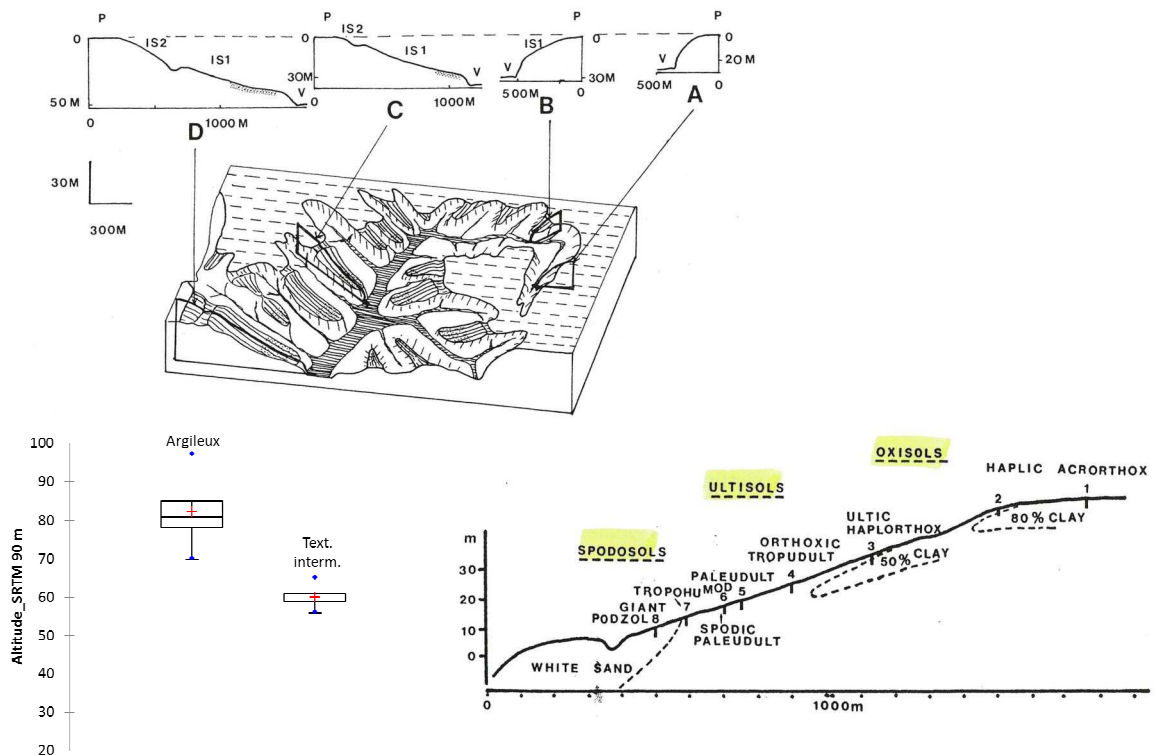


Caractérisation des sols de DAS et de MIL Madeira (Brésil, Amazonas)

Rapport de mission Guiamafior, 18 au 30 octobre 2014



Vincent Freycon

En partenariat avec Mabiane França, Elias Lourenço Vasconcelos Neto, Katia Emidio da Silva, Cintia Rodrigues de Souza (Embrapa Manaus), Nicolas Fauvet, Plinio Sist, Lilian Blanc (Cirad)

28 février 2015

RESUME

L'objectif de cette étude était de caractériser les sols des dispositifs de DAS (Embrapa Manaus) et de MIL Madeireira, en Amazonie (Amazonas, Brésil), dans le cadre des projets Guamaflor et Tropical managed Forest Observatory (TmFO) (Fig. 1). Ces deux sites, distants de 150 kms, se trouvent sur un même plateau sédimentaire du tertiaire (Fig. 2) à des altitudes légèrement différentes 90 à 150 m (DAS) vs 50 à 110 m (MIL) (Fig. 3). Nous avons effectué 23 sondages tarière et avons décrit 1 profil de sol représentatif de MIL Madeireira. Nous avons retrouvé des types de sols et un modèle d'organisation des sols qui ont déjà été décrits par Chauvel *et al.* (1987) et Bravard & Righi (1989), à proximité du dispositif DAS : (i) Ferralsols, argileux, sur les plateaux aux altitudes les plus élevées ; (ii) Acrisols, de texture intermédiaire qui devient de plus en plus sableuse de l'amont vers l'aval, sur les surfaces intermédiaires; (iii) sols sableux, correspondant à des Podzols, Arénosols et/ou Gleysols, dans les vallées (Fig. 14). Ce modèle d'organisation des sols dépend des formes du modelé et à sa position par rapport aux têtes de vallée et aux cours d'eau d'ordre 1, 2 ou 3 (Fig. 15). Nous avons trouvé localement une bonne relation entre l'altitude et la texture des sols (Fig. 9, Fig. 22). Par exemple, au-dessus d'une altitude de 130 m à DAS et de 70 m à MIL Madeireira, on trouvera seulement des Ferralsols argileux. A DAS, cette relation a été confirmée par les analyses granulométriques de 42 échantillons de sols de surface qui avaient été prélevés dans 12 parcelles. Cette relation nous a permis, d'une part à DAS, de proposer une première cartographie des sols (Fig. 16) et, d'autre part à MIL Madeireira, d'affecter un type de sol pour chaque parcelle permanente (Tab. 8). Finalement, les sols majoritaires à DAS et à MIL sont respectivement des Acrisols et des Ferralsols.

Enfin, la présence fréquente de charbons de bois, la proximité de terra preta ou de sites archéologiques, suggèrent que ces deux sites ont pu être occupés dans le passé par des amérindiens. Ces anciennes occupations peuvent avoir encore aujourd'hui une influence sur les caractéristiques des sols, la composition floristique de la forêt et/ou sa dynamique.

A la suite de cette étude, les perspectives de travail sont les suivantes : (i) Affiner la cartographie des sols de DAS par du terrain complémentaire, notamment pour préciser la nature des sols sableux ; (ii) Rechercher l'éventuelle présence d'une ancienne occupation humaine à DAS et MIL ; (iii) Etudier sur d'autres sites la pertinence de l'altitude et du critère HAND (Height Above Nearest Drainage) pour prédire l'organisation des sols, respectivement à une échelle locale et régionale.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo caracterizar os solos da área da Estação experimental do Distrito Agropecuário da Suframa - DAS (Manaus/AM) e parte da área da empresa Mil Madeiras Preciosas LTDA (Itacoatiara/AM). O estudo está inserido no âmbito dos Projetos Avaliação do estoque de carbono e da biodiversidade de floresta manejada comercialmente no Amazonas - GUIAMAFLOR e Observatório de Florestas Tropicais Manajadas - TmFO (Fig. 1). As duas áreas estão localizadas a uma distância de 150 quilômetros, situadas em planaltos formados por sedimentos do período terciário (Fig. 2) com altitudes que variam de 90 a 150 m (DAS) e de 50 a 110 m (MIL) (Fig. 3).

Na área da empresa Mil Madeiras foram feitas 23 coletas de solo com trato e descrito um perfil do solo representativo da área. Os tipos de solos e o modelo de organização encontrados neste estudo corroboram com os resultados observados por Chauvel *et al.* (1987) e Bravard & Righi (1989), os quais estudaram solos próximos da área do DAS : (i) Latossolo amarelo (Ferralsol) argilosos dos planaltos com altitudes maiores ; (ii) podzólico vermelho-amarelo

(Acrisol) com textura intermediária, tornando-se cada vez mais arenosos em relação a variação do relevo, ou seja, das partes mais altas em direção às partes mais baixas, em superfícies intermediárias; (iii) solos arenosos (ou Podzois, Arenosois e/ou Gleysolos) nos vales (Fig. 14). Esse modelo de organização está relacionado às formas do relevo, da localização do solo em relação a parte mais alta do platô e aos cursos de água na ordem de 1, 2 ou 3 (Fig. 15). Verificamos uma boa relação entre a altitude e a textura dos solos (Fig. 9, Fig. 22). Por exemplo, acima de uma altitude de 130 metros no DAS e acima de 70 metros na Mil Madeiras, foram encontrados somente latossolo amarelo argilosos (Ferrasol). No DAS, esta relação foi confirmada pelas análises granulométrica de 42 amostras de solo, coletadas em 12 parcelas. Essa relação contribuiu para elaborar um mapa de solos para o DAS (Fig. 16), assim como, caracterizar o tipo de solo para cada parcela permanente (Tab. 8). Os solos mais comuns no DAS e na MIL são podzólico vermelho amarelo e latossolo amarelo, respectivamente.

A presença frequente de carvão, terra preta e de sítios arqueológicos, indicam que estas áreas foram ocupadas pelos índios no passado. As antigas ocupações humanas podem ter influenciado nas características dos solos, na composição florística e na dinâmica da floresta. Após esse trabalho, as perspectivas são : (i) detalhar o mapa de solos do DAS com trabalhos de campo complementares para identificar a origem dos solos arenosos ; (ii) procurar áreas de ocupação humana no DAS e na Mil; (iii) Estudar outras áreas onde a altitude e o critério HAND (HeightAboveNearest Drainage) sejam bons indicadores na organização dos solos, numa escala local e regional.

CONTEXTE, OBJECTIF

Le projet Tropical managed Forest Observatory (TmFO, <http://www.tmfo.org/>) est un observatoire des forêts exploitées dont les principales questions de recherche en écologie sont les suivantes (i) les forêts tropicales sont-elles résilientes aux perturbations dues à l'exploitation forestière (ii) Les réponses des forêts varient-elles en fonction des régions et des continents ? (Sist *et al.* 2014).

Pour répondre à ces questions un observatoire de forêts exploitées a été mis en place dans différentes régions tropicales. En Amazonie, 11 sites ont été retenus (Fig. 1).

Parmi ces 11 sites, 4 sites sont particulièrement étudiés au sein du projet Guiamafloir « Réponses des forêts tropicales humides à l'exploitation forestière : vers de nouvelles perspectives pour l'aménagement forestier en Amazonie » : MIL Madeireira (Brésil, Amazonas), Jari (Brésil, Macapa), Paracou et Montagne Tortue (Guyane française). Une des hypothèses de ce projet est que les réponses des forêts à l'exploitation varient en fonction des facteurs environnementaux, tels le sol et la pluviométrie.

Les sols de MIL Madeireira n'étant pas renseignés, nous avons apporté un appui en pédologie au projet Guiamafloir pour caractériser les sols de MIL Madeireira. Nous en avons profité pour caractériser aussi les sols du dispositif forestier DAS, géré par l'Embrapa Manaus, un des partenaires des projets TmFO et Guiamafloir. Cet appui a été réalisé lors d'une mission au Brésil effectuée du 18 au 30 octobre 2014, avec Lilian Blanc (Cirad). L'objectif de cette note est de restituer une synthèse de cet appui. Cette note a été structurée en trois chapitres. Dans les **chapitres 1 et 2**, nous avons caractérisé respectivement les sols de DAS et de MIL Madeireira ; dans le **chapitre 3**, nous avons brièvement comparé les sols de ces deux sites d'étude.

Nous remercions Mabiane Franças (Embrapa, Manaus) et Lilian Blanc (Cirad, Montpellier, UPR BSEF) pour l'organisation logistique qui a permis d'effectuer le terrain dans de très bonnes conditions. Nous remercions l'Embrapa Manaus et la compagnie MIL Madeireira pour nous avoir accueilli sur leurs sites et mis à disposition un logement. Merci aussi à Mabiane Franças, Elias Lourenço Vasconcelos Neto, Cintia Rodrigues de Souza, Claudemir (Embrapa, Manaus) et Lilian Blanc pour la richesse des discussions scientifiques qui ont eu lieu sur le terrain. Merci à Katia Emidio da Silva (Thèse, Embrapa Manaus) pour nous avoir transmis les cartes du dispositif de DAS et des analyses de sol de 12 parcelles. Merci à Maria do Rosario Lobato Rodrigues pour nous avoir fait visiter le laboratoire d'analyses de l'Embrapa Manaus. Merci à Nicolas Fauvet (Cirad Montpellier, Upr Bsef) pour son appui cartographique sous ArcGis. Merci enfin à Mabiane Franças et Lilian Blanc pour la traduction du résumé en portugais.



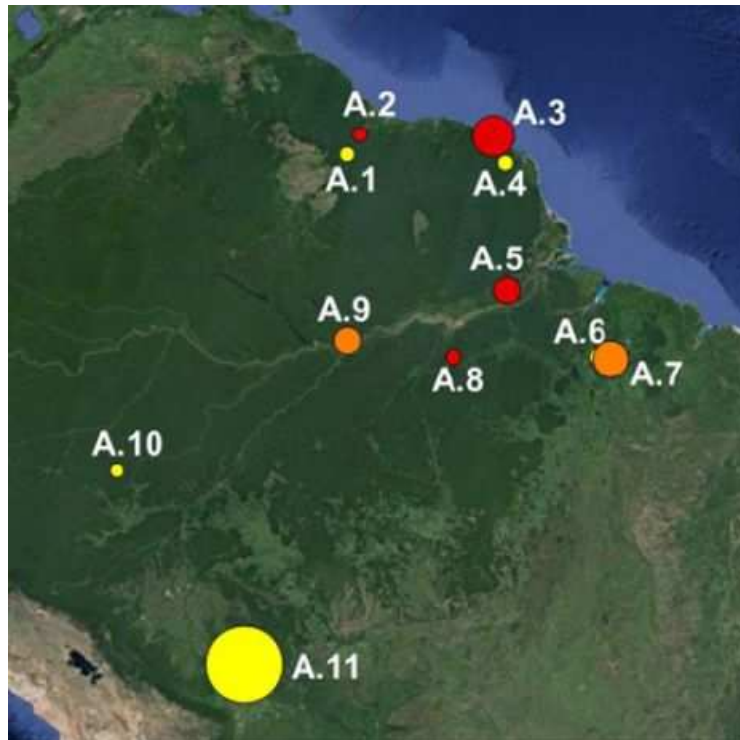


Figure 1 : Localisation des 11 sites du projet TmFO en Amazonie (tiré de Sist *et al.* 2014).

A.1: Iwokrama; A.2: Celos; A.3: Paracou; A.4: Tortue; A.5: Jari; A.6: CIKEL;
A.7: Paragominas; A.8: Tapajos; A.9: Itacoatiara (MIL); A.10: Tabocal; A.11: La: Chonta

Chapitre 1 : CARACTERISATION DES SOLS DE DAS

MATERIEL & METHODES

Sites d'étude

Le site de DAS se trouve à environ 60 km au nord de Manaus, dans l'état d'Amazonas, Brésil (2°32'S 60°W), à proximité de la BR174 qui relie Manaus à Boa Vista.

Ce site se trouve sur des sédiments « Barreiras » continentaux du tertiaire, aussi dénommés formation Alto do Chao. La topographie générale correspond à un plateau qui est entaillé par le réseau hydrographique. L'unité géomorphologique correspond à « Planalto rebaixado dos Rio Negro/Uatuma » (Fig. 2). L'altitude du dispositif se trouve entre 147 et 87 m (Fig. 3). Les précipitations annuelles moyennes sont comprises entre 1355 mm et 2840 mm. D'après la carte mondiale des sols (Verelst 2009), ce site est occupé par des Xanthic Ferralsols (60%) et par des Humic Ferralsols (40%). D'après la carte des sols du Brésil, le dispositif DAS se trouve sur des Latossolos amarelos (Fig. 4).

Le dispositif DAS est d'une superficie de 4 ha (= 2 km x 2 km). Ce dispositif comprend une forêt qui, a priori, n'a pas été exploitée. Au sein de ce dispositif, 35 parcelles permanentes de 1 ha (= 100 m x 100 m) ont été installées (Annexe 2).

Prospection tarière

Nous avons effectué 14 sondages tarière (s1 à s14), le plus souvent jusqu'à 120 cm de profondeur, pour avoir un aperçu de la variabilité verticale et de l'organisation spatiale des sols (Fig. 5). Ces 14 sondages tarière ont été choisis principalement pour couvrir la gamme des altitudes et des positions topographiques présentes au sein du dispositif. L'emplacement de 4 sondages (s5 à s8) a été choisi pour couvrir la variabilité des sols le long d'une 1^{ère} toposéquence, d'une longueur de 150 m et d'un dénivelé de 30 m, et se terminant, perpendiculairement à la tête de thalweg d'un cours d'eau d'ordre 1 (Fig. 5, Fig. 6a). Sur cette 1^{ère} toposéquence, nous avons relevé des valeurs de pente. A posteriori, nous avons reconstruit, en reliant certains sondages tarière, une 2^{ème} toposéquence, d'une longueur de 1600 m et d'un dénivelé de 40 m, parallèle à deux cours d'eau d'ordre 1 et se terminant à proximité d'un cours d'eau d'ordre 2 (Fig. 5, Fig. 6b).

Validation d'une organisation de sol déjà décrite

La phase de prospection tarière nous a permis de retrouver des types de sol et une organisation spatiale de sol déjà décrite dans la littérature et étudiée à proximité du dispositif DAS (Chauvel *et al.* 1987, Lucas *et al.* 1987, Bravard & Righi 1989). Cette organisation des sols était basée principalement sur la variation de la granulométrie à la fois verticalement et latéralement en fonction de l'altitude. La phase de prospection tarière nous a aussi permis de prédire un type de sol en fonction de la présence d'un mat racinaire et de la texture de l'horizon de surface 0-20 cm. Nous avons alors validé cette organisation de sol (i) d'une part, en effectuant 5 sondages tarière supplémentaires jusqu'à 20 cm de profondeur ; (ii) en prélevant des échantillons de sol à 6 profondeurs (0-10, 10-20, 40, 60, 80 et 100 cm) pour deux sondages, DAS1 (vers s3) et DAS2 (=s13), qui sont représentatifs de deux types de sols du dispositif. Des analyses granulométriques de ces 12 échantillons de sol seront réalisées par le laboratoire de l'Embrapa à Manaus (Annexe 10).

Protocole Guyafor

Nous avons prélevé à la tarière 2 échantillons de sol composites de surface 0-20 cm, DAS1 et DAS2, en suivant le protocole du réseau Guyafor (Annexe 10). Un échantillon composite est composé d'un mélange de 10 prélèvements élémentaires qui sont effectués sur un rectangle de 40 m x 10 m. Ces 2 échantillons seront analysés dans le laboratoire du Cirad (Montpellier) en

vue de comparer leur fertilité chimique par rapport aux sols d'autres sites forestiers du réseau TmFO.

Analyses de sols de surface

Dans le cadre de sa thèse, Katia Emidio da Silva (Embrapa Manaus) avait prélevé 42 échantillons de sol de surface (0 à 20 cm) dans 12 parcelles permanentes du dispositif DAS, les parcelles 9, 15, 24, 39, 76, 106, 107, 149, 150, 151, 272 et 273 (Annexe 2). Ces parcelles sont situées à différentes altitudes et positions topographiques (« Plato » = Plateau ou flat, « Encosta » = pente, « Baixo » = bas-fonds). Dans 11 des 12 parcelles, 3 échantillons de sols avaient été prélevés par parcelle. Dans la 12^{ème} parcelle – parcelle 24 - 9 échantillons de sols avaient été prélevés le long d'un gradient altitudinal et sur deux positions topographiques (Encosta, Baixo). Des analyses classiques (granulométrie, carbone, etc.) ont été effectuées sur ces 42 échantillons de sols. Nous avons utilisé les données de granulométrie pour confirmer nos observations de terrain et le modèle d'organisation des sols.

RESULTATS

Un interfluve découpé par des vallées

Le dispositif DAS est situé sur un plateau qui est découpé par des vallées (Fig. 3). Les altitudes maximales de ce plateau sont d'environ 147 m et se situent au nord-ouest et au sud-est du dispositif (Fig. 5). Ce plateau est entaillé par un réseau hydrographique qui correspond soit à des têtes de thalweg, soit à des vallées qui sont a priori inondées lors de la saison des pluies. Sur le plateau, les pentes sont quasi-nulles. Sur la 1^{ère} toposéquence qui suit un versant perpendiculaire à un cours d'eau d'ordre 1, nous avons observé des pentes convexes : faibles en haut de versant (2%), elles augmentent un peu à mi-versant (9%), pour atteindre parfois des valeurs élevées en bas de versant (46%). Ces pentes peuvent aussi être légèrement convexo-concaves, le point d'inflexion se trouvant en bas de versant. La transition entre le bas de versant et la vallée peut être brusque. Sur la 2^{ème} toposéquence qui suit un versant parallèle à deux cours d'eau d'ordre 1, les pentes sont faibles à moyennes et la transition entre bas de versant et la vallée progressive.

Trois groupes de sols distingués par leur texture

La description des 14 sondages tarière (Annexe 3, Fig. 7) nous a conduit à distinguer sur le dispositif DAS trois groupes de sols, en fonction principalement de leur texture moyenne : sols argileux (s3, s4), sols sableux (s8, s10) et sols à texture intermédiaire, argilo-sableux (s1, s2, s5, s6, s7, s9) à sablo-argileux (s11, s13, s14) (Annexe 4, Fig. 8, Tab. 1). Les sols argileux présentent cette texture quasiment dès la surface du sol. Ils sont brun très pale (10YR7/4) ou brun-jaune clair (10YR6/4) en surface, puis jaune (10YR7/6) à mi profondeur, et enfin jaune-rouge (7.5YR7/6) en profondeur. Ces sols sont très compacts. Les sols à texture intermédiaire présentent, au moins dans les 10 premiers cm une texture sableuse. Le maximum d'argile se trouve à mi profondeur et correspond suivant les sondages à une texture argilo-sableuse ou sablo-argileuse. En-dessous, la texture reste identique ou redevient davantage sableuse. Ils ont une teinte 10YR en surface puis 7.5YR en profondeur, sauf pour le sondage s14 qui a une teinte 2.5Y sur tout le profil. Ils sont plus bruns que les sols argileux. Les deux sols sableux (s8, s10) ont une texture homogène tout le long du profil et une teinte 10YR en surface puis 2.5Y en profondeur. Le sondage s10 est le seul sondage dont la couleur s'assombrit avec la profondeur (Value = 6 en surface → Value = 4 en profondeur), avec une couleur brune qui perdure jusqu'à 100 cm de profondeur. Globalement, sur l'ensemble des 14 sondages tarière, nous avons observé des taches brunes pour 7 sondages, des taches rouilles pour 1 sondage (s14) et des charbons de bois pour 8 sondages. Ces charbons de bois sont

présents préférentiellement dans les sols à texture intermédiaire (7 sondages sur 8) et abondants dans les bas de versants à pente faible, à proximité des cours d'eau. Nous n'avons jamais observé d'éléments grossiers.

Trois groupes de sol organisés suivant l'altitude et la forme du modelé

En général, les sols argileux occupent les sommets d'interfluves, les sols sableux les vallées, et les sols à texture intermédiaire les positions topographiques intermédiaires. Cela conduit à une assez bonne relation entre la texture des sols et l'altitude (Fig. 9). Cette relation nous permet de prédire qu'à une altitude ≥ 130 m, on trouve à DAS seulement des sols argileux. L'organisation des sols dépend aussi de la forme du modelé, dont 2 types ont pu être étudiées via les 2 toposéquences. Sur la 1^{ère} toposéquence, caractérisée par une pente convexe, les sols sont de texture homogène, argilo-sableuse, du haut de versant au bas de versant. Un sol sableux (s8) apparaît juste après la rupture de pente qui marque une transition nette entre le bas de versant et la vallée (Fig. 6a). Sur la 2^{ème} toposéquence, la texture est argileuse sur le plateau. Après une brève transition sablo-argileuse au niveau d'un « col », elle change progressivement de l'amont vers l'aval d'une surface intermédiaire de pente faible et régulière : la texture moyenne évolue d'argileuse à argilo-sableuse puis sablo-argileuse. L'horizon sableux de surface devient plus épais. A proximité d'un cours d'eau, la texture est sableuse (Fig. 6b).

Des analyses de sols de surface cohérentes avec l'organisation des sols

Les données granulométriques de sols de surface 0-20 cm, prélevés au sein de 12 parcelles, ont permis de distinguer 4 classes de texture : clay, sandy loam, loamy sand et sand (Fig. 10). A l'exception de deux parcelles (9 et 24), les parcelles ont une granulométrie assez homogène. L'altitude et la position topographique prédisent bien ces 4 classes de texture de l'horizon de surface : (i) la classe « clay » correspond uniquement aux parcelles du plateau dont l'altitude ≥ 130 m ; (ii) la classe « sandy loam » correspond principalement aux parcelles de versant dont l'altitude < 130 m ; (iii) les classes « loamy sand » et « sand » correspondent uniquement aux parcelles de bas-fonds ou de plateau (replat, ...) dont l'altitude < 130 m (Fig. 11). Au sein de la parcelle 24 qui possède à la fois un versant et un bas-fond, la teneur en argile de l'horizon de surface est aussi bien corrélée à l'altitude et à la position topographique (Fig. 12).

Le mat racinaire, révélateur d'un horizon de surface sableux.

Les sols argileux, qui ont cette texture dès la surface du sol, ne possèdent pas de mat racinaire. Au contraire, les deux autres groupes de sols, qui ont un horizon de surface 0-10 cm sableux, possèdent un mat racinaire dont l'épaisseur varie entre 1 et 6 cm (Tab. 1). Plus généralement, en observant la présence ou l'absence d'un mat racinaire et la texture des 20 premiers cm, nous avons pu rattacher chacun des 5 sondages tarière supplémentaires à un type de sol (Tab. 2)

DISCUSSION

Des sols déjà décrits dans la zone

A l'échelle du dispositif de DAS, nous avons trouvé trois types de sols qui se distinguent par leur texture moyenne et qui se répartissent en fonction de la topographie : des sols argileux sur les plateaux, des sols argilo-sableux et/ou sablo-argileux sur les versants, des sols sableux dans les vallées. Ces sols sont très similaires à ceux décrits dans la même zone par Chauvel *et al.* (1987) et Bravard & Righi (1989) (Fig. 13). Les deux sols argileux du plateau (s3, s4) correspondent parfaitement au profil 1 « Haplic Acrorthox » décrit par Bravard & Righi

(1989). Les sols à texture intermédiaire ressemblent par leur texture au profil 5 « Paleudult » décrit par Bravard & Righi (1989), tandis que leur couleur diffère un peu (Tab. 3, Fig. 14).

Une organisation des sols déjà décrite dans la zone et cohérente avec les analyses de sol de surface effectuées dans 12 parcelles.

Nous avons distingué deux types d'organisation des sols, en fonction de deux types de toposéquence.

La forme de ces deux toposéquences est similaire à celle des toposéquences A et C décrites par Chauvel *et al.* (1987) à proximité du dispositif DAS (Fig. 15). L'organisation des sols le long de la 2^{ème} toposéquence est similaire à celle décrite par Chauvel *et al.* (1987) le long de la toposéquence C et par Bravard & Righi (1989) : sols argileux sur le plateau, puis après un ensellement, du haut vers le bas de versant d'une surface intermédiaire, une transition régulière allant de sols argilo-sableux à sablo-argileux puis sableux. Seule différence : nous n'avons pas observé de podzols en bas de versant comme ces auteurs ont pu les observer. Comme le sondage s10 présente des caractéristiques de podzolisation (il s'assombrit avec la profondeur, certainement dû à une migration verticale de la matière organique), il est vraisemblable que des sondages entre un bas de versant et un cours d'eau auraient permis de trouver un podzol.

Nos observations associées à la bibliographie nous ont conduit à prédire que (i) les zones qui sont situées à une altitude ≥ 130 m sont sur des Ferralsols argileux, avec un horizon de surface argileux ; (ii) les zones qui sont situées à une altitude < 130 m sont sur des Acrisols ou sur des sols sableux (Podzols, ...), ces deux types de sol ayant un horizon de surface sableux. Les résultats de granulométrie de 42 échantillons de sols de surface, prélevés par Katia Emidia da Silvo (Embrapa Manaus) dans 12 parcelles, sont cohérents avec cette prédiction (Fig. 11).

Proposition d'une première cartographie des sols

Nos observations associées à la bibliographie nous permettent de proposer une cartographie des sols du dispositif de DAS. Cette cartographie distingue 3 grands types de sols (i) des Ferralsols argileux ; (ii) des Acrisols à texture intermédiaire, qui sont de plus en plus sableux de l'amont vers l'aval ; (iii) des sols sableux regroupant des Podzols, des Arénosols et/ou des Gleysols (Fig. 16).

Cette cartographie des sols est une première ébauche qui devra être confirmée par des sondages complémentaires et des analyses de sol en profondeur. Cela permettra notamment de préciser les limites entre les unités de sols et la distribution des sols sableux en Podzols, Arénosols et/ou Gleysols. Même si elle doit être affinée, cette cartographie des sols suggère que les Acrisols sont les sols majoritaires de DAS.

Une forêt anciennement perturbée par les feux

Parmi les 14 sondages, nous avons observé des charbons de bois dans 8 sondages. Vu le faible volume de sol extrait lors d'un sondage tarière, la présence de charbons de bois devrait être assez généralisée sur le dispositif de DAS. Ces charbons de bois proviendraient alors de feux qui ont parcouru la forêt dans le passé. Ces feux peuvent être d'origine climatique et/ou anthropique. Les charbons de bois semblent plus abondants sur les pentes faibles des bas de versant, proches des cours d'eau, on peut imaginer qu'ils ont été provoqués dans le passé par l'homme. Une datation de quelques charbons de bois préciserait dans un premier temps la période de ces feux. La recherche de tessons de poteries au bord des cours d'eau confirmerait l'origine anthropique de ces feux.

Le mat racinaire, révélateur d'un horizon de surface sableux.

Nous avons observé un mat racinaire au-dessus d'un horizon de surface sableux, tandis qu'il est absent dans les sols argileux. La présence d'un mat racinaire dans les sols sableux a déjà été observé sous les tropiques, au Venezuela, Congo, Malaisie, Centrafrique (Kingsbury & Kellman 1997, Laclau *et al.* 2004, Baillie *et al.* 2006, Freycon *et al.* 2015). Un mat racinaire favoriserait le recyclage direct des nutriments de la matière organique (litière) dans les sols chimiquement pauvres, comme peuvent l'être les sols sableux (Laclau *et al.* 2004).

Tableau 1 : Correspondance entre la synthèse des caractéristiques des 12 sondages tarières de DAS, étudiés généralement jusqu'à 120 cm de profondeur et le mat racinaire.

Sondage	Prof. Sondage (cm)	Type de sol	Texture 0-10 cm	Texture 10-20 cm	Epaisseur du mat racinaire (cm)
S1	120 cm	Sol à texture intermédiaire	S	S	6
S2	120 cm	Sol à texture intermédiaire	S	S	3
S3	120 cm	Sol argileux	A(S)	A	0
S4	120 cm	Sol argileux	A(S)	A	0
S5	120 cm	Sol à texture intermédiaire	S	SA	2
S6	120 cm	Sol à texture intermédiaire	S	S(A)	5
S7	120 cm	Sol à texture intermédiaire	S	SA	2
S8	80 cm	Sol sableux	S	S	1
S9	120 cm	Sol à texture intermédiaire	S	S	2
S10	120 cm	Sol sableux	S	S	6
S11	120 cm	Sol à texture intermédiaire	S	S	2
S12	120 cm	Sol à texture intermédiaire	S	SA	NA
S13	120 cm	Sol à texture intermédiaire	S	S	2
S14	60 cm	Sol à texture intermédiaire	S	S	NA

Tableau 2 : Rattachement à l'un des 3 types de sol, de 5 sondages tarière, en fonction de la texture de surface et de la présence/absence d'un mat racinaire

Sondage	Prof. Sondage (cm)	Rattachement à un type de sol	Texture 0-10 cm	Texture 10-20 cm	Mat racinaire
Valid16	20 cm	Sol argileux	A	A	Absence
Valid17	20 cm	Sol argileux	A	A	Absence
Valid19	20 cm	Sol argileux	A	A	Absence
Valid21	20 cm	Sol à texture intermédiaire	S	SA	Présence
Valid23	20 cm	Sol à texture intermédiaire	S	SA	Présence

Tableau 3 : Correspondance entre les sols argileux et les sols à texture intermédiaire du dispositif DAS avec des sols de référence décrits par Bravard & Righi (1989)

DAS			Bravard & Righi (1989)		
Sol argileux (s3)			Profile 1 – Haplic Acrorthox		
Prof. (cm)	Texture	Couleur	Prof. (cm)	Texture	Couleur
0-10	A(S)	10YR7/4	0-3	sandy clay	10YR4/3
			3-10	clay	10YR7/4
10-20	A	10YR7/4	10-75	clay	10YR7/6
20-40	A	10YR7/6			
40-60	A	10YR7/6			
60-80	A(L)	7.5YR7/6			
80-100	AL	7.5YR7/6	75-110	clay	7.5YR7/6
100-120	AL	7.5YR7/6	110-150	clay	7.5YR7/6

DAS			Bravard & Righi (1989)		
Sol à texture intermédiaire (s5)			Profile 5 – Paleudult		
Prof. (cm)	Texture	Couleur	Prof. (cm)	Texture	Couleur
0-10	S	10YR5/4	0-15	sandy clay loam	10YR4/3
10-20	SA	10YR6/6			
20-40	AS	10YR7/6	15-30	sandy clay	10YR3/3
40-60	AS	10YR6/6	30-55	sandy clay	10YR5/4
60-80	AS	10YR6/6	55-75	sandy clay	10YR5/6
80-100	AS(L)	7.5YR7/6	75-100	sandy clay	7.5YR5/8

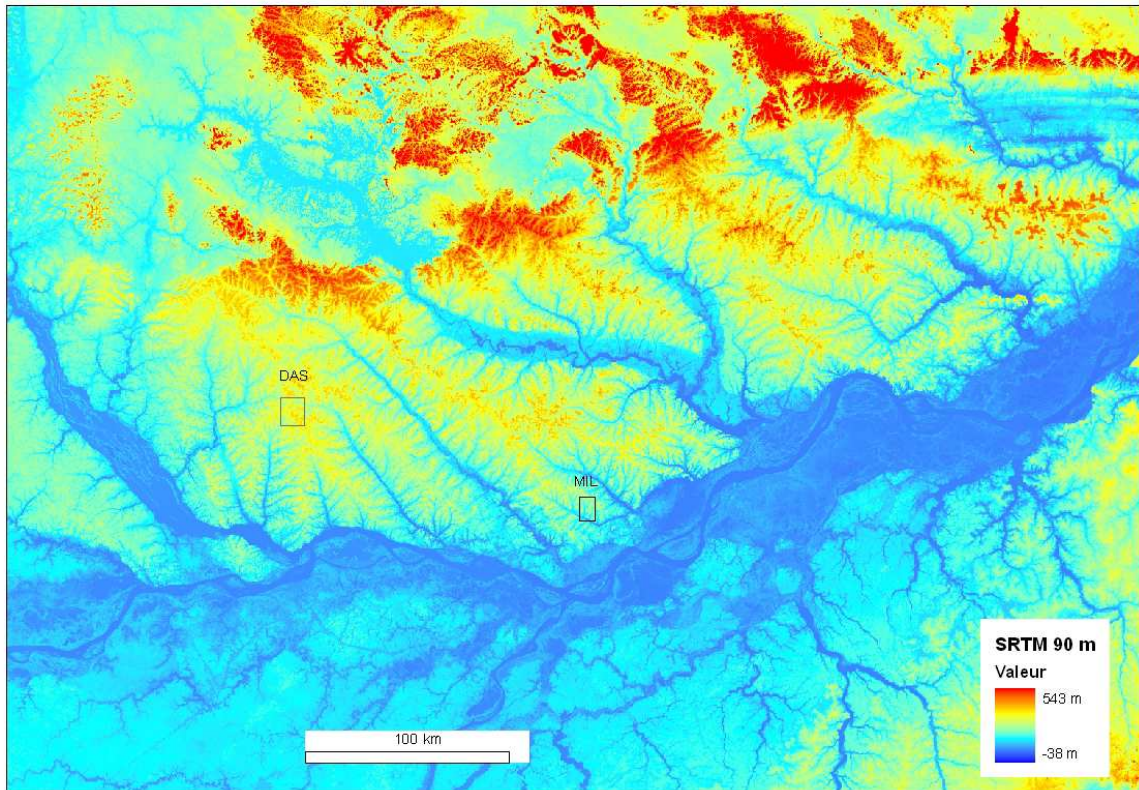


Figure 3 : Localisation des sites DAS et MIL sur une image SRTM à 90 m de résolution. La gamme des altitudes varie entre 28 m (bleu) et 174 m (orange).

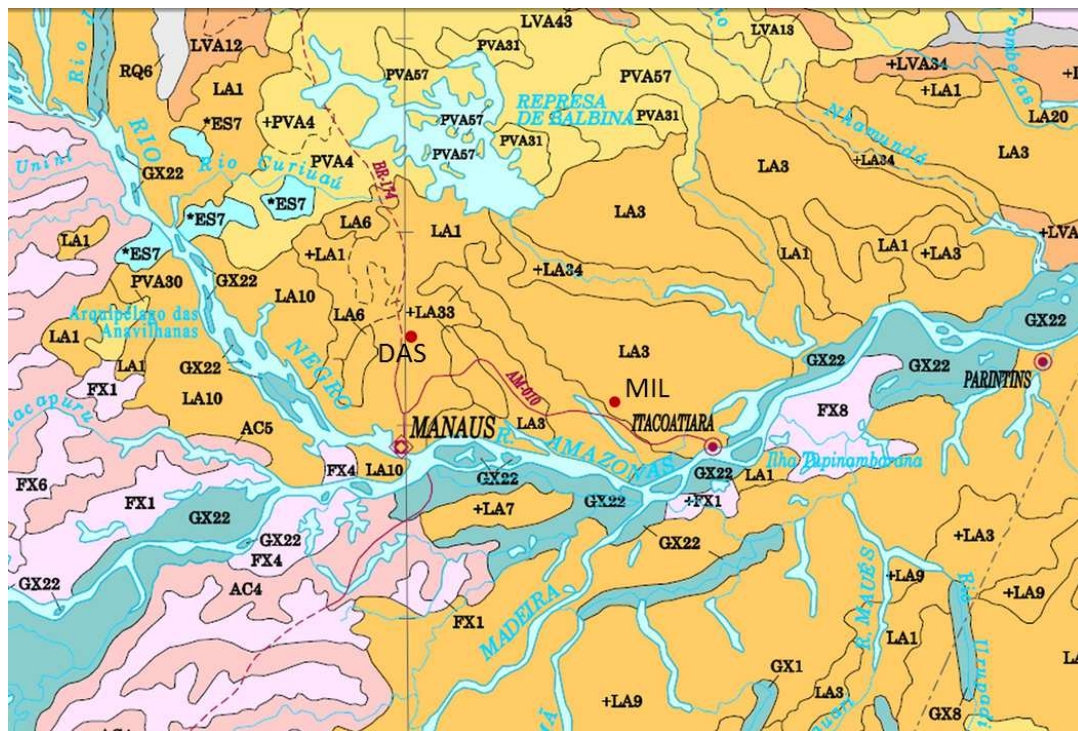


Figure 4 : Localisation des sites de DAS et MIL sur un extrait de la carte des sols du Brésil.
 LA1= Latossolos amarelos ; LA3 = Latossolos amarelos distrofico + Argissolos amarelos distrofico.

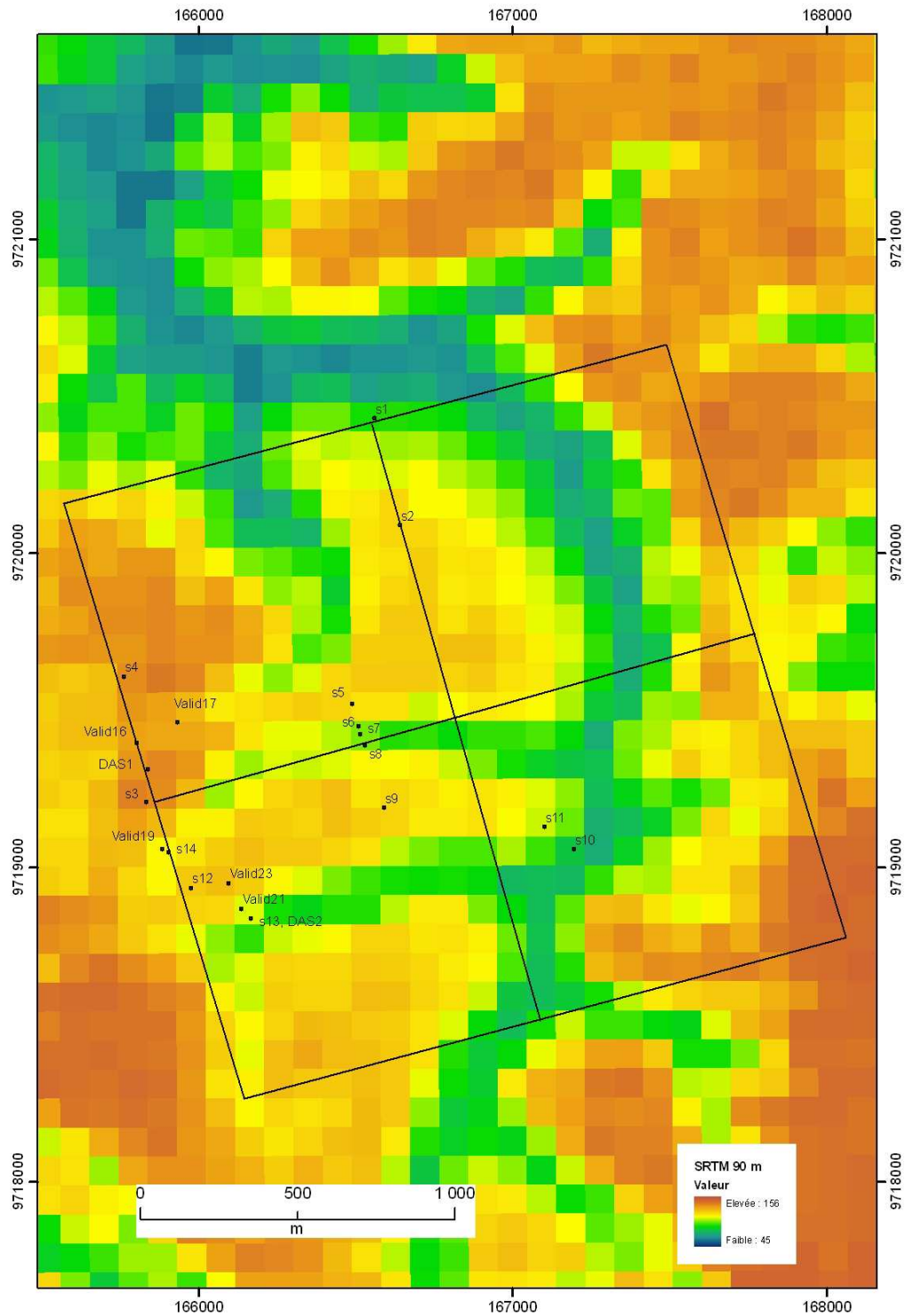


Figure 5 : Localisation des sondages tarière effectués sur le dispositif DAS
s1 à s14 : sondages tarière jusqu'à 120 cm de profondeur ; Valid16 à Valid23 : sondages
tarière jusqu'à 20 cm de profondeur ; DAS1 et DAS2 : protocole Guyafor
Le quadrillage est dans le référentiel WGS84 et le système de projection UTM21S.
Le dispositif est à cheval entre 2 systèmes de projection : les parties ouest et est se trouvent
respectivement dans les systèmes de projection UTM20S et UTM21S.

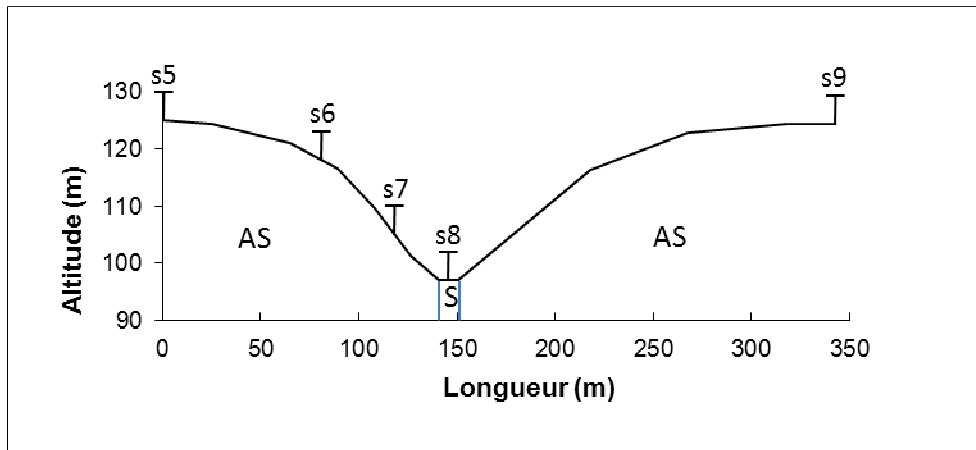


Figure 6a : Localisation des sondages tarière s5 à s8 le long de la 1^{ère} toposéquence de DAS et texture associée des sols (AS=argileuse ; S=sableuse).

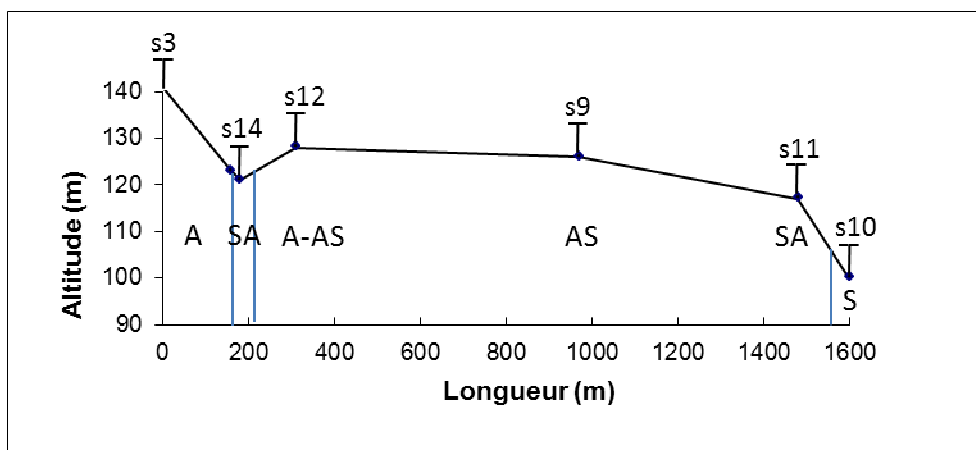


Figure 6b : Localisation des sondages tarière s3 à s10 le long de la 2^{ème} toposequence de DAS et texture associée (A=argileuse, AS=argilo-sableuse, SA=sablo-argileuse, S=sableuse)



Figure 7 : Sondages tarière effectués dans le dispositif DAS.
 Les caractéristiques de ces sondages (couleur, texture, ...) sont données dans l'Annexe 4.
 Les sondages sont classés en fonction de la texture, des sols argileux (gauche) aux sols sableux (droite).

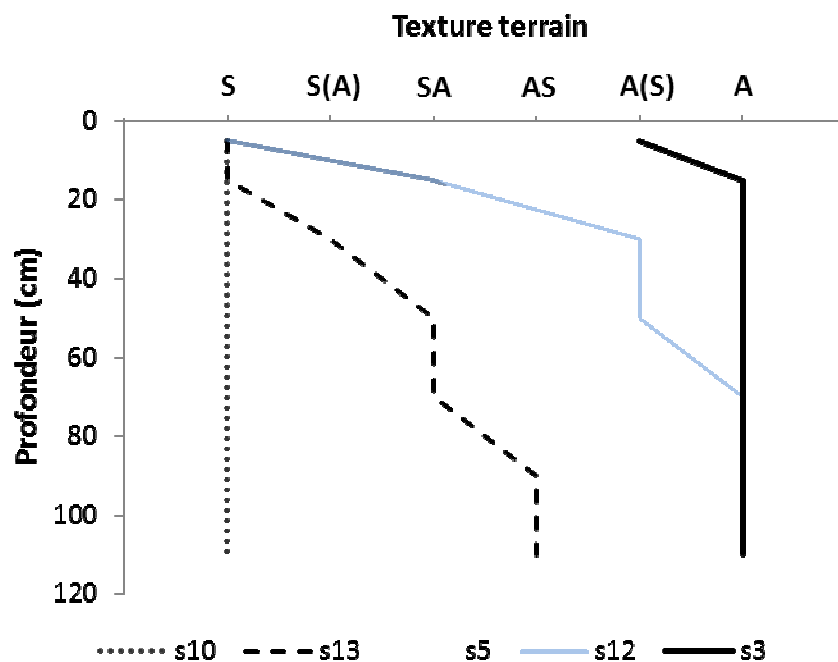


Figure 8 : Variation de la texture pour 5 sondages tarière du dispositif DAS.
 Le sondage s3 est représentatif des sols argileux, le sondage s10 des sols sableux et les sondages s12, s5 et s13 des sols à texture intermédiaire, argilo-sableux à sablo-argileux.

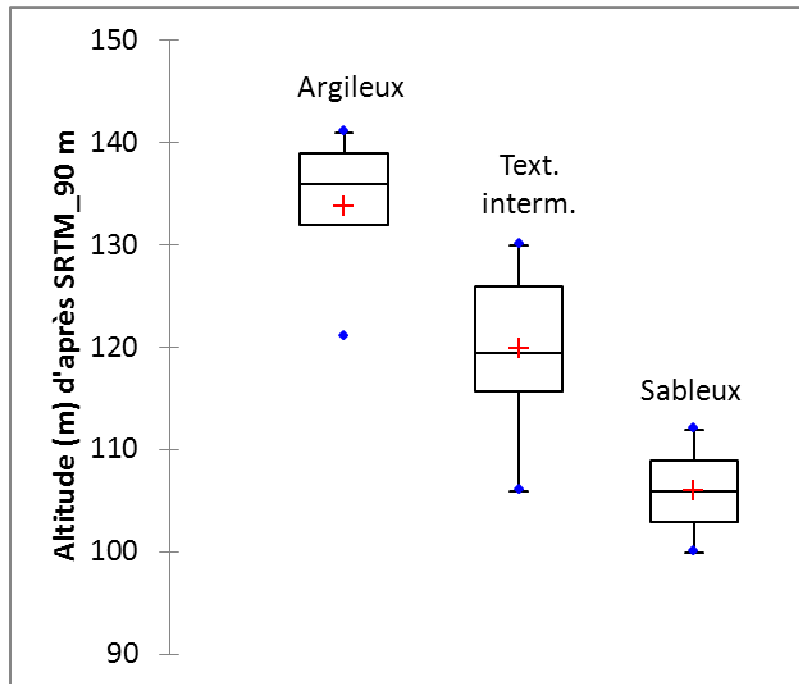


Figure 9 : Distribution des 3 groupes de sols de DAS en fonction de l'altitude. Prise en compte des 14 sondages tarière et des 5 sondages de validation.

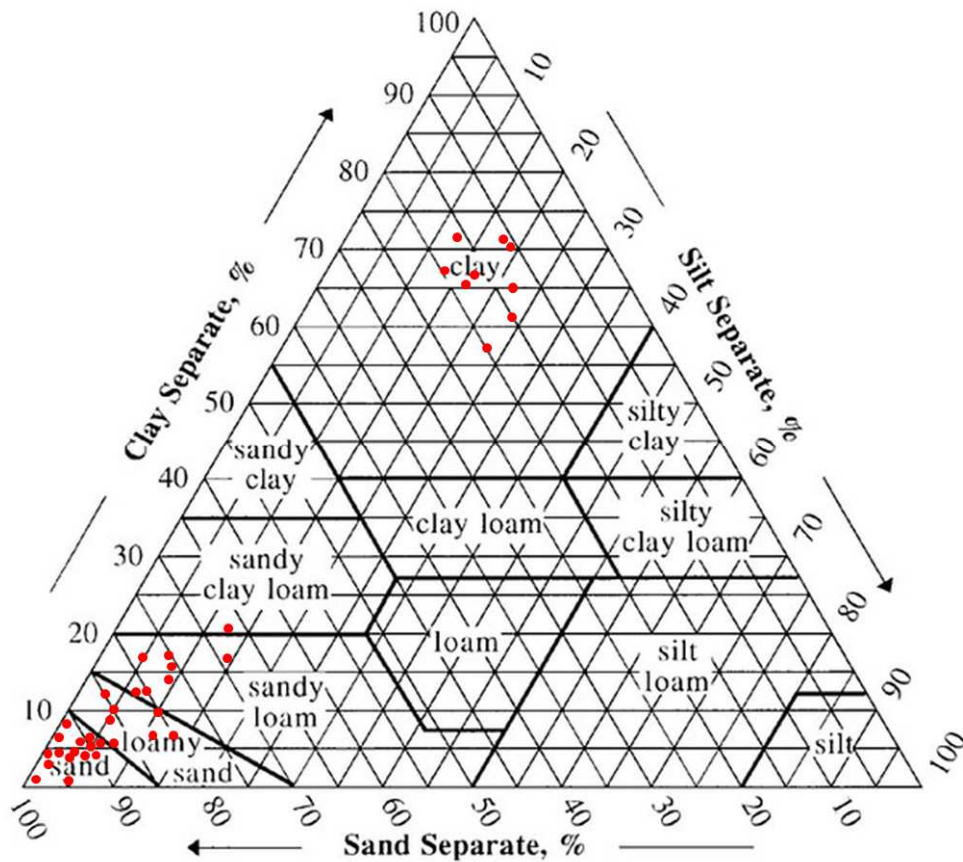


Figure 10 : Répartition sur un triangle de texture de 42 échantillons de sols de surface (0-20 cm) prélevés dans 12 parcelles permanentes de DAS

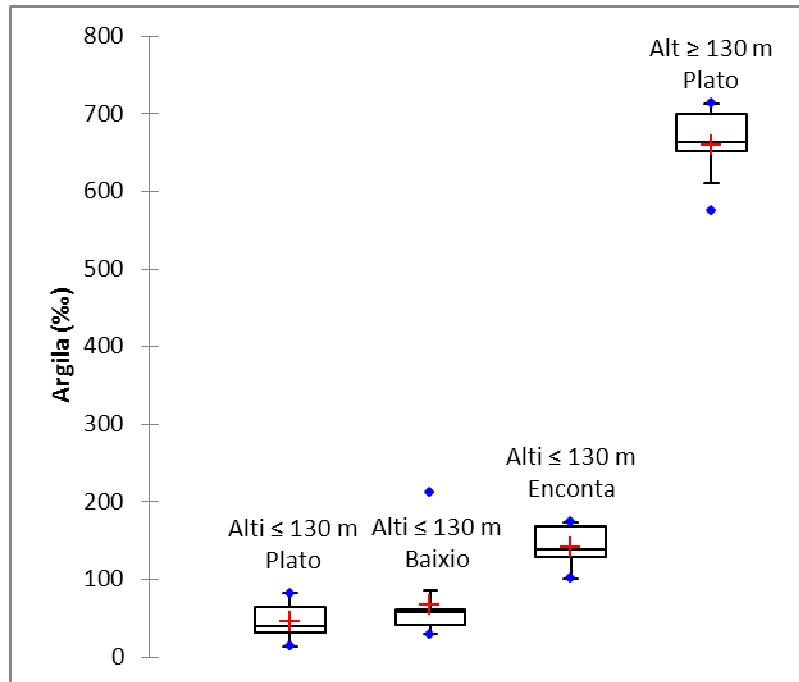


Figure 11 : Distribution de la teneur en argile de 42 échantillons de sol de surface de DAS en fonction de l'altitude et de la position topographique (Plato=Plateau, Encosta=pente, Baixio=bas-fonds).

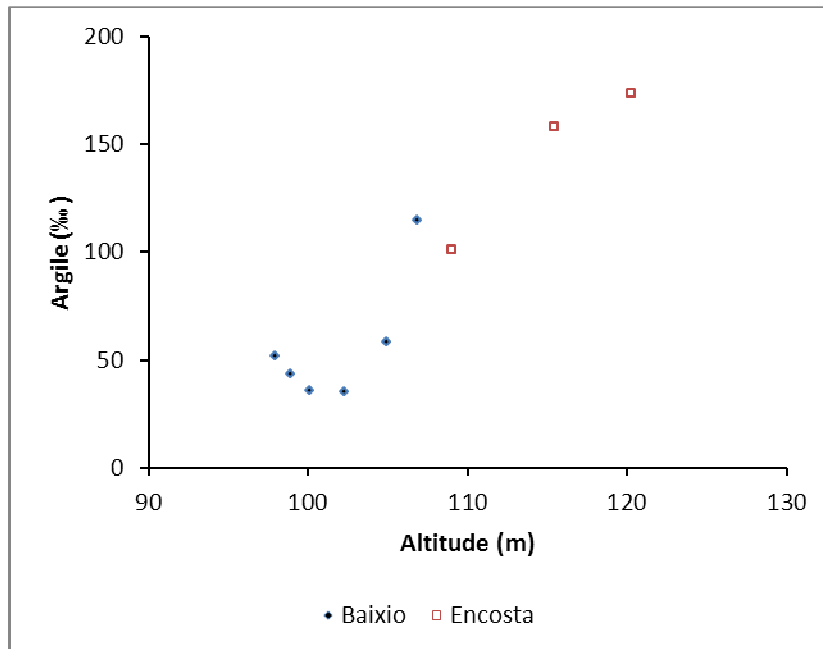


Figure 12 : Teneur en argile de 9 échantillons de sol de surface de la parcelle n°24 de DAS, en fonction de l'altitude et de la position topographique (Baixio=bas-fonds ; Encosta=pente).

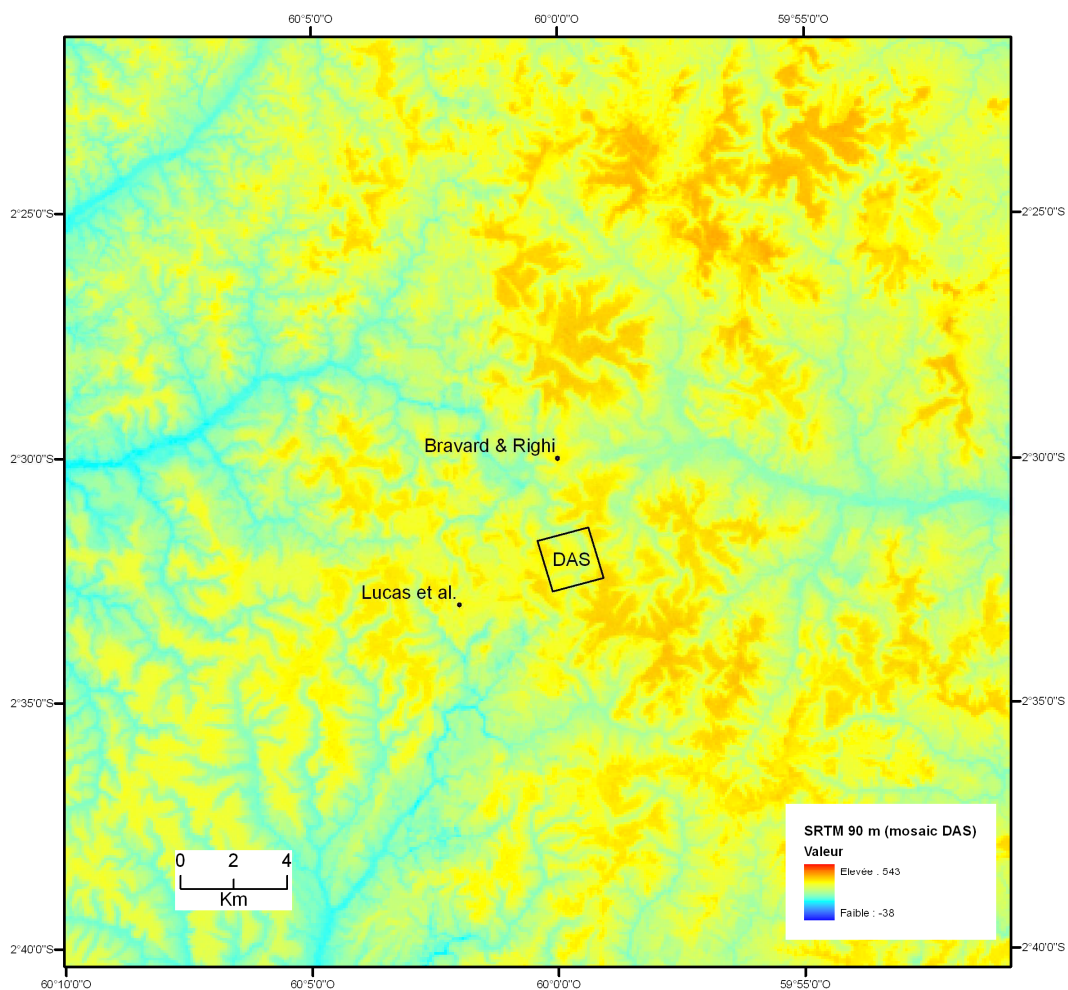


Figure 13 : Localisation du dispositif DAS et des études de Chauvel *et al.* (1987) – d’après Lucas *et al.* (1987) - et de Bravard & Righi (1989).

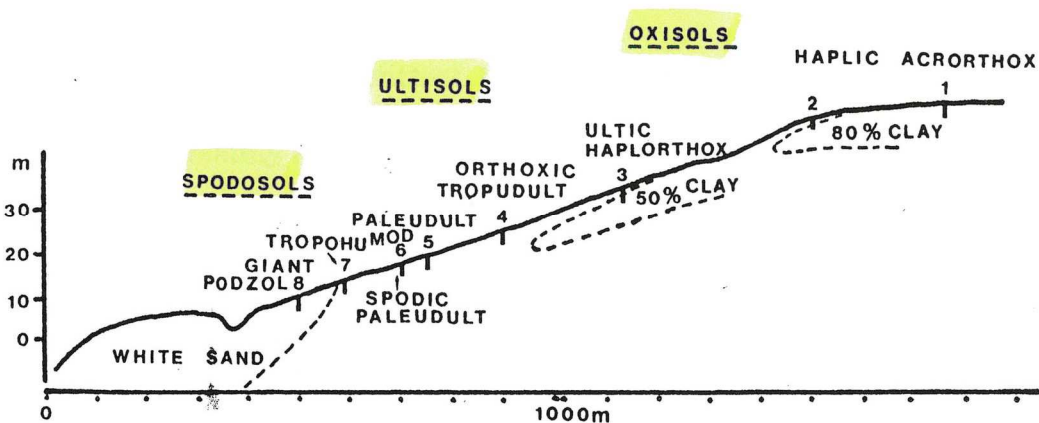


Figure 14 : Diagramme schématique de l’organisation des sols d’une toposéquence (D’après Bravard & Righi 1989)

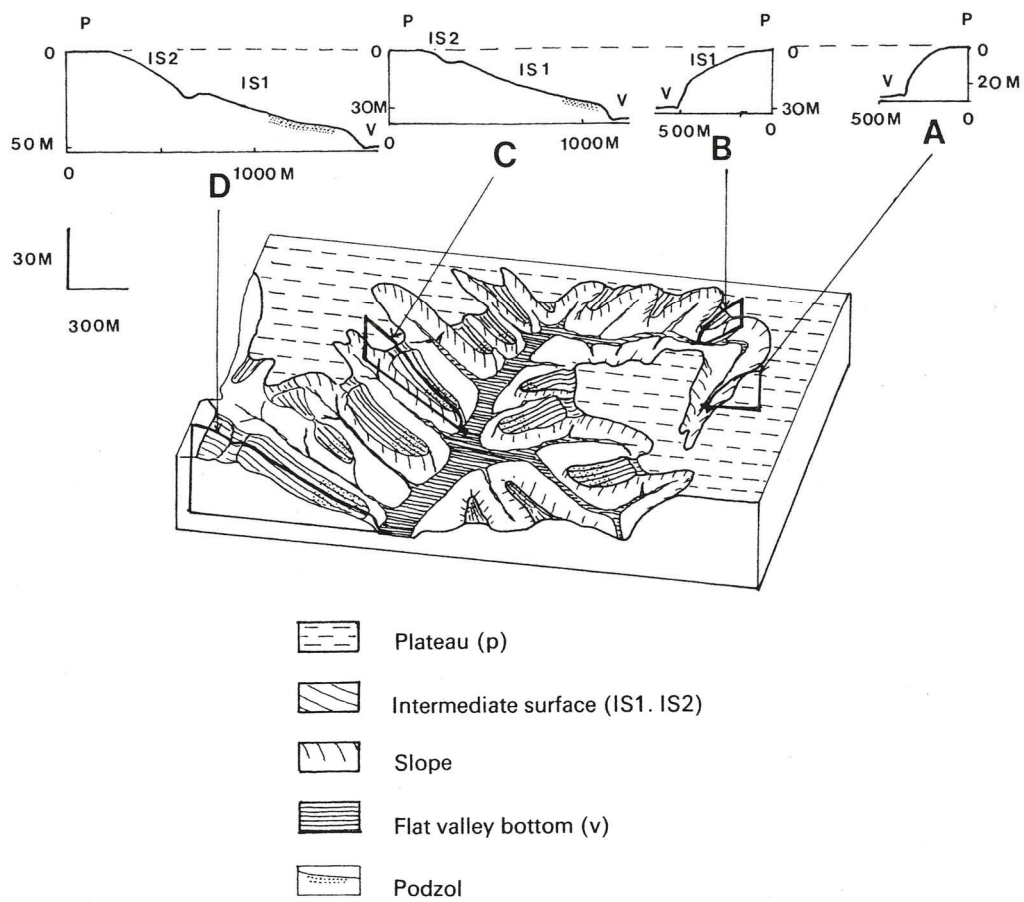


Figure 15 : Organisation des sols le long de toposéquences en fonction de la distance aux têtes de vallées (D'après Chauvel *et al.* 1987)

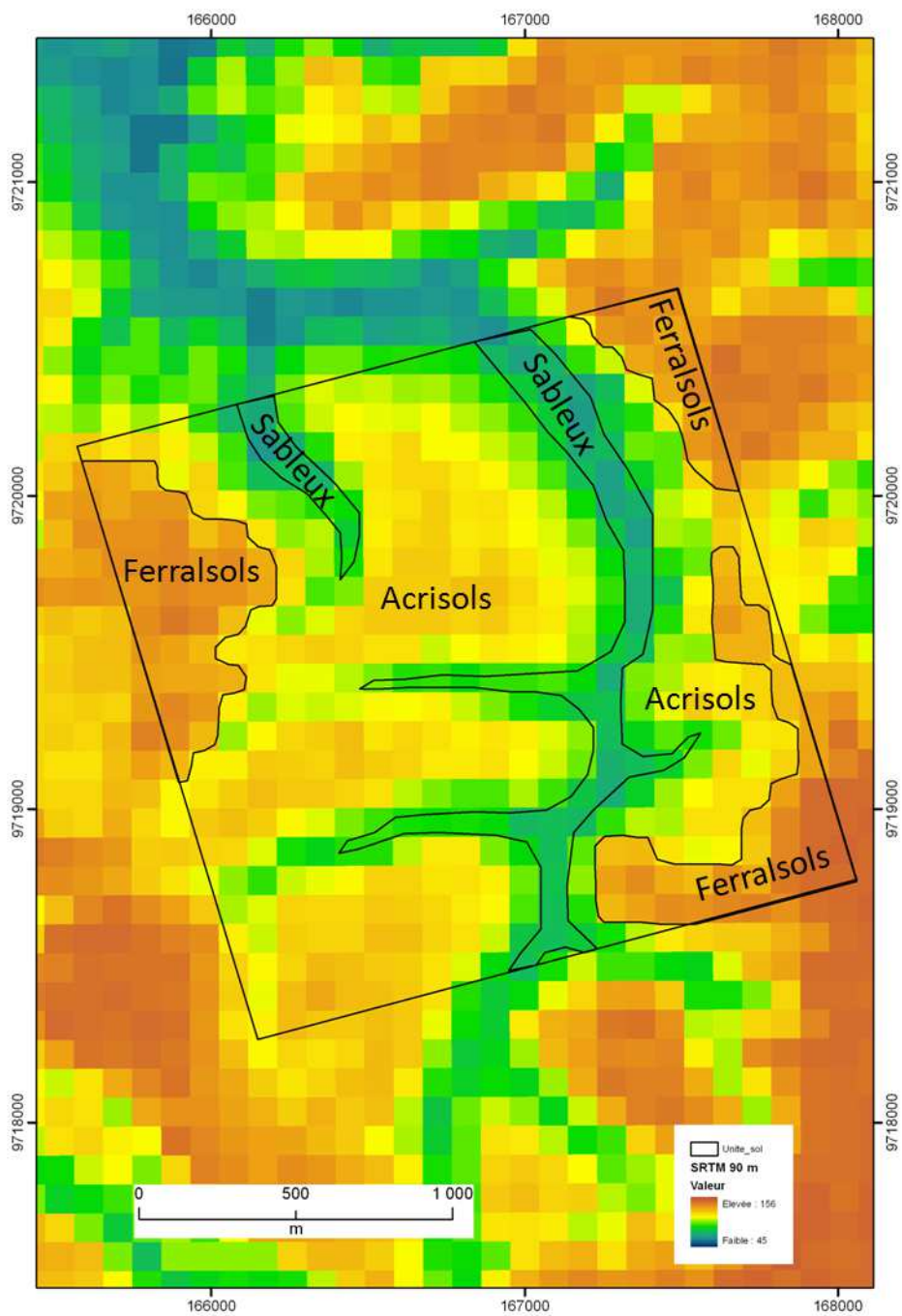


Figure 16 : Proposition d'une cartographie des sols du dispositif de DAS
 Le quadrillage est dans le référentiel WGS84 et le système de projection UTM21S.

Chapitre 2 : CARACTERISATION DES SOLS DE MIL Madeira

MATERIEL & METHODES

Sites d'étude

Le site de MIL Madeira se trouve à environ 150 km à l'est de Manaus, dans l'état d'Amazonas, Brésil (2°58'S 58°40'W), à proximité de la AM010 qui relie Manaus à Itacoatiara.

Ce site se trouve sur des sédiments « Barreiras » continentaux du tertiaire, aussi dénommés formation Alto do Chao. La topographie générale correspond à un plateau qui est entaillé par le réseau hydrographique. L'unité géomorphologique correspond à « Planalto rebaixado dos Rio Negro/Uatuma » (Fig. 2). Les précipitations annuelles moyennes sont de 2200 mm. D'après la carte mondiale des sols (Verelst 2009), ce site est occupé par des Xanthic Ferralsols (60%) et par des Humic Ferralsols (40%). D'après la carte des sols du Brésil, le dispositif MIL se trouve sur des Latossolos amarelos distrofico et des Argissolos amarelos distrofico (Fig. 4).

La zone d'étude, d'une superficie d'environ 7200 ha, se situe dans 3 UPA (B, C, D) qui ont été exploitées entre 1996 et 1998. Son altitude varie entre 110 et 50 m (Fig. 17). Au sein de cette zone d'étude, 41 parcelles permanentes de 1 ha (= 100 m x 100 m) ont été installées (Annexe 5). Notre étude pédologique a été menée essentiellement dans l'UPA B pour comprendre l'organisation des sols. Cette organisation a été ensuite validée dans les UPA C et D.

Prospection tarière

Nous avons effectué 9 sondages tarière (s15 à s23) jusqu'à 120 cm de profondeur, au sein de l'UPA B, dans ou à proximité d'une parcelle permanente, pour avoir un aperçu de la variabilité verticale et de l'organisation spatiale des sols (Fig. 18). Ces 9 sondages tarière ont été choisis pour couvrir la gamme des altitudes présentes au sein de la zone d'étude. 3 couples de sondage (s18, s19), (s21, s20) et (s22, s23) ont aussi permis d'étudier localement l'influence de la position topographique (haut de versant vs bas de versant) sur les propriétés des sols. A posteriori, nous avons reconstruit, en reliant certains sondages tarière, une toposéquence, d'une longueur de 10000 m et d'un dénivelé de 80 m, parallèle à deux cours d'eau d'ordre 2 et se terminant à proximité d'un cours d'eau d'ordre 3 (Fig. 19).

Validation d'une organisation de sol en fonction de l'altitude

La phase de prospection tarière nous a permis de trouver au sein de l'UPA B une organisation spatiale des sols très bien corrélée avec l'altitude. Nous avons alors validé cette organisation de sol en effectuant 3 sondages tarière supplémentaires (Valid42 à Valid44) jusqu'à 40 cm de profondeur au sein des UPA C et D (Fig. 18).

Description d'un profil de sol

Une fosse a été ouverte jusqu'à une profondeur de 120 cm, ce qui nous a permis de décrire un profil de sol représentatif des sols majoritaires de MIL Madeira. Nous avons prélevé un échantillon représentatif de chaque horizon. Au total, 5 échantillons ont été prélevés, en vue d'analyses physico-chimiques qui seront réalisées par le laboratoire du Cirad à Montpellier (Annexe 10). La description de ce profil sur le terrain et les résultats des analyses permettront de rattacher ce profil à la classification internationale des sols (IUSS Working Group WRB 2014). Nous avons aussi prélevé avec un cylindre de 250 cm³, 4 échantillons de sol afin de mesurer la densité apparente du sol au sein de ce profil (Annexe 10).

Protocole Guyafor

Nous avons prélevé à la tarière 2 échantillons de sol composites de surface 0-20 cm, MIL-1 et MIL-2, en suivant le protocole du réseau Guyafor (Fig. 18, Annexe 10). Un échantillon composite est composé d'un mélange de 10 prélèvements élémentaires qui sont effectués sur un rectangle de 40 m x 10 m. Ces 2 échantillons seront analysés dans le laboratoire du Cirad (Montpellier) en vue de comparer leur fertilité chimique par rapport aux sols d'autres sites forestiers du réseau TmFO.

Aperçu d'une terra preta

Claudemir (Embrapa, Manaus) nous avait indiqué la présence d'une terra preta à une vingtaine de km au nord de la zone d'étude de MIL Madeireira (Fig. 17). Nous avons eu un aperçu de cette terra preta en effectuant deux sondages tarière jusqu'à 60 et 80 cm de profondeur. Nous avons relevé la couleur du sol (code Munsell) et recherché des tessons de poterie aux alentours.

RESULTATS

Un plateau découpé par des cours d'eau

La zone d'étude est située sur un plateau qui est découpé par des cours d'eau d'ordre 1 et 2. Les cours d'eau d'ordre 2 sont orientés grossièrement nord-sud et se jettent au sud dans un cours d'eau d'ordre 3, orienté sud-est, qui marque la limite sud de la zone d'étude (Fig. 17). Les altitudes maximales, d'environ 110 m, se situent au nord de la zone d'étude, dans l'UPA C. Les altitudes minimales, d'environ 50 m, se situent au sud de la zone d'étude. Sur la majeure partie du plateau, les pentes sont faibles. A l'approche des cours d'eau d'ordre 1, les pentes augmentent et peuvent atteindre des valeurs très élevées (> 60%) conduisant parfois à la présence de « cirques d'érosion ». La transition est alors brutale entre le bas de versant et le cours d'eau d'ordre 1. Au niveau de cette transition, nous avons parfois observé des cavités dans le sol qui correspondent à des sources alimentant en eau la tête du talweg (ex. s19) ou le cours d'eau.

Deux groupes de sols distingués par leur texture

La description des 9 sondages tarière (Annexe 6, Fig. 20) nous a conduit à distinguer sur la zone d'étude de MIL Madeireira deux groupes de sols, en fonction principalement de leur texture moyenne : sols argileux (s15, s17, s18, s22) et sols à texture intermédiaire, argilo-sableux (s16, s19, s20, s21, s23) (Annexe 7, Fig. 21). Les sols argileux présentent cette texture quasiment dès la surface du sol. En profondeur, ils présentent une texture légèrement limoneuse. Ils sont brun-jaune (10YR5/4) ou brun-jaune clair (10YR6/4) en surface, et plus ou moins rapidement deviennent jaune-brun (10YR6/6), et parfois jaune-rouge (7.5YR6/6) en profondeur. Ces sols sont très compacts. Les sols à texture intermédiaire présentent, dans les 20 premiers une texture sableuse ou sablo-argileuse. La texture devient davantage argileuse avec la profondeur et peut atteindre une texture comparable à celle des sols argileux. Ils sont brun (10YR4/3, 10YR5/3) ou brun-jaune (10YR5/4) en surface, et jaune-brun (10YR6/6) ou jaune-rouge (7.5YR6/6, 5YR6/6) en profondeur. Globalement, sur l'ensemble des 9 sondages tarière, nous avons observé des taches brunes pour 6 sondages, davantage pour les sols à texture intermédiaire, et des charbons de bois pour 6 sondages. Nous n'avons jamais observé d'éléments grossiers.

Deux groupes de sols organisés suivant l'altitude et la position topographique

Nous avons observé une très bonne correspondance entre la texture des sols et l'altitude. Les sols argileux se trouvent à des altitudes ≥ 70 m tandis que les sols à texture intermédiaire se

trouvent à des altitudes ≤ 65 m (Fig. 22). Ces résultats ont été observés au sein de l'UPA B. A priori, ils sont aussi extrapolables aux UPA voisines C et D. En effet, nous avons vérifié que le sondage Valid42, situé à 102 m d'altitude était un sol argileux, tandis que les sondages Valid43 et Valid44, situés à 56 et 45 m d'altitude étaient des sols à texture intermédiaire.

Localement, la texture du sol dépend de la position topographique. Le sol est d'autant plus argileux qu'il se trouve en haut de versant, et d'autant plus sableux qu'il se trouve en bas de versant (Fig. 23).

Un sol de référence à rattacher probablement à un Xanthic Ferralsol

Le sol de référence de la zone d'étude MIL Madeira, MIL1, est décrit précisément dans l'Annexe 8. Sa description synthétique est la suivante. Ce profil a sur toute sa profondeur une texture globalement argileuse. Toutefois, nous avons perçu une texture légèrement limoneuse dans l'horizon de surface (perception certainement due à la matière organique) et à partir de 30 cm de profondeur. Sa couleur passe de brun (10YR4/3) en surface [0-3 cm] à jaune rouge (7.5YR7/6) à 120 cm de profondeur. Sauf pour l'horizon de surface, la transition entre les couleurs sont progressives (Fig. 24). Dans les deux horizons subsuperficiels (3-10 cm et 10-30 cm), nous avons observé des taches de couleur identique à l'horizon supérieur. Ces taches sont alors certainement dues à un transfert de matière organique du haut vers le bas provoquées par l'activité des termites. Les racines sont nombreuses jusqu'à seulement 10 cm de profondeur et les grosses racines présentes jusqu'à 60 cm de profondeur. Nous avons observé à partir de 60 cm une structure micro-agrégée typique d'un horizon ferrallique. Globalement, le sol est compact, ce qui, paradoxalement, ne semble pas affecter sa porosité. Sur tout le profil, nous n'avons pas observé d'éléments grossiers.

Ces observations nous conduisent à rattacher ce profil à un Xanthic Ferralsol, le Ferralsol étant dû à la présence d'un horizon ferrallique, et la propriété xanthic étant due à la couleur « jaune » (Hue = 7.5YR ou 10YR ; Value ≥ 4 , Chroma ≥ 4) de cet horizon ferrallique. Ce rattachement devra être confirmé par les analyses physico-chimiques. Nous vérifierons notamment l'absence d'un horizon d'accumulation d'argile.

Le mat racinaire, un indicateur non utilisable pour prédire un horizon de surface sableux

Nous avons observé un mat racinaire à la fois pour un sol argileux (s17) et pour les sols à texture intermédiaire avec un horizon de surface sableux (s16, s20, s21, s23) (Tab. 5). Nous n'avons donc pas pu utiliser cet indicateur pour prédire un horizon de surface sableux.

Aperçu d'une terra preta

La terra preta est située à proximité d'un cours d'eau et d'une cascade. Nous avons retrouvé sur une berge des tessons de poterie (Fig. 25). Sur le sondage TP37, qui est situé à 20 m du cours d'eau, nous avons observé un sol sableux, brun-gris très sombre (10YR3/2) en surface puis brun très sombre (10YR2/2) à mi-profondeur. Le sol était noyé à partir de 80 cm de profondeur. Sur le sondage TP35, qui est situé à 50 m du cours d'eau et légèrement plus élevé que le sondage TP37, nous avons observé un sol sableux, noir (10YR2/1) puis gris très sombre (10YR3/1) dans les 20 premiers cm avant de devenir plus clair (10YR6/2) (Fig. 20, Annexe 6).

DISCUSSION

Un modelé différent suivant sa localisation par rapport à un cours d'eau d'ordre n.

Sur la zone d'étude, nous avons observé deux types de modelé. Le premier modelé, perpendiculaire à une tête de vallée d'un cours d'eau d'ordre 1, présente des pentes a priori convexes avec une transition brutale (cirque d'érosion) entre le bas de versant et le cours d'eau. Ce modelé est similaire à la section A qui est décrite par Chauvel *et al.* (1987) à proximité du dispositif DAS, à environ 160 km de MIL Madeira (Fig. 15). Le deuxième modelé, parallèle à deux cours d'eau d'ordre 2, présente une pente faible et régulière. Il a des caractéristiques communes aux sections C et D qui sont décrites par Chauvel *et al.* (1987) à proximité du dispositif DAS, telle la présence d'un col entre le plateau et une surface intermédiaire (Fig. 15). Par contre, sa longueur est plus importante (10000 m vs 1200 et 1600 m), tout comme son dénivelé (80 m vs 35 et 50 m).

Un modèle d'organisation des sols de MIL Madeira en fonction de l'altitude : Au-dessus de 70 m d'altitude des Ferralsols argileux, en-dessous de 65 m d'altitude des Acrisols de plus en plus sableux vers l'aval, jusqu'à des Podzols.

Sur la zone d'étude, nous avons trouvé deux grands types de sols entre 110 m et 50 m d'altitude : (1) des sols argileux sur les points hauts du plateau, à une altitude d'au moins 70 m, dont l'étude d'un profil représentatif conduit à le classer a priori comme un Xanthic Ferralsol. Ce profil a des caractéristiques similaires au profil 1 de Bravard & Righi (1989), classé comme un Haplic Acrorthox ; (2) et, des sols argilo-sableux avec un horizon de surface sableux, qui se trouvent à des altitudes inférieures à 65 m d'altitude. Cette augmentation de la teneur en argile à mi-profondeur pourrait correspondre à des Acrisols.

Cette organisation des sols Ferralsols-Acrisols est similaire à celle décrite par Bravard & Righi (1989) ou par Chauvel *et al.* (1987), à environ 160 km de MIL Madeira sur la plus grande section de leur toposéquence C (Fig. 14, Fig. 15). En aval de cette section, ils avaient observé des podzols. Nous n'en avons pas trouvés à MIL Madeira, certainement faute d'avoir échantillonné au sud de notre zone d'étude, à des altitudes inférieures à 50 m. Comme nous avons observé assez systématiquement des sables blancs sur les bas de versant de la route AM010, entre MIL Madeira et Itacoatiara, on peut penser que ces podzols sont aussi présents dans la zone d'étude de MIL Madeira, aux altitudes les plus basses.

Nos observations associées à la bibliographie nous permettent finalement de proposer un modèle d'organisation des sols de MIL Madeira en fonction de l'altitude (Fig. 19) : (i) au-dessus de 70 m d'altitude, des Ferralsols argileux ; (ii) entre 65 m et 50 m d'altitude, des Acrisols à texture intermédiaire ; (iii) En-dessous de 50 m d'altitude, des Acrisols, avec une teneur en sable qui augmente, puis, en-dessous d'une altitude à déterminer, des sols sableux, incluant certainement des podzols.

Ce modèle nous a permis d'affecter un type de sol à chaque parcelle permanente de l'UPA B, en connaissant son altitude (Tab. 8). Les parcelles permanentes de l'UPA B sont alors principalement sur Ferralsols. Plus généralement, les Ferralsols sont majoritaires au sein des UPA B, C et D de MIL Madeira.

Un autre exemple d'une terra preta le long d'un affluent de l'Amazone

Nous avons eu un aperçu d'une terra preta à une vingtaine de km au nord de MIL Madeira, au bord d'une rivière, avec certaines caractéristiques typiques : couleur noire (Value= 2 ou 3), tessons de poterie à proximité. Les terra preta sont assez communes sur les terrasses sédimentaires du Tertiaire situées le long de l'Amazone et de ses principaux affluents (Lima *et al.* 2002, Hammond 2005 ; Fig. 26). Le sont-elles aussi le long de rivières de taille plus modeste comme à MIL Madeira ? On peut le penser, vu les nombreux sites archéologiques

qui ont été inventoriés le long de la rivière Madeira, à une cinquantaine de km au sud de MIL Madeira (Kern *et al.* 2003 ; Fig. 27). Ce point pourrait être vérifié par du terrain complémentaire effectué par des archéologues et pédologues à MIL Madeira. Comme une terra preta a des propriétés très différentes d'un sol tropical « classique », du type Ferralsol ou Acrisol (Glaser *et al.* 2012), sa présence au sein d'une parcelle pourrait aussi être révélée par une dynamique forestière et/ou une composition floristique inhabituelle.

Tableau 4 : Localisation des sondages tarière de MIL Madeira

Sondage	Prof. Sondage (cm)	UPA	Parcelle permanente	Altitude (m) (d'après SRTM 90 m)	Position topo
S15	120 cm	B	2	97	Plateau
S16	120 cm	B	3	59	Haut versant
S17	120 cm	B	4	81	Plateau
S18	120 cm	B	7	81	Plateau
S19	120 cm	B	Vers 7	61	Bas-versant
S20	120 cm	B	9	56	Bas-versant
S21	120 cm	B	9	65	Haut-versant
S22	120 cm	B	6	70	Haut-versant
S23	120 cm	B	6	59	Bas-versant
Valid42	40 cm	C	1	103	Plateau
Valid43	40 cm	D	8	64	Haut versant
Valid44	40 cm	D	8	52	Bas versant

Tableau 5 : Correspondance entre la synthèse des caractéristiques des 9 sondages tarières de MIL, étudiés jusqu'à 120 cm de profondeur et le mat racinaire.

Sondage	Prof. Sondage (cm)	Type de sol	Texture 0-10 cm	Texture 10-20 cm	Epaisseur du mat racinaire (cm)
S15	120 cm	Sol argileux	A(S)	A	0
S16	120 cm	Sol à texture intermédiaire	SA	SA	1
S17	120 cm	Sol argileux	A(S)	A	5
S18	120 cm	Sol argileux	A(L)	A(L)	0
S19	120 cm	Sol à texture intermédiaire	S	SA	NA
S20	120 cm	Sol à texture intermédiaire	S	S(A)	2
S21	120 cm	Sol à texture intermédiaire	S(A)	SA	0,5
S22	120 cm	Sol argileux	A(S)	A	0
S23	120 cm	Sol à texture intermédiaire	S	SA	0,5

Tableau 6 : Rattachement à l'un des 2 types de sol, de 3 sondages tarière, en fonction de la texture jusqu'à 40 cm de profondeur

Sondage	Prof. Sondage (cm)	Rattachement à un type de sol	Texture 0-10 cm	Texture 10-20 cm	Texture 20-40 cm
Valid42	40 cm	Sol argileux	A(S)	A	A
Valid43	40 cm	Sol à texture intermédiaire	S	AS	A
Valid44	40 cm	Sol à texture intermédiaire	S	SA	AS

Tableau 7 : Correspondance entre le profil MIL-1 de notre étude et le Profil 1 décrit par Bravard & Righi (1989)

MIL Madeira			Bravard & Righi (1989)		
MIL-1			Profil 1 – Haplic Acrorthox		
Prof. (cm)	Texture	Couleur	Prof. (cm)	Texture	Couleur
0-3	ALS	10YR4/3	0-3	sandy clay	10YR4/3
3-8	A	10YR5/4	3-10	clay	10YR7/4
8-30	A	10YR6/4	10-75	clay	10YR7/6
30-60	A(L)	10YR6/6			
60-120	A(L)	7.5YR7/6	75-110	clay	7.5YR7/6

Tableau 8 : Affectation d'un type de sol à chaque parcelle permanente de l'UPA B de MIL Madeira (Se reporter à l'Annexe 5 pour localiser les parcelles)

UPA	Parcelle permanente	Altitude		Sondages	Type de sol
		Min	Max		
B	1	91	103	-	Ferralsol
B	2	96	106	S15	Ferralsol
B	3	52	59	S16	Acrisol
B	4	74	80	S17	Ferralsol
B	5	76	90	-	Ferralsol
B	6	56	70	S22, S23	Ferralsol/Acrisol
B	7	75	82	S18	Ferralsol
B	8	>80	>80	-	Ferralsol
B	9	49	55	S21, S20	Acrisol
B	10	>90	>90	-	Ferralsol
B	11	>90	>90	-	Ferralsol
B	12	87	103	-	Ferralsol
B	13	85	101	-	Ferralsol
B	14	56	72	-	Ferralsol/Acrisol

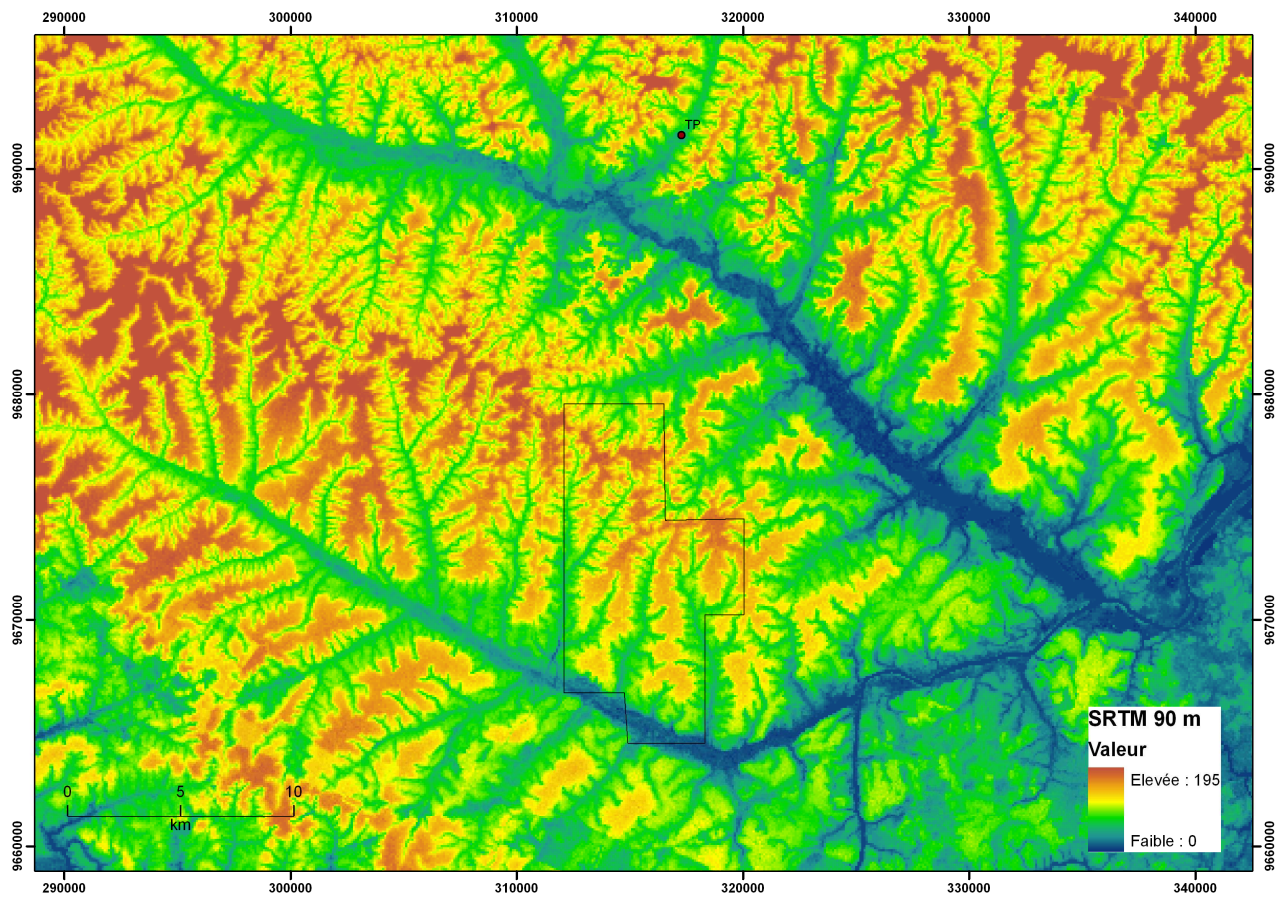


Figure 17 : Localisation de la zone d'étude de MIL Madeira sur une image SRTM à 90 m de résolution. La gamme des altitudes au sein de la zone d'étude varie entre 110 m et 50 m.

Le point TP représente la terra preta que nous avons observée.

Le quadrillage est dans le référentiel WGS84 et le système de projection UTM21S.

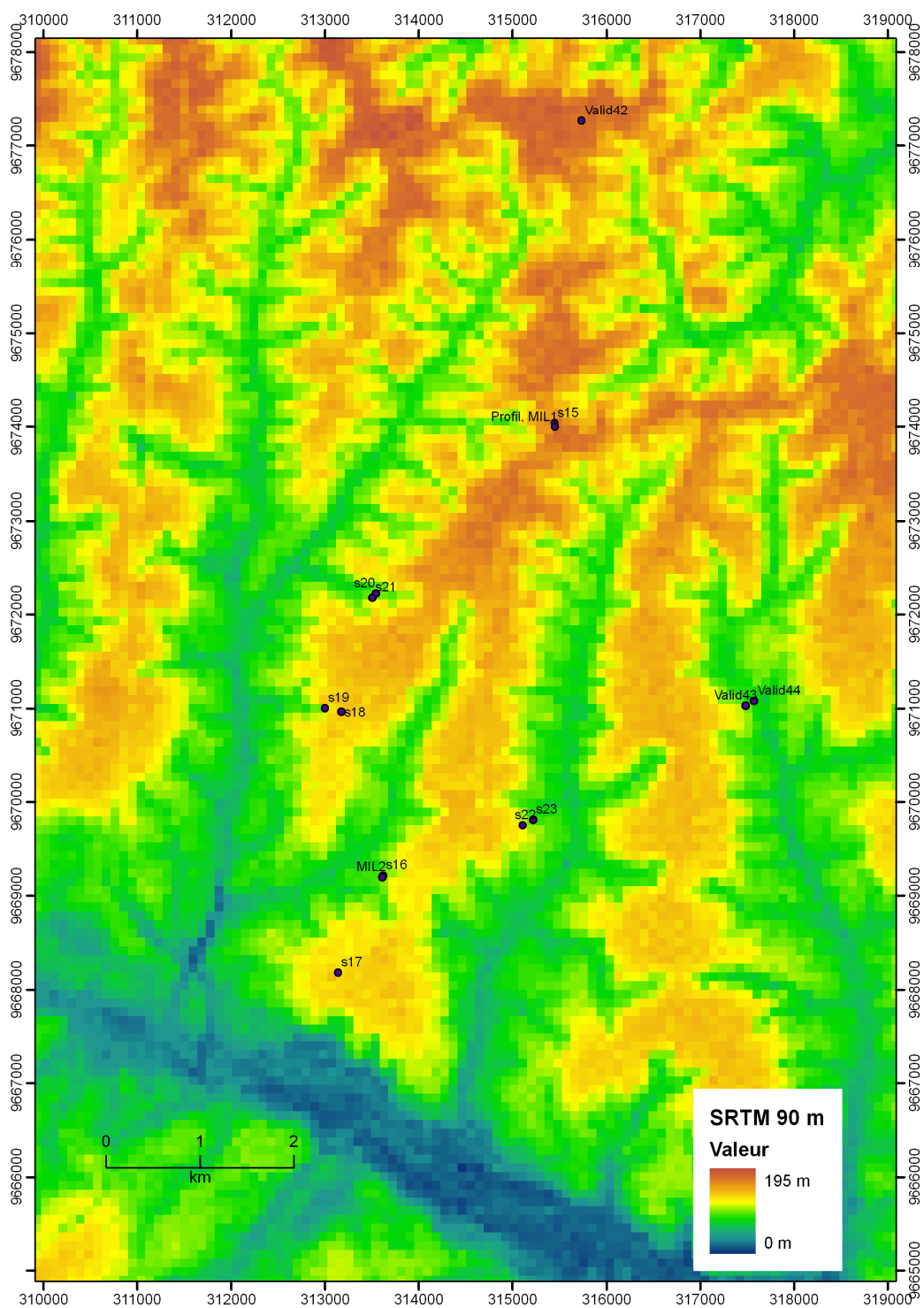


Figure 18 : Localisation des sondages tarière de MIL Madeira
s15 à s23 : sondages tarière jusqu'à 120 cm de profondeur ; Valid42 à Valid44 : sondages tarière jusqu'à 40 cm de profondeur ; MIL1 et MIL2 : protocole Guyafor ; Profil : profil de sol décrit à partir d'une fosse de 120 cm de profondeur.
Le quadrillage est dans le référentiel WGS84 et dans le système de projection UTM21S.

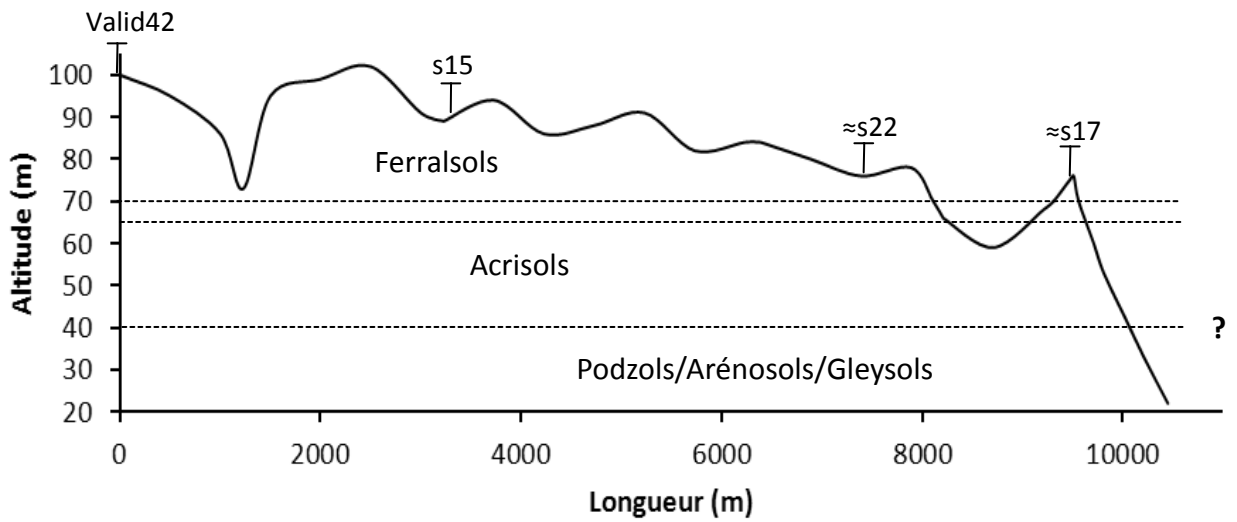


Figure 19 : Localisation de sondages tarière le long d'une toposéquence nord-sud de MIL Madeira et modèle d'organisation des sols proposé.



Figure 20 : Sondages tarière effectués à MIL Madeira (15 à 23) et dans une terra preta (TP37 et TP35). Les caractéristiques de ces sondages (couleur, texture, ...) sont données dans l'Annexe 6. A l'exception du sondage 19, les sondages sont ordonnés suivant la texture, des sols argileux (gauche) aux sols sableux (droite).

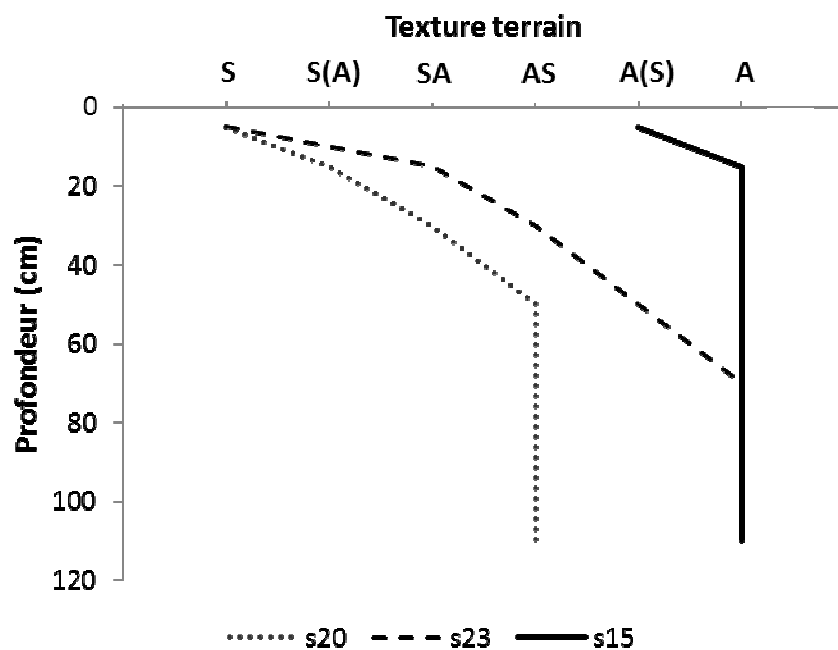


Figure 21 : Variation de la texture pour 3 sondages tarière de MIL Madeira. Le sondage s15 est représentatif des sols argileux, et les sondages s20 et s23 des sols à texture intermédiaire, argilo-sableux.

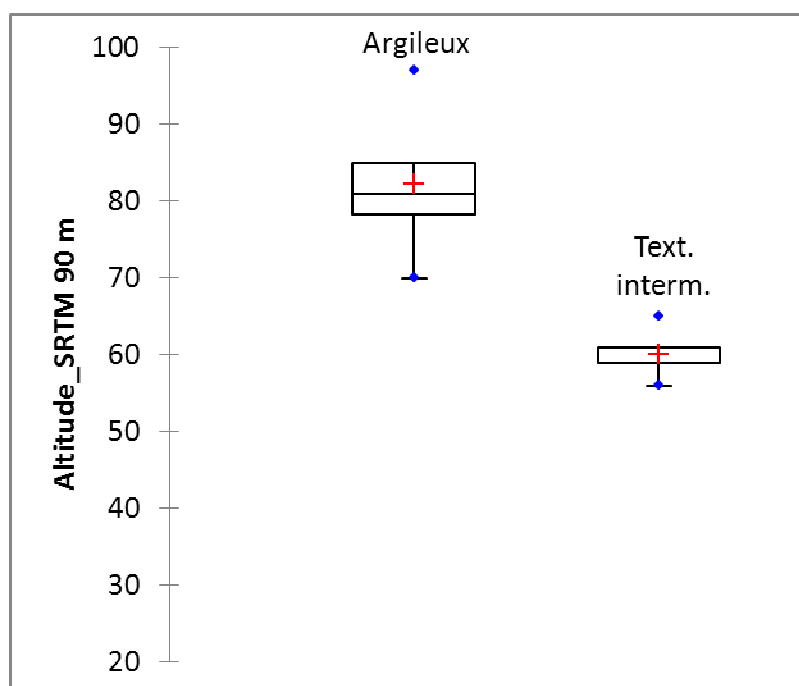


Figure 22 : Distribution des 2 groupes de sols de MIL Madeira en fonction de l'altitude. Le niveau de base local est de 20 m.

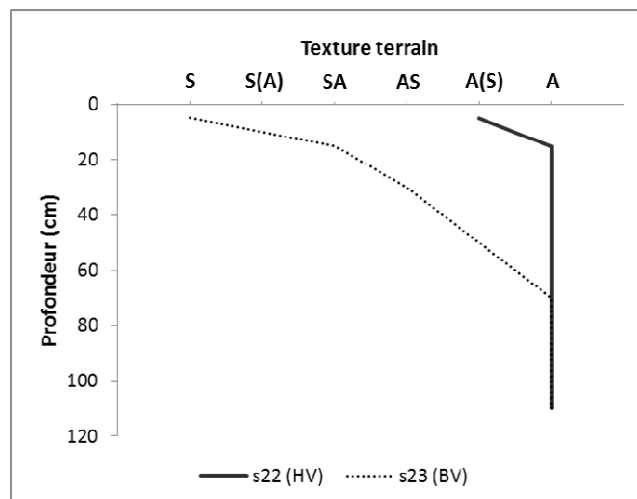
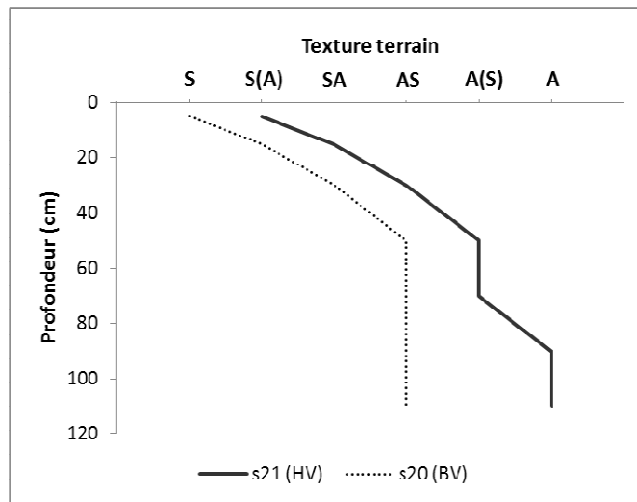
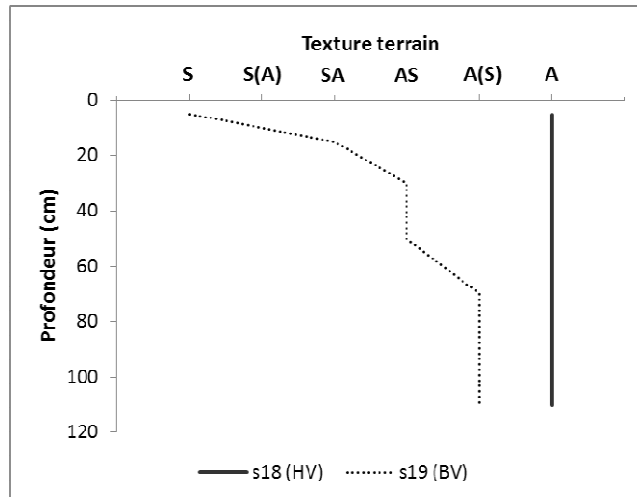


Figure 23 : Variation de la texture perçue sur le terrain pour 3 couples de sondages tarière de MIL Madeira en fonction de la position topographique : haut de versant (HV) vs bas de versant (BV)



Figure 24 : Profil de sol MIL Madeira (description détaillée dans l'Annexe 8)
Photo : L. Blanc



Figure 25 : Morceau de poterie et tessons de poterie trouvés sur la berge d'un cours d'eau, à proximité d'une terra preta (Photo : L. Blanc).

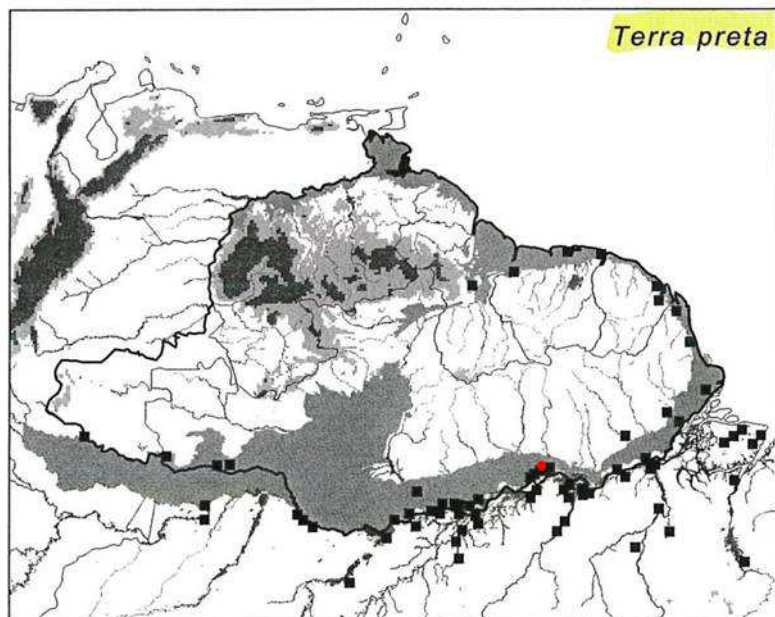


Figure 26 : Terra Preta inventoriées en Amazonie et sur le plateau des Guyanes (tiré de Hammond 2005). Le point rouge localise grossièrement la zone d'étude de MIL Madeira et la terra Preta que nous avons observée.

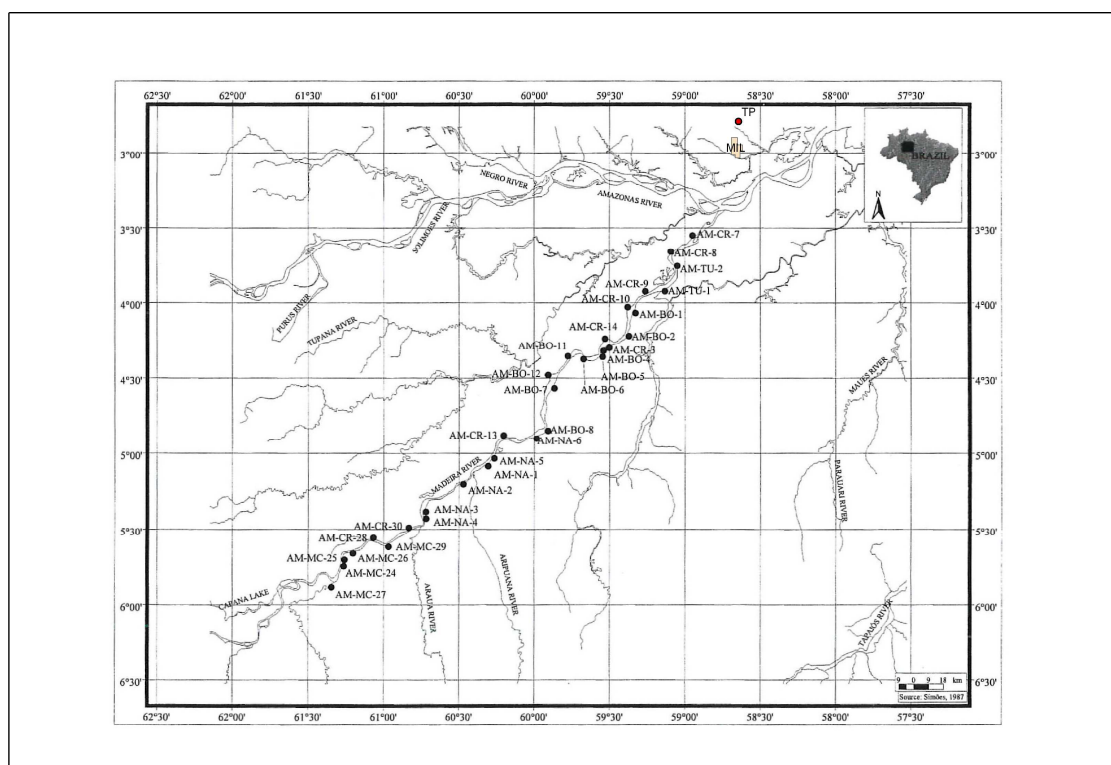


Figure 27 : Sites archéologiques répertoriés dans la région de la rivière Madeira (tiré de Kern *et al.* 2003, d'après les travaux de Simoes & Lopes 1987). Au nord de l'Amazonie, le polygone situe MIL Madeira et le point rouge TP, la terra Preta que nous avons observée.

Chapitre 3 : COMPARAISON DES SOLS DE DAS et MIL Madeira

Des modelés fonction de leur localisation par rapport aux cours d'eau

Les modelés de DAS et MIL sont différents suivant leur localisation par rapport aux cours d'eau (Fig. 28). A proximité des têtes de vallée, les pentes sont convexes et la transition rapide avec la vallée. Entre deux cours d'eau, le modelé est marqué par la présence d'au moins un col et de pentes régulières et faibles. La longueur et le dénivelé des modelés de DAS sont plus faibles que ceux de MIL. Cela est certainement due à une érosion moins poussée à DAS qu'à MIL, ce qui est confirmé par une altitude moyenne plus élevée à DAS qu'à MIL, et à la présence de cours d'eau principalement d'ordre 1, à DAS (Tab. 9).

Une même organisation des sols mais un sol majoritaire différent.

Les sols de DAS et de MIL Madeira ont une organisation similaire qui dépend du modelé. En direction des têtes de thalweg, le sol est identique du plateau aux pentes convexes du versant, et correspond à un Ferralsol ou à un Acrisol. Il change brusquement dans la vallée et devient sableux (Fig. 6a). Au contraire, entre deux cours d'eau, sur des pentes régulières et faibles, les Ferralsols laissent la place à des Acrisols puis, en bas de versant, à des sols sableux. Ces deux types d'organisation sont certainement à relier avec des mécanismes différents d'érosion : une érosion régressive partant des vallées et « grignotant » les pentes convexes vs un départ des éléments fins (argile) par lessivage au niveau des interfluves.

Finalement, on retrouve 3 types de sols identiques à la fois à DAS et à MIL : des Ferralsols argileux et compacts, des Acrisols à texture intermédiaire et des sols sableux qui correspondent à des Podzols, Arénosols et/ou Gleysols. Par contre, leur distribution n'est pas identique : les Acrisols sont majoritaires à DAS, alors que les Ferralsols sont majoritaires à MIL Madeira.

HAND, un critère synthétique pour prédire la répartition spatiale des sols sur différents sites ?

Le dénivelé par rapport au niveau de base local est un critère synthétique qui illustre « l'histoire » d'un modelé et l'évolution des sols à une échelle locale (Filleron *et al.* 2004). Il peut être estimé par le critère « Height Above Nearest Drainage » (HAND, Renno *et al.* 2008, Nobre *et al.* 2011). Le critère HAND pourrait alors être utilisé pour déterminer des limites entre deux types de sols, par exemple entre Ferralsols et Acrisols. A MIL Madeira, entre deux cours d'eau d'ordre 2, on trouve des Ferralsols quand $HAND > 50$ m, tandis qu'à DAS, entre deux cours d'eau d'ordre 1, on trouve des Ferralsols quand $HAND > 40$ m. Ce résultat est encourageant, à la vue de potentielles sources d'erreur pour calculer le critère HAND : ordre du cours d'eau choisi pour définir le niveau de base, utilisation d'une image SRTM à 90 m de résolution, information sur l'altitude du couvert forestier et non de la surface topographique ... Ce résultat doit être conforté par des études sur d'autres sites.

DAS et MIL : des sites forestiers occupés dans le passé par des amérindiens ?

A DAS et à MIL, nous avons observé des charbons de bois dans plus de la moitié des sondages tarières. A DAS, ces charbons de bois étaient abondants dans les bas de versant à pente faible, à proximité des cours d'eau, ce qui suggère que ces charbons sont dus à des feux anthropiques. MIL Madeira se trouve à une trentaine de km de l'Amazonie et à une cinquantaine de km de la rivière Madeira, des zones où ont été identifiées des terra preta et des sites archéologiques (Lima *et al.* 2002, Kern *et al.* 2003). On peut donc raisonnablement penser que MIL Madeira, et à un degré moindre DAS, ont été anciennement occupés par

les amérindiens. Ce point doit être vérifié (recherche de tessons de poteries, terra preta, ...), des anciennes occupations pouvant modifier encore aujourd'hui les caractéristiques des sols, la composition floristique et/ou la dynamique forestière.

Tableau 9 : Facteurs environnementaux des sites de DAS et MIL Madeira
HAND : Height Above Nearest Drainage (Renno *et al.* 2008, Nobre *et al.* 2011)

Facteur de l'environnement	DAS	MIL Madeira
Géologie	Sédiments du IIIaire	Sédiments du IIIaire
Géomorphologie	Planalto rebaixado dos Rio Negro/Uatuma	Planalto rebaixado dos Rio Negro/Uatuma
Précipitations annuelles	1360 à 2840 mm	2200 mm
Altitude	150 à 90 m	110 à 50 m
Niveau de base local	90 m	20 m
HAND	60 à 0 m	90 à 30 m
Ordre des cours d'eau	1 et 2	1, 2 et 3
Organisation des sols entre deux cours d'eau	Ferralsols-Acrisols-sols sableux	Ferralsols-Acrisols-sols sableux
Sol majoritaire	Acrisol	Ferralsol
Limite Ferralsol-Acrisol	Altitude = 130 m	Altitude = 70 à 65 m
	HAND = 40 m	HAND = 50 à 45 m
Charbons de bois	Fréquents (8/14) Abondants en bas de versant	Fréquents (6/9)
Termitières	Absentes ?	Rares
Forêt	Non exploitée	Exploitée

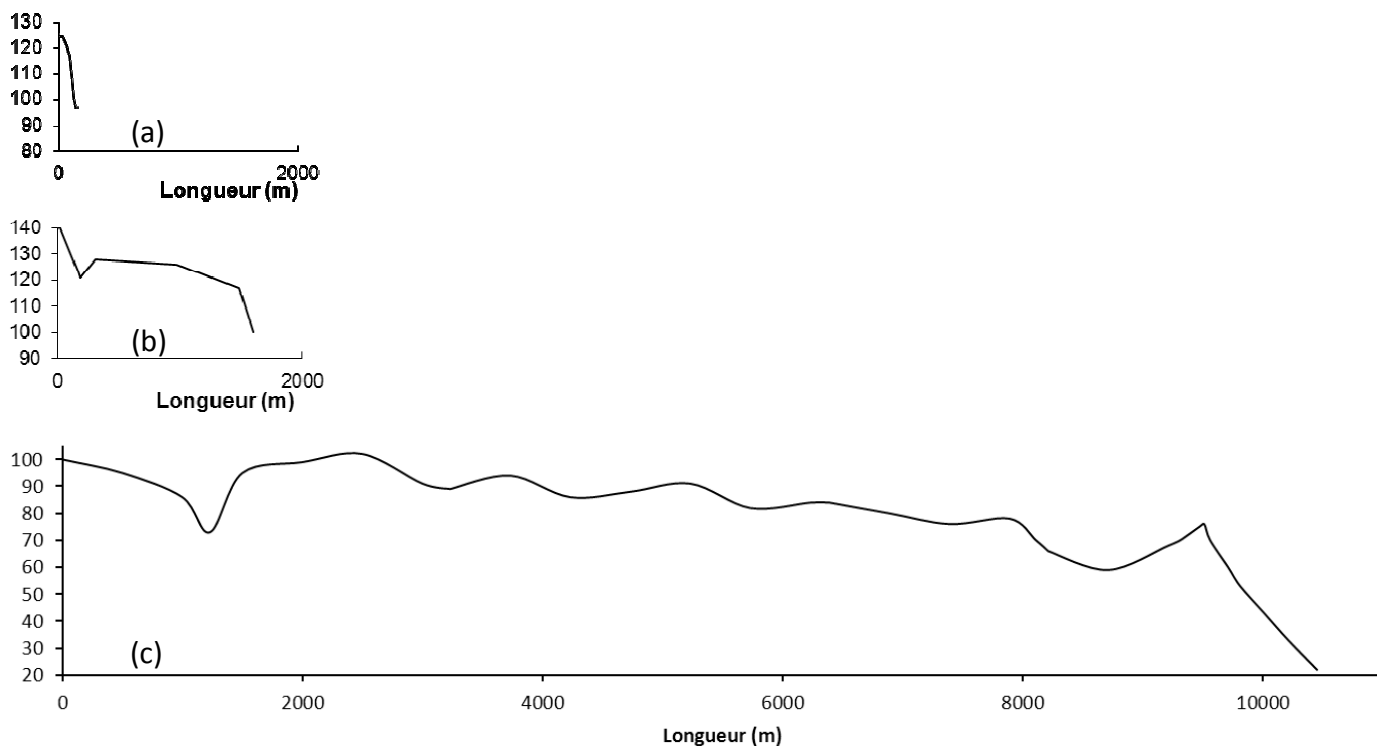


Figure 28 : Différents types de modelés observés à DAS et MIL Madeira

(a) A proximité d'une tête de vallée, un cours d'eau d'ordre 1 (DAS, MIL)

(b) Entre deux cours d'eau d'ordre 1 (DAS)

(c) Entre deux cours d'eau d'ordre 2 (MIL)

L'axe des abscisses représente la longueur (m) et l'axe des ordonnées l'altitude (m).

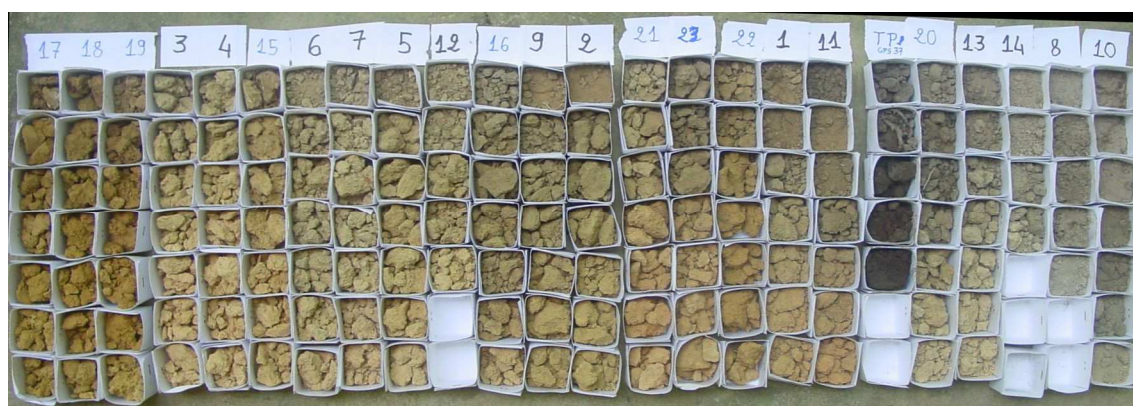


Figure 29 : Sondages tarière effectués à DAS (s1 à s14) et MIL Madeira (s15 à s23)

BIBLIOGRAPHIE

- Baillie, I. C., Ashton, P. S., Chin, S. P., Davies, S. J., Palmiotto, P. A., Russo, S. E., and Tan, S. (2006). Spatial associations of humus, nutrients and soils in mixed dipterocarp forest at Lambir, Sarawak, Malaysian Borneo. *Journal of Tropical Ecology* **22**, 543-553.
- Bravard, S., and Righi, D. (1989). Geochemical differences in an Oxisol-Spodosol toposequence of Amazonia, Brazil. *Geoderma* **44**, 29-42.
- Chauvel, A., Lucas, Y., and Boulet, R. (1987). On the genesis of the soil mantle of the region of Manaus, Central Amazonia, Brazil. *Experientia* **43**, 234-241.
- Filleron J.-C., Le-Fol J. and Freycon V. (2004). Diversité et originalité des modelés forestiers guyanais. *Revue forestière française* **LV**, 19-36.
- Freycon, V., Wonkam, C., Fayolle, A., Laclau, J.-P., Lucot, E., Jourdan, C., Cornu, G., Gourlet-Fleury, S. (2015). Tree roots penetrate deeply in African semi-deciduous rain forests: evidence from two common soil types. *Journal of Tropical Ecology* **31**, 13-23.
- Glaser, B., and Birk, J. 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.
- Hammond, D. S. (2005). "Tropical forests of the Guiana Shield. Ancient forests in a modern world." CABI Publishing.
- IUSS Working Group WRB (2014). "World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps." FAO, Rome.
- Kern, D. C., D'Aquino, G., Rofdrigues, T. E., Frazao, F. J. L., Sombroek, W., Myers, T. P., and Neves, E. G. (2004). Distribution of Amazonian Dark Earths in the Brazilian Amazon. In "Amazonian Dark Earths: origin, properties, management." (J. Lehmann, D. C. Kern, B. Glaser, and W. I. Woods, Eds.), pp. 51-75. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Kingsbury, N., and Kellman, M. (1997). Root mat depths and surface soil chemistry in southeastern Venezuela. *Journal of Tropical Ecology* **13**, 475-479.
- Laclau, J. P., Toutain, F., M'Bou, A. T., Arnaud, M., Joffre, R., and Ranger, J. (2004). The function of the superficial root mat in the biogeochemical cycles of nutrients in Congolese Eucalyptus plantations. *Annals of Botany* **93**, 249-261.
- Lima, H. N., Schaefer, C. E. R., Mello, J. W. V., Gilkes, R. J., and Ker, J. C. (2002). Pedogenesis and pre-Colombian land use of "Terra Preta Anthrosols" ("Indian black earth") of Western Amazonia. *Geoderma* **110**, 1-17.
- Lucas, Y., Boulet, R., Chauvel, A., and Veillon, L. (1987). Systèmes sols ferrallitiques-podzols en région Amazonienne. In "Podzols et podzolisation." (D. Righi, and A. Chauvel, Eds.), pp. 53-65. Inra.
- Nobre A D, Cuartas L A, Hodnett M, Renno C D, Rodrigues G, Silveira A, Waterloo M and Saleska S 2011 Height Above the Nearest Drainage - a hydrologically relevant new terrain model. *Journal of Hydrology* **404**, 13-29.
- Renno C D, Nobre A D, Cuartas L A, Soares J V, Hodnett M G, Tomasella J and Waterloo M J 2008 HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. *Remote Sens. Environ.* **112**, 3469-3481.
- Sist, P., Rutishauser, E., Pena-Claros, M., Shenkin, A., Herault, B., Blanc, L., Baraloto, C., Baya, F., Benedet, F., da Silva, K. E., Descroix, L., Ferreira, J. N., Gourlet-Fleury, S., Guedes, M. C., Bin Harun, I., Jalonen, R., Kanashiro, M., Krisnawati, H., Kshatriya, M., Lincoln, P., Mazzei, L., Medjibe, V., Nasi, R., d'Oliveira, M. V. N., de Oliveira, L.

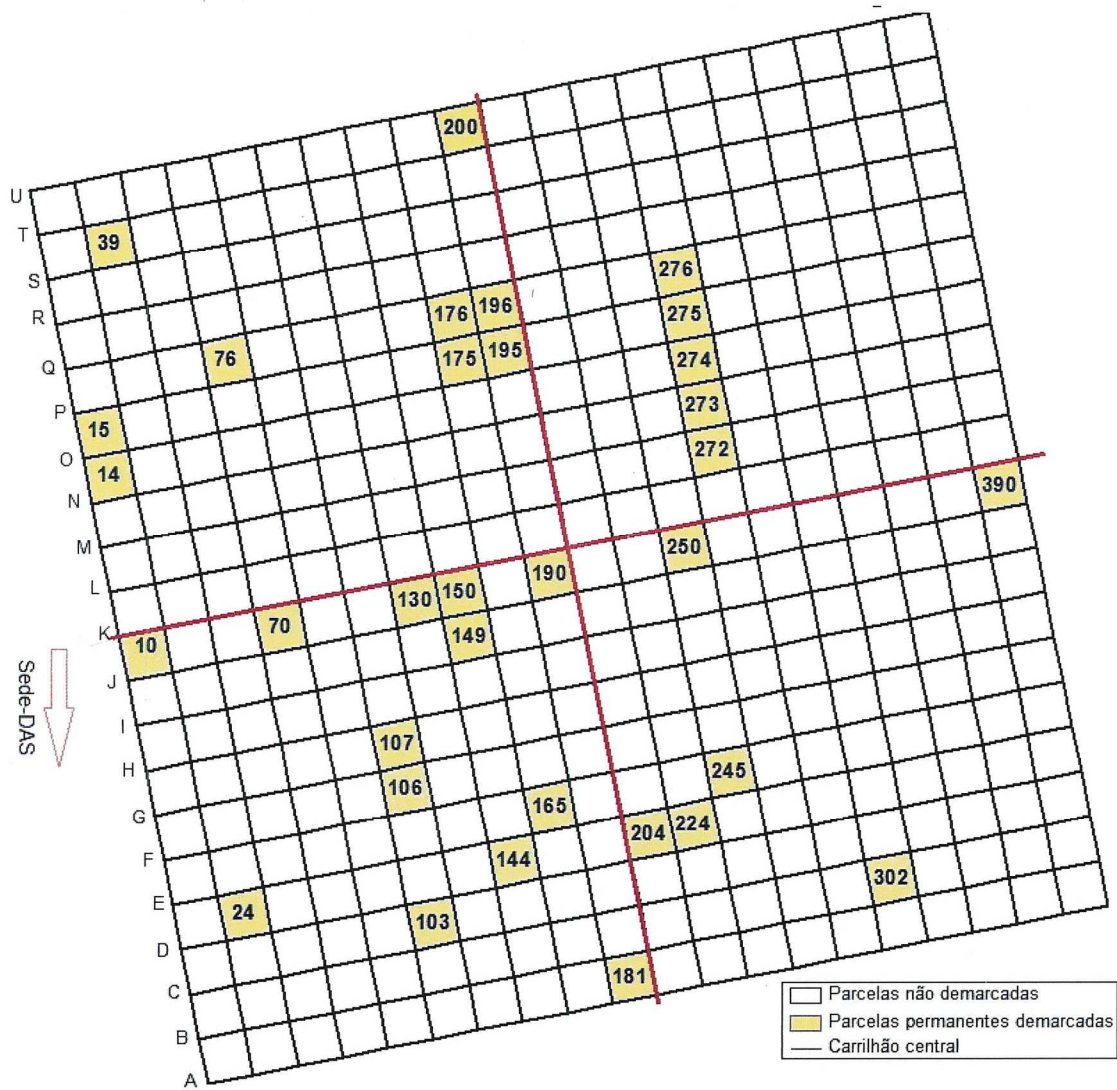
C., Picard, N., Pietsch, S., Pinard, M., Priyadi, H., Putz, F. E., Rodney, K., Rossi, V., Roopsind, A., Ruschel, A. R., Shari, N. H. Z., de Souza, C. R., Susanty, F. H., Sotta, E. D., Toledo, M., Vidal, E., West, T. A. P., Wortel, V., and Yamada, T. (2014). The Tropical managed Forests Observatory: a research network addressing the future of tropical logged forests. *Applied Vegetation Science* **18**, 171-174.

Verelst L 2009 Harmonized World Soil Database Viewer. FAO, CAS, IIASA, ISRIC, JRC.

**Annexe 1 – Calendrier de la mission
V. Freycon, 18 au 30 octobre 2014**

Jour	Matin	Après-midi
Samedi 18 oct.		Voyage Montpellier-Paris
Dimanche 19 oct.	Voyage Paris-Sao Paulo-Manaus	
Lundi 20 oct.	Manaus : Embrapa	Voyage Manaus-DAS
Mardi 21 oct.	DAS : prospection tarière	
Mercredi 22 oct.	DAS : prospection tarière	
Jeudi 23 oct.	DAS : validation tarière ; prélèvements échantillons de référence	
Vendredi 24 oct.	Voyage DAS-Manaus-MIL	MIL : prospection tarière
Samedi 25 oct.	MIL : prospection tarière	
Dimanche 26 oct.	MIL : prospection tarière ; description d'un profil de sol ; terra preta	
Lundi 27 oct.	MIL : validation tarière	Aperçu exploitation forestière
Mardi 28 oct.	Voyage MIL-Manaus	
Mercredi 29 oct.	Manaus : Embrapa	Voyage Manaus-Brasilia
Jeudi 30 oct.	Voyage Brasilia-Paris-Montpellier	

Annexe 2 – Parcelles permanentes sur le dispositif de DAS

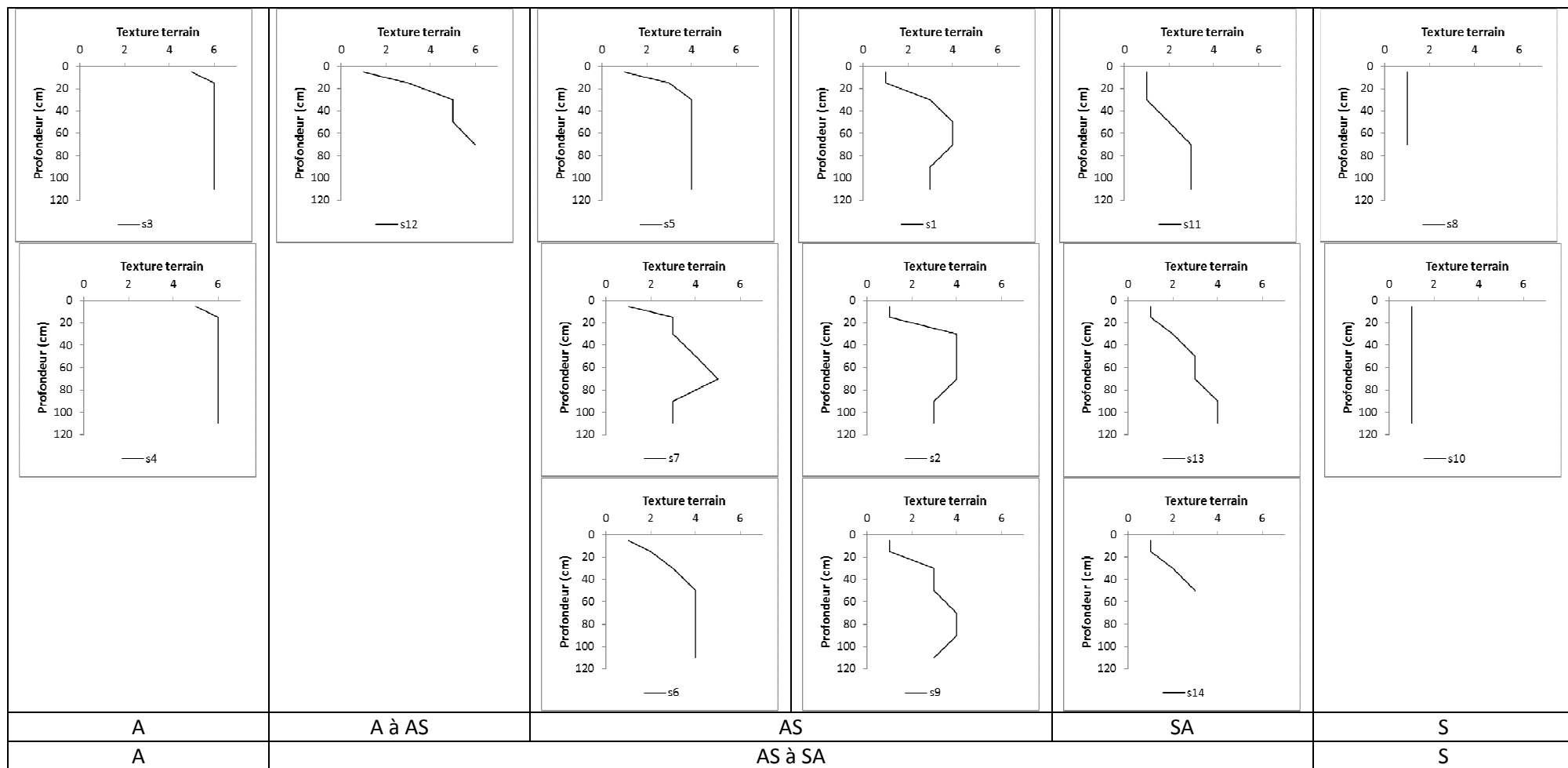


Annexe 3 – Caractéristiques des sondages tarières effectués sur le dispositif de DAS

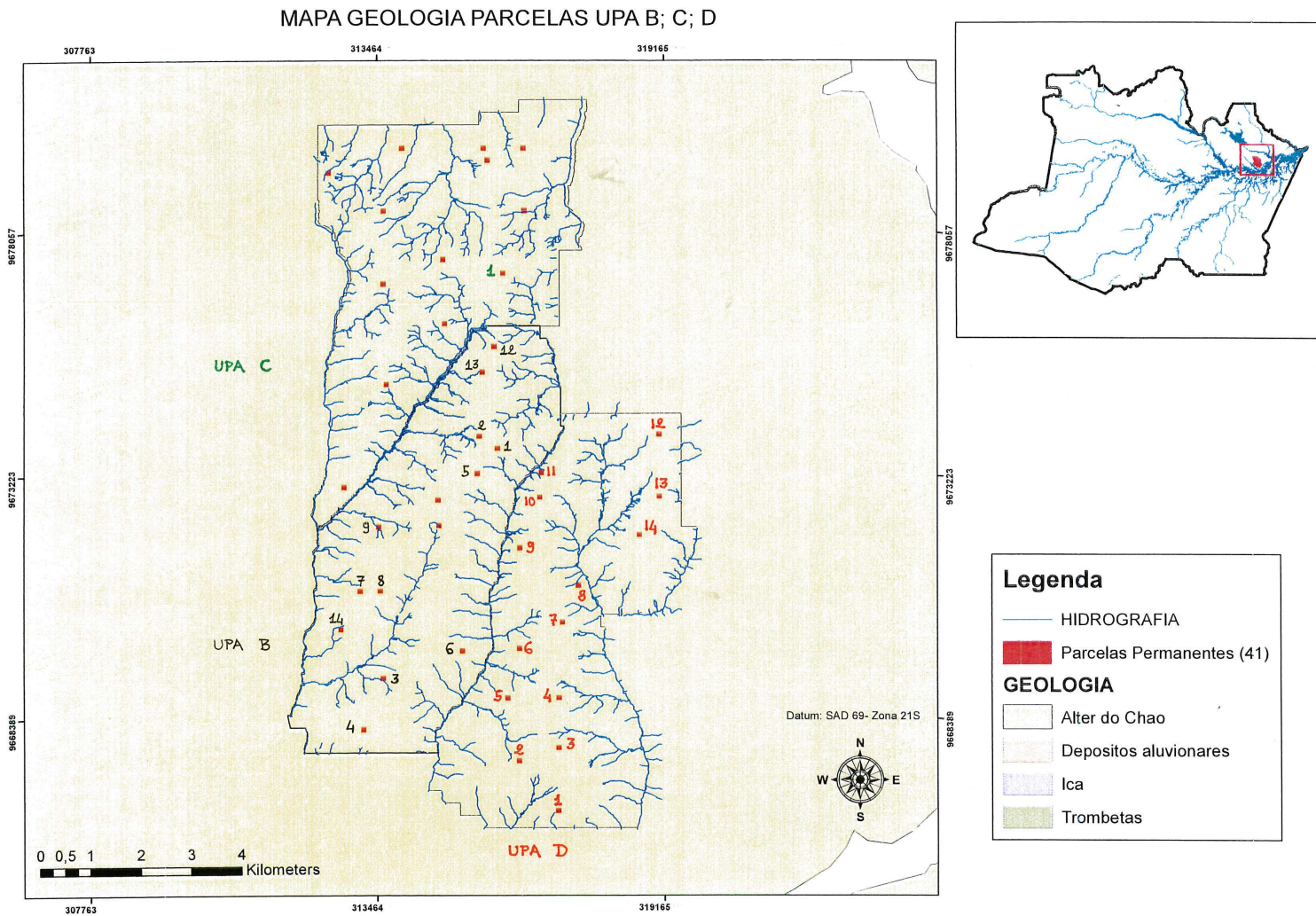
Sondage	Profondeur	Texture	Couleur	Taches	Charbons
s1	0-10	S	10YR4/3		
s1	10-20	S	10YR4/4		
s1	20-40	SA	10YR4/4		x
s1	40-60	AS	10YR5/4		x
s1	60-80	AS	7.5YR5/6		x
s1	80-100	SA	7.5YR5/6		
s1	100-120	SA	7.5YR5/8		
s2	0-10	S	10YR4/4		
s2	10-20	S	10YR5/4		
s2	20-40	AS	10YR5/4		x
s2	40-60	AS	10YR5/6		x
s2	60-80	AS	10YR5/6		
s2	80-100	SA	10YR5/8		
s2	100-120	SA	10YR5/8		
s3	0-10	A(S)	10YR7/4		
s3	10-20	A	10YR7/4	Brune	x
s3	20-40	A	10YR7/6		
s3	40-60	A	10YR7/6		
s3	60-80	A(L)	7.5YR7/6		
s3	80-100	AL	7.5YR7/6		
s3	100-120	AL	7.5YR7/6		
s4	0-10	A(S)	10YR6/4		
s4	10-20	A	10YR6/6		
s4	20-40	A	10YR7/6		
s4	40-60	A	10YR7/6		
s4	60-80	A(L)	7.5YR7/6		
s4	80-100	A(L)	7.5YR7/6		
s4	100-120	A(L)	7.5YR7/6		
s5	0-10	S	10YR5/4		
s5	10-20	SA	10YR6/6		
s5	20-40	AS	10YR7/6	Brune	
s5	40-60	AS	10YR6/6		
s5	60-80	AS	10YR6/6	Brune	
s5	80-100	AS(L)	7.5YR7/6		
s5	100-120	AS(L)	7.5YR7/6		
s6	0-10	S	2.5Y7/6		
s6	10-20	S(A)	10YR6/4	Brune	
s6	20-40	SA	10YR7/6		x
s6	40-60	AS	10YR6/4	Brune	x
s6	60-80	AS	10YR6/4		
s6	80-100	AS(L)	7.5YR7/6		
s6	100-120	AS(L)	7.5YR6/6		
s7	0-10	S	10YR7/4	Brune	
s7	10-20	SA	10YR6/4		

s7	20-40	SA	10YR7/4	Brune	
s7	40-60	AS	10YR7/4		
s7	60-80	A(S)	10YR7/6		
s7	80-100	SA(L)	7.5YR7/6	Brune	
s7	100-120	SA(L)	7.5YR7/6		
s8	0-10	S	10YR6/3		
s8	10-20	S	10YR6/2		
s8	20-40	S	10YR6/2		
s8	40-60	S	2.5Y6/2		
s8	60-80	S	2.5Y6/2		
s9	0-10	S	10YR6/6		
s9	10-20	S	10YR5/4		x
s9	20-40	SA	10YR5/4		x
s9	40-60	SA	10YR5/6		
s9	60-80	AS	10YR6/6		
s9	80-100	AS	10YR6/8		
s9	100-120	SA(L)	7.5YR6/6		
s10	0-10	S	10YR6/2		
s10	10-20	S	10YR6/2	Brune	
s10	20-40	S	10YR6/3		
s10	40-60	S	10YR4/3		
s10	60-80	S	10YR4/3		
s10	80-100	S	10YR4/3		
s10	100-120	S	2.5Y6/4	Brune	
s11	0-10	S	10YR4/4		
s11	10-20	S	10YR5/4		x
s11	20-40	S	10YR5/4		x
s11	40-60	S(A)	10YR5/4		
s11	60-80	SA	7.5YR6/6	Brune	
s11	80-100	SA	7.5YR6/6	Brune	
s11	100-120	SA(L)	5YR6/8		
s12	0-10	S	10YR6/4		
s12	10-20	SA	10YR6/4		
s12	20-40	A(S)	10YR7/6		
s12	40-60	A(S)	10YR7/6		
s12	60-80	A	7.5YR7/6		
s13	0-10	S	10YR5/3		
s13	10-20	S	10YR5/3		
s13	20-40	S(A)	10YR5/4		x
s13	40-60	SA	10YR6/4		x
s13	60-80	SA	10YR7/4	Brune	x
s13	80-100	AS	10YR7/6		
s13	100-120	AS	7.5YR7/6		
s14	0-10	S	2.5Y7/3		
s14	10-20	S	2.5Y6/3		x
s14	20-40	S(A)	2.5Y6/3		x
s14	40-60	SA	2.5Y6/2	Rouille	

Annexe 4 – Classement des sondages tarière du dispositif DAS en fonction de la texture perçue sur le terrain



Annexe 5 – Localisation des 41 parcelles permanentes au sein des 3 UPA B, C et D de la société MIL Madeira



**Annexe 6 – Caractéristiques des sondages tarières effectués sur le dispositif de MIL
Madeira (s15 à s23) et dans une terra preta (TP35, TP37)**

Sondage	Profondeur	Texture	Couleur	Taches	Charbons
s15	0-10	A(S)	10YR6/4	Brune	
s15	10-20	A	10YR6/6		x
s15	20-40	A	10YR6/6		
s15	40-60	A	10YR6/6		
s15	60-80	A(L)	7.5YR7/6		
s15	80-100	A(L)	7.5YR7/6		
s15	100-120	A(L)	7.5YR7/6		
s16	0-10	SA	10YR5/3		
s16	10-20	SA	10YR5/4		x
s16	20-40	A(S)	10YR5/4		x
s16	40-60	A(S)	10YR5/4		
s16	60-80	A(S)	10YR5/4		
s16	80-100	A	7.5YR6/6		
s16	100-120	A	7.5YR6/6		
s17	0-10	A(S)	10YR5/4		
s17	10-20	A	10YR5/6		x
s17	20-40	A	10YR5/6		x
s17	40-60	A	10YR6/6		
s17	60-80	A(L)	(7.5YR à 10YR)6/6		
s17	80-100	A(L)	(7.5YR à 10YR)6/6		
s17	100-120	A(L)	(7.5YR à 10YR)6/6		
s18 (HV)	0-10	A(L)	10YR5/4		
s18	10-20	A(L)	10YR5/4	Brune	
s18	20-40	A	10YR5/6		
s18	40-60	A	10YR5/6		
s18	60-80	A(L)	10YR6/6		
s18	80-100	A(L)	10YR6/6		
s18	100-120	A(L)	10YR6/6		
s19 (BV)	0-10	S	10YR5/4		
s19	10-20	SA	10YR5/4		
s19	20-40	AS	10YR5/6		x
s19	40-60	AS	10YR6/6		x
s19	60-80	A(S)	10YR6/6		
s19	80-100	A(SL)	10YR6/6		
s19	100-120	A(SL)	10YR6/6	Rouge	
s20 (BV)	0-10	S	10YR4/3		
s20	10-20	S(A)	10YR4/2		
s20	20-40	SA	10YR4/2		x
s20	40-60	AS	10YR4/2	Jaune	x
s20	60-80	AS	10YR6/4	Brune	x
s20	80-100	AS(L)	10YR6/6	Brune	
s20	100-120	AS(L)	7.5YR6/6	Brune	
s21 (HV)	0-10	S(A)	10YR5/4		

s21	10-20	SA	10YR5/4		x
s21	20-40	AS	10YR5/4		x
s21	40-60	A(S)	7.5YR6/6		
s21	60-80	A(SL)	7.5YR6/6	Brune	
s21	80-100	A(L)	5YR6/6		
s21	100-120	A(L)	5YR6/6		
s22 (HV)	0-10	A(S)	10YR5/4		
s22	10-20	A	10YR6/4	Brune	
s22	20-40	A	10YR6/6		
s22	40-60	A	10YR6/6		
s22	60-80	A(L)	(7.5YR à 10YR)6/6		
s22	80-100	A(L)	(7.5YR à 10YR)6/6		
s22	100-120	A(L)	7.5YR6/6		
s23 (BV)	0-10	S	10YR5/4		
s23	10-20	SA	10YR5/4	Brune	
s23	20-40	AS	10YR6/4	Brune	
s23	40-60	A(S)	(7.5YR à 10YR)6/6	Brune	
s23	60-80	A(L)	7.5YR7/6	Brune	
s23	80-100	AL	7.5YR7/6		
s23	100-120	AL	7.5YR7/6	Jaune	
TP35	0-10	S	10YR2/1		
TP35	10-20	S	10YR3/1		
TP35	20-40	S	10YR6/2		
TP35	40-60	S	10YR6/2		
TP37	0-10	S	10YR3/2		
TP37	10-20	S	10YR3/1		
TP37	20-40	S	10YR3/2		
TP37	40-60	S	10YR2/2		
TP37	60-80	S	10YR2/2		

Annexe 7 – Classement des sondages tarière du dispositif MIL Madeira en fonction de la texture perçue sur le terrain

A	A à AS	AS		SA	S
A		AS à SA			S

Annexe 8 – Description du profil MIL Madeira-1

Id : MIL1

Ouverture de la fosse : 25 octobre 2014 (3 ouvriers de la société MIL Madeira : Claudemir, Marisson et Edilson)

Description de la fosse : 26 octobre 2014

Auteur : V. Freycon

Dimension de la fosse : Longueur=1,50 m x largeur =1m x Prof.=1,20 m

Localisation :

MIL Madeira

UPA B, Parcelle permanente n°2

Relevé GPS,

WGS84, UTM 21S : x = 315455 m E ; y = 9674000 m S

Coordonnées géographiques : Latitude = 2°56'53" S ; Longitude = 58°39'38" W

Végétation : Forêt tropicale humide exploitée en 1997

Géologie : Terrasses sédimentaires du Tertiaire (formation Alter Chaco)

Antécédents climatiques : Non renseigné

Hydrologie :

Régime hydrique sec de manière saisonnière

Drainage naturel favorable

Sans excès d'eau

Géomorphologie :

Pente = 0 à 2 %

Morphologie locale : sur une pente régulière

Situation dans la forme : au sommet du versant

Profil

Le profil a été décrit à partir de la face de la fosse qui était orientée au sud. La face orientée à l'est avait une meilleure lumière et restituait mieux la couleur du sol.

Horizon 1 : 0 à 3 cm

Frais. 10YR4/3 (brown). Absence de taches. Argilo-limono-sableux. Structure grumeleuse 1 mm forte. Très poreux. Meuble. Racines fines (< 2 mm) très nombreuses, horizontales, mêlées à la terre fine. Absence d'éléments grossiers. Transition régulière sur 0,5 cm.

Horizon 2 : 3 à 8/10 cm

Frais. 10YR5/4 (yellowish brown). Taches nombreuses, moyennes, peu nettes, contrastées, dans la matrice, 10YR4/3 (brown) et 10YR5/3 (brown). Argileux. Structure polyédrique subanguleuse 40 mm forte. Poreux. Peu compact. Racines fines (< 2 mm) nombreuses. Absence d'éléments grossiers. Nombreux agrégats durs a priori formés par termites ; dans ces agrégats, observation de galeries d'1 à 2 mm de diamètre ; charbons de bois peu nombreux. Transition ondulée sur 1 cm.

Horizon 3 : 8/10 à 30 cm

Frais. 10YR6/4 (light yellowish brown). Taches assez nombreuses, fines, nettes, peu contrastées, sur les faces des agrégats, 10YR5/4 (yellowish brown). Argileux. Structure polyédrique subanguleuse 20 mm modérée. Peu poreux. Compact. Racines moyennes (2 à 5 mm) peu nombreuses et grosses (> 5 mm) rares. Absence d'éléments grossiers. Charbons de bois peu nombreux et racines décomposées peu nombreuses. Transition régulière sur 5 cm.

Horizon 4 : 30 à 60 cm

Frais à humide. 10YR6/6 (brownish yellow). Absence de taches. Argilo-(limoneux). Structure polyédrique subanguleuse 10 mm faible juxtaposée à une sous-structure microagrégée 1 mm faible. Poreux. Compact. Racines fines (< 2 mm) peu nombreuses et racine grosses (> 5 mm) peu nombreuses. 60 cm marque la limite des très grosses racines (> 20 mm). Absence d'éléments grossiers. Racine décomposée peu nombreuse. Transition régulière sur 5 cm.

Horizon 5 : 60 à 120 cm

Frais à humide. 7.5YR7/6 (reddish yellow). Absence de taches. Argilo-(limoneux). Structure microagrégée 1 mm forte, juxtaposée à une structure polyédrique subanguleuse 20 mm, faible. Poreux. Compact. Racines fines (< 2mm) rares. Absence d'éléments grossiers.

Profondeur de prélèvement des échantillons de sol par horizon :

Horizon 1 : 0-3 cm

Horizon 2 : 3-8 cm

Horizon 3 : 20 cm \pm 5 cm

Horizon 4 : 50 cm \pm 5 cm

Horizon 5 : 100 cm \pm 5 cm

Remarque : L'horizon 5 est un horizon diagnostique d'un horizon ferrallique.



Profil de sol MIL1, face orientée au sud
(Photo L. Blanc)



Profil de sol MIL1, face orientée à l'est
(Photo : L. Blanc)

Annexe 9 – Relevés GPS (WGS84, UTM 20S ou UTM21S) réalisés lors du terrain à DAS et MIL Madeira, et altitude (source SRTM à 90 m de résolution)

Id_GPS	Site	Sondage	UTM	X	Y	Altitude_SRTM
1	DAS	s3	20S	833140	9719210	141
2	DAS	centre	21S	166820	9719480	120
3	DAS	s1	21S	166560	9720430	106
4	DAS	s2	21S	166640	9720090	126
5	DAS	s4	20S	833070	9719610	139
6	DAS	s5	21S	166490	9719520	125
7	DAS	s6	21S	166510	9719450	112
8	DAS	s7	21S	166515	9719425	112
9	DAS	s8	21S	166530	9719390	112
10	DAS	s9	21S	166590	9719190	126
11	DAS	P149-P169	21S	166685	9719225	126
12	DAS	layon	21S	166900	9719180	125
13	DAS	s10	21S	167195	9719060	100
14	DAS	s11	21S	167100	9719130	117
15	DAS	DAS1	20S	833145	9719315	140
16	DAS	Valid16	20S	833110	9719400	136
17	DAS	Valid17	20S	833240	9719465	132
18	DAS	s14	20S	833210	9719050	121
19	DAS	Valid19	20S	833190	9719060	121
20	DAS	s12	20S	833280	9718935	128
21	DAS	Valid21	20S	833440	9718870	118
22	DAS	s13, DAS2	20S	833470	9718840	118
23	DAS	Valid23	20S	833400	9718950	130
24	MIL	s15	21S	315450	9674045	97
26	MIL	s16	21S	313620	9669220	59
27	MIL	s17	21S	313140	9668180	81
29	MIL	s18	21S	313175	9670965	81
30	MIL	source	21S	313035	9671010	61
31	MIL	vers source	21S	313000	9671000	61
32	MIL	s19	21S	313000	9671005	61
33	MIL	s20	21S	313545	9672220	56
34	MIL	s21	21S	313505	9672175	65
35	MIL	TP1	21S	317300	9691450	33
36	MIL	rivière	21S	317260	9691475	33
37	MIL	TP2	21S	317280	9691470	33
38	MIL	s22	21S	315110	9669750	70
39	MIL	s23	21S	315220	9669810	59
40	MIL	Profil, MIL1	21S	315455	9674000	100
41	MIL	MIL2	21S	313610	9669200	55
42	MIL	Valid42	21S	315735	9677265	103
43	MIL	Valid43	21S	317485	9671030	64
44	MIL	Valid44	21S	317575	9671080	52

Annexe 10 – Echantillons de sol de DAS et MIL Madeireira prélevés en vue d’analyses physico-chimiques

**Prélèvements au sein du profil pour classer les sols dans le WRB
(Analyse effectuées par le labo du Cirad, Montpellier, Dossier 15S006)**

Dossier	Id labo	Profil	Prof. Min	Prof. Max	Commentaires
15S006	16	MIL-1	0	3	
15S006	17		3	10	Charbons de bois
15S006	18		15	25	
15S006	19		45	55	
15S006	20		95	105	

Prélèvements au sein du profil avec un cylindre d’un volume de 250 cm³, pour mesurer la densité apparente (Analyse effectuées par le labo du Cirad, Montpellier)

Id labo	Profil	Prof. Min	Prof. Max	Commentaires
36	MIL-1	0	5	
37		5	10	
38		20	25	
39		35	40	

**Prélèvements d’échantillons composites de surface 0-20 cm avec tarière (protocole GUYAFOR) pour l’étude des relations sol-végétation
(Analyse effectuées par le labo du Cirad, Montpellier, Dossier 15S009)**

Dossier	Id labo	Site	Sondage	Prof. Min	Prof. Max	Commentaires
15S009	5	DAS	DAS1	0	20	
15S009	6	DAS	DAS2	0	20	
15S009	7	MIL	MIL1	0	20	Charbons de bois
15S009	8	MIL	MIL2	0	20	Charbons de bois

**Prélèvements de sols à la tarière pour mesurer la granulométrie
(Analyse effectuée par le labo de l’Embrapa Manaus)**

Id labo	Dispositif	Sondage	Prof. Min	Prof. Max	Commentaires
1	DAS	DAS1	0	10	Granulométrie
2			10	20	
3			35	40	
4			55	60	
5			75	80	
6			95	100	
7		DAS2 (=s13)	0	10	
8			10	20	
9			35	40	
10			55	60	
11			75	80	
12			95	100	