis et un travail du sol. Ce sont des espaces qui sont autour des zones domestiques, type *home gardens* ou *door yard*, et peuvent correspondre à des *terra mulata*, telles que définies au Brésil.

- Zones d'activité moyenne :

Elles correspondent à des zones de passage dans le village, telle que la *place centrale*, où la fréquentation est moins intense et régulière qu'à proximité immédiate des maisons. Il s'agit également des *voies de passage* à l'extérieur de la zone d'habitat, comme un layon entre deux villages, ou de chemins habituels utilisés périodiquement pour aller s'approvisionner en nourriture (chasse, cueillette).

- Zones de basse activité :

Ce sont des zones aussi bien à l'intérieur qu'aux alentours du village, où la fréquentation est très peu intense.



Légende : entre les maisons, des jardins nourriciers de type *home gardens*, peuvent être culitvés.
Figure 174 : Modèle type d'occupation d'un village actuel, Kuikiro (région du haut Xingu) avec l'intensité des aires d'activités (modifié d'après Schmidt 2010).

Dans ce travail ce sont principalement des activités qui définissent des zones d'intense activité et de moyenne activité qui ont pu être discriminées.

II.3.Un modèle conceptuel de la montagne couronnée 87

Selon le modèle développé dans la **figure 174**, l'emplacement des profils MC87-3 et MC87-4 dans l'enceinte du site indique qu'ils pourraient être situés dans une aire du site entre une zone centrale (place centrale ?) et le fossé. Leur enrichissement en restes anthropiques et les traits pédo-sédimentaires distingués traduiraient des zones de rejets. Ils seraient alors situés derrière des lieux d'habitation et correspondraient à des aires de rejet préférentiellement domestiques (**Figure 175**).

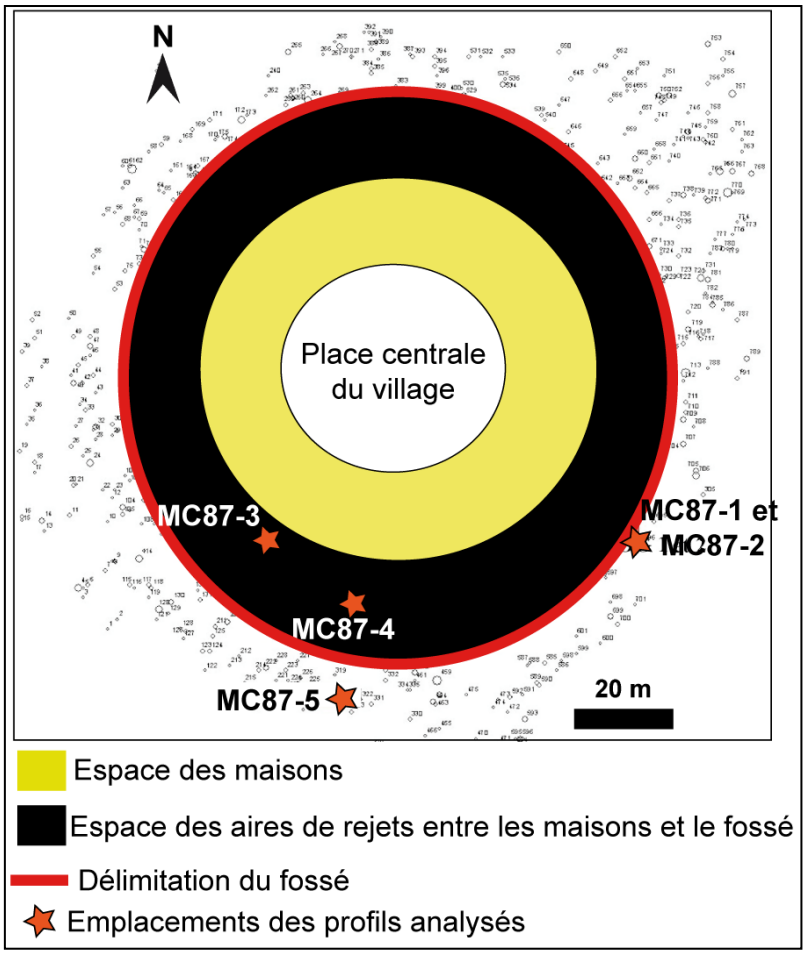


Figure 175 : Proposition d'un modèle conceptuel d'occupation du site MC 87 selon le modèle d'occupation des villages amérindiens actuels.

La troncature du profil MC87-3 indiquerait alors une volonté des populations précolombiennes de gérer l'accumulation des déchets, comme cela se pratique encore aujourd'hui. Il est ainsi possible d'imaginer que MC87-3 constituait une zone où l'accumulation des déchets était très importante, comme le suggère le modèle, puisqu'il apparait plus proche des zones d'habitation que MC87-4. Une hypothèse serait qu'à force d'accumulation, il aurait fini par être tronqué, sa partie supérieure étant rejetée dans le fossé, afin de nettoyer et d'aplanir la zone, pour une prochaine accumulation (?). Le profil MC87-4 étant légèrement plus éloigné de la zone d'habitation, selon ce modèle, l'accumulation aurait pu être plus tardive par rapport à celle de MC87-3, et perdurer jusqu'à l'abandon du site, expliquant le fait que l'on retrouve encore aujourd'hui ce sol cumulique *a priori* dans son intégralité. Ce modèle de l'espace est une hypothèse qu'il serait néanmoins nécessaire de confirmer et d'étayer par de plus amples observations.

En outre, selon le mode de vie traditionnel des Kayapó, le fossé de la montagne couronnée 87, dont l'enceinte du site correspondrait *a priori* à un espace plutôt domestique, peut

être assimilé à une zone de rejet plus éloignée des maisons, afin de ne pas attirer les animaux dans l'enceinte habitée du site.
L'étude géoarchéologique a permis de mettre en évidence une variation intra-site dans l'enceinte de la MC87, émanant d'une volonté, de la part des populations précolombiennes, de gestion de leur espace.

En outre, il est intéressant de noter que d'après l'emplacement de ces deux sites, MC 87 et 88, les zones de bas-fonds entre les collines constituent les sources d'eau les plus proches. Or, ces bas-fonds présentent des variations saisonnières importantes, puisqu'ils sont remplis d'eau lors de la saison humide. A ces périodes, ces zones ont alors pu suffire à subvenir aux besoins en eau des populations occupants ces sites. En revanche, en périodes plus sèches, le niveau d'eau présent dans les bas-fonds, diminue drastiquement, jusqu'à laisser un simple filet d'eau couler à certains endroits. Il est alors possible de s'interroger sur la saisonnalité d'occupation de ces sites : ont-ils été occupés lors des saisons particulièrement sèches ? Auquel cas, d'autres sources auraient apporté suffisamment d'eau potable pour subvenir aux besoins des populations. Ou bien, ces sites ont-ils été occupés de manière saisonnière, à la faveur des saisons plus humides ?

Ainsi, il a été montré par ce travail qu'il est possible de caractériser les dépôts archéologiques en observant des marqueurs spécifiques de l'anthropisation du milieu tropical humide et plus particulièrement guyanais. La détermination de ces traceurs fonctionnels a permis d'apporter des élements de réponse quant à la problématique générale ainsi qu'à trois des objectifs spécifiques énoncés en préambule de la présente étude.

III. Les anthroposols guyanais

III.1. Processus de formation

Le schéma de synthèse (**Figure 180**) fait le point sur les principaux marqueurs de l'anthropisation discriminés dans ce travail, ainsi que sur les processus de formation des anthroposols guyanais. Les Ferralsols développés sur le territoire guyanais présentent un horizon A peu épais et des propriétés chimiques limitées en terme de fertilité (cf. Partie I-chapitre 1). La présence de populations amérindiennes anciennes sur ces Ferralsols va entrainer leur transformation en sols anthropiques.

Dans ce travail, les pratiques humaines discriminées sont principalement : le brûlis ; les foyers domestiques ; l'accumulation et le nettoyage des déchets ; la mise en culture. Ces activités ont entrainé la présence de marqueurs directs et indirects spécifiques liés à la combustion de la végétation (charbons de bois) et/ou des sols (agrégats brûlés), au travail du sol (grattages, balayages), à la gestion de l'espace (déplacement d'une activité) et au stockage et rejets volontaires des déchets dans des zones spécifiques (fossés par exemple).

Ces activités humaines ont transformé les caractères intrinsèques des sols pédologiques, d'un point de vu de leur microstructure, leurs compositions, leur aspect, ainsi que leurs propriétés physico-chimiques. Elles ont induit des modifications dans les processus pédogénétiques. Par exemple, elles semblent avoir intensifié le lessivage du fait des concentrations cendreuses qui ont créée des conditions plus alcalines dans ces sols à l'origine acides. Les activités anthropiques ont également pu venir modifier la bioturbation, aussi bien au niveau de son intensité, qu'en fonction des espèces colonisant les sols. En effet, si les microanthraco séquences montrent bien des niveaux enrichis en charbons, ceux-ci ne peuvent pas avoir été uniquement remaniés par l'activité biologique du fait de leur forme et de leurs concentrations sur des épaisseurs importantes. La présence de *Pontoscolex corethrurus*, durant l'époque précolombienne, est un élément important de la modification de la faune des sols par les activités anthropiques qui indique une ouverture du milieu par le feu (Topoliantz & Ponge 2003).

Les anthroposols guyanais étudiés dans ce travail correspondent à une évolution *in situ* des sols ayant subi des modifications anthropiques, qui, après l'occupation ont été soumis aux processus pédogénétiques propres au milieu tropical humide, parfois intensifiés par l'anthropisation du milieu (lessivage, lixiviation, bioturbation). En conséquence, la reconnaissance des temporalités d'occupation est clairement impactée par les processus pédogénétiques, tels que la bioturbation, en tant que phénomène contemporain des dépôts, et donc de l'occupation, ou bien comme agent post-dépositionnel, lors des phases d'abandon. Ces phénomènes post-dépositionnels vont impacter l'effet mémoire des sols, et participer à leur résilience. Par exemple, dans le cas des anthroposols étudiés sur la plaine alluviale du Maroni, la présence de la nappe alluviale, qui favorise l'hydormorphie saisonnière des sédiments et les processus redoxiques, va entrainer, dans une certaine mesure, l'atténuation de l'effet mémoire des sols.
Néanmoins la résilience des sols est conditionnée, en partie, par l'intensité de la pression anthropique (type d'activité, durée). En effet, comme cela a étéprécisé précédemment,

les activités humaines anciennes n'ont pas toute la même intensité, et donc pas le même impact sur les sols.
Ainsi, l'inscription différentielle des paléosurfaces entre les profils pourrait également s'expliquer par une pression anthropique différente. Par exemple, celle-ci serait moins intense à l'extérieur d'un habitat, qu'au sein d'un espace domestique (**Figure 174**).

III.2. Typologie des anthroposols

Deux grands types d'anthroposols ont été définis dans ce travail (**Figure 176)** :

- Le *type 1* regroupe l'essentiel des sols archéologiques observés ici : les **anthroposols cumuliques**. Ils sont caractérisés par des accrétions de matériaux sédimentaires, constitués d'un mélange de matériaux naturels, issus du sol originel, avec des éléments allochtones d'origine anthropique, tels que les charbons, les agrégats de sol brûlés, ainsi que les fragments de céramique.

Parmi ce premier type, on trouve trois sous-types classés selon leur vitesse d'accumulation :

- les anthroposols cumuliques épais à accumulation rapide : cas des remplissages des fossés des montagnes couronnées.
  Ils sont caractérisés par une épaisseur importante et une succession d'anciennes surfaces. La bioturbation, ainsi que la fragmentation et la taille des charbons sont des indices sur les conditions d'ouverture du fossé lors de son remplissage. Le peu de datations C14 permettent de mesurer une possible accrétion sédimentaire, et d'évaluer d'hypothétiques pas de temps des épisodes de remplissage. Par exemple, sur le site de Yaou, l'accrétion sédimentaire calculée selon les datations est pour F0 ≈ 70 cm / 1000 ans, soit une moyenne de 7 cm / 100 ans et pour F2 ≈ 40 cm / 200 ans soit une moyenne de 20 cm /100 ans. Pour ce dernier, ces données sont uniquement valables dans la première phase de comblement du fossé, sous 200 cm de profondeur.
  Un cas particulier parmi ces anthroposols à accumulation rapide est représenté par le profil MC87-5, du talus externe du fossé, qui correspond à un anthroposol complexe, avec une inversion de la stratigraphie.

- les anthroposols cumuliques épais à accumulation lente : cas de ceux étudiés sur la plaine alluviale, sur le site de Chemin Saint-Louis.
  Ils présentent un horizon A supérieur à 50 cm d'épaisseur, qui révèle une succession d'anciens niveaux de surface, accumulés sur le long terme, comme en témoignent les datations du site de CSL, qui révèlent que l'occupation s'étend sur environ 2600 ans. Ces anthroposols sont généralement **polyphasés**. Selon Gé et al. (1993), il s'agit d'une succession de sols d'occupation qui va former à terme un seul niveau homogène épais et sombre, assez massif lorsqu'on l'observe à l'œil nu sur le terrain. Avec les travaux menés ici, « *il est possible de pressentir l'importance de l'étude des couches massives et relativement homogènes sur le terrain, qui peuvent être subdivisées à l'échelle microscopique, car, dans ce cas, la micromorphologie apporte des informations très originales par rapport à la vision de terrain* » (Cammas 2015). Ainsi, au même titre que ce qu'a pu observer C. Cammas dans les terres noires urbaines européennes, il est possible d'investiguer les anthroposols guyanais d'aspect massif sur le terrain et d'identifier des critères très fins permettant de préciser les rythmes d'accumulation.

- les anthroposols cumuliques peu épais à accumulation lente : tel que le profil 4 de l'enceinte de la MC 87. Il s'agit d'une accumulation successive, **simple**, non polyphasée, où l'accrétion sédimentaire est relativement peu importante (< 20 cm).

- Le *type 2* se rapporte à un seul profil étudié dans ce travail, MC87-3 : un **anthroposol archéologique décapé** (Baize & Girard 2008). Il s'agit d'un anthroposol tronqué, dans lequel les niveaux supérieurs ont été enlevés par l'intervention humaine.

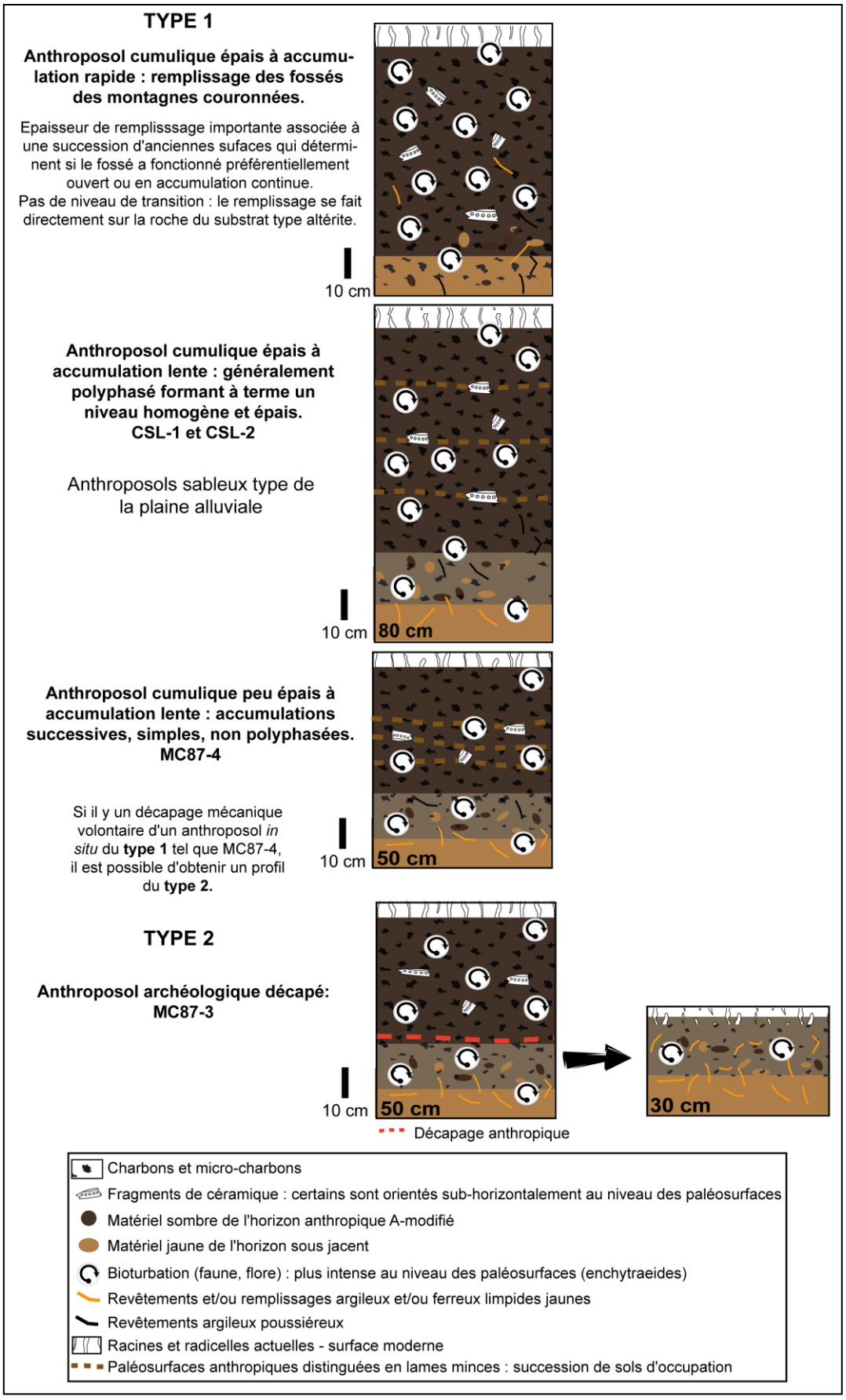


Figure 176 : Première proposition de typologie des anthroposols guyanais.

III.3. Paramètres physico-chimiques marqueurs de l'anthropisation

III.3.1. Variation verticale de certains paramètres physico-chimiques en lien avec l'anthropisation.

Naturellement, d'après les travaux de compilation de Jobbágy & Jackson (2001) sur de nombreuses données géochimiques qui existent sur les *Ultisols*, le phosphore et le potassium échangeables sont plus concentrés dans l'horizon de surface, entre 0-20 cm, au même titre que le carbone total, équivalent au carbone organique dans le cas de sols non calcaires comme ceux étudiés dans ce travail. Le calcium échangeable a une distribution plus intermédiaire au sein d'un profil en fonction de la profondeur et tend à être assez concentré dans l'horizon de sub-surface des *Ultisols*. Or, dans nos travaux, il apparaît régulièrement que le calcium échangeable est croissant avec la profondeur. En effet, sous certaines conditions, les plantes peuvent redistribuer les nutriments en profondeur par leurs racines, si les réserves nutritives des sols, ici le calcium, sont très concentrées dans les horizons de surface (ibid.). Ainsi, les activités anthropiques font augmenter les réserves nutritives des sols dans les horizons de surface, favorisant d'autant la concentration de certains cations en profondeur. Précisons néanmoins que le calcium est plus mobile dans les sols que les autres éléments, notamment par rapport au phosphore et au magnésium (Birk & Glaser in van den Bel 2012). Il sera donc plus rapidement transporté via la lixiviation, que les autres cations.

Naturellement, le magnésium et le sodium sont, en revanche, assez bas dans l'horizon de sub-surface et augmentent avec la profondeur (Jobbágy & Jackson 2001). En outre, de manière générale dans les *Ultisols*, la part du potassium échangeable est inférieure à celle du calcium et du magnésium, et souvent du sodium (ibid.). Ceci se vérifie dans nos données (**Tableau 105 – milieu**), où Kéch < Ca et Mg éch, et reste ≥ Na éch aussi bien pour les MC que pour la PA.

Finalement, les paramètres physico-chimiques qui témoignent de l'anthropisation ancienne dans les sols guyanais sont le carbone organique associé au C/N et à la susceptibilité magnétique, ainsi que les variations de concentrations de certains éléments chimiques. Parmi ces derniers, les plus significatifs sont les cations échangeables P, Ca et Mg, et dans une moindre mesure K et Mn. Selon le contexte, Mn peut être un marqueur de l'anthropisation, ou bien des conditions de milieu : dans le premier cas, il révèle la présence ancienne de palmes (Kern et al. 2015) ; dans le second cas, associé au Na, il témoigne de l'hydromorphie des sédiments (plaine alluviale Maroni) (Baize 2000).

Si l'on regarde les éléments totaux, ce sont principalement P, Ca, K, Mg et Mn, qui présentent des variations encore attestées actuellement dans les sols. Plus l'intensité

d'anthropisation est avérée par l'observation micromorphologique (abondances des résidus anthropiques, traits anthropo-pédo-sédimentaires), plus les variations des contrations des éléments sont importantes (différence entre les profils MC87-3 et MC87-4).

III.3.2. Différences physico-chimiques majeures entre anthroposols sableux et argileux

Au même titre que ce qui a été mis en évidence dans les ADE, des différences entre les anthroposols sableux et argileux ont été détectées.

En terme d'épaisseur, les horizons anthropiques sableux de la plaine alluviale apparaissent ici plus épais que pour les montagnes couronnées : 60 cm vs 30 cm, à l'inverse de ce qui a été établi pour les ADE. Cependant, pour les montagnes couronnées un seul profil est ici considéré comme un anthroposol *in situ* complet constituant un référentiel pour les anthroposols argileux guyanais, MC87-4. De plus amples observations seraient ainsi nécessaires pour étayer ces données afin de développer le référentiel géoarchéologique des anthroposols guyanais à dominante argileuse.

En terme de variations physico-chimique, les données du (**Tableau 105**) indiquent que les anthroposol archéologiques des montagnes couronnées, développés sur substrat argileux, sont plus enrichis chimiquement que les sols sableux de la plaine alluviale, principalement en phosphore. Ceci est cohérent avec les observations faites sur les ADE par Sombroek (1966), Woods & McCann (1999) et Arroyo-Kalin (2008). En effet, les argiles et les oxy-hydroxydes de fer, plus concentrés dans les Ferralsols des montagnes couronnées que dans les sols sableux de la plaine alluviale, fixent mieux le phosphore (Holliday & Gartner 2007). La fraction fine des sols argileux est aussi nettement moins susceptible d'être lessivée.

En outre, le rapport C/N présente des valeurs assez similaires, dans les deux contextes étudiés. Il est assez élevé (> 20) pour des sols développés en contexte tropical humide (Baize 2000). Ceci provient du carbone présent dans ces anthroposols, qui est élevé, en lien avec l'abondance des charbons observés et comptabilisés en lames minces (Goldberg & Macphail 2006). En effet, le carbone organique mesuré dans les montagnes couronnées atteint 13% dans l'horizon de surface de l'enceinte de la MC87 (MC87-4). Cette valeur est près de 3 fois supérieures à des Ferralsols naturels argileux, dont l'horizon A contient moins de 4% de Corg (Calvet 2003 ; Baize & Girard 2008). Or, c'est l'horizon A qui est le plus susceptible de subir des modifications par les pratiques anthropiques liées à l'utilisation des sols.

		Granulométrie (g/kg)			pH (eau)	C/N	Corg (%)	CEC (cmol/kg)
		Argiles	Limons tot	Sables tot				
MC	Min	289	95	179	3,8	11	0,4	1,2
	Max	684	303	566	4,9	24	12,9	8,6
	Moy	521	182	296	4,7	17	3,1	2,3
	ET	120	56	111	0,2	3	2,2	1,3
PA	Min	40	28	355	4,4	10	0,1	0,9
	Max	201	343	1083	5,7	24	0,9	1,9
	Moy	112	104	784	4,8	16	0,5	1,2
	ET	44	82	195	0,3	3	0,2	0,3

		P	Cobaltihéxamine (cmol/kg)						
		(Olsen)	Ca	K	Mg	Mn	Na	Fe	Al
MC	Min	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,04	0,47
	Max	0,04	1,36	0,22	0,60	0,41	0,09	0,39	8,47
	Moy	0,01	0,19	0,05	0,11	0,03	0,02	0,11	1,81
	ET	0,01	0,30	0,05	0,12	0,07	0,02	0,07	1,43
PA	Min	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,38
	Max	0,04	1,24	0,03	0,06	0,01	0,03	0,13	2,16
	Moy	0,02	0,31	0,02	0,02	0,01	0,01	0,04	0,92
	ET	0,01	0,37	0,00	0,01	0,00	0,01	0,03	0,44

		Eau Régale (ppm)							
		Ca	K	Mg	Mn	P	Al	Fe	Na
MC	Min	33	185	137	187	223	88000	86000	29
	Max	311	387	384	1360	591	145172	187000	65
	Moy	94	292	279	338	487	131126	154500	44
	ET	67	50	72	201	77	12096	26143	11
PA	Min	57	239	106	29	109	8690	2870	25
	Max	253	529	211	131	461	31900	14300	44
	Moy	101	335	151	71	170	14862	7014	35
	ET	46	90	30	28	77	6507	2963	6

Légende : MC = montagnes couronnées : MC 87, 88 et Yaou ; PA = plaine alluviale : CSL et BAL ; en rouge ce sont les plus fortes moyennes mesurées.

Tableau 105 : Étendues, moyennes et écarts-types des résultats physico-chimiques, dans tous les niveaux anthropisés confondus, classés par contexte géomorphologique.

Ce phénomène est également valable pour la susceptibilité magnétique (**Figure 176**). Il est important de noter que même si les valeurs de susceptibilité magnétique obtenues sur les sols sableux de la plaine alluviale du Maroni présentent des variations intra-site, les mesures globales sont nettement inférieures aux sols argileux des montagnes couronnées. Cela vient en partie du fait que les sols de la plaine alluviale sont hydromorphes. Or, l'eau dans les sédiments est défavorable à la présence des minéraux ferromagnétiques, au même titre qu'un pH acide. Ces sols sont ainsi dits « diamagnétiques », soit magnétiquement neutres (F. Lévêque com. pers.).

En outre, d'après les données d'Arroyo-Kalin (2014), il est parfois assez mal aisé de faire le distinguo sur le rôle des céramiques ou des charbons dans l'augmentation des valeurs de

susceptibilité magnétique. Selon nos observations, en fonction des contextes, la susceptibilité magnétique des sols est régie soit par les fragments de céramique, qui la feront augmenter légèrement, soit par les agrégats de sols brûlés qui la feront augmenter drastiquement (cf. *infra*).

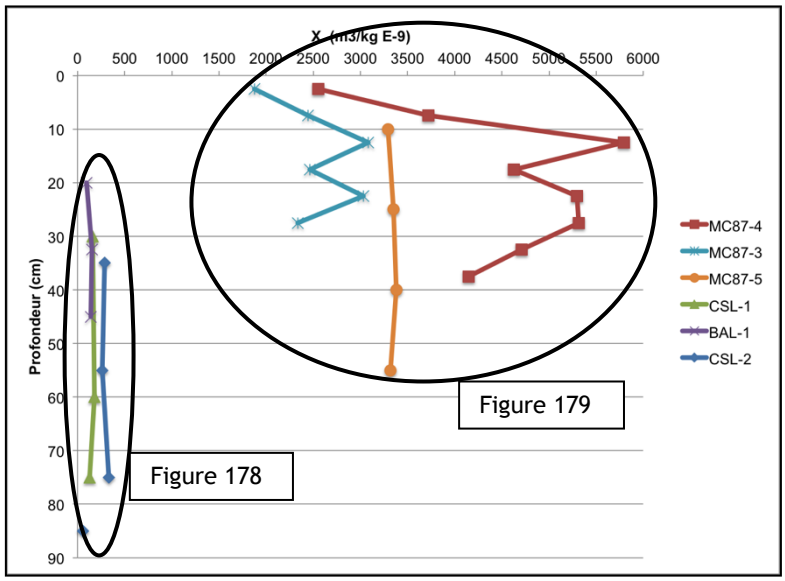


Figure 177 : Comparaison des valeurs de susceptibilité magnétique mesurées dans les anthroposols sableux de la plaine alluviale (PA) et argileux de la montagne couronnée 87 (MC).

En effet, si l'on s'intéresse uniquement à la susceptibilité magnétique obtenue dans les anthroposols à dominante sableuse de la plaine alluviale, on remarque que les deux profils de CSL ont des valeurs supérieures au profil de BAL, et que parmi eux, dans CSL-2 elle est près de trois fois supérieure à BAL-1 (**Figure 178**). Le point autour de 85 cm de profondeur est considéré ici comme une valeur de référence pour la basse terrasse alluviale Holocene ≈ 50.10^{-9} m^3/kg (**Figure 178 : entouré en rouge**). L'augmentation de la susceptibilité magnétique dans ces anthroposols est alors plus particulièrement liée à la présence des tessons de céramique, comme c'est le cas dans CSL-2 (en bleu). Ceci indique que les céramiques de la plaine alluviale sont fabriquées avec des matériaux contenant du fer, puisqu'elles sont assez magnétiques (F. Levêque com. pers.).

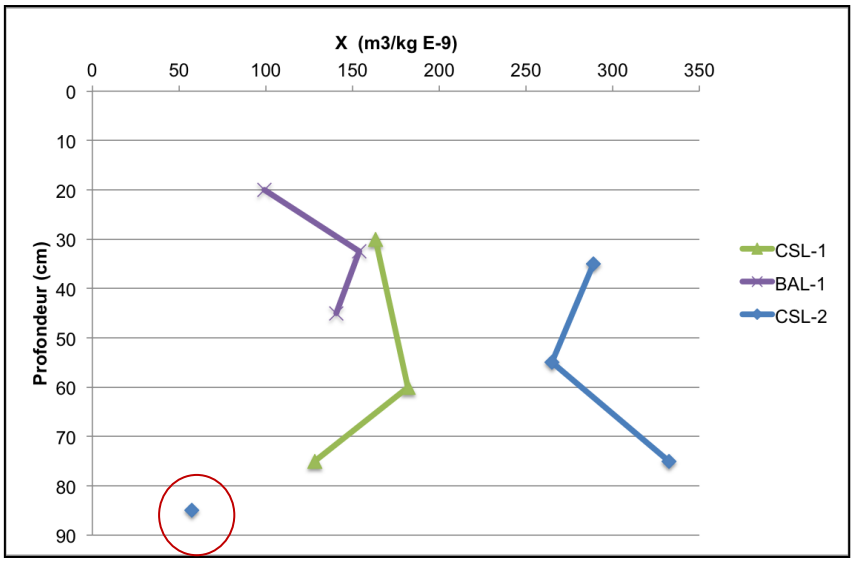


Figure 178 : Zoom sur les mesures de susceptibilité magnétique obtenues dans les trois profils de la PA, en fonction de la profondeur.

A propos des montagnes couronnées, les mesures de susceptibilité magnétique obtenues permettent d'avancer qu'en deçà de 3000.10^{-9} m^3/kg, il n'est pas possible d'affirmer qu'il y ait eu chauffe du sol (cas des profils MC87-3 et MC87-5), alors qu'au-delà, l'effet du feu est pour le moins indéniable (MC87-4, MC87-1 et MC88-6) (**Figure 179**). Ces valeurs peuvent être prises comme une référence pour les sols acides guyanais dans un contexte de sols globalement argileux, de type Ferralsol, et dans des conditions topographiques assez identiques à celles de la MC 87. Ils correspondent aux données de Marques et al. (2014) qui considère qu'un Ferralsol naturel brésilien présente une susceptibilité magnétique autour de $2000\text{-}3000.10^{-9}$ m^3/kg. Cette valeur est nettement supérieure aux sols européens, qui sont largement inférieurs à 1000.10^{-9} m^3/kg, du fait d'une abondance des minéraux ferromagnétiques naturellement présents dans les sols tropicaux humides de type Ferralsols. Dans ce contexte d'anthroposol, il semblerait que ce soit préférentiellement les agrégats brûlés qui favorisent une plus forte susceptibilité magnétique des sols (Jordanova et al. 2001).

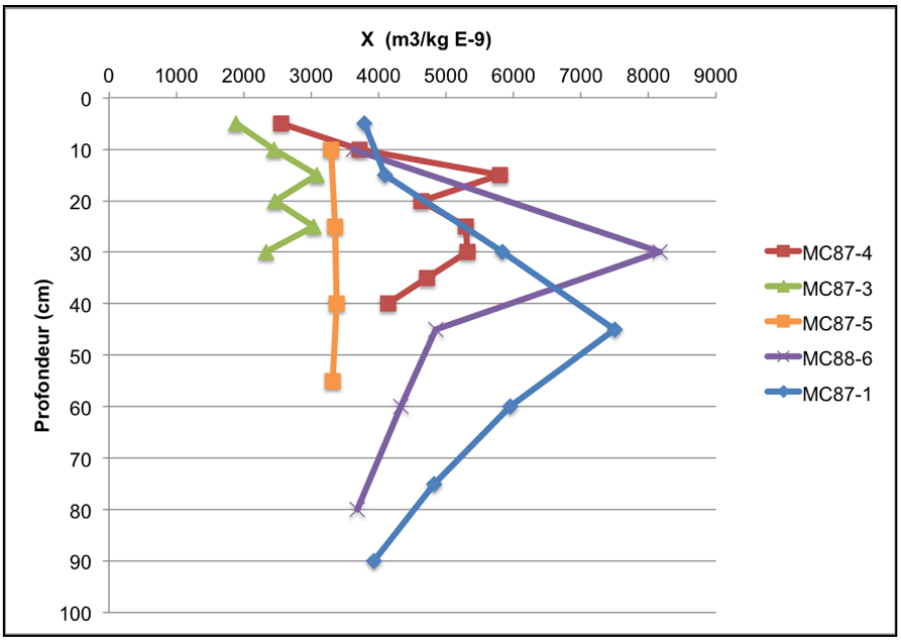


Figure 179 : Valeurs de susceptibilité magnétique obtenues sur les cinq profils étudiés dans les MC 87 et 88.

Dans le cas des enrichissements physico-chimiques, l'évaluation de la résilience des sols est également importante pour comprendre la part du signal anthropique résiduel que l'on décèle actuellement dans les anthroposols. Toutefois, il est, à l'heure actuelle, difficile d'évaluer de manière précise ce temps de résilience. De plus amples mesures seraient nécessaires, associées à de l'archéologie expérimentale. Néanmoins, comme précisé précédemment, le temps de résilience d'un anthroposol, pour retrouver un état d'équilibre, sera d'autant plus long qu'il est enrichi en restes anthropiques et que les phénomènes pédologiques naturels tels que la bioturbation et/ou la lixiviation ne sont pas des très actifs. Par exemple, cela est observé dans le remplissage du fossé de la MC88 où le rejet anthropique massif, autour de 30 cm de profondeur, a nettement modifié les propriétés chimiques des sols, induisant une diminution des concentrations en cations échangeables et en carbone organique dans l'horizon de sub-surface. Si les sols avaient eu le temps de revenir à un état d'équilibre naturel, l'horizon de sub-surface auraient été le plus riche, comme cela est avéré dans la majorité des sols du monde, et dans le reste des profils étudiés dans ce travail.

.

III.4. Proposition de classification pédologique

D'un point de vu pédologique, ces anthroposols sont formés par trois horizons principaux, qui se distinguent des sols naturels originels notamment par l'épaisseur et la couleur plus

foncé de l'horizon A anthropisé (selon Munsell : value ≤ 4 et chroma ≤3), sous-lequel se développe un horizon de transition AB brun à gris, contenant à la fois des sédiments de l'horizon A supérieur et de l'horizon B sous-jacent ; et un horizon B (**Figure 180**). Ce dernier horizon représente *a priori* un niveau stérile en vestiges archéologiques d'un point de vue macroscopique. La bioturbation semble davantage développée dans les anthroposols que dans les sols naturels, induisant ce mélange important des horizons dans le niveau AB. Ainsi, au même titre que les Amazonian Dark Earth, les anthroposols guyanais correspondent à un horizon A modifié (Lima et al. 2002 ; Kern et al. 2004). D'après les référentiels pédologiques français (Baize & Girard 2008) et internationaux (FAO 2014), les anthroposols étudiés dans ce travail correspondent respectivement à des *anthroposols archéologiques* et des *anthrosols*. En effet, ce sont des « *sols qui ont subi des modifications anciennes (sur plus de 50 cm d'épaisseur depuis la surface)*. Ils sont composés de matériaux archéo-anthropiques (codés Zar) caractérisés par des *couches contenant plus de 20% (en volume) de débris d'origine anthropique, une grande quantité de matières charbonneuses et un taux de phosphore plus élevé que les sols voisins* (sous-entendu, naturels) (Baize & Girard 2008 : 90). Les matériaux dits *Zar* correspondent principalement, dans ces cas de figures, aux charbons et céramiques dans le cas des sites archéologiques de la plaine alluviale du Maroni, et aux charbons et agrégats de sols brûlés, dans le cas des montagnes couronnées. De plus, Baize & Girard (2008) les anthroposols archéologiques sont des *sols issus d'actions humaines involontaires, répétées et anciennes, ayant subi des transformations lentes*. La question de la *volonté* de transformer les Ferralsols originels pauvres, en sols plus fertiles reste posée. En revanche, le fait que les actions humaines aient été *répétées et anciennes*, entraînant des *transformations lentes* des sols, concorde avec les sols étudiés dans ce travail.

La proposition faite ici pour donner un nom à ces anthroposols, qui se distinguent globalement des ADE (cf. *infra*), est d'une part **Terres Noires de Guyane française** ou **TNGF**.
D'autre part, l'expression **French Guianan Dark Earth** ou **FGDE** est également suggérée, pour répondre au pendant anglais Amazonian Dark Earth (Brancier et al. 2014).

Les deux schémas associés (**Figures 176 et 180),** permettent ainsi de mieux appréhender la genèse des anthroposols guyanais. Ils ne se veulent en aucun cas exhaustifs, puisque la mise en place d'un sol, ainsi que les processus pédogénétiques et taphonomiques auxquels il est lié, sont largement dépendants de son contexte physique (topographique, géomorphologique, climatique). De plus, il est possible que toutes les occupations humaines d'époque précolombienne, en Guyane, s'expriment différemment dans les sols.

En effet, en Guyane française, les sols archéologiques peuvent également présenter une couleur brun, brun rougeâtre, à jaune selon les contextes, comme sur les cheniers de la plaine côtière (Mestre & Rostain 2015 ; Rostain 2015). De la sorte, ces figures peuvent servir de base pour un référentiel des anthroposols archéologiques de Guyane française, concernant les processus et les marqueurs anthropiques généraux, dans le cas d'anthroposols sableux développés en contexte de plaine alluviale, ou pour des sols plus argileux de montagnes couronnées. Au fur et à mesure des nouvelles études, il sera nécessaire de remanier et d'améliorer ces schémas.

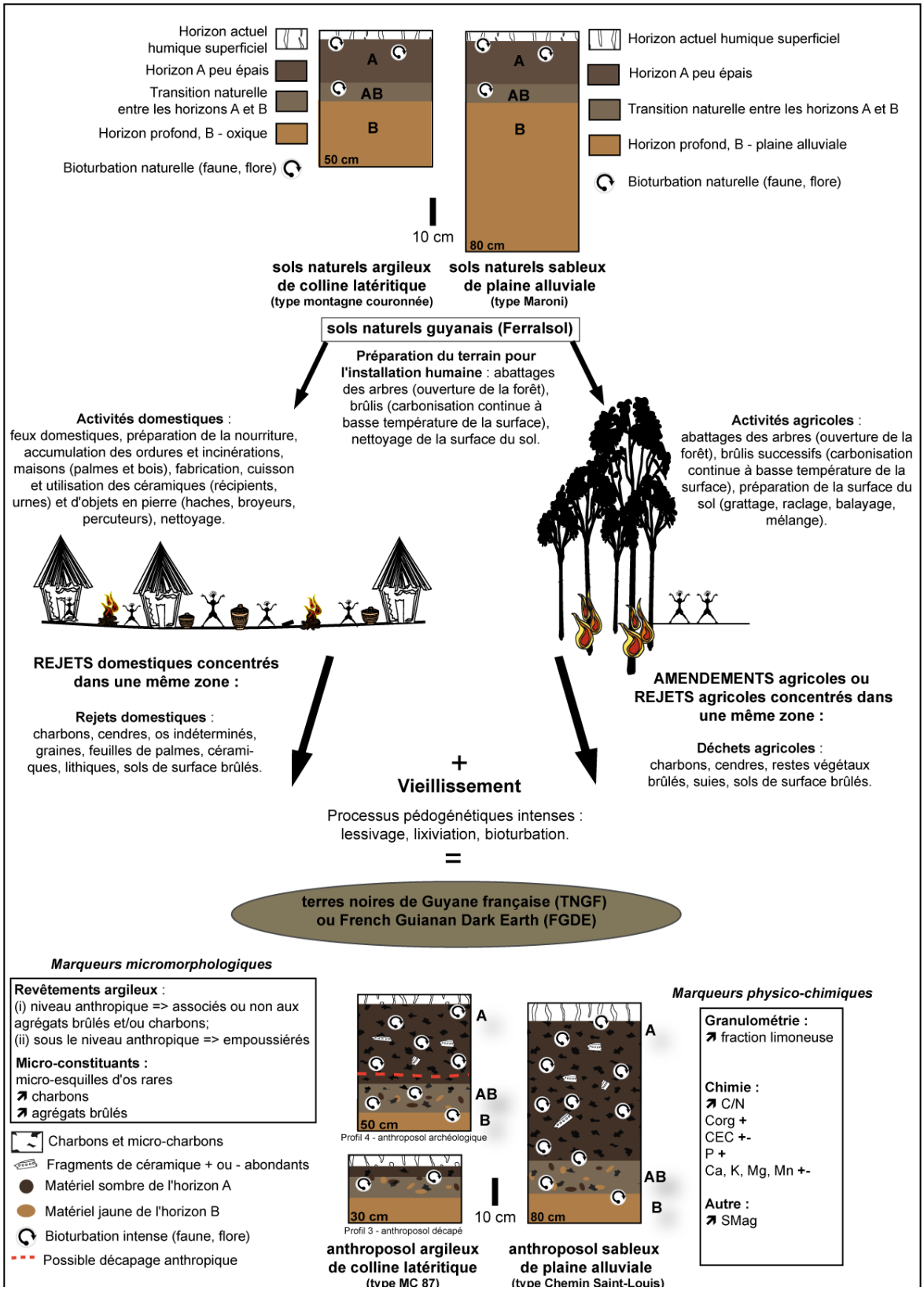


Figure 180 : Schéma de la formation des anthroposols guyanais selon les données obtenues dans ce travail.

IV. Au-delà des « terres noires guyanaises » : les Amazonian Dark Earth, un anthroposol cumulique tropical

Cette thèse contribue pour une part à la caractérisation des anthroposols amazoniens, en venant compléter les données préexistantes sur les Amazonian Dark Earth ou *Terra preta lato sensu* du bassin Amazonien, et notamment du Brésil.

IV.1. Principaux caractères communs

IV.1.1. Les restes végétaux brûlés

Rappelons que dans ce travail, ce qui est considéré comme « charbons » correspond à des **biochars** dans le sens employé pour parler des restes brûlés dans les ADE, à savoir des restes de matières organiques brûlées végétales au sens large (bois, feuilles, tiges, etc.) (Glaser et al. 2003). Par exemple des restes de feuilles brûlées ont été discriminés dans le profil MC 87-2.

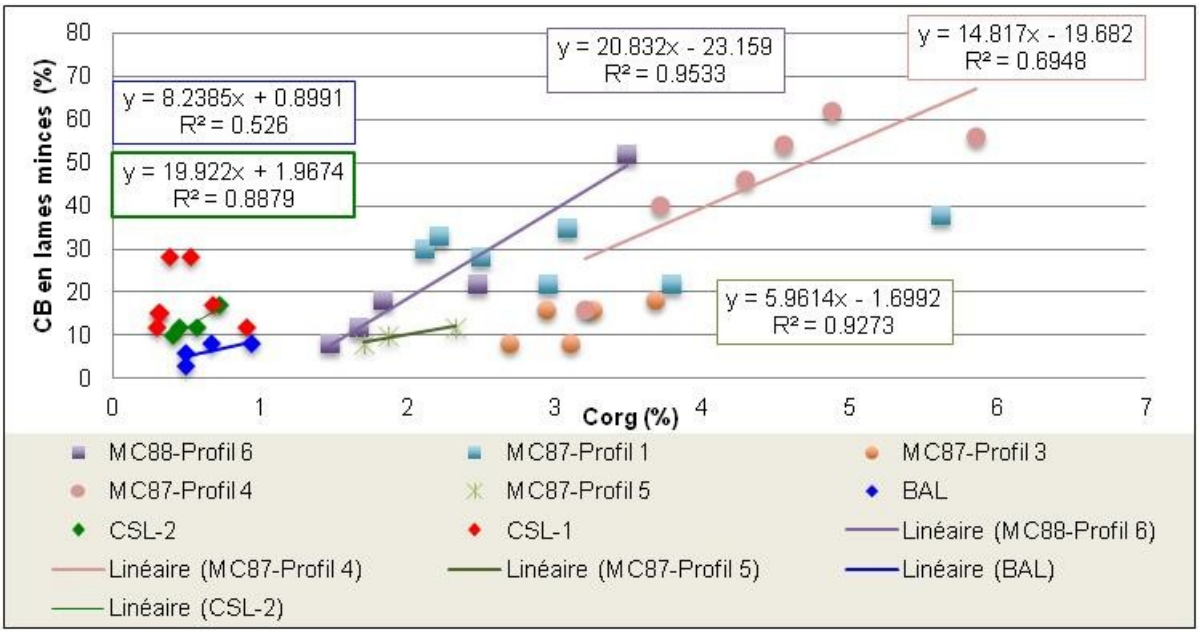
Parmi les macrocharbons (> 1000 micromètres), il est encore possible d'observer aujourd'hui la forme des cellules. Ceci révèle qu'ils se décomposent assez lentement dans les sols, du fait de leur structure assez stable et d'un enfouissement assez rapide (Glaser et al. 2003 ; Solomon 2007). Ils proviendraient alors de combustions incomplètes de la matière organique, dans un milieu où l'oxygène est déficient, par oxydation partielle (Glaser 2007).

En outre, à partir de 100 micromètres environ, les plus petits fragments brûlés n'ont plus de structures reconnaissables, empêchant de préciser le type de matière organique originellement brûlée. Ils forment des ponctuations noires brillantes, en lumière oblique incidente, dans la matrice des sols. Néanmoins, le terme générique de charbon (*charcoal*) semble adapté ici d'après le modèle de Hedges (cité par Masiello 2004), puisqu'il regroupe une fraction de la biomasse carbonisée formant des résidus de combustion compris entre quelques mm à quelques micromètres. De plus, d'après Masiello (2004), les particules de suie, qui correspondent aux restes les plus fins (< 1 micromètre) puisqu'ils sont produits à la toute fin d'une combustion continue, ne sont pas détectables au microscope.

Les comptages des concentrations en charbons dans les anthroposols guyanais ont permis de mettre en évidence d'importants contrastes à différentes échelles inter-sites, intra-site et au sein des profils. Par exemple, c'est dans le profil MC 87-4 que le plus de charbons ont été comptabilisés, et sur la plus grande épaisseur, parmi tous les profils étudiés : autour

de 50% de charbon sur 20 cm d'épaisseur. À l'inverse ce sont les trois profils de Balaté qui présentent les concentrations en charbons les moins élevées, inférieures à 15%.

Ces concentrations charbonneuses peuvent être mises en relation directe avec les taux de carbone organique (**Figure 181**). D'après cette figure sur les huit profils présentés, cinq ont des courbes de tendance de type linéaire, dont le coefficient de corrélation (R^2) est supérieur à 0,5, indiquant une forte corrélation entre la présence des charbons et les mesures du carbone organique. C'est le profil CSL-2 qui présente la corrélation la plus importante pour les sites de la plaine alluviale, avec un R^2 proche de 1. Dans les montagnes couronnées, c'est le remplissage du fossé de la MC 88 qui témoigne de la meilleure corrélation entre charbons et carbone organique. Cela révèle que les rejets anthropiques charbonneux sont les principaux facteurs d'augmentation des valeurs du carbone organique dans les profils dont le coefficient de corrélation est supérieur à 0,5. Il semblerait alors que les charbons présents dans les anthroposols guyanais soient du même type que ceux des ADE, à savoir des biochars. Les propriétés de ces derniers, permettent, en effet, de séquestrer le carbone plus longtemps, améliorant la réserve en carbone organique dans les sols tropicaux humides (Glaser 2007).



Légende : seules les corrélations linéaires > 0,5, donc significatives, ont été indiquées sur ce graphique.

Figure 181 : Graphique représentant les abondances des charbons en fonction du carbone organique, dans huit des profils analysés.

De plus, il a été démontré dans les ADE que l'augmentation de la rétention de la matière organique des sols, associée à des apports importants en charbons précolombiens, soient à l'origine de la couleur noir très foncé des sédiments (Smith 1980; Glaser et al. 2004;

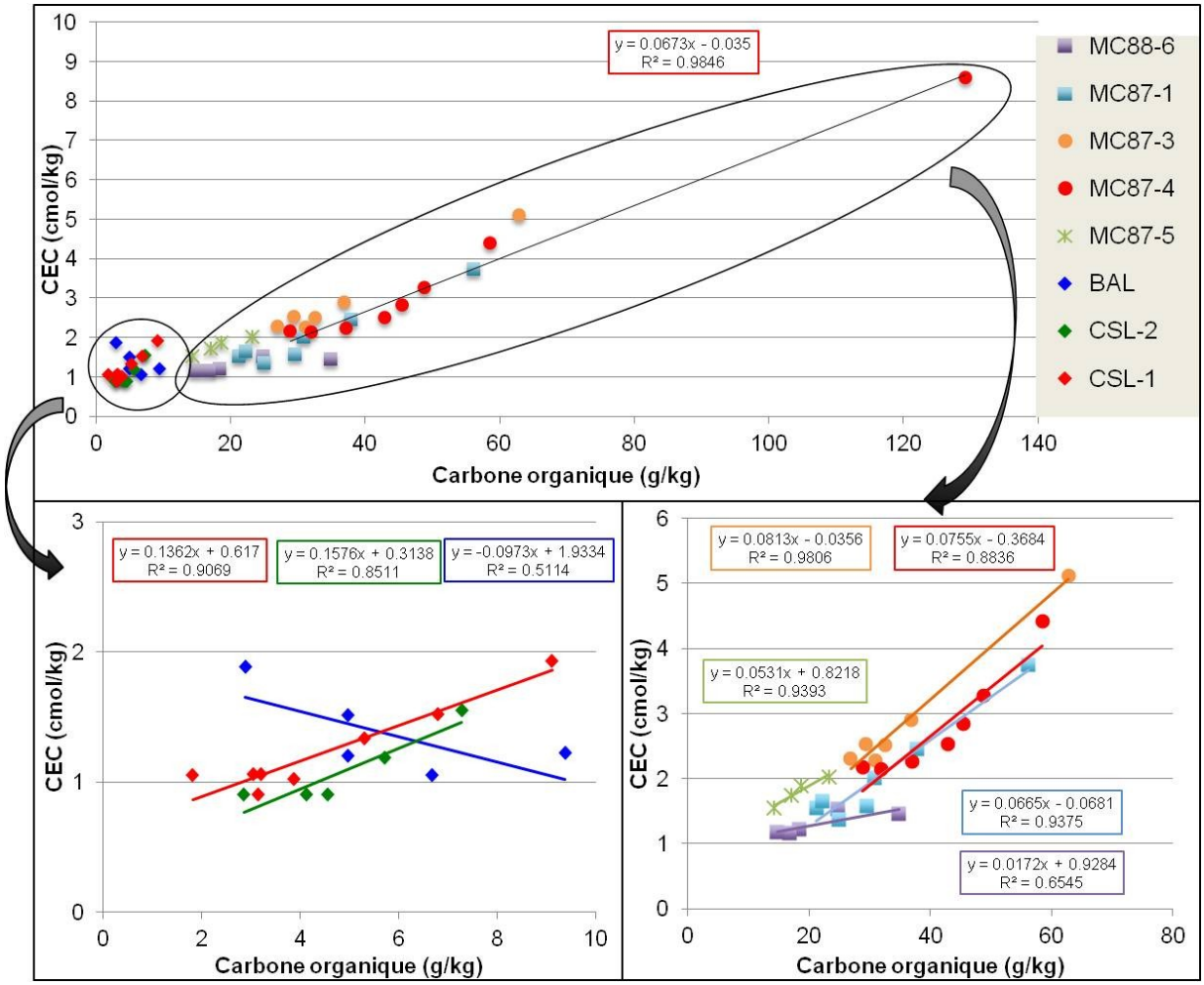
Arroyo-Kalin 2008). Or, d'après les observations micromorphologiques réalisées par M. Arroyo-Kalin (2008), comme stipulé précédemment, il existe une différence notable entre les charbons présents dans les *terra preta* et les *terra mulata*, qui peut expliquer en partie la différence de couleur entre ces deux type d'anthroposol. Deux hypothèses peuvent expliquer ce phénomène : (i) l'intense bioturbation, plus efficiente dans les *terra mulata* et dans les horizons plus profonds des *terra preta*, qui aurait fragmenté les charbons déjà présents dans les sols ; (ii) la taille des charbons étaient déjà inférieure à 100 micromètres lorsqu'ils ont été incorporés dans les sols, émanant d'un choix intentionnel d'amender les sols avec tous les résidus de la combustion (ibid.).

Selon les travaux de Topoliantz & Ponge (2003, 2005), la présence du vers de terre *P. corethrurus* dans les ADE serait le principal agent de l'incorporation des charbons à la matrice sédimentaire, sous la forme de microparticules de la taille des silts. En effet, ses boulettes de déjections contiennent une multitude de fragments de charbons de l'ordre de 10 à 100 micromètres, mixés à la matrice sédimentaire minéral. La présence de *P. corethrurus* dans les ADE serait à l'origine de la formation d'un humus stable (Ponge & Topoliantz 2006). En outre, ce vers de terre va venir jouer un rôle prépondérant dans l'enfouissement des charbons présents à la surface des sols brûlés, favorisant l'incorporation de ces matériaux dans les horizons plus profonds (Topoliantz et al. 2006).
Ainsi, l'observation des déjections de *P. corethrurus* dans les TNGF peut indiquer que ce vers a joué un rôle dans la répartition actuelle des charbons dans les profils analysés dans ce travail. Toutefois, la majorité des microanthraco séquences révèlent des niveaux assez délimités, en terme d'abondance et de taille des charbons, ce qui suggère que si *P. corethrurus* a eu un impact sur leur enfouissement, il n'est *a priori* pas venu totalement cacher l'information archéologique. De plus, les macrocharbons observés dans les TNGF ont pu être fragmentés dans les sols lors des différentes actions anthropiques, de manière plus ou moins importante en fonction de l'intensité des activités (raclages, grattages, nettoyages, piétinements, creusements, rejets). Toutefois, à la différence de ce qui a été observé par M. Arroyo-Kalin dans les ADE, la taille fine des charbons (< 100 micromètres - silts), ne semble pas, dans le cas des anthroposols guyanais étudiés ici, être un indicateur d'une zone anciennement dédiée préférentiellement à l'agriculture (cf. *supra*).
En outre, au même titre que dans les ADE, il a été mis en évidence des preuves indirectes de l'existence ancienne de cendres dans les anthroposols guyanais. Ces résidus, d'après M. Arroyo-Kalin (2008) constitueraient le plus important sous-produit relatif aux occupations précolombiennes.

D'après Glaser & Birk (2012), il est important de préciser que les ADE ne sont pas des sols qui régénèrent tout seul leur fertilité. En effet, d'un point de vue scientifique, un sol ne se régénère pas tout seul, mais peut, en revanche, présenter des caractéristiques particulières, qui, si elles se trouvent en état d'équilibre dynamique avec l'environnement, vont persister sur de longues périodes. Ceci est le cas pour la quantité et la stabilité de la matière organique et des nutriments présents dans les ADE (ibid.).

IV.1.2. Enrichissement relatif par rapport aux sols naturels

Dans les ADE, il a été démontré que l'enrichissement en carbone organique entraine une augmentation de la CEC favorisant une meilleure rétention de la matière organique (Glaser et al. 2001; Lima et al. 2002; Glaser et al. 2003; Solomon et al. 2007). La **figure 182** vient témoigner du fait que c'est également le cas dans les anthroposols guyanais. La CEC et le carbone organique sont étroitement corrélés dans les huit profils présentés, avec un R^2 très proche de 1 dans six profils, et supérieur à 0,5 dans les deux autres (BAL et MC88-6). Ainsi, au même titre que dans les ADE, la présence des biochars dans les anthroposols guyanais améliore significativement le potentiel de rétention de nutriments dans des sols originellement très dégradés.



Légende : dans tous les profils analysés, plaine alluviale (en bas à gauche) et montagnes couronnées (en bas à droite), il existe une corrélation linéaire entre la CEC et les taux de carbone organique, avec $R^2 > 0,5$

Figure 182 : Évolution de la CEC en fonction du carbone organique.

IV.1.3. Microstructure

Comme ce qui a été observé par Lima et al. (2002) dans les ADE, les anthroposols archéologiques guyanais présentent une microstructure avec des micro (< 50 µm) et des macroagrégats (> 250 µm), ainsi que des chenaux, typiques de l'action de la faune du sol. Dans la continuité de ce qu'a pu distinguer Arroyo-Kalin dans les ADE, l'occupation ancienne de Guyane française a permis de former des anthroposols cumuliques (cf. *supra*) dans lesquels de grandes quantités de particules microscopiques d'origine anthropique ont été incluses. Ces éléments ont ensuite subi des processus post-dépositionnels et principalement la bioturbation, qui est venue remanier, de manière assez modérée, la microstructure des sols, et a entrainé des mélanges entre les horizons de sub-surface (A) et

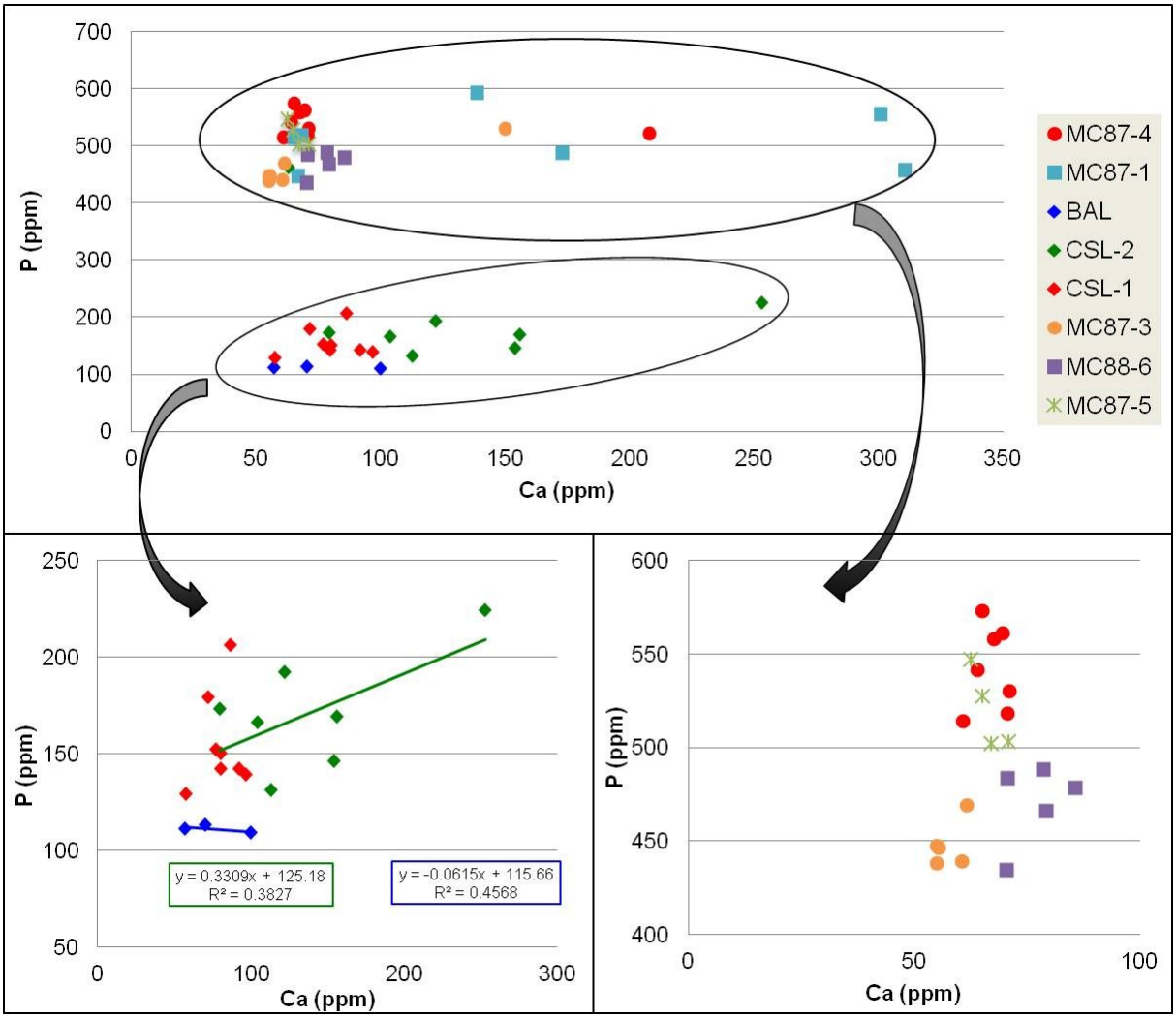
les plus profonds (B), apportant des matériaux plus organiques dans le bas des profils et remontant des sédiments plus claires vers la surface. Cela est particulièrement visible dans les profils sableux de la plaine alluviale du Maroni.

IV.2. Principaux points de disparité

IV.2.1. Restes animaux

Si ces restes sont observés très ponctuellement dans les anthroposols archéologiques guyanais, ils sont en revanche assez concentrés dans les lames minces des *terra preta* étudiés par M. Arroyo-Kalin (2008). Les études menées par Lima et al. (2002) et Schaefer et al. (2004) dans ces anthroposols mettent en évidence le rôle non négligeable des microfragments d'os animaux et d'arêtes de poissons, sous la forme d'apatite, comme source des teneurs importantes en phosphore et calcium dans les anthroposols amazoniens. Là où dans les *terra preta* étudiées par M. Arroyo-Kalin, le rapport Ca/P semble résonner avec la présence d'apatite (Ca/P compris entre 2,16 et 1), formant une tendance linéaire entre les résultats, la **figure 183** témoigne en revanche du fait que dans les anthroposols guyanais, la présence d'apatite n'est pas évidente. En effet, seuls les profils de la plaine alluviale CSL-1 et -2 et BAL-1 semblent présenter une répartition très grossièrement linéaire de leurs individus, notamment dans BAL-1 et CSL-2. Ces profils sont les seuls à présenter un rapport Ca/P > 1, indiquant possiblement la présence d'apatite.

Toutefois, dans les sols étudiés ici, il apparaît très difficile de mettre en évidence un lien direct entre les concentrations du phosphore et du calcium avec la présence des microesquilles d'os. Cela vient en partie du fait que la majorité des profils contenant des os n'ont pas été analysés chimiquement, comme les profils 2 et 3 de BAL, ainsi que MC87-2. Concernant CSL-2, le lien entre concentrations en phosphore/calcium et présence des microfragments d'os n'est pas évident non plus. Seul dans le profil de BAL-1 et S5, où des microesquilles d'os ont été observées, il est possible de les corréler aux concentrations en calcium et phosphore. Notons, en outre, que c'est dans ce profil que le pH est le plus élevé (> 5) de tous les profils étudiés dans ce travail. L'augmentation du pH va favoriser d'autant la conservation des microesquilles d'os, ainsi que la solubilité du phosphore qui peut alors devenir assimilable, pour former de l'apatite (Holliday & Gartner 2007). La **figure 183** confirme le fait que les Ferralsols argileux des montagnes couronnées, contiennent davantage de phosphore total que les sols sableux de la plaine alluviale (cf. *supra*).



Légende : en bas à gauche, zoom sur les trois profils de la plaine alluviale, CSL et BAL - les deux courbes de tendance n'indiquent pas de véritables corrélations entre P et Ca. En bas à droite zoom sur quatre des cinq profils des montagnes couronnées 87 et 88 : MC87-1 en bleu et les deux horizons de surface de MC87-3 et MC87-4 qui tirent les valeurs du calcium ont été retirés. On ne voit pas non plus apparaître de corrélation entre P et Ca. Notez les différences d'échelle pour le phosphore entre les sols sableux (à gauche : entre 100 et 225 ppm) et les sols argileux (à droite : entre 425 et 575 ppm).

Figure 183 : Evolution des concentrations totales en phosphore en fonction du calcium dans huit profils étudiés dans ce travail.

Dans les *terra preta* les concentrations en phosphore et calcium trouvent également leur origine dans un autre type de rejets anthropiques, à savoir les excréments humains (Birk et al. 2011 ; Glaser & Birk 2012). Il serait ainsi nécessaire de réaliser des études bio-moléculaires détaillées pour évaluer la potentialité de l'existence de traces d'excréments dans les anthroposols guyanais et le lien avec les concentrations en phosphore et calcium. Ces éléments constituent les bioproduits humains, et ne sont à ce jour par avérés dans les TNGF.

IV.2.2. Agrégats brûlés

Dans les *terra preta*, il est fait mention de la présence de sols brûlés (*burnt soils*) et d'agrégats d'argile rubéfié (*rubefied clay*) (Arroyo-Kalin 2008). Les premiers apparaissent oranges en lumière oblique incidente, et sont hautement rubéfiés. Ils ont très peu été observés dans les *terra preta* (M. Arroyo-Kalin com. pers.). Les seconds correspondraient à des fragments de céramique (*pot rests*) et ont été trouvés abondamment dans les *terra preta* (M. Arroyo-Kalin com. pers.). Ainsi, les agrégats brûlés tels qu'ils ont été observés dans les montagnes couronnées de Guyane française, et en Guadeloupe (cf. *supra*), semblent être des vestiges de l'anthropisation qui se distinguent de ce qui a pu être observé dans les ADE.

IV.2.3. Comparaison des résultats physico-chimiques en terme de valeurs absolues

Si la dynamique globale des anthroposols précolombiens guyanais témoigne d'un enrichissement relatif par rapport aux sols naturels adjacents, il n'en demeure pas moins qu'en terme de **valeurs absolues** ils sont en deçà des concentrations mesurées dans les *terra preta*, et à peu près équivalents aux *terra mulata*.

L'idée originelle de pratiquer les extractions des éléments pseudo-totaux à l'eau régale était de pouvoir, à terme, comparer directement nos résultats avec ceux obtenus par M. Arroyo-Kalin. Nous avons pour cela réalisé des histogrammes groupés des valeurs moyennes. L'hétérogénéité qui apparaît entre sols sableux et sols argileux nous amène à considérer séparément ces deux contextes.

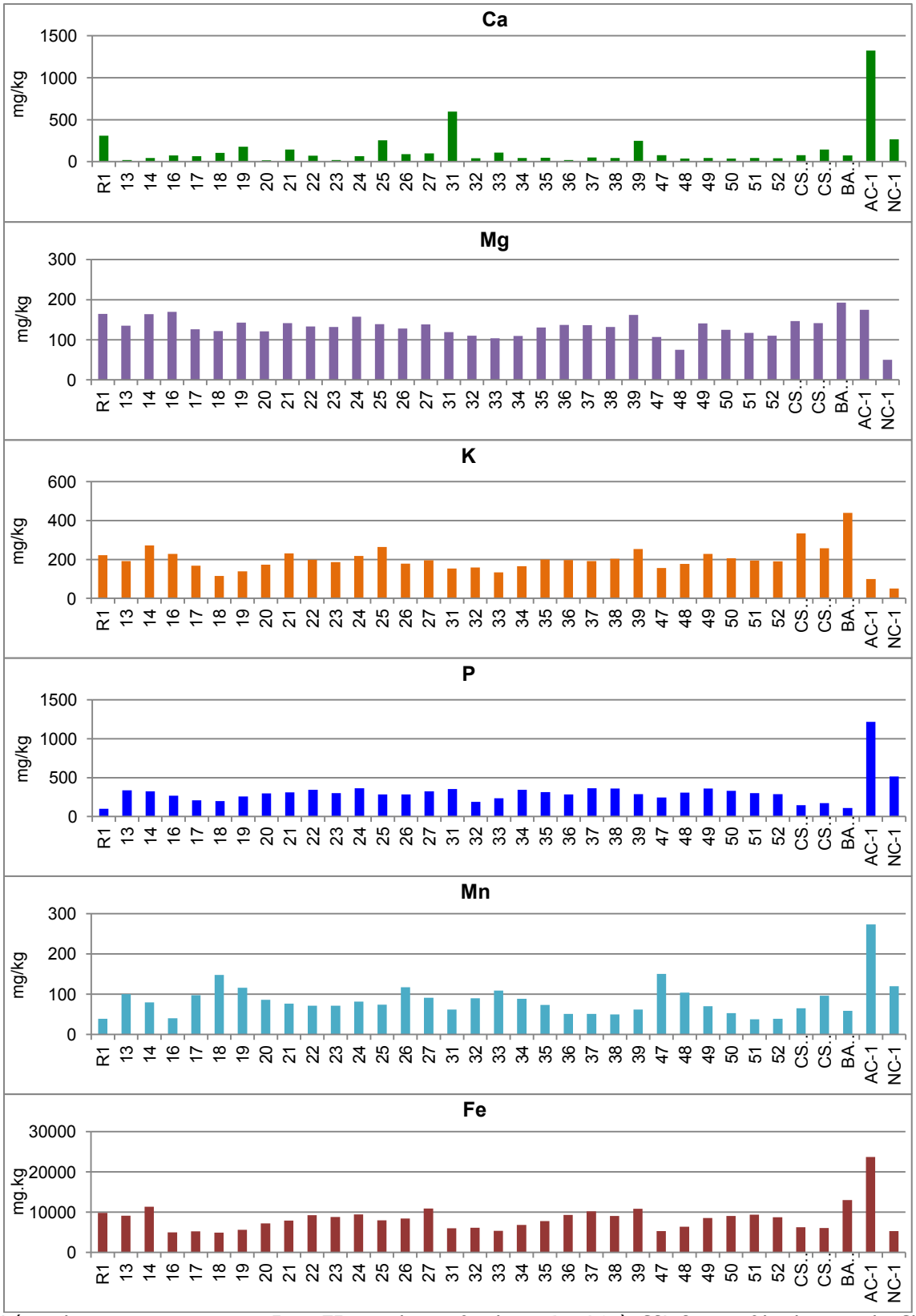
IV.2.3.1. Anthroposols précolombiens développés en contexte sableux

A. Moyennes des profils sous la forme d'histogrammes groupés

Dans le cas des sols sableux développés en contexte de plaine alluviale principalement, la Figure 184, représente les moyennes des éléments totaux, sur chaque profil entier (entre 5-75 cm de profondeur) des données de Birk & Glaser (in van den Bel 2012), accompagnées des résultats obtenus dans ce travail sur CSL-1 et CSL-2 pour le site de Chemin Saint-Louis, et d'un profil à Balaté (BAL-1), associés aux résultats de M. Arroyo-Kalin (2008) sur deux profils de *terra preta* développés sur sols sableux, sur la plaine alluviale du Rio Negro (AC-1 et NC-1).

Ces histogrammes groupés montrent que le profil AC-1 présente des concentrations en calcium, phosphore, manganèse et fer très au-delà des valeurs obtenues dans les autres profils, y compris dans NC-1 qui se situe à 15 km de distance. En revanche, les taux de magnésium sont à peu près équivalents dans tous les profils. En regardant les autres profils, sans tenir compte de AC-1, il apparaît que les taux de calcium, manganèse et fer tournent à peu près autour des mêmes moyennes dans les anthroposols guyanais comparé à NC-1. Il est intéressant de noter que les moyennes du phosphore sont supérieures dans les *terra preta* du Rio Negro, alors que les taux de potassium sont plus importants dans les anthroposols de la plaine alluviale du Maroni.

En outre, les séquences anthropiques des sites de Chemin Saint-Louis et Balaté, ont des propriétés physico-chimiques proches de celles des *terra mulata* définies sur la plaine alluviale de l'Amazone, selon les données de Costa et al. (2013). Toutefois, d'après nos observations, il ne semble pas cohérent d'assimiler ces anthroposols guyanais à des *terra mulata*. En effet, ces dernières, telles qu'elles sont définies en Amazonie, correspondent à des anthroposols formés par une volonté de mise en valeur agricole des populations précolombiennes (Denevan 2009 ; Arroyo-Kalin 2014). Or, ici, même si plusieurs séquences présentent effectivement des traces microscopiques d'un possible travail du sol, il semble qu'un même site ai pu présenter aussi bien des zones domestiques que des aires agricoles, comme c'est par exemple le cas sur Chemin Saint-Louis (cf. *supra*). Si, comme distingués précédemment, CSL-2 serait plutôt caractéristique d'une zone d'habitat, et CSL-1 préférentiellement en périphérie de l'habitat, avec une probable mise en valeur agricole, le contraste chimique qui apparait entre ces deux profils est similaire à celui qu'il peut y avoir entre *terra preta* et *terra mulata*. Effectivement, CSL-2 est globalement plus riche en éléments totaux majeurs que CSL-1. En revanche, là où les *terra mulata* sont plus riches en carbone organique que les *terra preta* dans le cas de CSL-1 et CSL-2 cette différence n'est pas exprimée, puisque CSL-2 est toujours plus riche en carbone organique que CSL-1.



Légende : moyennes entre 5 et 75 cm de profondeur. De R1 à CSL-2 : profils du site de Chemin Saint-Louis ; les deux dernières colonnes = données de M. Arroyo-Kalin sur des *terra preta* développées en contexte sableux, AC-1 : Açutuba – en bordure du Rio Negro ; NC-1 : Nova Cidade – à 15 km du Rio Negro.

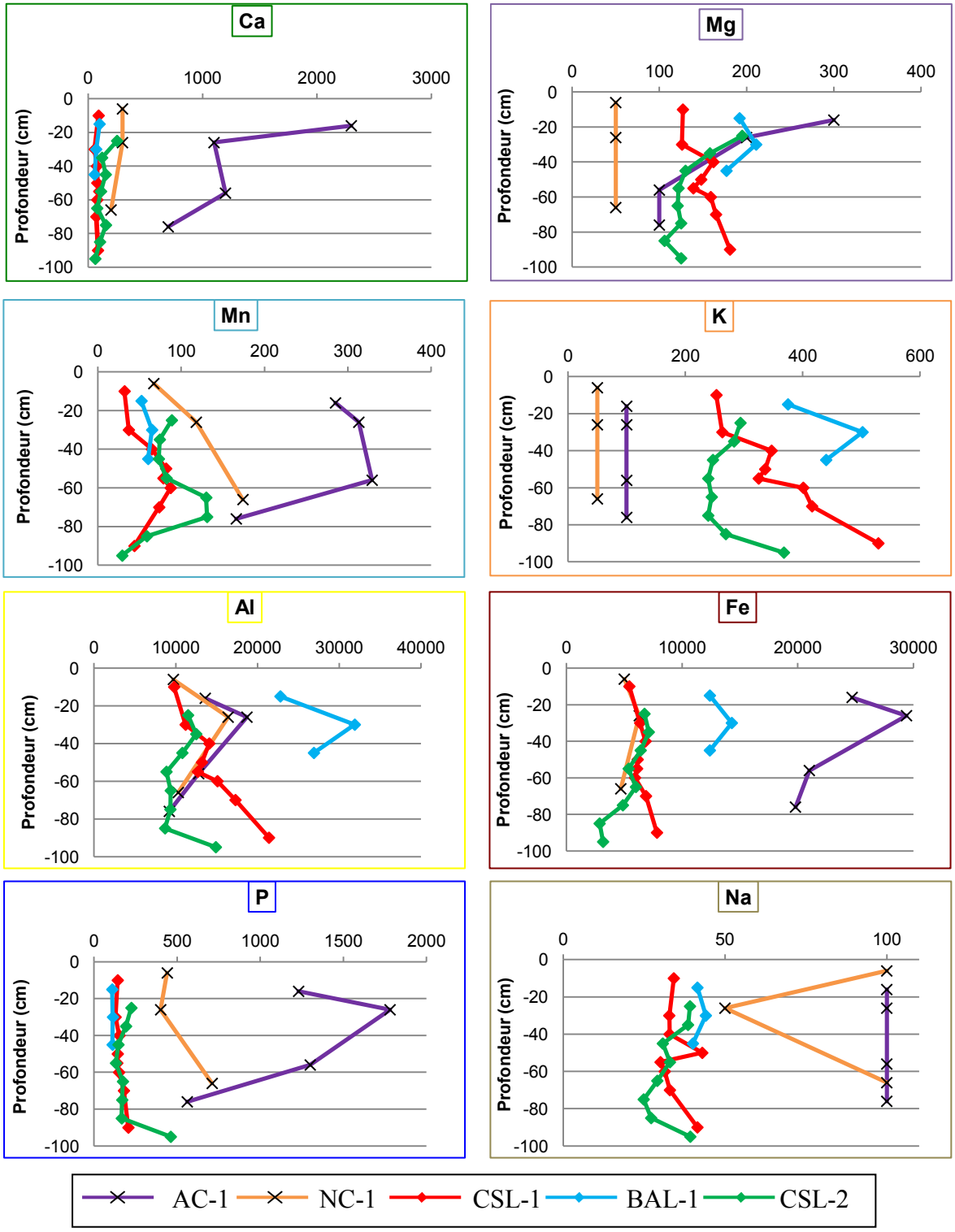
Figure 184 : Histogrammes groupées représentant les moyennes des profils considérés en contexte sableux.

B. Evolution des concentrations en éléments totaux en fonction de la profondeur.

Les graphiques suivants (**Figure 185**) indiquent que les *terra preta* analysées sur les bords du rio Negro sont enrichies en calcium, manganèse, phosphore, sodium et fer par rapport aux anthroposols de la plaine alluviale du Maroni. Les concentrations en calcium, manganèse et phosphore sont très probablement liées aux apports anthropiques, qui ont pu être soit plus importants en Amazonie ou alors dont les résidus chimiques ont été plus rapidement lixiviés en Guyane française. Les autres éléments chimiques, sodium et fer, peuvent, dans ce contexte géomorphologique de bord de rivière, être essentiellement liés aux conditions du milieu : les sols du rio Negro, provenant d'un environnement humide et très lessivé, ont perdus la majorité de leurs minéraux primaires (Jobbagy & Jackson 2001). AC-1 se situe directement sur le bord de la rivière, donc il contient plus de marqueurs des eaux de la rivière, que NC-1 qui est à 15km.

En revanche, les sites de la plaine alluviale du Maroni sont enrichis en potassium par rapport aux *terra preta* du rio Negro. Ceci peut marquer une intensité de la lixiviation des éléments chimiques moindre sur les bords du fleuve Maroni (ibid.).

Enfin, si les concentrations totales en magnésium et aluminium n'attestent pas de différences majeures entre fleuve Negro et Maroni, il s'avère qu'au sein d'un même contexte géographique des contrastes apparaissent. NC-1 est en effet le plus appauvri en magnésium, quand BAL-1 est le plus riche en aluminium. Ces deux éléments sont très certainement liés aux déchets anthropiques, telles que les cendres. Pour l'aluminium, comme précisé précédemment, il va augmenter d'autant dans les anthroposols que le calcium croit (Pyne 1998, cité par Arroyo-Kalin 2008). Ceci est particulièrement visible dans le graphique de l'aluminium où les pics sont entre 20 et 50 cm de profondeur, au cœur de l'anthroposol, dans les *terra preta*, et dans CSL-1 et BAL-1. Cet élément est également concentré dans le bas des profils CSL-1 et CSL-2 du fait du lessivage plus intensif dans le substrat alluvial.



Légende : losanges : CSL-1 = en rouge, CSL-2 = en vert, et BAL-1 = en bleu ; croix : deux profils de *terra preta* analysés par M. Arroyo-Kalin (2008) - AC-1 = en violet et NC-1 = en jaune.

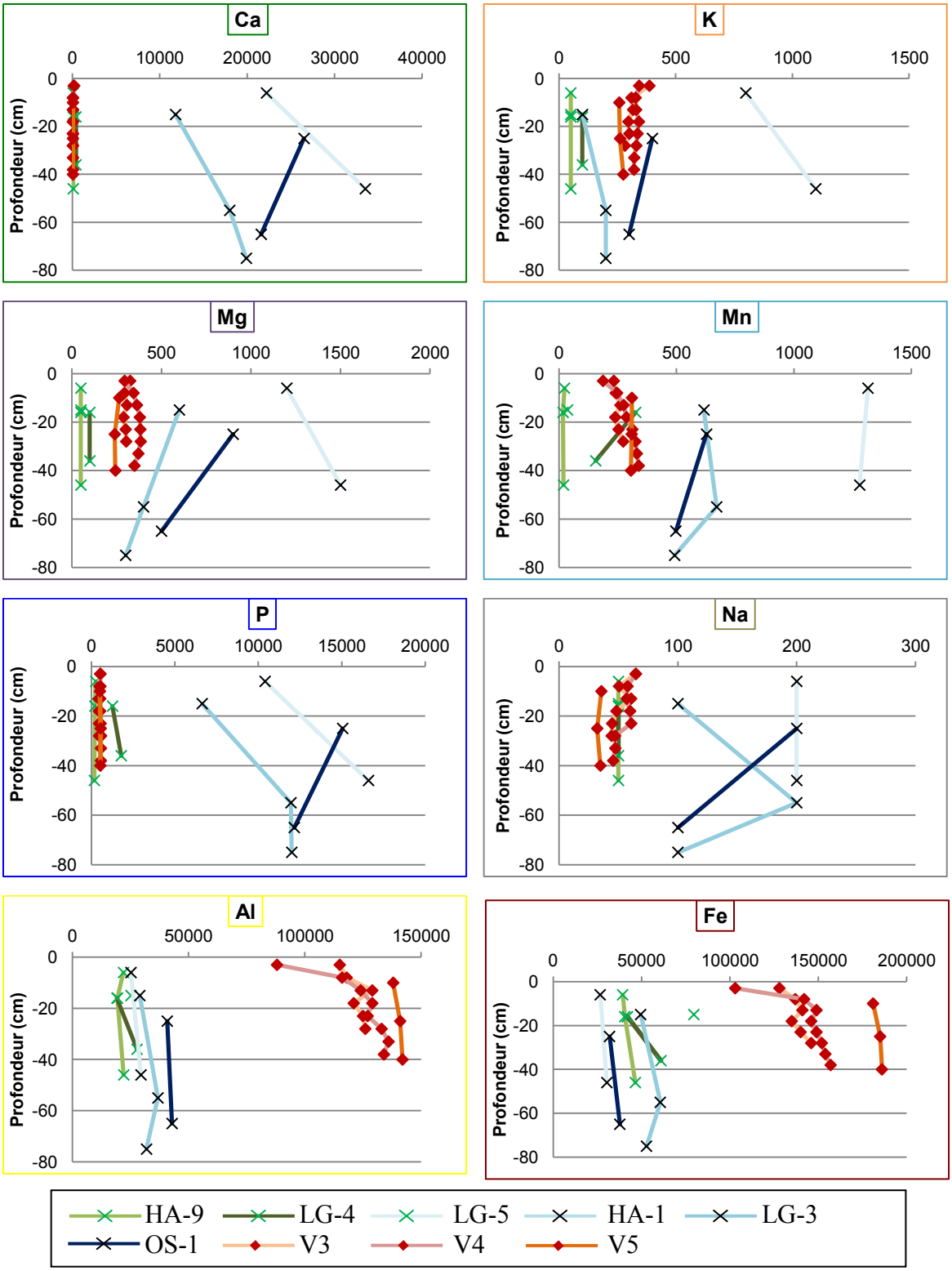
Figure 185 : Graphiques représentant l'évolution en fonction de la profondeur, des éléments totaux mesurés ('eau régale en ppm), sur les trois profils de la plaine alluviale en comparaison de deux profils de *terra preta*, en contexte sableux.

IV.2.3.2. Anthroposols précolombiens développés en contexte argileux

En ce qui concerne les anthroposols argileux, ce sont ici les trois profils de l'enceinte de la montagne couronnée 87 qui ont été comparés à trois profils de *terra preta* (TP) développés sur des monticules argileux, associés à trois profils de sols naturels de M. Arroyo-Kalin : Ha-1 : Hatahara – monticule de TP, sols argileux ;Ha-9nat : référentiel naturel de Ha-1 ; LG-3 : Lago-Grande – monticule de TP, sols argileux ; LG-4nat : référentiel naturel de LG-3 – sol de terra firme ; OS-1 : Osvaldo – TP.

De manière générale, d'après la **figure 186**, les *terra preta* sont enrichies en calcium, magnésium, manganèse, phosphore et sodium par rapport aux anthroposols guyanais. Ha-1 est le profil qui s'avère être le plus riche par rapport aux deux autres *terra preta*. Les concentrations en calcium et phosphore dans les anthroposols guyanais sont très distinctement négligeables par rapport à l'enrichissement dans les *terra preta* et sont proches des sols de *terra firme* amazoniens. Comme précisé précédemment, ces deux éléments sont liés à l'abondance des apports anthropiques, plus importants dans les *terra preta*. Parmi les autres éléments, les anthroposols de la MC87 présentent à peu près les mêmes taux en potassium que le site de *terra preta* Lago Grande (LG-3), des valeurs en manganèse et sodium à peu près équivalentes aux sols de *terra firme* d'Amazonie (LG-4) et pour le magnésium, des concentrations comprises entre *terra preta* et sols naturels.

En Guyane française, la lixiviation des éléments pourrait localement être plus prononcée que dans les sites de *terra preta* étudiés par M. Arroyo-Kalin. De plus au Brésil, les anciens sites archéologiques de *terra preta* sont régulièrement utilisés pour l'agriculture actuellement, favorisant la persistance dans le temps de l'enrichissement précolombien.



Légende : enceinte MC87 - losanges rouges - MC87-3 : v3= en orange clair, MC87-4 : v4 = en rose et MC87-5 : v5 = en orange foncé ; trois profils de *terra preta* - croix noires : HA-1 = en vert clair, LG-3 = en bleu moyen et OS-1 en bleu foncé ; trois profils naturels - croix vertes : HA-9 = en vert moyen, LG-4 = en vert foncé, et un échantillon pour LG-5 = croix verte. Les données des profils de *terra preta* et des sols naturels proviennent des travaux de M. Arroyo-Kalin (2008).

Figure 186 : Graphiques représentant l'évolution en fonction de la profondeur, des éléments totaux mesurés (eau régale en ppm), sur les trois profils dans l'enceinte de la MC87 en comparaison de trois profils de *terra preta* et de trois profils naturels, en contexte argileux.

IV.2.3.3. Analyse en composante principale : ADE vs TNGF

Le recours à une analyse en composante principale, permet ici de distinguer si les horizons d'ADE étudiés par M. Arroyo-Kalin (2008) peuvent se recouper aux TNGF analysés dans le présent travail.
10 variables ont été utilisées : pH, Matières volatiles (Mvol) et les éléments majeurs totaux extraits à l'eau régale : Ca, K, Mg, Mn, P, Al, Fe et Na.
67 individus ont été considérés dans cette ACP.
Parmi les sites de *terra preta* (TP) de M. Arroyo-Kalin, Ha = Hatahara avec Ha-1 monticule de TP et Ha-9 son référent naturel, LG = Lago Grande avec LG-3 monticule de TP et LG-5 son référent naturel (*terra firme*), AC = Açutuba (site archéologique en bordure du rio Negro), NC = Nova Cidade (à 15 km du rio Negro) et OS = Osvaldo site, TP.
Parmi les anthroposols guyanais, tous les échantillons de CSL et BAL ont été utilisés, ainsi que les trois profils de l'enceinte de la MC87.

D'après la **figure 187,** on voit que les *terra preta* (en marron et en rouge) forment un pôle commun proche des variables pH, sodium, calcium, phosphore, magnésium et manganèse total.
Ha-1 (à droite de l'axe 2) apparaît opposé à Ha-9 (en rouge bordeaux, à gauche de l'axe 2) selon l'axe 2, ce qui semble assez logique puisque le premier correspond au sol archéologique quand le second est le référent naturel.
Comme précisé précédemment, cette ACP confirme le fait que les anthroposols sableux étudiés dans ce travail (CSL et BAL en bleu) se rapprochent chimiquement des *terras pretas* développées en contexte sableux (NC et AC en bleu) étudiées par M. Arroyo-Kalin (2008). Ils forment un ensemble à gauche de l'axe 2 (carré bleu), qui s'oppose selon l'axe 1 à la MC87 (ensemble beige) et aux variables fer et aluminium total, ainsi que matières volatiles.
Le potassium total ne semble pas jouer un rôle important dans cette ACP, ce qui peut confirmer le fait que généralement cet élément chimique n'apparaît pas comme discriminant entre *terra preta* et sols naturels (Kern et al. 2004, 2015).

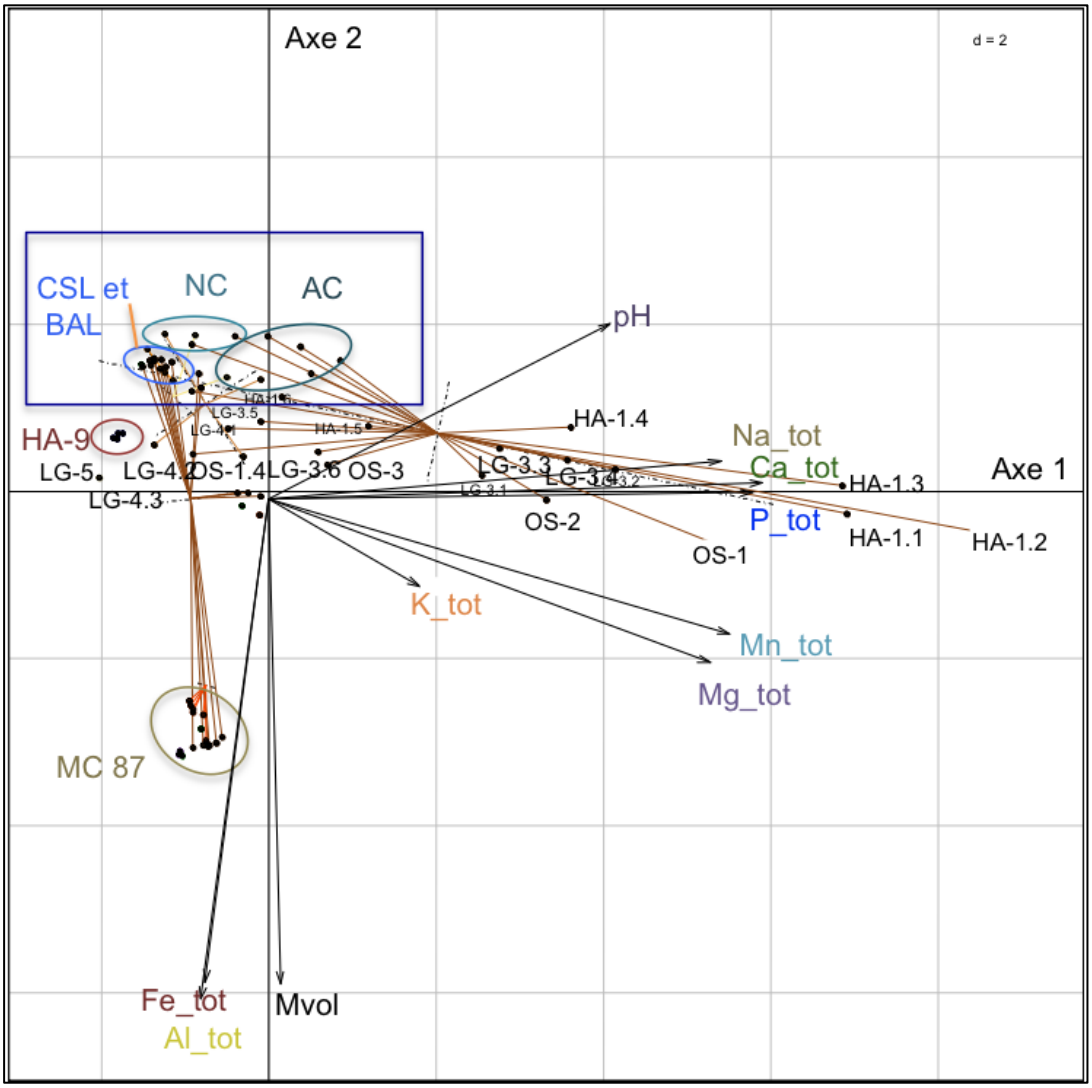


Figure 187 : ACP présentant les TNGF en comparaison des ADE.

Finalement, toutes ces données physico-chimiques livrent que, aussi bien les TNGF développées en contexte sableux de plaine alluviale, que les argileuses des montagnes couronnées, ne sont manifestement pas autant enrichies que les ADE. Néanmoins, par rapport aux sols naturels, un enrichissement relatif a été discerné dans les TNGF (**Tableau 106**).

	Brésil (littérature)		Guyane (présent travail)	Origines (d'après Costa & Kern 1999 ; Arroyo-Kalin 2008 ; Teixeira et al. 2009 ; Glaser & Birk 2012)
	Terra Preta	*Terra Mulata*	Anthroposols archéologiques	
pH	+++	++	+/-	Cendres
C org	+++	++++	++	Biochars, charbons, suies
CEC	+++	++	+	Biomasse des plantes (restes des habitations en palmiers), restes de petits mammifères (os, carapaces), arêtes de poissons, cendres, excréments humains.
P	++++	+++	+	
Ca	+++	+	+	
Mn	++	+	+	
Mg	++	+	+	
K	++	+	+	

Tableau 106 : Enrichissement relatif des anthroposols brésiliens et guyanais par rapport aux sols naturels.

IV.3. La question de l'intentionnalité à l'origine de la formation de anthroposols précolombiens

Il est intéressant, au terme de ce travail, de se demander si les anthroposols archéologiques de Guyane ont été créés de manière intentionnelle par les populations précolombiennes. Cette question revient souvent dans les études sur les Amazonian Dark Earth, et la réponse qu'apportent Glaser & Birk (2012) apparaît, d'après nos travaux, assez pertinente. Selon ces auteurs, la genèse de ces anthroposols amazoniens serait à la fois non intentionnelle et intentionnelle.

En premier lieu, les villages des précolombiens étaient occupés de manière plus ou moins permanente en fonction des périodes (populations semi-sédentaires). Dans ces villages, le fait de nettoyer les zones d'activités domestiques et d'accumuler / brûler régulièrement les résidus dans des endroits donnés, à la manière d'une zone de compostage, a permis de créer des espaces propices à la germination et à la croissance des plantes. Cette hypothèse est confirmée par les observations réalisées par Glaser & Knorr (2008) cité par Glaser & Birk (2012), sur le rôle des microorganismes dans la genèse des *terra preta*, où ils décrivent un phénomène microbien principalement en aérobie, qui apparait durant le compostage. Ceci favoriserait d'autant un **développement durable** de ces sols (Fischer & Glaser 2012).

Par la suite, l'attraction des groupes humains suivants dans ces mêmes villages, a pu être engendré par deux phénomènes principaux : (i) d'une part, la facilité d'ouverture du milieu, di fait de la présence uniquement d'une forêt secondaire probablement assez peu

développée depuis l'abandon du site par les populations précédentes ; (ii) d'autre part, par la pousse de plantes comestibles dans les aires de compost (zones de rejets) formées lors de l'occupation antérieure. Ainsi, par des observations empiriques, les populations précolombiennes ont très certainement « appris » à apprivoiser leur environnement originellement non propice à l'agriculture, tout en faisant des choix sur leurs espaces d'activités et leurs zones de déchets, afin d'amender les sols selon leurs besoins. Cette capacité à gérer et ainsi à s'adapter à leur environnement, en rendant plus fertiles les sols amazoniens a pu accroitre la nourriture au sein des villages, et permettre une augmentation du nombre d'individus, ainsi qu'un développement de l'organisation et de l'économie au sein de ces populations précolombiennes.

D'après Neves & Petersen (2006), une population qui modifie son environnement au cours du temps, va se voir évoluer elle-même du fait des transformations qu'elle aura engendré dans son propre environnement (rétroaction systémique). En d'autres termes, il y a une co-évolution possible entre les cultures humaines et l'environnement dans lequel elles vivent (ibid.).

IV.4. Temporalités d'occupation en Guyane française, versus Amazonie

La majorité des sites archéologiques étudiés dans ce travail sont datés de *l'Early Ceramic Age*, de van den Bel (2015), qui commence vers 4000 BP. Cette période marque la transition entre la période Archaique et l'Age Céramique. Elle fait l'objet de nombreux débats pour comprendre l'origine de ces changements culturels. Comme précisé précédemment (cf. Partie I-chapitre 3), c'est une période carctérisée par un processus de néolithisation, propre à l'Amazonie, avec le développement de sociétés sédentaires, qui cultivent et domestiquent (ou semi-domestication) certaines plantes.
M. van den Bel (2015), par ses nombreuses données sur le littoral de la Guyane française, a choisi de scinder cette période en deux : phase A, plus ancienne (vers 4000 BP) et phase B (autour de 2000 BP), plus récente. Ce choix, émane notamment de la fouille du site de CSL, afin de discerner la période la plus ancienne, de la phase plus récente, et du fait que peu de données sont disponibles sur la période intermédiaire. En effet, d'après ses observations céramiques, il apparaît que la Phase 1 d'occupation du site de Chemin Saint-Louis, appartient à la Phase ECA-A, et fait partie d'un ensemble géographique plus large, que l'on pourrait qualifier de régional, correspondant à la tradition céramique initiale du littoral nord Atlantique d'Amérique du sud trouvé dans le nord du Guyana (phase Alaka),

au Brésil, dans la région du bas Amazone (tradition Mina) et au nord de la Colombie (San Jacinto 1) (van den Bel 2015).
La phase ECA-B serait l'époque où les montagnes couronnées émergent, sur le territoire guyanais, ainsi que les sites présentant d'épais niveaux sombres, correspondant aux TNGF (ibid.). Le bassin du Maroni révèle, par exemple, des sites archéologiques datés de cette période, qui remontent à 2000 BP environ (autour de 50 BC). Il s'agit de la seconde occupation du site de Chemin Saint-Louis, ainsi que de de l'époque de fondation des deux fossés de la montagne couronnée de Yaou. Ces deux sites témoignent d'occupations anthropiques importantes, durant lesquelles, une gestion du territoire, par les populations anciennes est évidente (fossés sur le site de Yaou, épais niveau de terre noire sur le site de CSL) (van den Bel 2015). Ils indiquent des liens probables du bassin du Maroni avec la sphère Saladoide/Barrancoide. En effet, le long de l'Amazone, des sites des phases Pocó (200 BC-400 AD) et Açutuba (300 BC-360 AD), contenant d'importants anthroposols noirs de *terra preta*, ont été mis au jour (cités par van den Bel 2015). Leurs céramiques sont rattachées à la série Saladoide/Barrancoide, de la tradition Polychrome d'amazonie.

Par la suite, au *Late Ceramic Age*, qui débute vers 1000 BP, se développent des sociétés encore plus complexes, stratifiées et hiérarchisées, qui causent toujours de nombreux débats chez les archéologues (van den Bel 2015). La phase 3 d'occupation du site de Chemin Saint-Louis, le site de Balaté, ainsi que les montagnes couronnées 87 et 88 sont datées de cette période. C'est un moment d'intense développement culturel dans toute la région amazonienne et dans les Guyanes (ibid.).

Toutefois, selon van den Bel (2015), il apparaît difficile de comparer directement les cultures archéologiques des Guyanes avec celles du bas et du moyen Amazone étant donné que les sites guyanais sont au moins trois fois plus petit, en terme de superficie, que les sites amazoniens. En effet, les sites de *terra preta* amazoniens s'étendent sur plusieurs hectares, et contiennent un grand nombre de restes anthropiques.
Néanmoins, aussi modestes soient-ils, les sites de Guyane française représentent un développement régional, qu'il est probablement plus significatif de comparer à un contexte local, propre aux « Guyanes atlantiques ».

Conclusion

La possibilité de travailler sur une nouvelle thématique liée à l'archéologie guyanaise a permis d'ouvrir un domaine où les perspectives scientifiques restent multiples. En appliquant plusieurs méthodes d'analyses dans le champ de la pédo-archéologie, et ce dans différents contextes géomorphologiques, il a été possible : 1) de développer une démarche novatrice, 2) adaptée à une problématique transversale, 3) afin d'en tirer les meilleures informations possibles, 4) en ayant comme objet d'étude « les terres noires » (TNGF). Ces travaux, qui ont permis de réaliser un important défrichement sur ce qu'il est possible de faire avec de tels anthroposols archéologiques, pourront servir de base de départ pour les études à venir dans le domaine de la pédo-archéologie en Guyane.

Nous avons pu documenter, à l'aide des outils de la géoarchéologie deux principaux types de sols archéologiques précolombiens : d'une part les anthroposols sableux développés en contexte de plaine alluviale, sur terrasse holocène, et d'autre part, les anthroposols argileux formés sous couvert forestier sur les terres hautes, en contexte de Ferralsols très anciens, sur les montagnes couronnées.

L'utilisation de la micromorphologie couplée aux analyses physico-chimiques, à la susceptibilité magnétique et à d'autres analyses archéo-environnementales (anthracologie, phytolithes, etc.), ont permis de mettre en évidence le fort potentiel informatif archéologique des anthroposols guyanais malgré une pédogenèse très active dans ces contextes tropicaux humides. Si cette étude nous renseigne sur l'évolution du milieu de manière micro-locale (stationnelle), elle nous renvoie à des apports anthropiques liés aux diverses activités humaines passées qui ont eu lieu sur ces sites archéologiques, qui eux-même traduisent l'action de l'homme sur le paysage. En ce sens, cette thèse participe, dans une certaine mesure, à une meilleure connaisance des paléo-pédopaysages de Guyane.

L'homogénéité macroscopique des terres noires (sur le terrain) a pu être dépassée par la micromorphologie des sols. Il a ainsi été mis en évidence qu'il s'agit principalement de sols cumuliques. L'objectif de toute recherche archéologique est de retrouver les activités originelles pratiquées et leur localisation à l'aide de l'étude des vestiges parvenus jusqu'à nous. Dans le cas des TNGF, ces vestiges correspondent à des restes de combustion, tels que des charbons, observés sur tous les sites, et de nombreux agrégats de sol brûlés distingués sur les montagnes couronnées. Les comptages systématiques des abondances charbonneuses et des agrégats brûlés ont permis d'observer des variations intra-site qui témoignent d'une différentiation spatiale des activités qui évolue au cours du temps. Comme cela a été démontré par les abondances des charbons sur le site de Chemin Saint-

Louis, l'utilisation de l'espace a pu être dynamique et contrastée, notamment avec des populations semi-sédentaires. Ainsi, un même espace a eu plusieurs utilisations au cours du temps, soulignant le caractère diachrone des occupations influençant la formation des anthroposols. Ici, les phases micro-anthracologiques concordent avec les phases archéologiques. Des variations entre les sites d'un même contexte géomorphologique ont également pu être discriminées, indiquant des fonctions qui peuvent être complémentaires, comme dans le cas des montagnes couronnées. Ainsi, selon la nature et l'abondance des constituants en position secondaire, la présence de foyers domestiques, ainsi que l'existence d'anciennes zones agricoles ont pu être mis en évidence. Ces résultats montrent clairement qu'il est primordial de ne pas rester figé dans les théories, et de ne pas appréhender l'utilisation de l'espace en usant de concepts statiques (Lopéz Varela & Dore 2010).

Une des limites d'observation que rencontre tout archéologue et géoarchéologue est celle des phénomènes post-dépositionnels, qui conditionnent la conservation des couches et des objets archéologiques (Fondrillon 2007). L'ensemble des facteurs taphonomiques produisant des altérations physiques et chimiques, doit être apprécié et évalué (ibid.). Les conditions pédologiques, particulièrement agressives en Guyane française, peuvent entraîner la disparition de certains constituants et une absence de preuves qui reste encore difficile à appréhender. Ceci est valable pour les vestiges osseux et les fragments de céramique, ainsi que l'empreinte physico-chimiques laissée par les activités humaines passées. Une fraction du signal chimique liée à l'activité humaine originelle est décelable. Durant cette longue période qui s'étend sur plusieurs siècles après l'abandon des sites, et en fonction du contexte, la « disparition » progressive de ce signal chimique, et la résilience des sols s'opèrent, entraînant une perte relative de l'information anthropique (Lopéz Varela & Dore 2010). Le signal chimique, preuve indirecte de l'anthropisation, est ainsi un marqueur partiel car altéré, modifié ou transformé. La multiplication des études géoarchéologiques dans ce contexte, donnerait lieu à une meilleure évaluation du rôle des processus taphonomiques et post-dépositionnels dans la transformation des anthroposols archéologiques guyanais.

Nous avons pu montrer, ici, une réorientation de la pédogenèse sous l'effet des activités humaines. Ainsi, la nature et l'intensité des processus biologiques ont été modifiées. Si la bioturbation est pilotée essentiellement par les lombrics et les enchytraeides en contexte non anthropisé, les anthroposols sont marqués, entre autres caractères, par des traits résultant de l'activité de *Pontoscolex corethrurus*. La préservation d'une

microstratigraphie typique des sols cumuliques semble également en relation directe avec la nature et l'abondance des apports anthropiques.
La comparaison des TNGF (ou FGDE, acronyme en anglais) avec les *terra preta* (ou ADE), indique qu'il est possible d'individualiser les premières. En effet, elles sont globalement moins pourvues en vestiges liés aux activités anthropiques, et, sur le plan chimique, elles sont moins enrichies relativement et en valeur absolue, ce qui les rapproche davantage des terres noires des Guyanes (De Boer 1972 ; Whitehead et al. 2010). L'origine de cette proximité reste à investiguer.

Ces travaux constituent une première étape, et il serait opportun qu'ils soient prolongés par des analyses plus ciblées dont la stratégie peut être fondée sur nos premiers résultats. En complément, un cadre archéo-stratigraphique plus précis, qu'il serait possible d'élaborer dans une approche interdisciplinaire, est maintenant nécessaire pour affiner nos connaissances des populations précolombiennes. De plus, pour mieux comprendre les activités humaines et les modes d'occupation des sols passés, il est important de se détacher d'une vision centrée sur le « phénomène *terra preta/mulata* » et de rechercher à investiguer les autres types d'anthroposols archéologiques. Dans la même démarche, il serait ainsi pertinent de compléter le référentiel élaboré dans cette thèse, avec d'autres données, provenant de divers contextes géomorphologiques.

Les perspectives méthodologiques qu'il serait intéressant d'investiguer dans de futures recherches pourraient s'attacher à l'archéologie expérimentale associée à de l'ethno-géoarchéologie. Ainsi, des essais de travail des sols par des haches de pierre emmanchées, par exemple, permettraient de caractériser l'empreinte de l'usage de ces outils dans les sols. En terme d'ethno-géoarchéologie, les études et l'observation des pratiques actuelles, en étroite collaboration avec les populations amérindiennes, notamment en ce qui concerne leur utilisation du feu, aussi bien pour les foyers domestiques que pour la mise en culture, viendraient documenter les transformations des sols sous l'effet du feu par des savoir-faire connus.
En outre, ce travail met en évidence l'intérêt de mettre en place de véritables études archéo-environnementales. Les résidus organiques, tels que les phytolithes et les charbons de bois ou biochars, sont nombreux et assez bien conservés dans les anthroposols guyanais. Par exemple, des analyses plus poussées sur les biochars, à la manière de ce qui a été réalisé sur les *terra preta*, permettraient d'évaluer leur capacité de rétention des nutriments, et leur rôle précis sur le fonctionnement et la structure des anthroposols guyanais (Glaser et al. 2004 ; Glaser & Birk 2012). Concernant les charbons, la spectroscopie Raman ou des méthodes pétrographiques mesurant la réflectance du

carbone, seraient des atouts pour, dans un premier temps, identifier la provenance du charbon (bois ou autre matériau), et dans un second temps, évaluer la température de chauffe (Goldberg et al. 2009).

En ce qui concerne les nouvelles directions analytiques à suivre, la combinaison des éléments chimiques avec les données micromorphologiques permet de préciser davantage les activités humaines originelles, sans toutefois pouvoir accéder directement aux matériaux premiers qui ont contribué plus particulièrement à la concentration de tel ou tel élément chimique. Un test d'analyse des biomarqueurs de type coprostanols (stanols des matières fécales, acides biliaires, etc.) dans les anthroposols guyanais servirait à préciser la présence et l'origine d'une partie de la fraction organique. En effet, dans les *terra preta,* ces analyses ont apporté des informations très intéressantes sur la présence de matières fécales principalement d'origine humaine (Birk et al. 2011 ; Glaser & Birk 2012). Ceci les différencie, par exemple, des terres noires du Nord de la l'Allemagne, (« *Nordic Dark Earth* », 10-11ème cal. AD) qui présentent essentiellement des matières fécales d'origine animale (Wiedner et al. 2015). A présent, évaluer la présence de ces matières fécales dans les anthroposols guyanais viendrait affiner l'origine des concentrations en éléments chimiques, comme le phosphore.
Des analyses multi-éléments (cartographie) auraient également leur place dans de futures analyses en se focalisant sur les éléments majeurs significatifs investigués dans ce travail, comme le phosphore, le calcium, le magnésium, le potassium, le manganèse et le sodium, tout en complétant avec le zinc et le cuivre qui peuvent apporter des informations supplémentaires sur les activités humaines anciennes (Costa & Kern 1999 ; Arroyo-Kalin 2008 ; Wilson et al. 2008 ; Costa et al. 2013 ; Kern et al. 2015). Pour l'analyse du phosphore assimilable, la méthode Olsen-Dabin serait la plus adaptée aux conditions acides des sols guyanais et devrait être systématiquement privilégiée à l'avenir, dans ce type de contexte.
L'analyse du fer et de l'aluminium reste intéressante dans ce contexte de Ferralsol car ces éléments sont originellement présents en grande quantité. Bien qu'ils soient très peu influencés par l'anthropisation, ils peuvent aider à comprendre les variations naturelles des sols (mosaïque pédologique) qui ont pu jouer sur les résidus chimiques détectés, permettant d'évaluer leur taphonomie (Middleton et al. 2010). Le barium est également un élément intéressant à analyser car il peut être un indicateur de variation naturelle des sols, aussi bien que de certaines activités humaines lorsqu'il est combiné à d'autres éléments majeurs (Costa & Kern 1999 ; Middleton et al. 2010).

Pour évaluer les variations du delta C13, il serait nécessaire de réaliser des analyses isotopiques plus poussées s'intéressant à des biomarqueurs spécifiques des matières organiques terrestres, aquatiques et microbiennes afin de discriminer rapidement lequel de ces mécanismes a joué un rôle prépondérant et d'étayer les hypothèses géoarchéologiques réalisées dans ce travail (Glaser & Zech 2005).

En outre, si les fouilles archéologiques sont difficilement envisageables dans certains sites de forêt, une cartographie magnétique des sols pourrait être réalisée. Ceci servirait à appréhender les zones brûlées, comme par exemple d'anciens foyers domestiques (Brodard et al. 2013, 2015).

Les analyses physico-chimiques, lorsqu'elles s'insèrent dans une problématique qui a pour but de renseigner sur les activités humaines passées, et d'évaluer du mieux possible des zones d'activités au sein d'un site, alors il est nécessaire que les méthodes d'échantillonnage soient adaptées à ces questionnements plus archéologiques. Ainsi, un échantillonnage des sols en vrac en colonne stratigraphique continue (de la surface actuelle jusqu'au niveau du substrat stérile archéologiquement) tous les 10 cm (environ, et dépendamment de la pédo-stratigraphie), en complément de la micromorphologie, serait fondamental.

Dans des projets de recherches interdisciplinaires, il serait appréciable que les méthodes de prélèvement soient harmonisées entre les différentes disciplines concernées, et adaptées, afin de répondre à la problématique archéologique. Par exemple, dans le cadre du programme Couac, il est apparu que les prélèvements réalisés par les pédologues, en « échantillons composites » et tous les 20 cm de profondeur, étaient mal adaptés pour répondre aux problématiques archéologiques et/ou réaliser une carte de fertilité des sols au sein d'un même site.

En revanche, il est important, à l'instar des pédologues, de noter le moment de prélèvement des échantillons sur le terrain, la pluviosité précédant le moment de l'échantillonnage, et d'évaluer le degré d'humidité des sols, afin de les prendre en compte lors de l'interprétation des résultats. En effet, en contexte très humide, comme c'est le cas en Guyane française, l'eau dans les sols peut influer directement sur les résultats physico-chimiques, et notamment le phosphore assimilable (Desprez et al. 2010-b). De plus, la pluviosité annuelle apparaît comme ayant un effet significatif sur les concentrations en

fer dans les sols, favorisant d'autant la fixation du phosphore sur les oxydes de fer, dans les régions à fortes pluviosité (ibid.).

Les travaux impulsés en archéologie préventive sur les terres noires de Guyane française sont au cœur de la recherche actuelle et connaissent un développement dans des projets interdisciplinaires de plus grande ampleur. Ainsi, la démarche méthodologique couplant la micromorphologie et les analyses chimiques constitue une part essentielle du projet interdisciplinaire *LongTIme*[3] qui s'attache à comprendre l'évolution de la forêt guyanaise, en faisant le lien entre passé et présent. Ce projet, dans la continuité du projet Couac, s'inspire des travaux d'écologie historique, qui stipulent que le territoire amazonien, longtemps considéré comme "vierge", fut en réalité densément occupé dans le passé, par des populations humaines. Ce projet s'intéresse plus particulièrement à l'impact des occupations amérindiennes anciennes dans le paysage des Guyanes, notamment dans la composition de la forêt et sur les sols. En effet, les études botaniques, réalisées dans le cadre du programme Couac, montrent que l'occupation humaine ancienne a pu avoir un impact « positif » sur les populations végétales en favorisant la biodiversité (intra-spécifique, inter-spécifique et génétique) des forêts guyanaises, les rendant ainsi plus riches (Barthe 2012; Sabatier & Molino 2012).

La participation à ce projet nous offre, ainsi, une occasion unique d'élargir le référentiel géoarchéologique des anthroposols guyanais établi, et de mettre en place des méthodologies analytiques complémentaires à ce qui a été élaboré dans cette thèse. De plus, une part importante du projet est centrée sur la perception de l'environnement par les sociétés amérindiennes actuelles, car elle constitue un pont vers le passé.

En conclusion et pour citer N. Lemoigne (2010), « *cette observation à regards multiples, permise par l'ethnologie associée à la pédologie,* et dans notre cas à la géoarchéologie, *fournit des armes solides pour accorder leur pleine importance à des savoirs locaux. L'expertise des sociétés les mieux ancrées à la terre est une ressource précieuse, à valeur d'exemple. En projetant du sens aux études sur les sols, elle ne peut que servir aux intérêts des hommes* ».

[3]*Long Term Impact of ancient amerindian settlements on guianese forests.* Ce projet est porté par G. Odonne (UMR LEEISA : Laboratoire Ecologie, Evolutions, Interactions des Systèmes Amazoniens – CNRS Guyane) et J.-F. Molino (UMR AMAP : botAnique et Modélisation de l'Architecture des Plantes et des végétations - Cirad). Il s'inscrit dans la suite logique du projet Couac et met en lien de nombreux chercheurs : écologues, botanistes, pédologues, ethnologues, archéologues, généticiens, etc. Ce projet, d'une durée de 3 ans, est financé par le Labex CEBA - Centre d'Etude de la Biodiversité Amazonienne.

Bibliographie

Absy, M.L., Cleef, A., Fournier, M., Martin, L., Servant, M., Sifeddine, A., Silva, M.F. da, Soubiès, F., Suguio, K., Turcq, B., Hammen, T. van der, 1991. Mise en évidence de quatre phases d'ouverture de la forêt dense dans le sud-est de l'Amazonie au cours des 60 000 dernières années. Première comparaison avec d'autres régions tropicales. Compte rendu de l'Académie des Sciences de Paris. No. 312. Académie des Sciences de Paris, Paris.

Alegre, J.C., Pashanasi, B., Lavelle, P., 1996. Dynamics of Soil Physical Properties in Amazonian Agroecosystems Inoculated with Earthworms. Soil Sci. Soc. Am. J. 60, 1522–1529.

Andrade, A., 1986. Investigación arqueológica de los anthrosolos de Araracuara (Amazonas). Arqueología Colombiana 1–101.

Araujo, A.G.M., 2013. Bioturbation and the upward movement of sediment particles and archaeological materials: comments on Bueno et al.. JAS 40, 2124–2127.

Arroyo-Kalin, M., 2014. The variability of Amazonian Dark Earths: comparing anthropogenic soils from three regions of the Amazonian biome., in: Rostain, S. (Ed.), Antes de Orellana - Actas Del 3er Encuentro Internacional de Arqueología Amazónica. pp. 323–329.

Arroyo-Kalin, M., 2013. Amazonian Dark Earths, Geoarchaeology of., in: Smith, C. (Ed.), Encyclopedia of Global Archaeology. New York.

Arroyo-Kalin, M., 2012. Slash-burn-and-churn: landscape history and crop cultivation in pre-Columbian Amazonia. Quaternary International 4–18.

Arroyo-Kalin, M., 2010. The Amazonian Formative: crop domestication and anthropogenic soils. Diversity 473–504.

Arroyo-Kalin, M., 2008. Steps towards an ecology of landscape: a geoarcheological approach to the study of anthropogenic dark earths in the Central Amazon region. PhD - Cambridge.

Arroyo-Kalin, M., Neves, E.G., Woods, W.I., 2009. Anthropogenic dark earths of the Central Amazon region: remarks on their evolution and polygenetic composition., in: Woods, W.I., Teixeira, W.G., Lehmann, J., Steiner, C., WinklerPrins, A.M.G.A., Rebellato, L. (Eds.), Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's Vision. Kluwer, pp. 99–125.

Augustinus, P.G.E.F., 1989. Chenier and Chenier plain : a general introduction. Marine Geology 90, 219–229.

Baize, D., 2000. Guide des analyses en pédologie. Choix, expression, présentation, interprétation. INRA, Paris.

Baize, D., Girard, M.-C. (Eds.), 2008. Référentiel pédologique, Quae. ed, Savoir-faire. Association française pour l'étude des sols (Afes).

Balée, W., 2006. The research program of historical ecology. Annu. Rev. Anthropol. 35, 1–24.

Balée, W., 1999. Footprints of the forest: Ka'apor ethnobotany ; the historical ecology of plant utilization by an Amazonian people. Chichester. ed. Columbia University Press, New York.

Balée, W., 1998. Advances in historical ecology. Columbia University Press, New York.

Balée, W., 1989. The culture of Amazonian forests. Advances in economic botany 7, 1–21.

Balée, W., 1985. Ka'apor ritual hunting. Human Ecology 13, 485–510. doi:10.1007/BF01531156

Balée, W., Erickson, C.L. (Eds.), 2006. Time and Complexity in Historical Ecology: Studies in the Neotropical Lowloands., Columbia Université. ed. New York.

Balme, J., Paterson, A., 2009. Archaeology in practice: A student guide to archaeological analyses. John Wiley & Sons.

Barba, L., de Pierrebourg, F., Trejo, C., Ortiz, A., Link, K., 1995. Activités humaines reflétées dans les sols d'unités d'habitation contemporaine et préhispanique du Yucatan (Mexique) : études chimiques, ethnoarchéologiques et archéologiques. Revue d'Archéométrie 19, 79–95.

Barba, L., Ortiz, A., 1992. Análisis químico de pisos de ocupación: un caso etnográfico en Tlaxcala, Mexico. Latin American Antiquity 63–82.
Barret, J. (Ed.), 2001. Atlas Illustré de la Guyane. Laboratoire de cartographie de la Guyane, Institut d'enseignement supérieur de la Guyane.
Barrow, C., 2012. Biochar: potential for countering land degradation and for improving agriculture. Applied Geography 34, 21–28.
Barthe, S., 2012. Signatures de transitions démographiques des arbres de la Forêt Tropicale Humide du plateau des Guyanes. (thèse de Doctorat). des Antilles et de la Guyane, Kourou, Guyane.
Berger, J.-F., Brochier, J.-L., Bravard, J.-P., 2000. La géoarchéologie en France: Définition et champs d'application. Nouvelles de l'archéologie 37–47.
Bernoux, M., Feigl, B.J., Cerri, C.C., Geraldes, A.P. de A., Fernandes, S.A., 1999. Soil carbon and nitrogen in a forest-pasture chronosequence from Paragominas. Scientia Agricola 56, 777–783.
Birk, J.J., Teixeira, W.G., Neves, E.G., Glaser, B., 2011. Faeces deposition on Amazonian Anthrosols as assessed from 5ß-stanols. JAS 38, 1209–1220.
Blanc, L., Florès, O., Molino, J.F., Gourlet-Fleury, S., Sabatier, D., 2003. Diversité spécifique et regroupement d'espèces arborescentes en forêt guyanaise. Revue Forestière Française, 131–146.
Blancaneaux, P., 2001. Pédologie, in: Barret, J. (Ed.), Atlas Illustré de La Guyane. Guyane française, pp. 50–51.
Blancaneaux, P., 1981. Essai sur le milieu naturel de la Guyane française. (No. 137). ORSTOM, Cayenne.
Blanchart, E., 1992. Role of earthworms in the restoration of the macroaggregate structure of a de-structured savanna soil under field conditions. Soil Biology and Biochemistry 1587–1594.
Blanchart, E., Albrecht, A., Brown, G., Decaens, T., Duboisset, A., Lavelle, P., Mariani, L., Roose, E., 2004. Effects of tropical endogeic earthworms on soil erosion. Agriculture, Ecosystems and Environment 104, 303–315.
Blanchart, E., Lavelle, P., Braudeau, E., Bissonnais, Y.L., Valentin, C., 1997. Regulation of soil structure by geophagous earthworm activities in humid savannas of Côte d'Ivoire. Soil Biol. Biochem. 29, 431–439.
Bomsel, 2016. Pécari. Encyclopædia Universalis (en ligne).
Boomert, A., 2004. Koriabo and the Polychrome tradition: the late-prehistoric era between the Orinoco and Amazon mouths, in: Delpuech, A., Hofman, C. (Eds.), Late Ceramic Age Societies In the Eastern Caribbean, BAR INTERNATIONAL SERIES. Paris, pp. 251–268.
Boomert, A., 1993. The Barbakoeba archaeological complex of northeast Suriname. OSO Tijdschrift voor Surinamistiek 12, 98–222.
Boomert, A., 1980. The Sipaliwini archeological complex of Surinam. Nieuwe West-Indische Gids/New West Indian Guide 54, 94–107.
Borderie, Q., 2011. L'espace urbain entre Antiquité et Moyen Âge, analyse géoarchéologique des terres noires: études de cas. Paris I : Panthéon-Sorbonne, Paris.
Boulet, R., 1983. Organisation des couvertures pédologiques des bassins versants ECEREX: hypothèses sur leur dynamique (Compte rendu des journées sur le projet ECEREX. ORSTOM, GERDAT, INRA, MNHN., Cayenne (Guyane française).
Boulet, R., Humbel, F.X., Lucas, Y., 1982. Analyse structurale et cartographie en pédologie. III - Passage de la phase analytique à une cartographie générale synthétique. Cah. ORSTOM, sér. Pédol XIX, 341–351.
Boutton, T.W., 1991. Stable carbon isotope ratios of natural materials: II. Atmospheric, terrestrial, marine, and freshwater environments, in: Coleman, D.C., Fry (Eds.), Carbon Isotope Techniques. Academic Press, San Diego, pp. 173–185.
Brancier, J., 2009. Géoarchéologie des terres noires guyanaises : approche bibliographique

et premières données analytiques sur le site de Chemin-Saint-Louis (Saint Laurent du Maroni, Guyane française) (Mémoire de Master 2, 2 tomes, non publié). Université Paris I Panthéon-Sorbonne, Paris.
Brancier, J., Cammas, C., Todisco, D., Fouache, E., 2014. A Micromorphological Assessment of Anthropogenic Features in Pre-Columbian French Guiana Dark Soils (FGDS): First Results. Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementary Issues 58, 109–139.
Briand, J., en préparation. Balaté (commune de Saint-Laurent-du-Maroni, Guyane française). (Rapport final d'opération archéologique). INRAP, Cayenne (Guyane française).
Brochier, J.E., 2002. Les sédiments anthropiques. Méthodes d'étude et perspectives., in: Miskovski, J.-C. (Ed.), Géologie de La Préhistoire : Méthodes, Techniques, Applications. Paris, pp. 453 – 477.
Brodard, A., 2013. Caractérisation thermique de structures de combustion par les effets de la chauffe sur les minéraux: thermoluminescence et propriétés magnétiques de foyers de la grotte des Fraux (Dordogne). Bordeaux 3 - Michel de Montaigne.
Brodard, A., Guibert, P., Lévêque, F., Mathé, V., Carozza, L., Burens, A., 2012. Thermal characterization of ancient hearths from the cave of Les Fraux (Dordogne, France) by thermoluminescence and magnetic susceptibility measurements. Quaternary Geochronology 10, 353–358.
Brodard, A., Lacanette-Puyo, D., Guibert, P., Lévêque, F., Burens, A., Carozza, L., 2015. A new process of reconstructing archaeological fires from their impact on sediment: a coupled experimental and numerical approach based on the case study of hearths from the cave of Les Fraux (Dordogne, France). Archaeological and Anthropological Sciences.
Browne Ribeiro, A.T., 2014. Houses, hearths, and gardens : space and temporality in a pre-Columbian village in the Central Amazon., in: Rostain, S. (Ed.), Antes de Orellana - Actas Del 3er Encuentro Internacional de Arqueología Amazónica. pp. 183–189.
Brugière, J.-M., Marius, C., 1967. Relation sols-substrat géologique. ORSTOM, Cayenne (Guyane française).
Bueno, L., 2011. L'occupation initiale du Brésil dans une perspective macro-régionale: les cas de l'Amazonie, du Nordeste et du centre du Brésil., in: Vialou, D. (Ed.), Peuplements et Préhistoire En Amériques. Paris, pp. 210–220.
Bullock, P., Fedoroff, N., Jongerius, A., Stoops, G., Tursina, T., Babel, U., 1985. Handbook for soil thin section, Waine Research Publications. ed. Wolverhampton.
Bush, M.B., 1994. Amazonian speciation : a necessarily complex model. Journal of Biogeography 21, 5–17.
Bush, M.B., Gosling, W.D., Colinvaux, P.A., 2011. Climate and vegetation change in the lowlands of the Amazon Basin., in: Fenley, J.R., Gosling, W.D., Bush, M.B. (Eds.), Tropical Rainforest Responses to Climatic Change (second Edition). Heidelberg, Berlin, pp. 61–84.
Bush, M.B., Miller, M.C., Oliveira, P.E.D., Colinvaux, P.A., 2002. Orbital forcing signal in sediments of two Amazonian lakes. Journal of Paleoclimatology 27, 341–352.
Bush, M.B., Piperno, D.R., Colinvaux, P.A., 1989. A 6,000 year history of Amazonian maize cultivation. Nature 340, 303–305.
Bush, M.B., Silman, M.R., Toledo, M.B. de, 2007. Holocene fire and occupation in Amazonia : records from two lakes districts. Philosophical Transactions of the Royal Society of London 362, 209–218.
Cade-Menun, B.J., Berch, S.M., Preston, C.M., Lavkulich, L.M., 2000. Phosphorus forms and related soil chemistry of Podzolic soils on northern Vancouver Island. II. The effects of clear-cutting and burning. Canadian Journal of Forest Research 30, 1726–1741.
Calvet, R., 2003. Le sol, propriétés et fonctions. Constitution et structure, phénomènes aux interfaces. France Agricole. ed, Dunod.
Cammas, C., 2015. L'anthropisation des systèmes pédo-sédimentaires aux périodes

protohistoriques et historiques : Une recherche sur les sols urbains (géoarchéologie et micromorphologie). AgroParisTech, Paris.
Cammas, C., 2004. Les “terres noires” urbaines du Nord de la France: première typologie pédosédimentaire, in: Verslype, L., Brulet, R. (Eds.), Terres Noires—Dark Earth. Presented at the Table ronde internationale (9-10 novembre 2001), UCL, Louvain-la-Neuve, pp. 43–55.
Cammas, C., 1999. Dynamique pédo-sédimentaire urbaine: Modes de construction et d’occupation à Lattes au IVe s. av. n. è., in: Recherches Sur Le IVe Siècle Avant Notre Ère À Lattes., Lattara. Lattes, pp. 211–227.
Cammas, C., 1995. La Vatine - Rapport géoarchéologique. (Document final de synthèse). INAPG, Thiverval-Grignon, France.
Cammas, C., 1994. Approche micromorphologique de la stratigraphie de Lattes: premiers résultats, in: Exploration de La Ville Portuaire de Lattes, Les Îlots 2, 4-Sud, 5, 7- Est et 7-Ouest, 8, 9 et 16 Du Quartier de Saint-Sauveur., Lattara. Lattes, pp. 181–202.
Cammas, C., Borderie, Q., Desachy, B., Augry, S., 2011. L’approche géoarchéologique de l’urbain. Archéopages: archéologie & société 80–93.
Cammas, C., Courty, M., Fedoroff, N., 1998. Dynamique de la bio-structuration dans les sols cumuliques. Cas des “Terres Noires” de Paris. Presented at the Proceedings of the 16th world congress of soil science, Symposium 18 : Rôle et contribution des processus biologiques dans le fonctionnement et l’évolution des systèmes de sols., International Society of Soil Science., Montpellier, France.
Cammas, C., Vissac, C., Borderie, Q., David, C., 2014. Diversité des espaces végétalisés : contribution de la géoarchéologie à la connaissance des jardins historiques et des espaces non bâtis. in: Archéologie Des Jardins. Analyse des espaces et méthodes d’approche. Montagnac,pp.119-220.
Cammas, C., Wattez, J., 2009. L’approche micromorphologique : méthode et application aux stratigraphies archéologiques, in: Ferdière, A. (Ed.), La géologie, les sciences de la terre appliquées à l’archéologie, Collection Archéologiques. Editions Errance, pp. p. 181–216.
Carcaillet, C., Blanchemanche, P., 2009. Les sols enregistrent l’histoire des hommes et des écosystèmes., in: Le Sol, Épiderme Vivant de La Terre, Les Dossiers d’Agropolis International. Montpellier, France, pp. 39–42.
Carrancho, A., Villalaín, J.J., 2011. Different mechanisms of magnetisation recorded in experimental fires: archaeomagnetic implications. Earth and Planetary Science Letters 176–187.
Cerri, C.., Feller, C., Balesdent, J., Victoria, R., Plennecassagne, A., 1985. Application du traçage isotopique naturel en 13C à l’étude de la matière organique dans les sols. C. R. Acad. Sci. Paris t. 300, 423–428.
Certini, G., 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. Oecologia 143, 1–10. doi:10.1007/s00442-004-1788-8
Charles-Dominique, P., Blanc, P., Larpin, D., Ledru, M.P., Riéra, B., Sarthou, C., Servant, M., Tardy, C., 1998. Forest perturbations and biodiversity during the last ten thousand years in French Guiana. Acta Oecologica 19, 295 – 302.
Choubert, B., 1949. Géologie et pétrographie de la Guyane française. ORSTOM et LAROSE.
Ciesielski, H., Sterckeman, T., Santerne, M., Willery, J.P., 1997. Determination of cation exchange capacity and exchangeable cations in soils by means of cobalt hexamine trichloride. Effects of experimental conditions. Agronomie 17, 1–7.
Clark, P.U., Alley, R.B., Pollard, D., 1999. Northern hemisphere ice-sheet influences on global climate change. Science 286, 1104–1111.
Clement, C.R., 2006. Fruit trees and the transition to food production in Amazonia., in: Balée, W., Erickson, C.L. (Eds.), Time and Complexity in Historical Ecology: Studies in the Neotropical Lowlands. New York, USA, pp. 165–185.
Colinvaux, P.A., Oliveira, P.E.D., Moreno, J.E., Miller, M.C., Bush, M.B., 1996. A long pollen record from lowland Amazonia : forest and cooling in glacial times. Science

274.
Cook, D.E., Kovacevich, B., Beach, T., Bishop, R., 2006. Deciphering the inorganic chemical record of ancient human activity using ICP-MS: a reconnaissance study of late Classic soil floors at Cancuén, Guatemala. Journal of Archaeological Science 33, 628–640. doi:10.1016/j.jas.2005.09.019
Cornell, R., Schwertmann, U., 1996. Structure, properties, reactions, occurrence and uses, in: The Iron Oxides. Weinheim, pp. 375–395.
Cornu, S., Montagne, D., Hubert, F., Barré, P., Caner, L., 2012. Evidence of short-term clay evolution in soils under human impact. Comptes Rendus Geoscience 344, 747–757. doi:10.1016/j.crte.2012.09.005
Costa, M. da, Carmo, M.S. do, Oliveira, E.C., Lima, H., Kern, D., Goeske, J., 2009. A mineralogia e composição química de fragmentos de cerâmicas arqueólogicas en sítios de Terra Preta de índio., in: Teixeira, W., Kern, D., Madari, B., Lima, H., Woods, W. (Eds.), As Terras Pretas de índio da Amazônia : sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus, Brésil, pp. 225–241.
Costa, M. da, Rios, G., Silva, M., Silva, G. da, Molano-Valdes, U., 2011. Mineralogy and chemistry of archaeological ceramic fragments from archaeological Dark Earth site in Colombian Amazon. Rem: Revista Escola de Minas 64, 17–23.
Costa, M.L. da, Kern, D.C., 1999. Geochemical signature of tropical soils with archaeological black earth in the Amazon, Brazil. J. Geochem. Explor. 66, 369–385.
Costa, J.A., da Costa, M., Kern, D.C., 2013. Analysis of the spatial distribution of geochemical signatures for the identification of prehistoric settlement patterns in ADE and TMA sites in the lower Amazon Basin. Journal of Archaeological Science 40, 2771–2782.
Costa, J.A., Kern, D.C., da Costa, M., Rodrigues, T.E., Kämpf, N., Lehmann, J., Frazão, F.L., 2009. Geoquímica das Terras Pretas Amazônicas., in: Teixeira, W.G., Kern, D.C., Madari, B.E., Lima, H.N., Woods, W. (Eds.), As Terras Pretas de índio da Amazônia : sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus, Brésil, pp. 72–81.
Courty, M., Goldberg, P., Macphail, R., 1989. Soils and micromorphology in Archaeology, Cambridge University Press.
Courty, M.A., Fedoroff, N., 2002. Micromorphologie des sols et sédiments archéologiques. in: Miskovsky, J.-C. (Ed.), Géologie de La Préhistoire : Méthodes, Techniques, Applications. Paris, pp. 511–554.
Courty, M.A., Miskovsky, J.C., 2002. Introduction : Place des sédiments archéologiques au sein des dépôts quaternaires et évolution des techniques. in: Miskovsky, J.-C. (Ed.), Géologie de La Préhistoire : Méthodes, Techniques, Applications. Paris, pp. 449 – 452.
Coutet, C., 2009. Archéologie du littoral de Guyane française. Une approche éthnoarhéologique des techniques céramiques amérindiennes. Paris I : Panthéon-Sorbonne, Paris.
Coutet, C., Romon, T., Serrand, N., 2014. Ossements et perles en coquillages des sépultures précolombiennes de Yalimapo (Awala-Yalimapo). Karapa. Revue d'AnthRoPologie des sociétés AméRindiennes Anciennes, d'histoiRe et d'ARchéologie coloniAle du bAssin AmAzonien et du PlAteAu des guyAnes 3, 21–34.
Couture, A., Bhiry, N., Monette, Y., Woollett, J., 2016. A geochemical analysis of 18th-century Inuit communal house floors in northern Labrador. JAS: Reports 6,71–81.
Criscuoli, I., Alberti, G., Baronti, S., Favilli, F., Martinez, C., Calzolari, C., Pusceddu, E., Rumpel, C., Viola, R., Miglietta, F., 2014. Carbon Sequestration and Fertility after Centennial Time Scale Incorporation of Charcoal into Soil. PLoS ONE 9.
Crockford, R., Willett, I., 2001. Application of mineral magnetism to describe profile development of toposequences of a sedimentary soil in south-eastern Australia. Soil Research 39, 927–949.
Czimczik, C.I., Preston, C.M., Schmidt, M.W.-I., Werner, R.A., Schulze, E.-D., 2002.

Effects of charring on mass, organic carbon, and stable carbon isotope composition of wood. Organic Geochemistry 33, 1207–1223.
Dabin, B., 1980. Phosphorus deficiency in tropical soils as a constraint on agricultural output., in: Priorities for Alleviating Soil-Related Constraints to Food Production in the Tropics. Presented at the IRRI, Los Banos (Philippines), pp. 217 – 233.
Davidson, D.A., Dercon, G., Stewart, M., Watson, F., 2006. The legacy of past urban waste disposal on local soils. Journal of Archaeological Science 33, 778–783.
Dawod, V., FitzPatrick, E., 1993. Some population sizes and effects of the Enchytraeidae (Oligochaeta) on soil structure in a selection of Scottish soils. Geoderma 56, 173–178.
De Boer, M.W.H., 1972. Landforms and Soils in Eastern Surinam, South America. (No. 771), Agricultural Research Reports. Centre for Agricultural Publishing & Documentation, Wageningen (Hollande).
De Carvajal, G., 1955. Relación del nuevo descubrimiento del famoso Rio grande de las Amazonas. Intoduction et notes de Jorge Hernández Millares. Biblioteca Americana, Buenos Aires, Mexico.
Deines, P., 1980. The isotopic composition of reduced organic carbon, in: Fritz, P., Fontes, J.C. (Eds.), Handbook of Environmental Geochemistry. Amsterdam, pp. 329–406.
Delhon, C., 2008. Potentiel de l'analyse des phytolithes contenus dans les pâtes céramiques et les matériaux de construction. Dégraissants organiques: identifications, nomenclatures et référentiels Cahiers des thèmes transversaux ArScAn, 86–93.
Delhon, C., 2003. Analyse morphométrique des phytolithes des sédiments de l'Île de Pâques, de plusieurs Jubaea chilensis, et d'un échantillon de Juania australis. Composition et évolution de la population de palmiers à l'île de Pâques: 5-13. CNRS/Ministère des affaires étrangères.
Delor, C., Lahondère, D., Egal, E., Lafon, J.-M., Cocherie, A., Guerrot, C., Rossi, P., Truffert, C., Théveniaut, H., Phillips, D., Avelar, V.G. de, 2003. Processus de croissance et de ré-activation crustale au Transamazonien, mis en évidence par la carte à 1/500 000 de Guyane (2ème édition). Géologie de la France 5 – 57.
Delpech, S., 2005. Saint-Laurent-du-Maroni, Carrière des Ananas (Guyane). Rapport de diagnostic archéologique. INRAP.
Delpuech, A., Giraud, J.-P., Hesse, A., Mordant, C., Congrès national des sociétés historiques et scientifiques (123 ; 1998 ; Fort-de-France), 2002. Archéologie précolombienne et coloniale des Caraïbes : Éd. du CTHS, Paris.
Demangeot, J., 1999. Tropicalité, géographie physique intertropicale., Armand Colin. ed. Paris.
Denevan, W.M., 2009. As origens agrícolas da terra mulata na Amazônia., in: Teixeira, W.G., Kern, D.C., Madari, B.E., Lima, H.N., Woods, W.I. (Eds.), As Terras Pretas de índio da Amazônia : sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus, Brésil, pp. 82–86.
Denevan, W.M., 2004. Semi-intensive pre-European cultivation and the origins of anthropogenic dark earths in Amazonia., in: Woods, W.I., Glaser, B. (Eds.), Amazonian Dark Earths: Explorations in Space and Time. Berlin, Londres, pp. 135–143.
Denevan, W.M., 2001. Cultivated landscapes of Native Amazonia and the Andes: triumph over the soil, Oxford geographical and environmental studies. Oxford University Press, Oxford, UK New York.
Denevan, W.M., 1996. A Bluff Model of Riverine Settlement in Prehistoric Amazonia. Annals of the Association of American Geographers 86, 654–681.
Deprince, A., 2003. La faune du sol diversité, méthodes d'étude, fonctions et perspectives. Courrier de l'environnement de l'INRA 123–138.
Descola, P., 1986. La nature domestique: symbolisme et praxis dans l'écologie des Achuar. Les Editions de la MSH.

Desjardins, T., Volkoff, B., Andreux, F., Cerri, C., 1991. Distribution du carbone total et de l'isotope 13C dans des sols ferrallitiques du Brésil. Sci Sol 29, 175–187.
Desprez, M., 2010. Synthèse de l'étude des sols des sites Couac 2 et 3. Compte rendu de mission terrain. Projet Couac, Guyane.
Desprez, M., Ferry, B., Freycon, V., 2010. Caractérisation morphologique des sols de neuf placettes permanentes forestières du réseau Guyafor (Guyane Française). Cirad, AgroParisTech, UMR EcoFoG, Kourou, Guyane française.
Desprez, M., Freycon, V., Ferry, B., 2010. Synthèse bibliographique et résultats GUYAFOR sur le phosphore assimilable.
Dias, A.S., Bueno, L., 2013. The Initial Colonization of South America Eastern Lowlands., in: Graf, K., Ketron, C.V., Waters, M.R. (Eds.), Paleoamerican Odyssey. Texas A & M University, pp. 339–357.
DIREN, 2009. Atlas des paysages de la Guyane. Direction régionale de l'Environnement.
Dore, C.D., López Varela, S.L., 2010. Kaleidoscopes, Palimpsests, and Clay: Realities and Complexities in Human Activities and Soil Chemical/Residue Analysis. Journal of Archaeological Method and Theory 17, 279–302.
Duchaufour, P., 2001. Introduction à la science du sol: sol, végétation, environnement, Dunod. ed, Abrégés. Paris.
Duin, R.S., 2009. Wayana socio-political landscapes: multi-scalar regionality and temporality in Guiana. PhD – Université de Floride.
Dupouey, J.-L., Dambrine, E., Laffite, J.D., Moraes, C., 2002. Irreversible impact of past land use on forest soils and biodiversity. Ecology 83, 2978–2984.
Dzurec, P., Boutton, T.W., Caldwell, M.M., Smith, B.N., 1985. Carbon isotopic ratios of soil organic matter and their use in assessing community composition change in Curlew Valley, Utah. Oecologia 17–24.
Egal, E., Mercier, D., Itard, Y., Mounié, F., 1992. L'ouverture de bassins en pull-apart au Protérozoique inférieur: nouveaux arguments dans le nord du craton guyanais. Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2, Mécanique, Physique, Chimie, Sciences de l'univers, Sciences de la Terre 314, 1499–1506.
Eichhorn, B., Neumann, K., Garnier, A., 2010. Seed phytoliths in West African Commelinaceae and their potential for palaeoecological studies. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 298, 300 – 310.
Emmanuel, L., Rafelis St Sauveur, M., Pasco, A., 2014. Maxi fiches de géologie en 85 fiches. Dunod. ed. Paris.
Entwistle, J.A., Abrahams, P.W., Dodgshon, R.A., 1998. Multi-Element Analysis of Soils from Scottish Historical Sites. Interpreting Land-Use History Through the Physical and Geochemical Analysis of Soil. Journal of Archaeological Science 25, 53–68. doi:10.1006/jasc.1997.0199
Entwistle, J.A., Dodgshon, R.A., Abrahams, P.W., 2000. An investigation of former land-use activity through the physical and chemical analysis of soils from the Isle of Lewis, Outer Hebrides. Archaeological Prospection 7, 171–188.
Erickson, C.L., 2010. The Transformation of Environment into Landscape: The Historical Ecology of Monumental Earthwork Construction in the Bolivian Amazon. Diversity 2, 618–652.
Erickson, C.L., 2008. Amazonia: The Historical Ecology of a Domesticated Landscape, in: Silverman, H., Isbell, W.H. (Eds.), The Handbook of South American Archaeology. Springer New York, New York, NY, pp. 157–183.
Erickson, C.L., 2006. The Domesticated Landscapes of the Bolivian Amazon, in: Balée, W., Erickson, C.L. (Eds.), Time and Complexity in Historical Ecology: Studies in the Neotropical Lowloands. New York, pp. 235–278.
Eriksen, L., 2011. Nature and Culture in Prehistoric Amazonia. Using G.I.S. to reconstruct ancient ethnogenetic processes from archaeology, linguistics, geography, and ethnohistory. PhD. Lund, Suède.
Eswaran, H., Sys, C., Sousa, C., 1975. Plasma infusion - A pedological process of

significiance in the humid tropics. Anales Edal. Y. Agrobiologia 665–673.
Falcão, N.P.S., Clement, C.R., Tsai, S.M., Comenford, N.B., 2009. Pedology, fertility, and biology of central Amazonian Dark Earth., in: Woods, W.I., Teixeira, W.G., Lehmann, J., Steiner, C., WinklerPrins, A.M.G.A., Rebellato, L. (Eds.), Amzonian Dark Earth: Wim Sombroek's Vision. Berlin, pp. 213–228.
FAO, 2014. World reference base for soil resources 2014 international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. FAO, Rome.
Fedoroff, N., 1997. Clay illuviation in Red Mediterranean soils. Catena 28, 171–189.
Fedoroff, N., 1979. Organisation du sol à l'échelle microscopique, in: Bonneau, M., Souchier, B. (Eds.), Constituants et Propriétés Du Sol, Pédologie. Paris, pp. 251–265.
Fedoroff, N., Courty, M.-A., 1994. Organisation des sols aux échelles microscopiques, in: La Pédologie. Masson, Paris, pp. 349–374.
Fernandes, A.F., Cerri, C.., Fernandes, A.H.B.M., 2007. 13C e a Dinâmica do Carbono Orgânico do Solo em Pastagem Cultivada no Pantanal Sul-mato-grossense. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 19.
Ferry, B., 1995. Les grands mécanismes de formation d'un sol sur le socle guyanais. EngreF, Sylvolab, Kourou, Guyane.
Ferry, B., Freycon, V., 2012. Projet Couac : Questions, résultats et perspectives en pédologie.
Ferry, B., Freycon, V., Paget, D., 2003. Genèse et fonctionnement hydrique des sols sur socle cristallin en Guyane. Modalités de leur propagation. Rev. For. Fr. LV, 37 – 59.
Filleron, J.-C., Fol, J.L., Freycon, V., 2003. Diversité et Originalité des Modelés Forestiers Guyanais. Rev. For. Fr. LV, 19–36.
Fischer, D., Glaser, B., 2012. Synergisms between compost and biochar for sustainable soil amelioration., in: Kumar, S. (Ed.), Management of Organic Waste. INTECH Open Access Publisher.
Fisher, R.F., Binkley, D., 2000. Ecology and Management of Forest Soils. John Willey & Sons. Inc. New York, USA.
Fitzpatrick, E.A., 1993. Soil microscopy and micromorphology., Wiley. ed. Angleterre.
Fondrillon, M., 2007. La formation du sol urbain : étude archéologique des terres noires à Tours (4e-12e siècle). PhD-François-Rabelais, Tours.
Fondrillon, M., Devos, Y., Graz, Y., Laurent, C., Macphail, R.I., Vrydaghs, L., 2009. Processus d'urbanisation au Moyen Age : recherches interdisciplinaires sur les terres noires à Bruxelles et à Tours (Ve-XIVe siècle).
Fragoso, C., Kanyonyo, J., Moreno, A., Senapati, B.K., Rodriguez, C., 1999. A survey of tropical earthworms: taxonomy, biogeography and environmental plasticity., in: Earthworm Management in Tropical Agroecosystems. CAB International, Wallingford, pp. 1–26.
Fraser, J., Teixeira, W., Falcão, N., Woods, W., Lehmann, J., Junqueira, A., 2011. Anthropogenic soils in the Central Amazon: from categories to a continuum. Area 43, 264–273.
Freitas, H. de, Pessenda, L., Aravena, R., Gouveia, S., Ribeiro, A. de S., Boulet, R., 2001. Late Quaternary Vegetation Dynamics in the Southern Amazon Basin Inferred from Carbon Isotopes in Soil Organic Matter. Quaternary Research 55, 39 – 46.
Freycon, V., 2009. Encadrement de M. Desprez (Montagne Plomb, Laussat) et J. Weigel (Cartographie des sols de Paracou). Aperçu d'anciens sites amérindiens (Montagne couronnée, Eperon barré). Rapport de terrain. Cirad, Inrap, UMR EcoFoG, Guyane française.
Freycon, V., Krencher, M., Schwartz, D., Nasi, R., Bonal, D., 2010. The impact of climatic change during the Holocene on vegetation in northern French Guiana. Quaternary Research 73, 220–225.
Freycon, V., van den Bel, M., Hérault, B., 2013. Projet Couac : terrain complémentaire mars 2013 (Laussat, Tibourou, MC87, Paracou). Rapport de terrain. Cirad, Inrap,

UMR EcoFoG, Guyane française.
Fritsch, J., 1981. Ecoulement et érosion sur les bassins versants ECEREX en 1979. Ecosystème Forestier Guyanais: Bulletin de Liaison du Groupe de Travail ECEREX, ORSTOM, Cayenne 23–44.
Gassies, E., 2001. Archéologie, in: Barret, J. (Ed.), Atlas Illustré de La Guyane. Guyane française, pp. 20–25.
Gé, T., Courty, M., Matthews, W., Wattez, J., 1993. Sedimentary formation processes of occupation surfaces. Formation Processes in Archaeological Context, Prehistory Press, Madison 149–164.
Gebhardt, A., 1992. Micromorphological analysis of soil structure modifications caused by different cultivation implements. Monographie du CRA 373–381.
German, L., 2001. The dynamics of terra preta: An integrated study of human-environmental interactions in a nutrient-poor Amazonian ecosystem. PhD thesis. Université of Georgia.
Gibbs, A.K., Barron, C.N., 1993. The geology of the Guiana Shield. Oxford University Press, USA.
Girod, C., 2011. Conséquences génétiques des variations climatiques du Quaternaire et distribution des espèces forestières Néotropicales : l'exemple du palmier Astrocaryum sciophilum. PhD thesis Université Pierre et Marie Curie-Paris 6.
Glaser, B., 2007. Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the 21th century? Philos. Trans. R. Soc. B-Biol. Sci. 362, 187–196.
Glaser, B., Balashov, E., Haumaier, L., Guggenberger, G., Zech, W., 2000. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. Organic Geochemistry 31, 669–678.
Glaser, B., Birk, J., 2012. State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de Indio). Geochimica et Cosmochimica Acta 82, 39–51.
Glaser, B., Guggebberger, G., Zech, W., Ruivo, M. de L., 2003. Soil organic matter stability in Amazonian Dark Earth., in: Lehmann, J., Kern, D., Glaser, B., Woods, W.I. (Eds.), Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management. Dordrecht, pp. 141–158.
Glaser, B., Guggenbberger, G., Zech, W., 2004. Identifying the pre-Columbian anthropogenic input on present soil properties of Amazonian Dark Earth (Terra Preta). in: Glaser, B., Woods, W.I. (Eds.), Amazonian Dark Earths: Explorations in Space and Time. Berlin, pp. 145–158.
Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G., Zech, W., 2001. The "Terra Preta" phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. Naturwissenschaften 88, 37–41.
Glaser, B., Zech, W., 2005. Reconstruction of climate and landscape changes in a high mountain lake catchment in the Gorkha Himal, Nepal during the Late Glacial and Holocene as deduced from radiocarbon and compound-specific stable isotope analysis of terrestrial, aquatic and microbial biomarkers. Organic Geochemistry 36, 1086–1098.
Gobat, J.M., Aragno, M., Matthey, W., 1998. Le sol vivant. Bases de pédologie, biologie des sols. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. ed. Paris.
Goldberg, P., Macphail, R., 2006. Practical and Theoretical Geoarchaeology., Blackwell Publishing. ed. Oxford.
Goldberg, P., Miller, C., Schiegl, S., Ligouis, B., Berna, F., Conard, N., Wadley, L., 2009. Bedding, hearths, and site maintenance in the Middle Stone Age of Sibudu Cave, KwaZulu-Natal, South Africa. Archaeological and Anthropological Sciences 1, 95–122.
Gonzalez-Pérez, J., Gonzalez-Vila, F.J., Almendros, G., Knicker, H., 2004. The effect of fire on soil organic matter - a review. Environment International 30, 855 – 870.
Granville, J.-J. de, 1994. Forêt Guyanaise : Gestion de l'écosystème forestier et

aménagement de l'espace régional. ORSTOM, Cayenne.
Granville, J.-J. de, 1986. Les formations végétales de la bande côtière de Guyane française. in: Le Littoral Guyanais, Fragilité de L'environnement. Presented at the 1er Congrès régional de l'Environnement, SEPANGUY - Xe Colloque SEPANRIT, SEPANGUY, SEPANRIT, Cayenne (Guyane française), pp. 47–63.
Granville, J.-J. de, 1979. Végétation, planches 12 et 13., in: Atlas Des Départements Français d'Outre-Mer. IV - La Guyane. CNRS, ORSTOM, Paris.
Granville, J.J., 2001. Végétation, in: Jacques Barret (Ed.), Atlas Illustré de La Guyane. Guyane française, pp. 52–56.
Grenand, P., 1982. Ainsi parlaient nos ancêtres... Essai d'ethnohistoire Wayapi. ORSTOM, Paris.
Grimaldi, M., Boulet, R., 1990. Relation entre l'espace poral et le fonctionnement hydrodynamique d'une couverture pédologique sur socle de Guyane française. Cah. ORSTOM, sér. Pédol 25, 263–275.
Grossmann, J., O'Neill, B., Tsai, S., Liang, B., Neves, E., Lehmann, J., Thies, J., 2010. Amazonian Anthrosols Support Similar Microbial Communities that Differ Distinctly from Those Extant in Adjacent, Unmodified Soils of the Same Mineralogy. Microb. Ecol. 192–205.
Grouard, S., Tardy, C., 2003. Un site d'habitat de hauteur sur le mont Grand-Matoury, Île de Cayenne-Guyane française, Archéologie précolombienne et coloniale des Caraïbes., in: Delpuech, A., Giraud, J.-P., Hesse, A. (Eds.), Actes 123e Congrès National Des Sociétés Historiques et Scientifiques, Antilles-Guyane. 1998. CTHS, Paris, pp. 197–223.
Guapindaia, V., 2008. Além da margem do rio-a ocupação Konduri e Pocó na região de Porto Trombetas, PA. Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo : Museu de Arqueologia e Etnologia.
Guilaine, J., 2004. Aux marges des grands foyers du Néolithique. Périphéries débitrices ou créatrices?, Errance. ed. Paris.
Guillet, B., Faivre, P., Mariotti, A., Khobzi, J., 1988. The 14C dates and 13C/12C ratios of soil organic matter as a mean or studying the past vegetation in intertropical regions : examples from Colombia (South America). Paleogeogr., Paleoclimatol., Paleoecol. 51–58.
Guitet, S., Cornu, J., Brunaux, O., Betbeder, J., 2013. Landform and landscape mapping, French Guiana (South America). Journal of Maps.
Guyot, J., Callède, J., Cochonneau, G., Filizola, N., Guimarães, V., Kosuth, P., Molinier, M., De Oliveira, E., Seyler, F., Seyler, P., 1999. Caractéristiques hydrologiques du bassin amazonien. Presented at the International Symposium on hydrological and geochemical processes in large scale river basins, pp. 15–19.
Hammen, T. van der, Hooghiemstra, H., 2000. Neogene and Quaternary histoy of vegetation, climate, and plant diversity in Amazonia. Quaternary Science Reviews 725–742.
Hammond, D.S. (Ed.), 2005. Tropical forests of the Guiana shield. Ancient forests in a modern world. CABI publishing.
Hecht, S.B., 2003. Indigenous Soil Management and the Creation of Amazonian Dark Earths: Implications of Kayapó Practice, in: Lehmann, J., Kern, D., Glaser, B., Woods, W.I. (Eds.), Amazonian Dark Earths. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 355–372.
Heckenberger, M., Neves, E., 2009. Amazonian archaeology. Annu. Rev. Anthropol. 38, 251–266.
Heckenberger, M.J., Kuikiro, A., Kuikiro, U.T., Russell, C.J., Schmidt, M., Fausto, C., Franchetto, B., 2003. Amazonia 1492: Pristine Forest or Cultural Parkland? Science 301, 1710–1714. doi:10.1126/science.1086112
Heckenberger, M.J., Russell, J.C., Fausto, C., Toney, J.R., Schmidt, M.J., Pereira, E., Franchetto, B., Kuikuro, A., 2008. Pre-Columbian Urbanism, Anthropogenic

Landscapes, and the Future of the Amazon. Science 321, 1214–1217.
Hildebrand, M., 2008. Saut Saillat : une occupation diachronique sur berge haute (Guyane française). Rapport final de fouille préventive. INRAP, Guyane.
Hildebrand, M., Mestre, M., Samuélian, C., Todisco, D., van den Bel, M., en préparation. Chapitre Archéologie - les indices archéologiques. Rapport du projet Couac. Inrap, Cayenne (Guyane française).
Holliday, V.T., 2004. Soils in Archaeological Research. Oxford University Press.
Holliday, V.T., Gartner, W.G., 2007. Methods of soil P analysis in archaeology. Journal of Archaeological Science 34, 301–333.
Holliday, V.T., Lawrence-Zuniga, D., Buchli, V., 2010. Prologue to Uses of Chemical Residues to Make Statements About Human Activities. Journal of Archaeological Method and Theory 17, 175–182.
Hoorn, C., Wesselingh, F., Ter Steege, H., Bermudez, M., Mora, A., Sevink, J., Sanmartín, I., Sanchez-Meseguer, A., Anderson, C., Figueiredo, J., 2010. Amazonia through time: Andean uplift, climate change, landscape evolution, and biodiversity. Science 330, 927–931.
Huisman, D.J., Braadbaart, F., van Wijk, I.M., van Os, B.J.H., 2012. Ashes to ashes, charcoal to dust: micromorphological evidence for ash-induced disintegration of charcoal in Early Neolithic (LBK) soil features in Elsloo (The Netherlands). Journal of Archaeological Science 39, 994–1004.
Hurault, J., Grenand, F., Grenand, P., 1998. Indiens de Guyane. Wayana et Wayampi de la forêt., Autrement. ed. IRD éditions, Paris.
Ibraimo, M., Schaefer, C., Ker, J., Lani, J., Rolim-Neto, F., Albuquerque, M., Miranda, V., 2004. Gênese e micromorfologia de solos sob vegetação xeromórfica (caatinga) na Região dos Lagos (RJ). Revista Brasileira de Ciência do Solo 28, 695–712.
Iriarte, J., 2007. New perspectives on plant domestication and the development of agriculture in the New World. Rethinking agriculture: archaeological and ethnoarchaeological perspectives 167–188.
Iriarte, J., Glaser, B., Watling, J., Wainwright, A., Birk, J., Renard, D., Rostain, S., McKey, D., 2010. Agricultural landscapes of coastal Amazonia: Phytolith and carbon isotope analysis of raised fields from French Guiana savannah. Journal of Archaeological Science 37, 2984–2994.
Irion, G., Kalliola, R., 2010. Long- term landscape development processes in Amazonia. Amazonia: Landscape and Species Evolution: A look into the past 185–197.
Jean-Marcel, H., 1972. Français et Indiens en Guyane, 1604-1972., 10/18. UGE.
Jérémie, S., Dambrine, E., 2012. Impact des occupations amérindiennes anciennes sur les propriétés des sols et la diversité des forêts de la frange côtière guyanaise. (Projet Couac No. Rapport intermédiaire n°2). INRAP / INRA, Cayenne (Guyane française).
Jobbágy, E., Jackson, R., 2001. The distribution of soil nutrients with depth: global patterns and the imprint of plants. Biogeochemistry 53, 51–77.
Johnson, D., Curtis, P., 2001. Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis. Forest Ecology and Management 140, 227–238.
Jordanova, N., Petrovsky, E., Kovacheva, M., Jordanova, D., 2001. Factors Determining Magnetic Enhancement of Burnt Clay from Archaeological Sites. Journal of Archaeological Science 28,1137-1148.
Jounneau, J.M., Pujos, M., 1988. Suspended matter and bottom deposits in the Maroni estuarine system (French Guiana). Netherlands Journal of Sea Research 99–108.
Kämpf, N., Kern, D., 2005. O solo como registro da occupaçao humana pré-historica na Amazonia., in: Tropicos Em Ciência Do Solo. Viçosa-MG, pp. 277–320.
Kern, D., 1996. Geoquimica e pedogeoquimica de sitios arqueologicos com terra preta na floresta nacional de Caxuiana (Portel-Pa). (Doctorat). Federal do Para, Belém, Brésil.
Kern, D., Costa, J., da Silveira, M., de Oliveira, E., Frazão, F., Berredo, J., da Costa, M., Kämpf, N., 2015. Pedo-Geochemical Signatures of Archeological Sites in the

Tapirapé-Aquiri National Forest in Marabá, Amazonia, Brazil: GEOCHEMICAL SIGNATURES OF ARCHEOLOGICAL SITES IN AMAZONIA. Geoarchaeology 30, 430–451.
Kern, D., da Costa, M., Frazão, F.L., 2004. Evolution of the scientific knowledge regarding archaeological black earths of Amazonia., in: Glaser, B., Woods, W.I. (Eds.), Amazonian Dark Earths: Explorations in Space and Time. Berlin, Londres, pp. 19–28.
Kern, D., Kämpf, N., Woods, W., Denevan, W., da Costa, M., Frazão, F.L., 2009. Evolução do conhecimento em Terra Preta de índio., in: Teixeira, W., Kern, D., Madari, B., Lima, H., Woods, W. (Eds.), As Terras Pretas de índio da Amazônia : sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus, Brésil, pp. 162–171.
Ketterings, Q.M., Bigham, J.M., Laperche, V., 2000. Changes in Soil Mineralogy and Texture Caused by Slash-and-Burn Fires in Sumatra, Indonesia. Soil Science Society of America Journal 64, 1108.
Kim, J.-S., Sparovek, G., Longo, R., Melo, W.J.D., Crowley, D., 2007. Bacterial diversity of terra preta and pristine forest soil from the Western Amazon. Soil Biology and Biochemistry 39, 684 – 690.
Knicker, H., 2007. How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review. Biogeochemistry 85, 91–118.
Knudson, K.J., Frink, L., Hoffman, B.W., Price, T.D., 2004. Chemical characterization of Arctic soils: activity area analysis in contemporary Yup'ik fish camps using ICP-AES. Journal of Archaeological Science 31, 443–456.
Kooistra, M., Pulleman, M., 2010. Features related to faunal activity., in: Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths. Elsevier, pp. 395–410.
Kühn, P., Aguilar, J., Miedema, R., 2010. Textural pedofeatures and related horizons, in: Stoops, G. (Ed.), Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths. Elsevier, Amsterdam, pp. 217–250.
Larqué, P., 2002. Diffractométrie : Minéralogie de la fraction argileuse., in: Miskovsky, J.-C. (Ed.), Géologie de La Préhistoire : Méthodes, Techniques, Applications. Paris, pp. 601 – 613.
Lathrap, D., 1973. The antiquity and importance of long-distance trade relationship in the moist tropics of Precolombian South America. World Archaeology 5, 170–186.
Lathrap, D., 1970. The upper amazon. Thames and Hudson, Glyn Daniel, Londres.
Lavelle, P., 1978. Les Vers de Terre de la savane de Lamto (Côte d'Ivoire): peuplements, populations et fonctions dans l'écosystème. Publ. lab. Zool. ENS., 1–301.
Lavelle, P., Pashanasi, B., Charpentier, F., Gilot, C., Rossi, J.P., Derouard, L., Andre, J., Ponge, J., Bernier, N., 1998. Large-scale effects of earthworms on soil organic matter and nutrient dynamics., in: Earthworm Ecology. Edwards C.A., Boca Raton, FL, pp. 103–122.
Le Borgne, E., 1965. Les propriétés magnétiques du sol. Application à la prospection des sites archéologiques. Application a la prospection des sites archéologiques, Archaeo-Physika 15, 1–20.
Le Borgne, E., 1960. Influence du feu sur les propriétés magnétiques du sol et sur celles du schiste et du granite. Annales de Géophysique 159–196.
Le Borgne, E., 1955. Susceptibilité magnétique anormale du sol superficiel. Annales de Géophysique 399–419.
Lecoanet, H., Lévêque, F., Segura, S., 1999. Magnetic susceptibility in environmental applications: comparison of field probes. Physics of the Earth and Planetary Interiors 115, 191–204.
Ledru, M., 2001. Late Holocene rainforest disturbance in French Guiana. Review of Paleobotany and Palynology 161–176.
Ledru, M., Blanc, P., Charles-Dominique, P., Fournier, M., Martin, L., Riera, B., Tardy, C., 2000. Reconstitution de l'écosystème forestier guyanais au cours de l'Holocène supérieur: apport de la palynologie., in: Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux. Michel Servant et Simone Servant-Vildary, pp. 199–203.

Ledru, M., Cordeiro, R., Dominguez, J., Martin, L., Mourguiart, P., Sifeddine, A., Turcq, B., 2001. Late-Glacial Cooling in Amazonia Inferred from Pollen at Lagoa do Caçó, Northern Brazil. Quaternary Research 55, 47 – 56. doi:http://dx.doi.org/10.1006/qres.2000.2187

Ledru, M.P., Braga, P.I.S., Soubiès, F., Fournier, M., Martin, L., Suguio, K., Turcq, B., 1996. The last 50 000 years in the Neotropics (Southern Brazil) : evolution of vegetation and climate. Paleogeogr., Paleoclimatol., Paleoecol. 239–257.

Ledru, M.P., Rousseau, D.D., Cruz Jr., F.W., Riccomini, C., Karmann, I., Martin, L., 2005. Paleoclimate changes during the last 100,000 yr from a record in the Brazilian Atlantic rainforest region and interhemispheric comparison. Quaternary Research 64, 444–450.

Ledru, P., Lasserre, J., Manier, E., Mercier, D., 1991. Le Proterozoique inferieur nord guyanais; revision de la lithologie, tectonique transcurrente et dynamique des bassins sedimentaires. Bulletin de la Société Géologique de France 162, 627–636.

Lehmann, J., Kern, D., Glaser, B., Woods, W. (Eds.), 2003. Amazonian dark earths. Origins, properties and management., Kluwer Academic Publishers. ed. Dordrecht.

Lemoigne, N., 2010. Mémoire des hommes, mémoire des sols. Etude ethno-pédologique des usages paysans du Mont Cameroun (Géographie). Michel de Montaigne - Bordeaux III, Bordeaux.

Lenoble, A., Bordes, J., 2001. Une expérience de piétinement et de résidualisation par ruissellement. Préhistoire et approche expérimentale 295–311.

Léotard, G., Duputié, A., Kjellberg, F., Douzery, E., Debain, C., de Granville, J., McKey, D., 2009. Phylogeography and the origin of cassava: New insights from the northern rim of the Amazonian basin. Molecular Phylogenetics and Evolution 53, 329–334.

Leprun, J.-C., Misset, M., Viala, A.-L., Martret, H.L., Wegnez, F., Cheaib, N., Beaudou, A., Rouget, B.L., 2001. Cartographie agro-pédologique des sols guyanais à partir des documents existants et intégration dans un SIG. (Rapport général de fin de convention). IRD, US 018, EPAG, FEOGA, Guyane.

Lerch, T.Z., Nunan, N., Dignac, M.-F., Chenu, C., Mariotti, A., 2011. Variations in microbial isotopic fractionation during soil organic matter decomposition. Biogeochemistry 106, 5–21.

Leroi-Gourhan, A., 1964. Le geste et la parole, Albin Michel. ed.

Leyden, B.W., 1985. Late quaternary aridity and Holocen moisture fluctuations in Lake Valencia basin. Ecology 66, 1279–1295.

Lézy, E., 2004. La Guyane, un territoire de légende en marge de toutes les cartes. Cahiers de l'Amérique Latine Dossier "La Guyane, une île en Amazonie," 39–66.

Lima, H., Schaefer, C., Mello, J.W., Gilkes, R., Ker, J., 2002. Pedogenesis and pre-Colombian land use of "Terra Preta Anthrosols"("Indian black earth") of Western Amazonia. Geoderma 110, 1–17.

Lima, H.N., Schaefer, C.E.G.R., Kämpf, N., Costa, M.L., Souza, K.W. de, 2009. Caracteristicas quimicas e mineralogicas e a distribuçao de fontes de fosforo em Terra Pretas de Indio da Amazonia Ocidental., in: Teixeira, W., Kern, D., Madari, B., Lima, H., Woods, W. (Eds.), As Terras Pretas de índio da Amazônia : sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus, Brésil.

Lin, H., 2011. Three Principles of Soil Change and Pedogenesis in Time and Space. Soil Science Society of America Journal 75, 2049.

Lindbo, D., Stolt, M., Vepraskas, M., 2010. Redoximorphic features, in: Stoops, G. (Ed.), Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths. pp. 129–147.

Lointier, M., Prost, M., 1988. Coastal sedimentation and local river supply in French Guiana: comparisons with the Amazon., in: Abstracts of the Chapman Conference on the Amazon Dispersal System. Presented at the American Geophysic Union, Charleston, Wild Dunes, S.C.

Lombardo, U., 2014. Neotectonics, flooding patterns and landscape evolution in southern Amazonia. Earth Surf. Dynam. Discuss. Discussions, 635–679.

Lombardo, U., Canal-Beeby, E., Fehr, S., Veit, H., 2011. Raised fields in the Bolivian Amazonia: a prehistoric green revolution or a flood risk mitigation strategy? JAS 38, 502–512.
Lombardo, U., Canal-Beeby, E., Veit, H., 2011. Eco-archaeological regions in the Bolivian Amazon. Geographica Helvetica 66, 173–182.
López Varela, S., Dore, C., 2010. Social Spaces of Daily Life: A Reflexive Approach to the Analysis of Chemical Residues by Multivariate Spatial Analysis. Journal of Archaeological Method and Theory 17, 249–278.
Lozet, J., Mathieu, C., 1990. Dictionnaire de sciences du sol. Techniques et documentation., Lavoisier. ed. Paris.
Macphail, R., Courty, M.-A., 1985. Interpretation and significance of urban deposits, in: Edgren, T., Jungner, H. (Eds.), Presented at the Nordic Archaeometry 3 , Proceedings of the Third Nordic Conference on the Application of Scientific Methods in Archaeology (8-11 Octobre 1984), ISKOS 5, Helsinki, Finlande, pp. 71–83.
Macphail, R.I., 1994. The reworking of urban stratigraphy by human and natural processes, in: Hall, A., Kenward, H. (Eds.), The Archaeology of Town and Country: Economic Connection and Environemental Contrasts. Oxford, pp. 13–43.
Macphail, R.I., Courty, M.A., Gebhardt, A., 1990. Soil micromorphological evidence of early agriculture in north- west Europe. World Archaeology 22, 53–69.
Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S., Lehmann, J., 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. Plant and Soil 333, 117–128.
Mallol, C., Marlowe, F., Wood, B., Porter, C., 2007. Earth, wind, and fire: ethnoarchaeological signals of Hadza fires. Journal of Archaeological Science 34, 2035–2052.
Marcelino, V., Stoops, G., Schaefer, C.E.G.R., 2010. Oxic and Related Materials, in: Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths. Elsevier, pp. 305–327.
Marichal, R., Grimaldi, M., Mathieu, J., Brown, G., Desjardins, T., Junio, M. da S., Praxedes, C., Martins, M., Velasquez, E., Lavelle, P., 2012. Is invasion of deforested Amazonia by the earthworm Pontoscolex corethrurus driven by soil texture and chemical properties ? Pedobiologia 55, 233–240.
Marques, J., Siqueira, D.S., Camargo, L.A., Teixeira, D.D.B., Barrón, V., Torrent, J., 2014. Magnetic susceptibility and diffuse reflectance spectroscopy to characterize the spatial variability of soil properties in a Brazilian Haplustalf. Geoderma 219-220, 63–71. doi:10.1016/j.geoderma.2013.12.007
Martin, A., Mariotti, A., Balesdent, J., Lavelle, P., Vuattoux, R., 1990. Estimate of organic matter turnover rate in a savanna soil by 13C natural abundance measurements. Soil Biol. Biochem. 517–523.
Martin, L., Bertaux, J., Corrège, T., Ledru, M.P., Mourguiart, P., Sifeddine, A., Soubiès, F., Wirrmann, D., Suguio, K., Turcq, B., 1997. Astronomical forcing of contrasting rainfall changes in tropical South America between 12 400 and 8 800 cal. yr B.P. Quaternary Research 47, 117–122.
Masiello, C.A., 2004. New directions in black carbon organic geochemistry. Marine Chemistry 92, 201–213.
Maslin, M.A., Burns, S.J., 2000. Reconstruction of the Amazon Basin effective moisture availability over the past 14 000 years. Science 290, 2285–2287.
Mataix-Solera, J., Cerdà, A., Arcenegui, V., Jordán, A., Zavala, L.M., 2011. Fire effects on soil aggregation: A review. Earth-Science Reviews 109, 44–60.
Mathé, V., Lévêque, F., 2005. Trace magnetic minerals to detect redox boundaries and drainage effects in a marshland soil in western France. European journal of soil science 56, 737–751.
Mathieu, C., Pieltain, F., 2003. Analyses chimiques des sols : méthodes choisies., Lavoisier. ed. Paris.

Mazière, M., Mazière, G., 1997. La recherche archéologique en Guyane, in: L'Archéologie En Guyane. Châlons-en-Champagne, pp. 33–43.
McKey, D., Rostain, S., Iriarte, J., Glaser, B., Birk, J., Holst, I., Renard, D., 2010. Pre-Columbian Agricultural Landscapes, ecosystem engineers, and self-organized patchiness in Amazonia. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 107, 7823–7828.
McMichael, C.H., Palace, M.W., Bush, M.B., Braswell, B., Hagen, S., Neves, E.G., Silman, M.R., Tamanaha, E.K., Czarnecki, C., 2014. Predicting pre-Columbian anthropogenic soils in Amazonia. Proc. R. Soc. B 281.
Meggers, B., 2001. The Continuing Quest for El Dorado: Round Two. Latin American Antiquity 12, 304.
Meggers, B., 1996. Amazonian Rev PB. Smithsonian Inst Scholarly Press.
Meggers, B., 1994. Archaeological evidence for the impact of mega-nino events on amazonia during the past two millennia. Climatic Change 28, 321–338.
Meggers, B., 1973. Amazonia : Man and Culture in a counterfeit paradise., in: Goldschmidt, W. (Ed.), Worlds of Man, Studies in Cultural Ecology. Los Angeles.
Meggers, B., 1954. Environment limitations on the Development of Culture. American Anthropologist 56, 801-824.
Meggers, B., Evans, C., 1957. Archeological investigations at the mouth of the Amazon, Bureau of American Ethnology. Smithsonian Institution, Washington D. C.
Meggers, B.J., 1951. A precolumbian colonization of the Amazon. Archaeology 4, 110–114.
Mentzer, S., 2014. Microarchaeological Approaches to the Identification and Interpretation of Combustion Features in Prehistoric Archaeological Sites. Journal of Archaeological Method and Theory 21, 616–668.
Mestre, M., 2013. Saint-Georges de l'Oyapock : Pointe Blondin. (Bilan Scientifique Régional No. BSR 2011). Direction Régionale des Affaires Culturelles, Service Régional de l'Archéologie., Cayenne (Guyane française).
Mestre, M., 2012. Yaou, Guyane, Maripasoula. Rapport d'opération - diagnostic archéologique. INRAP, SRA, Guyane.
Mestre, M., 2010. Au temps des montagnes couronnées. Une saison en Guyane.
Mestre, M., 2004. Saint-Laurent du Maroni et Apatou. Liaison routière de Saint-Laurent du Maroni-Apatou (Guyane française). Rapport final de diagnostic archéologique. INRAP, SRA, Guyane.
Mestre, M., Delpech, S., 2008. Saint Laurent du Maroni, "Plateau des Mines" (Rapport final de fouille préventive). INRAP, Guyane.
Mestre, M., Hildebrand, M., 2011. Pointe Morne : la rencontre de deux mondes amérindiens, Un pont sur l'Oyapock. Guide de l'exposition. Cayenne : MEEDT/DRAC/DEAL. 10–13.
Mestre, M., Rostain, S., 2015. Villages précolombiens de plage., in: Rostain, S. (Ed.), Archéologie de l'Amazonie: Les Premiers Habitants de La Guyane Côtière, BAR International Series ; Paris Monographs in American Archaeology. Archaeopress, Oxford, pp. 75–89.
Middleton, W.D., 2004. Identifying Chemical Activity Residues on Prehistoric House Floors: A Methodology And Rationale For Multi-Elemental Characterization of a Mild Acid Extract of Anthropogenic Sediments. Archaeometry 46, 47–65.
Middleton, W.D., Barba, L., Pecci, A., Burton, J.H., Ortiz, A., Salvini, L., Suárez, R.R., 2010. The study of archaeological floors: methodological proposal for the analysis of anthropogenic residues by spot tests, ICP-OES, and GC-MS. Journal of Archaeological Method and Theory 17, 183–208.
Middleton, W.D., Price, D.T., 1996. Identification of Activity Areas by Multi-element Characterization of Sediments from Modern and Archaeological House Floors Using Inductively Coupled Plasma-atomic Emission Spectroscopy. Journal of Archaeological Science 23, 673–687.
Migeon, G., 2009. Eléments pour une esquisse de l'occupation amérindienne ancienne de la forêt guyanaise, in: Visigalli, E., Roosevelt, A. (Eds.), Amaz'Hommes. Cayenne

(Guyane française), pp. 109–129.
Milési, J., Lerouge, C., Delór, C., Ledru, P., Billa, M., Cocherie, A., Egal, E., Fouillac, A., Lahondère, D., Lasserre, J., Marot, A., Martel-Jantin, B., Rossi, P., Tegyey, M., Théveniaut, H., Thiéblemont, D., Vanderhaeghe, O., 2003. Gold deposits (gold-bearing tourmalinites, gold-bearing conglomerates, and mesothermal lodes), markers of the geological evolution of French Guiana: geology, metallogeny, and stable-isotope constraints. Géologie de la Francen. Géologie de la France, 2003no 257–290.
Moguedet, G., 1977. Etude sédimentologique du plateau continental de la Guyane française. Rev. Trav. Inst. Pêches marit. 41, 389–402.
Molino, J.-F., Sabatier, D., Prévost, M.-F., Frame, D., Gonzalez, S., Bilot-Guérin, V., 2009. Etablissement d'une liste des espèces d'arbres de la Guyane Française. (Rapport final). Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, IRD, UMR AMAP, Cayenne, Montpellier.
Montagne, D., 2006. Impact de la mise en culture et du drainage sur l'évolution récente des sols : cas des Luvisols Dégradés de l'Yonne (Thèse de doctorat - Science du sol). d'Orléans, Orléans.
Montagne, D., Cornu, S., Le Forestier, L., Hardy, M., Josière, O., Caner, L., Cousin, I., 2008. Impact of drainage on soil-forming mechanisms in a French Albeluvisol: Input of mineralogical data in mass-balance modelling. Geoderma 145, 426–438.
Morinaga, H., Inokuchi, H., Yamashita, H., Ono, A., Inada, T., 1999. Magnetic detection of heated soils at paleolithic sites in Japan. Geoarchaeology: An International Journal 14, 377–399.
Mullins, C., 1977. Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science–a review. Journal of soil science 28, 223–246.
Mullins, C., Tite, M., 1973. Magnetic viscosity, quadrature susceptibility, and frequency dependence of susceptibility in single- domain assemblies of magnetite and maghemite. Journal of Geophysical Research 78, 804–809.
Munsell Colors Company, 1964.
Naisse, C., 2014. Potentiel de séquestration de carbone des biochars et hydrochars, et impact après plusieurs siècles sur le fonctionnement du sol. Pierre et Marie Curie-Paris 6, Paris.
Neves, E., 2011. Archaeological Cultures and Past Identities in the Pre-colonial Central Amazon., in: Hornborg, A., D. Hill, J. (Eds.), Ethnicity in Ancient Amazonia. Reconstructing Past Identities from Archaeology, Linguistics, and Ethnohistory. pp. 31–56.
Neves, E., 2008. Ecology, ceramic chronology and distribution, long-term history, and political change in the Amazonian floodplain., in: Silverman, H., Isbell, W.H. (Eds.), Handbook of South American Archaeology. New York, pp. 359–379.
Neves, E., Petersen, J., Bartone, R., Augusto Da Silva, C., 2003. Historical and Socio-cultural Origins of Amazonian Dark Earth, in: Lehmann, J., Kern, D., Glaser, B., Woods, W.I. (Eds.), Amazonian Dark Earths: Origin Properties Management. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 29–50.
Neves, E., Petersen, J.B., 2006. The political economy of pre-Columbian Amerindians: landscape transformations in central Amazonia., in: Balée, W., Erickson, C.L. (Eds.), Time and Complexity in Historical Ecology : Studies in the Neotropical Lowlands. New York, pp. 279–309.
Neves, E., Petersen, J.B., Bartone, R., Heckenberger, M.J., 2004. The timing of terra preta formation in the central Amazon: archaeological data from three sites, in: Glaser, B., Woods, W.I. (Eds.), Amazonian Dark Earths: Explorations in Space and Time. Berlin, Londres, pp. 125–134.
Neves, E., Rostain, S., 2012. Diversité linguistique et agrobiologique dans le passé amazonien, in: Schlanger, N., Taylor, A. (Eds.), La préhistoire des autres. Perspectives archéologiques et anthropologiques. Paris, pp. 119–136.

Novak, J., Busscher, W., Laird, D., Ahmedna, M., Watts, D.W., Niandou, M., 2009. Impact of Biochar Amendment on Fertility of a Southeastern Coastal Plain Soil: Soil Science 174, 105–112.
Oliveira, P.E.D., Barreto, A., Suguio, K., 1999. Late Pleistocene/Holocene climatic and vegetational history of the Brazilian caatinga: the fossil dunes of the middle São Francisco River. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 152, 319 – 337.
Oliver, J., 2008. The archaeology of agriculture in ancient Amazonia, in: The Handbook of South American Archaeology. Springer, pp. 185–216.
Oonk, S., Slomp, C.P., Huisman, D.J., 2009. Geochemistry as an aid in archaeological prospection and site interpretation: current issues and research directions. Archaeol. Prospect. 16, 35–51. doi:10.1002/arp.344
Orru, J.-F., 2001. Typologie des exploitations aurifères de Guyane et spécificités du contexte socio-économique local, in: Carmouze, J.-P., Lucotte, M., Boudou, A. (Eds.), Le Mercure En Amazonie: Rôle de L'homme et de L'environnement, Risques Sanitaires, Expertise Collégiale. IRD éditions, Paris, pp. 425 – 446.
Osborne, P.L., 2012. Tropical ecosystems and ecological concepts. 2nd edition., Cambridge University Press. ed. Cambridge University Press, USA, New York.
Pagán-Jiménez, J., 2012. Early use of maize and other food crops among Early Ceramic and later Neoindian traditions in northeastern Amazonia revealed by ancient starch grains from ceramic and lithic artefacts of the Chemin Saint-Louis archaeological site, French Guiana. Archaeology and Anthropology 17, 78–107.
Pagán-Jiménez, J., Guachamín-Tello, A., Romero-Bastidas, M., Constantine-Castro, A., 2015. Late ninth millennium BP use of Zea mays L. at Cubilán area, highland Ecuador, revealed by ancient starches. Quaternary International 30, 1–19.
Paget, D., 1999. Etude de la diversité spatiale des écosystèmes forestiers guyanais. Réflexion méthodologique et application. ENGREF.
Palvadeau, E., 1999. Géodynamique quaternaire de la Guyane française. BRGM, Orléans.
Pavia, F., 1995. L'Amazone., Time-Life Books B. V. ed, Les Grands Fleuves du Monde. Paris.
Pearsall, D., 1992. Prehistoric subsistence and agricultural evolution in the Jama River Valley, Manabi Province, Ecuador. Journal of the Steward Anthropological Society 20, 181–207.
Pessenda, L.C.R., Aravena, R., Melfi, A.J., Telles, E.C.C., Boulet, R., VALENCIA, E., TOMAZELLO, M., 1996. The use of carbon isotopes (13C, 14C) in soil to evaluate vegetation changes during the Holocene in central Brazil. RADIOCARBON 38, 191–201.
Philippeau, A., 1986. Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales ?, Lavoisier. ed.
Pierce, C., Adams, K., Stewart, J., 1998. Determining the Fuel Constituents of Ancient Hearth Ash Via ICP-AES Analysis. Journal of Archaeological Science 25, 493–503.
Piperno, D., 2012. New Archaeobotanical Information on Early Cultivation and Plant Domestication Involving Microplant (Phytolith and Starch Grain) Remains, in: Gepts, P., Famula, T.R., Bettinger, R., Brush, S., Damania, A., McGuire, P., Qualset, C. (Eds.), Biodiversity in Agriculture. Domestication, Evolution, and Sustainability. Cambridge Univ Press, pp. 136–159.
Piperno, D., 2011. The Origins of Plant Cultivation and Domestication in the New World Tropics: Patterns, Process, and New Developments. Current Anthropology 52, S453–S470.
Piperno, D., 2006. Phytoliths: a comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists. Rowman Altamira.
Piperno, D., 1991. The status of phytolith analysis in the American tropics. J World Prehist 5, 155–191.
Piperno, D., Andres, T., Stothert, K., 2000. Phytoliths in Cucurbita and other Neotropical

Cucurbitaceae and their Occurrence in Early Archaeological Sites from the Lowland American Tropics. Journal of Archaeological Science 27, 193–208.
Piperno, D., McMichael, C., Bush, M., 2015. Amazonia and the Anthropocene: What was the spatial extent and intensity of human landscape modification in the Amazon Basin at the end of prehistory? The Holocene 25, 1588–1597.
Piperno, D., Pearsall, D., 1998. The silica bodies of tropical American grasses: morphology, taxonomy, and implications for grass systematics and fossil phytolith identification. Smithsonian institution press Washington, DC.
Pomel, S., 2008. La mémoire des sols, Collection "Scieteren." Presses universitaires de Bordeaux.
Pomerol, C., Lagabrielle, Y., Renard, M., Guillot, S., 2011. Eléments de géologie., 14ème ed. Dunod.
Ponge, J., Topoliantz, S., 2006. Ingestion of charcoal by the Amazonian earthworm Pontoscolex corethrurus: A potential for tropical soil fertility. Soil Biology and Biochemistry 38.
Poupet, P., 2009. La pédologie, in: La Géologie, Les Sciences de La Terre. pp. 127–179.
Price, T., Burton, J., 2011. An Introduction to Archaeological Chemistry. Springer New York, New York, NY.
Prost, M., 1989. Coastal dynamics and chenier sands in french guiana. Marine Geology 90, 259–267.
Prost, M., Charron, C., Caillé, O., 2001. Le système de dispersion amazonien., in: Barret, J. (Ed.), Atlas Illustré de La Guyane. Guyane française, pp. 58–59.
Prost, M., Lointier, M., 1987. Sedimentology and stratigraphy of the Holocene formations of the French Guiana coastal plain. Assoc. Bras. Estud. Quat. Publ. 2, 55–83.
Pyne, S., 1998. Forged in fire: history, land, and anthropogenic fire. Advances in historical ecology 62–103.
Quénard, L., Samouëlian, A., Laroche, B., Cornu, S., 2011. Lessivage as a major process of soil formation: A revisitation of existing data. Geoderma 167-168, 135–147.
Ranzani, G., Kinjo, T., Freire, O., 1962. Ocorrências de "plaggen epipedon" no Brasil. Bol. Te. Cient. Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiroz, 1–11.
Reichlen, H., Reichlen, P., 1946. Contribution à l'archéologie de la Guyane française. Journal de la société des américanistes 35, 2–27.
Renard, D., 2010. Histoire et écologie des complexes de champs surélevés dans les savanes côtières de Guyane française. Montpellier II.
Renard, D., Birk, J., Glaser, B., Iriarte, J., Grisard, G., Karl, J., McKey, D., 2012. Origin of mound-field landscapes: a multi-proxy approach combining contemporary vegetation, carbon stable isotopes and phytoliths. Plant Soil 351, 337–353.
Renard, D., Iriarte, J., Birk, J.J., Rostain, S., Glaser, B., McKey, D., 2012. Ecological engineers ahead of their time: The functioning of pre-Columbian raised-field agriculture and its potential contributions to sustainability today. Ecological Engineering 45, 30 – 44.
Richter, D. deB., 2007. Humanity's transformation of earth's soil : pedology's new frontier. Soil Science 172, 957–967.
Roche, M.A., 1982. Comportements hydrologiques com- parés et érosion de l'écosystème forestier amazonien à ECEREX, en Guyane. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol. XIX, 81–114.
Rombke, J., Schmidt, P., Hofer, H., 2009. The earthworm fauna of regenerating forests and anthropogenic habitats in the coastal region of Parana. Pesq. agropec. bras. 44, 1040–1049.
Römbke, J., Verhaagh, M., 1992. About earthworm communities in a rain forest and an adjacent pasture in Peru. Amazoniana. Kiel 12, 29–49.
Roosevelt, A., 2001. Old Amazonian Collecting-Hunting, in: Peregrine, P., Ember, M. (Eds.), Encyclopedia of Prehistory. Springer US, pp. 289–292.
Roosevelt, A., 1980. Parmana, Prehistoric maize and manioc subsistence along the Amazon and Orinoco. Academic Press, New York.

Roosevelt, A., Housley, R., Silveira, M. da, Maranca, S., R. Johnson, 1991. Eight millenium pottery from a prehistoric shell midden in the Brazilian Amazon. Science 254, 1621–1624.
Roosevelt, A.C., 1999. Archaeology of South American hunters and gatherers., in: The Cambridge Encyclopedia of Hunters and Gatherers. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 86–91.
Rostain, S., 2015a. L'archéologie des champs surélevés., in: Archéologie de l'Amazonie: Les Premiers Habitants de La Guyane Côtière, BAR International Series ; Paris Monographs in American Archaeology. Archaeopress, Oxford, pp. 101–125.
Rostain, S. (Ed.), 2015b. Archéologie de l'Amazonie: les premiers habitants de la Guyane côtière, BAR international series ; Paris monographs in American archaeology. Archaeopress, Oxford.
Rostain, S., 2012. Islands in the rainforest: Landscape management in pre-Columbian Amazonia, New Frontiers in Historical Ecology. Left Coast Press, Walnut Creek.
Rostain, S., 2011. Los edificadores de la Selva : obras precolombinas en la Amazonia. 21.
Rostain, S., 2011. Amazonie : une archéologie en attente de décolonisation. Les nouvelles de l'archéologie 41–45.
Rostain, S., 2010a. Pre-Columbian Earthworks in Coastal Amazonia. Diversity 2, 331–352.
Rostain, S., 2010b. De Cayenne aux Andes. Archéologies en Amazonie, Habilitation à Diriger des Recherches. (HDR). Université Paris I Panthéon-Sorbonne, Paris.
Rostain, S., 2008. Le littoral des Guyanes, héritage de l'agriculture Précolombienne. Etudes rurales, Editions de l'E.H.E.S.S. 1, 9–38.
Rostain, S., 2007. Histoire de la recherche archéologique dans les Guyanes côtières. Les nouvelles de l'archéologie 36–56.
Rostain, S., 2004. La néolithisation de l'Amazonie., in: Aux Marges Des Grands Foyers Du Néolithique. Périphéries Débitrices Ou Créatrices? Paris, pp. 205–218.
Rostain, S., 2003. Un habitat précolombien sur monticule artificiel., in: Froment, A., Guffroy, J. (Eds.), Peuplements anciens et actuels des forêts tropicales: actes du séminaire-atelier, Orléans, 15 et 16 octobre 1998. IRD éd., Paris, pp. 295–307.
Rostain, S., 1994. L'occupation amérindienne ancienne du littoral de Guyane. Paris I : Panthéon-Sorbonne.
Rostain, S., 1991. Les champs surélevés amérindiens de la Guyane., La Nature et l'Homme. ORSTOM Cayenne, Paris.
Rostain, S., Versteeg, A., 2003. Recherche sur l'archéologie de la côte occidentale de Guyane. Journal de la société des américanistes 89, 161–175.
Rostain, S., Wack, Y., 1988. Céramique amérindienne de l'Approuague. Tentative de compréhension de la céramique archéologique du bas- sin de l'Approuague en Guyane française. (Manuscrit). Cayenne.
Ruivo, M., Arroyo-Kalin, M., Schaefer, C.E.R., Costi, H., Arcanjo, S.H. de S., Lima, H., Pulleman, M., Creutzberg, D., 2003. The Use of Micromorphology for the Study of the Formation and Properties of Amazonian Dark Earths, in: Lehmann, J., Kern, D., Glaser, B., Woods, W. (Eds.), Amazonian Dark Earths. Springer Netherlands, pp. 243–254.
Sabatier, D., 2005. Caractériser l'écosystème forestier guyanais pour mieux le gérer. Rapport final No. Convention ECOFOR n°2004.06. IRD, Guyane.
Sabatier, D., Grimaldi, M., Prévost, M.-F., Guillaume, J., Godron, M., Dosso, M., Curmi, P., 1997. The influence of soil cover organization on the floristic and structural heterogeneity of a guianan rain forest. Plant Ecology 131, 81–108.
Sabatier, D., Molino, J.F., 2012. Bota Couac. À quel point les occupations humaines anciennes ont-elles infuencé les communautés végétales : le cas des arbres.
Sabatier, D., Prévost, M.-F., 1990. Quelques données sur la composition floristique et la diversité des peuplements forestiers de Guyane française. Bois et Forêts des Tropiques spécial Guyane, 31–55.
Salgado-Labouriau, M.L., 1980. A pollen diagram of the Pleistocene-Holocene boundary of

Lake Valencia, Venezuela. Review of Palaeobotany and Palynology 30, 297–312.
Sarrailh, J., 1990. L'operation Ecerex. Etudes sur la mise en valeur de l'ecosysteme forestier guyanais apres deboisement. Le point sur les recherches en cours. Bois et Forets des Tropiques 79–97.
Sarrailh, J., 1984. Mise en valeur de l'écosystéme forestier guyanais. Opération ECEREX : résumé des premiers résultats. Bois et Forêts des Tropiques 13–32.
Sauzet, O., Cammas, C., Barbillon, P., Étienne, M., Montagne, D., 2016. Illuviation intensity and land use change: Quantification via micromorphological analysis. Geoderma 266, 46–57.
Schaan, D., 2010. Long-term human induced impacts on Marajo island landscapes, Amazon estuary. Diversity 2, 182–206.
Schaefer, C.E.G.R., Lima, H.N., Gilkes, R.J., Mello, J.W.V., 2004. Micromorphology and electron microprobe analysis of phosphorus and potassium forms of an Indian Black Earth (IBE) Anthrosol from Western Amazonia. Soil Res. 42, 401–409.
Schaetzl, R.J., Thompson, M.L., 2015. Soils - 2nde édition. Cambridge University Press, New York, USA.
Scheel-Ybert, R., Gouveia, S.E.M., Pessenda, L.C.R., Aravena, R., Coutinho, L.M., Boulet, R., 2003. Holocene paleoenvironmental evolution in the São Paulo State (Brazil), based on anthracology and soil δ13C analysis. The Holocene 13, 73–81.
Schmidt, M., 2010. Reconstructing tropical nature: Prehistoric and modern anthrosols (terra preta) in the Amazon rainforest, upper Xingu River, Brazil. de Floride.
Schmidt, M., Py-Daniel, A., Moraes, C., Valle, R.B.M., Caromano, C., Teixeira, W., Barbosa, C., Fonseca, J., Magalhaes, M., Santos, Ds., Rda SeS, Vera L. Guapindaia, Bruno Moraes, Helena P. Lima, Eduardo G. Neves, Michael J. Heckenberger, 2014. Dark earths and the human built landscape in Amazonia : a widespread pattern of anthrosol formation. Journal of Archaeological Science 42, 152–165.
Schmidt, M.J., Heckenberger, M.J., 2009. Amerindian Anthrosols: Amazonian Dark Earth Formation in the Upper Xingu, in: Woods, W., Teixeira, W., Lehmann, J., Steiner, C., WinklerPrins, A., Rebellato, L. (Eds.), Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's Vision. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 163–191.
Schmidt, M.W., Skjemstad, J.O., Czimczik, C., Glaser, B., Prentice, K., Gelinas, Y., Kuhlbusch, T.A., 2001. Comparative analysis of black carbon in soils. Global Biogeochemical Cycles 15, 163 – 167.
Schwartz, D., Mariotti, A., Lanfranchi, R., Guillet, B., 1986. 13C/12C ratios of soil organic matter as indicators of ecosystems changes in the Congo. Geoderma 97–103.
Scotti, I., 2012. Compte rendu du séminaire de clôture du projet Couac (rapport de séminaire). UMR Ecofog, Kourou, Guyane française.
Segalen, M., 2001. Ethnologie: Concepts et aires culturelles, Sociologie. Armand Colin.
Shanmughavel, P., Sha, L., Zheng, Z., Cao, M., 2001. Nutrient cycling in a tropical seasonal rain forest of Xishuangbanna, Southwest China. Part 1: tree species: nutrient distribution and uptake. Bioresource technology 80, 163–170.
Sifeddine, A., François, F., Fournier, M., Martin, L., Servant, M., Soubiès, F., Turcq, B., Suguio, K., Volkner-Ribeiro, C., 1994. La sédimentation lacustre indicateur de changements des paléoenvironnements au cours des 30 000 dernières années (Carajas, Amazonie, Brésil). Compte rendu de l'Académie des Sciences de Paris. No. t. 318, série II. Académie des Sciences de Paris, Paris.
Sifeddine, A., Martin, L., Turcq, B., Volkmer-Ribeiro, C., Soubiès, F., Cordeiro, R.C., Suguio, K., 2001. Variations of the Amazonian rainforest environment: a sedimentological record covering 30,000 years. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 168, 221 – 235.
Silva, A., Nogueira, D., Ikematsu, P., Silveira, F., Bomback, M., Alves, S., Paula, F., Camargo, P., 2009. Carbon stocks and isotopic composition of the organic matter in soils covered by native vegetation and pasture in Sorocaba, SP, Brazil. International Journal of Envrironmental Research 435–440.

Smith, N.J.H., 1980. Anthrosols and Human Carrying Capacity in Amazonia. Annals of the Association of American Geographers 70, 553–566.
Solomon, D., Lehmann, J., Thies, J., Schäfer, T., Liang, B., Kinyangi, J., Neves, E., Petersen, J., Luizão, F., Skjemstad, J., 2007. Molecular signature and sources of biochemical recalcitrance of organic C in Amazonian Dark Earths. Geochimica et Cosmochimica Acta 71, 2285–2298.
Sombroek, W., Kern, D., Rodrigues, T., Cravo, M.D.S., Jarbas, T.C., Woods, W., Glaser, B., 2002. Terra Preta and Terra Mulata : pre-columbian Amazon kitchen middens and agricultural fields, their sustainability and their replication., in: 17ème WCSS, n°1935. Presented at the 17ème WCSS.
Sombroek, W.G., 1966. Amazon Soils: A Reconnaissance of the Soils of the Brazilian Amazon Region., Centre for Agricultural Publications and Documentation, Wageningen. ed. Netherlands.
Sordoillet, D., 2009. Géoarchéologie de sites préhistoriques: Le Gardon (Ain), Montou (Pyrénées-Orientales) et Saint-Alban (Isère), Documents d'archéologie française. Editions de la Maison des sciences de l'homme.
Soubiès, F., 1980. Existence d'une phase sèche en Amazonie brésilienne, datée par la présence de charbons dans les sols (- 5 000 - 3 000 ans B. P.). (Cahiers de l'Orstom No. Série Géologie XI). ORSTOM.
Steiner, C., Glaser, B., Geraldes Teixeira, W., Lehmann, J., Blum, W., Zech, W., 2008. Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central Amazonian Ferralsol amended with compost and charcoal. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 171, 893–899.
Steiner, C., Teixeira, W., Lehmann, J., Nehls, T., de Macêdo, J., Blum, W., Zech, W., 2007. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. Plant and Soil 291, 275–290.
Steiner, C., Teixeira, W., Zech, W., 2004. Slash and char: An alternative to slash and burn practiced in the Amazon Basin, in: Amazonian Dark Earths: Explorations in Space and Time. Springer, pp. 183–193.
Steward, J. (Ed.), 1949. South American cultures : an interpretative summary, in: Handbook of South American Indians. The Comparative Ethnology of South American Indians. Smithsonian Institution, Washington D. C., pp. 669–782.
Steward, J. (Ed.), 1948. Cultures areas of the tropical forest, in: Handbook of South American Indians, The Tropical Forest Tribes. Smithsonian Institution, Washington D. C., pp. 883–889.
Steward, J. (Ed.), 1946. Introduction, in: Handbook of South American Indians, The Marginal Tribes. Smithsonian Institution, Washington D. C., pp. 1–9.
Stockmann, U., 2011. Managing the soil-plant system to mitigate atmospheric CO2. Discussion paper for the Soil Carbon Sequestration Summit, 31 January–2 February 2011. The United States Studies Centre at the University of Sydney.
Stoops, G., Marcelino, V., 2010. Lateritic and Bauxitic Materials, in: Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths. Elsevier, pp. 329–350.
Stoops, G., Marcelino, V., Mees, F. (Eds.), 2010. Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths. Elsevier, Amsterdam.
Streubel, J.D., Collins, H.P., Garcia-Perez, M., Tarara, J., Granatstein, D., Kruger, C.E., 2011. Influence of Contrasting Biochar Types on Five Soils at Increasing Rates of Application. Soil Science Society of America Journal 75, 1402.
Tardy, C., 1998. Paléoincendies naturels, feux anthropiques et environnements forestiers de Guyane française du Tardiglaciaire à l'Holocène récent. (thèse de Doctorat). Montpellier II, Montpellier, France.
Tardy, C., Jérémie, S., Vacher, S., 1996a. Identification de périodes de paléoincendies en Guyane française liés à des péjorations climatiques durant l'Holocène : 10000-8000 BP, 6000-4000 BP et 2000-1500 BP. Presented at the Dynamique à long terme des

écosystèmes forestiers intertropicaux., CNRS, ORSTOM, Bondy, France, pp. 269–270.
Tardy, C., Solari, M., Vernet, J., Wengler, L., Scheel, R., 1996b. Feux, sols et écosystèmes forestiers tropicaux. Presented at the Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux., CNRS, ORSTOM, Bondy, France, pp. 101–103.
Teixeira, W., Martins, G., Macedo, R., Junior, A., Moreira, A., Benites, V., Steiner, C., 2009. As propriedades fisicas e hidricas dos horizontes anthropicos das Terras Pretas de Indio na Amazonia Central., in: Teixeira, W.G., Kern, D., Madari, B., Lima, H., Woods, W. (Eds.), As Terras Pretas de índio da Amazônia : sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus, Brésil.
Terry, R.E., Fernández, F.G., Parnell, J., Inomata, T., 2004. The story in the floors: chemical signatures of ancient and modern Maya activities at Aguateca, Guatemala. Journal of Archaeological Science 31, 1237–1250.
Théveniaut, H., Delor, C., 2004. Histoire géologique de la Guyane. (No. RP-53342-FR). BRGM.
Thomas, R., 2011. Anatomie comparée des palmiers - Identification assistée par ordinateur, applications en paléobotanique et en archéobotanique. Thèse de Doctorat. MNHN, Paris.
Thoms, A., 2008. The fire stones carry: Ethnographic records and archaeological expectations for hot-rock cookery in western North America. Journal of Anthropological Archaeology 27, 443 – 460.
Topoliantz, S., Ponge, J., 2005. Charcoal consumption and casting activity by Pontoscolex corethrurus (Glossoscolecidae). Applied Soil Ecology 28, 217–224.
Topoliantz, S., Ponge, J., 2003. Burrowing activity of the geophagous earthworm Pontoscolex corethrurus (Oligochaeta: Glossoscolecidae) in the presence of charcoal. Applied Soil Ecology 23, 267–271.
Topoliantz, S., Ponge, J., Lavelle, P., 2006. Humus components and biogenic structures under tropical slash-and-burn agriculture. European Journal of Soil Science 57, 548–557.
Topoliantz, S., Ponge, J., Viaux, P., 2000. Earthworm and enchytraeid activity under different arable farming systems, as exemplified by biogenic structures. Plant and Soil 225, 39–51.
Turenne, J.F., 1978. Sédimentologie des plaines côtières., in: Atlas de La Guyane. CNRS, ORSTOM, Cayenne (Guyane française).
Turney, C.S.M., Wheeler, D., Chivas, A.R., 2006. Carbon isotope fractionation in wood during carbonization. Geochimica et Cosmochimica Acta 70, 960–964.
Un socle paysager primaire. 2007. in: Atlas Des Paysages de Guyane. Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, Guyane.
Vacher, S., Jérémie, S., Briand, J. (Eds.), 1998. Amérindiens du Sinnamary (Guyane). Archéologie en forêt équatoriale. Maison des Sciences de l'Homme. ed. Paris.
Van den Bel, M., 2015. Archaeological investigations between Cayenne Island and the Maroni river : a cultural sequence of western coastal French Guiana from 5000 BP to present. Université de Leiden.
Van den Bel, M., 2012. Chemin-Saint-Louis (Guyane, Saint-Laurent-du-Maroni). Rapport final de fouille préventive. INRAP, Guyane.
Van den Bel, M., 2010. A description of late archaic rock-filled pits in French Guiana. Revista de Arqueologia 23, 60–71.
Van den Bel, M., 2009. Les dépôts funéraires d'Iracoubo: Les résultats d'une fouille préventive d'une nécropole précolombienne en Guyane Française. Amazônica - Revista de Anthropologia 1.
Van den Bel, M., 2008. Balaté, commune de Saint-Laurent du Maroni (Guyane française). Rapport de diagnostic archéologique). INRAP, Cayenne (Guyane française).
Van den Bel, M., 2007. Crique Sparouine: un site amérindien de hauteur dans l'arrière pays du Bas Maroni, Saint Laurent du Maroni (Guyane Française). Rapport final de fouille préventive. INRAP, Cayenne (Guyane française).

Van den Bel, M., 2006. Les occupations amérindiennes du site Eva 2. Chantier Soyouz du CSG, Malmanoury. Commune de Sinnamary, Guyane française. Rapport final de fouille préventive. INRAP, Cayenne (Guyane française).
Van den Bel, M., 2004. Carrière de Soyouz, Natacha, Olga, Tania et Irina à Sinnamary, Guyane française. Rapport de diagnostic archéologique. INRAP, Cayenne (Guyane française).
Van den Bel, M., Jimenez, J., Fronteau, G., 2011. Le Rorota revisité : Résultats des fouilles préventives au PK 11, Route des Plages, Île de Cayenne (Guyane française)., in: Actes Du 24ème Congrès de l'AIAC, 50 Ans d'Archéologie Caribéenne. Presented at the 24ème congrès de l'AIAC, Martinique, pp. 189–209.
Van Vliet-Lanoë, B., 1990. The genesis and age of the argillic horizon in Weichselian loess of northwestern Europe. Quaternary International 5, 49–56.
Veillon, L., 1990. Sols ferralitiques et Podzols en Guyane septentrionale. Relations entre systèmes de transformations pédologiques et évolution historique d'un milieu tropical humide et forestier. Université Paris 6., Paris.
Versteeg, A.H., 1998. The History of Archaeological Research in Suriname., in: Wong, T.E., Vletter, D.R. de, Krook, L., Zonneveld, J. (Eds.), The History of Earth Sciences in Suriname. Amsterdam, Kon. Ned., pp. 203–234.
Vilhena Vialou, A., Vialou, D., 2005. Pré-historia do Mato Grosso. Vol. 1 : Santa Elina., Universidade de Sao Paulo. ed. Sao Paulo, Brésil.
Vitorello, V., Cerri, C.., Andreux, F., Feller, C., Victoria, R., 1989. Organic matter and natural carbon-13 distribution in forested and cultivate oxisols. Soil Sci. Soc. Am. J. 773–778.
Volkoff, B., Cerri, C., 1988. L'humus des sols du Brésil. Nature et relations avec l'environnement. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. XXIV, 83–95.
Volkoff, B., Matsui, E., Cerri, C., 1982. Discriminação isotopica do carbono noshumus de latossolos e podzois na região amazonica do Brasil., in: Proceedings of the Regional Colloquium on Soil Organic Matter. Presented at the Regional colloquium on soil organic matter, CENA-Promocet, Piracicaba, Brésil, pp. 147–153.
Walker, J., 2008a. The Llanos de Mojos, in: Silverman, H., Isbell, W. (Eds.), The Handbook of South American Archaeology. Springer New York, New York, NY, pp. 927–939.
Walker, J., 2008b. Pre-Columbian Ring Ditches along the Yacuma and Rapulo Rivers, Beni, Bolivia: A Preliminary Review. Journal of Field Archaeology 33, 413–427.
Waters, M., Stafford, T., 2013. The first Americans: A review of the evidence for the late-Pleistocene peopling of the Americas, in: Graf, K., Ketron, C., Waters, M. (Eds.), Paleoamerican Odyssey. Texas A & M University, pp. 543–562.
Watling, J., Iriarte, J., 2012. Phytoliths from the coastal savannas of French Guiana. Quaternary Research xxx, 1–20.
Wattez, J., 2000. Enregistrement sédimentaire des structures de combustion et fonctionnement de l'espace dans les campements de la fin du Paléolithique., in: Approches Fonctionnelles En Préhistoire. Presented at the XXVe Congrès Préhistorique de France, Nanterre, pp. 233–237.
Wattez, J., 1992. Dynamique de formation des structures de combustion de la fin du Paléolithique au Néolithique Moyen: approche méthodologique et implications culturelles. Paris I : Panthéon-Sorbonne.
Wells, E.C., 2006. Cultural soilscapes. Geological Society, London, Special Publications 266, 125–132.
Whitehead, N., Heckenberger, M., Simon, G., 2010. Materializing the Past among the Lokono (Arawak) of the Berbice River, Guyana. Anthropologica LIV, 87–127.
Whitney, B.S., Dickau, R., Mayle, F.E., Walker, J.H., Soto, J.D., Iriarte, J., 2014. Pre-Columbian raised-field agriculture and land use in the Bolivian Amazon. The Holocene 24, 231–241.
Wiedner, K., Schneeweiß, J., Dippold, M., Glaser, B., 2015. Anthropogenic Dark Earth in Northern Germany — The Nordic Analogue to terra preta de Índio in Amazonia.

CATENA 132, 114–125.
Wilson, C., Cresser, M., Davidson, D., 2006. Sequential element extraction of soils from abandoned farms: an investigation of the partitioning of anthropogenic element inputs from historic land use. Journal of Environmental Monitoring 8, 439.
Wilson, C., Davidson, D., Cresser, M., 2008. Multi-element soil analysis: an assessment of its potential as an aid to archaeological interpretation. Journal of Archaeological Science 35, 412–424.
WinklerPrins, A.M.G.A., 2009. Sweep and char and the Creation of Amazonian Dark Earths., in: Woods, W., Teixeira, W., Lehmann, J., Steiner, C., WinklerPrins, A., Rebellato, L. (Eds.), Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's Vision. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 205–211.
Woods, W., 2009. Os solos e as ciências humanas : interpretaçao do passado., in: Teixeira, W.G., Kern, D., Madari, B., Lima, H., Woods, W. (Eds.), As Terras Pretas de índio da Amazônia : sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus, Brésil, pp. 62–71.
Woods, W., McCann, J., 1999. The anthropogenic origin and persistence of Amazonian dark earths, in: Yearbook. Conference of Latin Americanist Geographers. JSTOR, pp. 7–14.
Woolfe, J., 1992. Sweet potato: an untapped food resource. Cambridge University Press, Cambridge [England] ; New York.
Zech, M., Zech, R., Glaser, B., 2007. A 240,000-year stable carbon and nitrogen isotope record from a loess-like palaeosol sequence in the Tumara Valley, Northeast Siberia. Chemical Geology 242, 307–318.
Zhang, A., Bian, R., Pan, G., Cui, L., Hussain, Q., Li, L., Zheng, J., Zheng, J., Zhang, X., Han, X., Yu, X., 2012. Effects of biochar amendment on soil quality, crop yield and greenhouse gas emission in a Chinese rice paddy: A field study of 2 consecutive rice growing cycles. Field Crops Research 127, 153 – 160.