



PROGRAMMES AMMA - ANR GHYRAF

ETUDES GEOPHYSIQUES, GEOLOGIQUES et HYDROLOGIQUES DES SITES DE NALOHOU et BELEFOUNGOU (Djougou, Nord Bénin)



Rapport de mission

14 au 25 février 2011

Sarah Soubeyran (IRD-Cotonou)

Basile Hector (EOST Strasbourg)

Marc Desclotres (IRD-LTHE)

Maxime Wubda (IRD Cotonou)

Luc Séguis (IRD-HSM)

Table des matières

INTRODUCTION	6
1. PROSPECTIONS GEOPHYSIQUES (rédaction MD/MW)	8
1.1 Localisation des mesures géophysiques.....	8
1.2 Profil 2D de résistivité au sud du bassin d'Ara.....	10
1.3 Profils 2D de résistivité dans la zone du gravimètre supra conducteur	13
1.4 Profils de résistivité dans la zone du bas fond « Parshall »	17
1.5 Mesures de résistivité dans les fosses	18
1.6 Conclusions.....	19
2. PROSPECTIONS GEOLOGIQUES (rédaction MD)	20
2.1 Nalohou, secteur sud-est	20
2.2 Béléfougou.....	22
2.3 Axe Djougou Ouaké (et Djougou- Ndali).....	23
2.4 Conclusions.....	23
3. MESURES HYDROLOGIQUES (rédaction SS et BH)	24
3.1 Implantation des fosses	24
3.2 Infiltrométrie dans les fosses.....	25
3.3 Mesures d'infiltrométrie sur différents types d'état de surface, Nalohou.....	31
3.4 Conclusions.....	31
4. FORAGES (rédaction LS)	32
Références	34
Annexes 1 à 10 (rédaction MD/MW/SS et BH)	36 à 77

Citation de ce rapport

Soubeyran, S, Hector, B., Descloitres, M., Wubda, M., Séguis, L., 2011. Etudes géophysiques, géologiques et hydrologiques des sites de Nalohou et Béléfoungou (Djougou, Nord Bénin). Rapport de mission février 2011, Programmes AMMA et ANR Ghyraf, IRD-LTHE-HSM, 77 pages, 19 figures, 1 tableau, 10 annexes.

Table des illustrations

Figure 1 : Localisation générale des mesures réalisées fin 2010 et février 2011.....	8
Figure 2 : Zoom sur la partie SE du bassin versant d'Ara.....	9
Figure 3 : carte de résistivité apparente en traîné « Schlumberger » réalisée en 2008.....	10
Figure 4 : Résultat de l'inversion du grand profil électrique 2D traversant la majorité des structures du sud-est du bassin versant d'Ara.....	11
Figure 5 : Zoom sur deux parties du profil de la figure 4.....	12
Figure 6 : Modèle de 2 couches argileuses au sein d'un terrain uniforme.....	14
Figure 7 : Modèle de cellule pour inversion.....	15
Figure 15 : profil « cube 3 ».....	16
Figure 16 : Profil E-W en travers du bas fond « Parshall », à 20 m au sud (en amont) des piezomètres « DC ».....	17
Figure 17 : Profil E-W en travers du bas fond « Parshall », passant par les piézomètres « DC » et à 5 mètres à l'amont de la fosse « bas-fond » creusée en 2011.....	17
Figure 18 : Profil E-W en travers du bas fond « Parshall », tentative d'interprétation.....	17
Figure 19 : Effet du renouvellement de l'eau.....	27
Figure 8 : Profil « cube 1 ». L'Est est à droite de la figure.....	37
Figure 9 : Profil « cube 2 ».....	37
Figure 10 : Profil « cube 3 ».....	37
Figure 11 : Profil « cube 4 ».....	38
Figure 12 : Profil « cube 5 ».....	38
Figure 13 : Ensemble des profils de résistivité superposés.....	39
Figure 14 : Tentative de représentation des profils sur la carte de résistivité.....	39

Table des photos

Photo 1 : Schiste avec quartz dominant	20
Photo 2 : Banc de schistes-quartzites	20
Photo 3 : Surface de banc dégagé par l'érosion.	21
Photo 17 : Mesures d'infiltrométrie multi-potentiels.....	26
Photo 18 : Méthode de prélèvement de cylindres de densités	27
Photo 19 : Banc de quartz « survivant » à la latéritisation environnante.....	29
Photo 20: Infiltromètres I1 et I2.....	30
Photo 4 : Bancs de quartzite de Béléfoungou	40
Photo 5 : Fracturation au sein des bancs de quartzites.....	41
Photo 6 : Schistes pourris, avec présence d'un œil (témoin probable d'un début de fusion partielle).	41
Photo 7: Système racinaire dans les gneiss migmatitiques de Béléfoungou.....	42
Photo 8 : Schiste pourris (probablement du gneiss finement lité)	43
Photo 9 : micaschistes avec filonnet de quartz.	43
Photo 10 : Pli dans les schistes (ou gneiss migmatitiques).....	44
Photo 11 : Gros plan sur les structures du pli.	45
Photo 12 : Roche micro grenue (amphibolite ?)	46
Photo 13 : Débit en prismes à l'infini de la roche de la photo 11	46
Photo 14 : Système racinaire dégagé par la ravine	47
Photo 15 : Talus au Km 17.6.....	48
Photo 16: Talus au Km 17.6.....	49

Liste des tableaux

Tableau 1 : Résistivité apparente (en ohm.m) mesurée sur les parois des fosses par des dispositifs Wenner avec des écartements de AB/3 10 ou 20 cm.	18
--	----

INTRODUCTION

Dans le cadre des recherches hydrologiques entreprises par l'IRD et d'autres partenaires sur les sites du SO-AMMA-CATCH des programmes AMMA et ANR « Ghyraf », nous avons réalisé une mission d'étude en février 2011. Les buts de cette mission étaient de :

- a) Réaliser un grand profil géophysique de reconnaissance par prospection électrique (2 km de long) sur le versant sud du site de Nalohou. Ce profil est destiné à donner la structure de la couverture d'altérite entre 0 et 35 m de profondeur. La structure permettra de construire des géométries de sous-sol à l'échelle des modélisations entreprises dans le cadre de la thèse de Dorothee Robert (LTHE, resp ; JM Cohard).
- b) Réaliser 5 profils électriques parallèles de faible extension dans un carré centré sur le gravimètre supra conducteur du programme Ghyraf. La structure du sous sol entre 0 et 10 m de profondeur permettra i) de construire des géométries de sous-sol pour une modélisation gravimétrique (thèse de Basile Hector, EOST) pour préparer des mesures « CG5 » et ii) de replacer les fosses de la mission de D. Robert dans leur contexte géophysique.
- c) Réaliser deux profils électriques au travers du bas-fond « parshall » pour connaître la structuration du sous sol entre 0 et 5 m de profondeur et d'esquisser des scénarios de fonctionnement de ce micro site.
- d) Réaliser des mesures hydrodynamiques dans 2 fosses de profondeur moyenne (0-4m) préalablement choisies grâce à la prospection géophysique électromagnétique. Ces fosses sont caractéristiques de i) l'altérite de micaschistes/quartzites et ii) l'altérite d'amphibolites. Les « compartiments » de roche échantillonnés ainsi se trouvent aussi sur le secteur du gravimètre et des fosses pédologiques. Des mesures d'infiltrométrie à disque multi-potentiel ont été faites dans une des fosses favorable à la méthode. Une fosse supplémentaire a été réalisée dans le bas-fond parshall pour reconnaître la présence (ou non) d'argile.
- e) Réaliser des essais d'infiltrométrie couplés avec des tensiomètres sur 5 états de surface différents (jachère, mil, igname, anacardiens et bas-fond) en vue de compléter le jeu de données de D. Robert.
- f) Effectuer des reconnaissances géologiques locales dans le secteur du gravimètre pour confirmer l'orientation des structures.
- g) Effectuer des reconnaissances géologiques sur le site de Béléfoungou afin de connaître la nature et l'orientation du substrat rocheux. (thèses Richard et Hector)
- h) Réaliser une reconnaissance géologique de 2 axes routiers (Djoungou-Ouaké et Djoungou-N'dali) afin de repérer des affleurements d'altérites propices à de futures investigations RMP et infiltrométrie (ou échantillonnage). (thèse Richard).
- i) Réaliser des forages à Béléfoungou en vue de l'implantation de traceurs pour l'étude du flux de sève (thèses Hector et Richard (?)).
- j) Réaliser une fosse de 3.5 m à Béléfoungou pour réaliser des essais d'infiltrométrie sur les carapaces (cuirasse non consolidée), trait majeur des versants de cette zone.

L'ensemble de ces observations et mesures serviront à :

- préciser l'implantation éventuelle de stations de gravimétrie FG5

- connaître les variations de la conductivité hydraulique sur des endroits clefs et en profondeur
- échantillonner des cylindres de densité pour des essais en laboratoire
- échantillonner des altérites pour des études RMP sur échantillons
- évaluer des sites pour des sondages RMP 2 et 3D
- connaître la variabilité géologique des substrats rocheux des sites
- alimenter la construction de modèles hydrologiques locaux (et régionaux)
- préparer de futures missions de régionalisation des paramètres hydrologiques des aquifères de socle afin d'évaluer la représentativité des sites de AMMA Catch versus le fonctionnement hydrique des couvertures d'altération.
- Préparer l'information sur le site de Nalohou pour la réalisation d'une mission de bruit de fond sismique (projet déposé à l'Université de Grenoble par M Descloitres et M Wathelet)

Ce rapport ne présentera pas les sites, déjà largement décrits dans d'autres rapports de mission et publications actuellement disponibles (cf. références), les méthodes non plus. Seules sont données des indications sur les modes d'acquisition et le type d'appareillage utilisé, ainsi que la procédure de traitement spécifique. Les données acquises seront annexées sous forme de fichiers disponibles sur le site AMMA Catch une fois que les différents acteurs auront analysé les données.

La mission s'est déroulée à Djougou du 14 au 25 février 2011. Les participants étaient :

- Marc Descloitres, géophysicien IRD-LTHE,
- Luc Séguis, hydrologue IRD-HSM,
- Maxime Wubda, ingénieur hydrologue IRD-Cotonou,
- Sarah Soubeyran, VI IRD Cotonou
- Basile Hector, thèse EOST
- Simon Afouda, IRD Cotonou
- Théo Ouani, IRD Cotonou
- Cette mission a bénéficié de l'appui logistique efficace du personnel de l'IRD à Cotonou
- Jacques Hinderer et Bernard Luck ont participé à la définition de certains objectifs de mission
- Gilbert Ferhat (EOST) a levé les points topographiques au GPS différentiel : merci à lui !

1. PROSPECTIONS GEOPHYSIQUES

Note : la présentation des images géophysiques est, à ce stade du rapport (fin-mars 2011), imparfaite : la topographie (très peu marquée) n'est pas utilisée pour représenter les résultats. Les coordonnées GPS précises sont données dans des tableaux en annexe. Les résultats sont représentés à l'aide de « copies d'écran » issus des calculs d'inversion (qui eux, sont menés avec toute la rigueur nécessaire) de manière à pouvoir mettre à disposition les résultats obtenus le plus vite possible pour les études en cours (Thèses Robert/Hector/Richard en particulier).

1.1 Localisation des mesures géophysiques

Les figures 1, 2 et 3 présentent la localisation des mesures réalisées sur le site de Nalohou fin 2010 et en février 2011. La figure 1 permet de situer les zooms des figures 2 et 3.

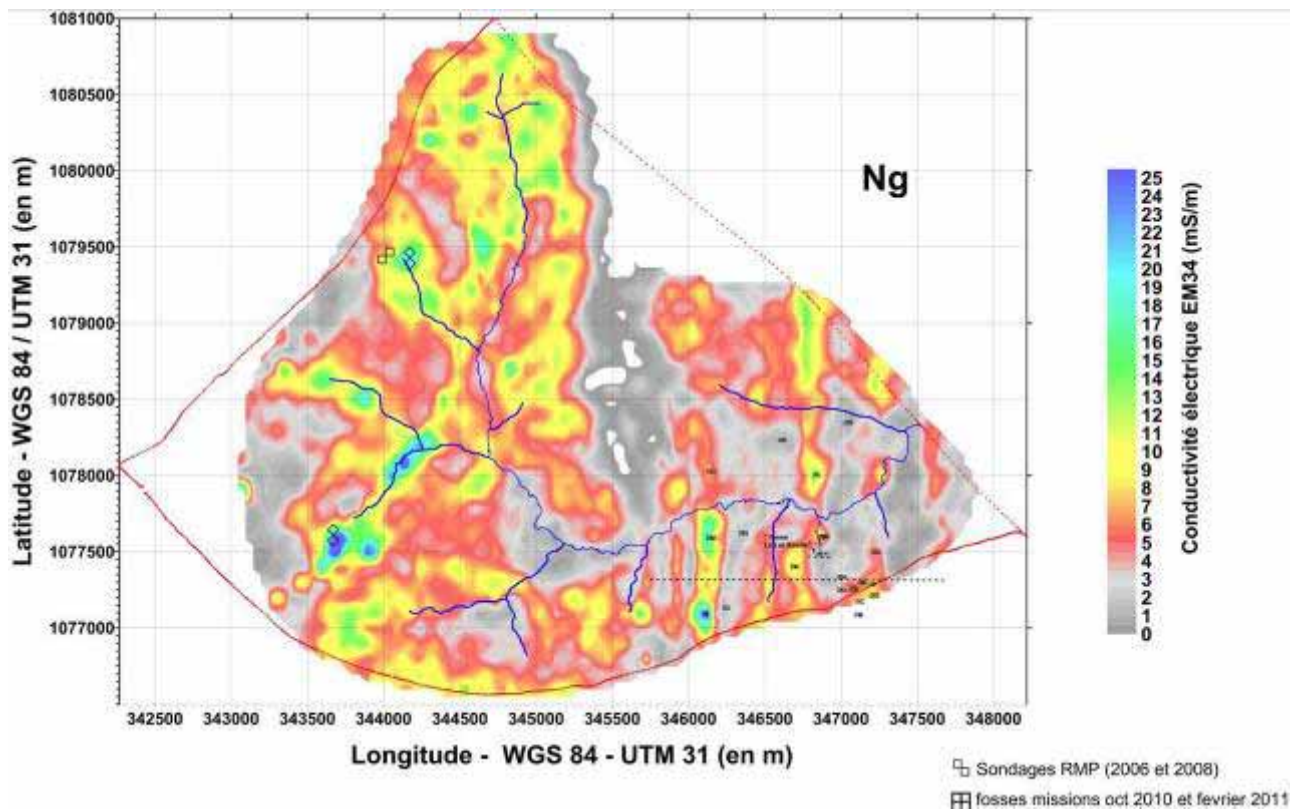


Figure 1 : Localisation générale des mesures réalisées fin 2010 et février 2011.

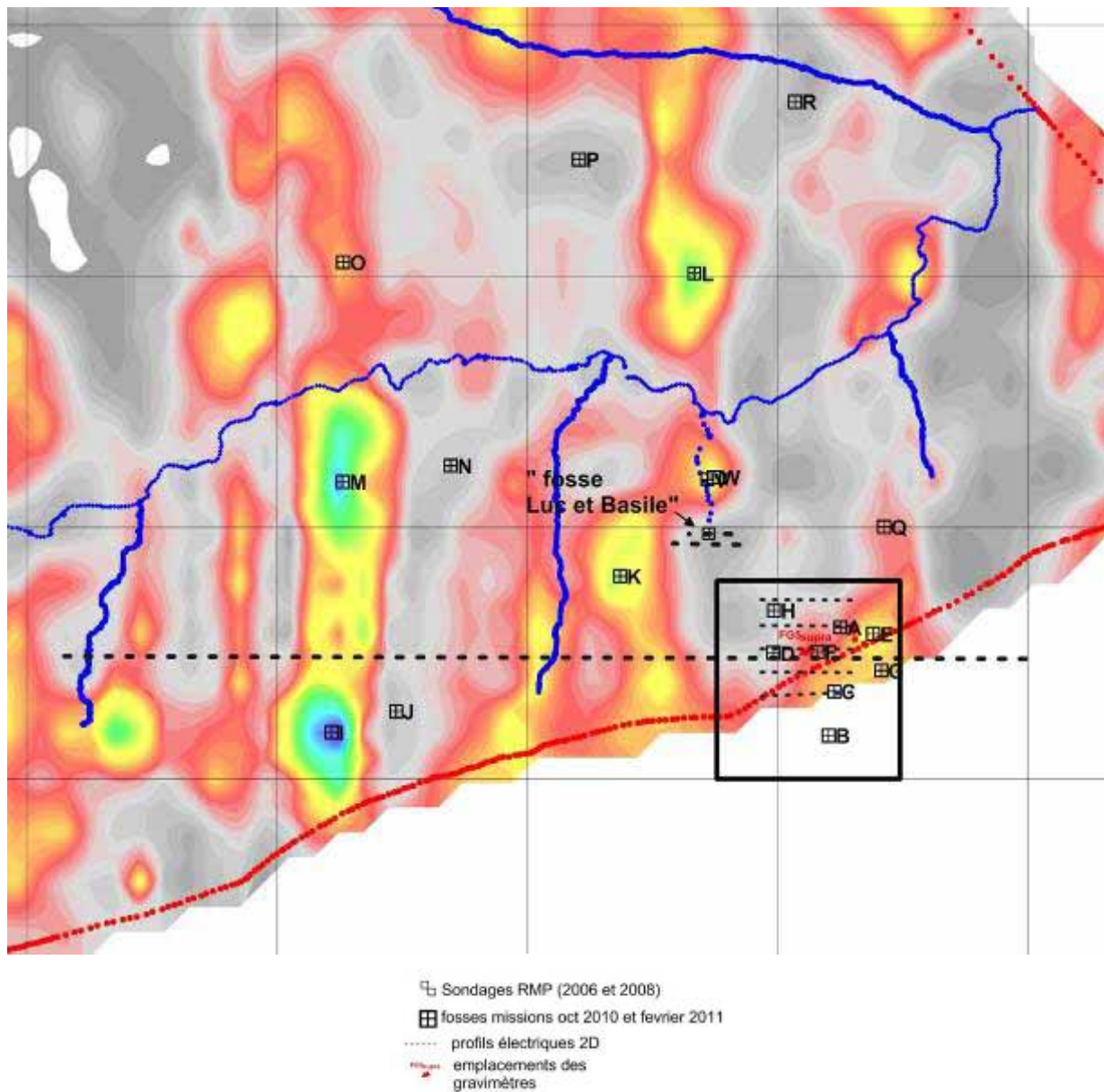


Figure 2 : Zoom sur la partie SE du bassin versant d'Ara.

Les fosses étudiées par Dorothée Robert entre 0 et 1.5 m de profondeur sont indiquées sur la figure 2 ci-dessus (se reporter à son rapport de terrain pour plus de détails). Le cadre noir situe les limites de la carte de résistivité.

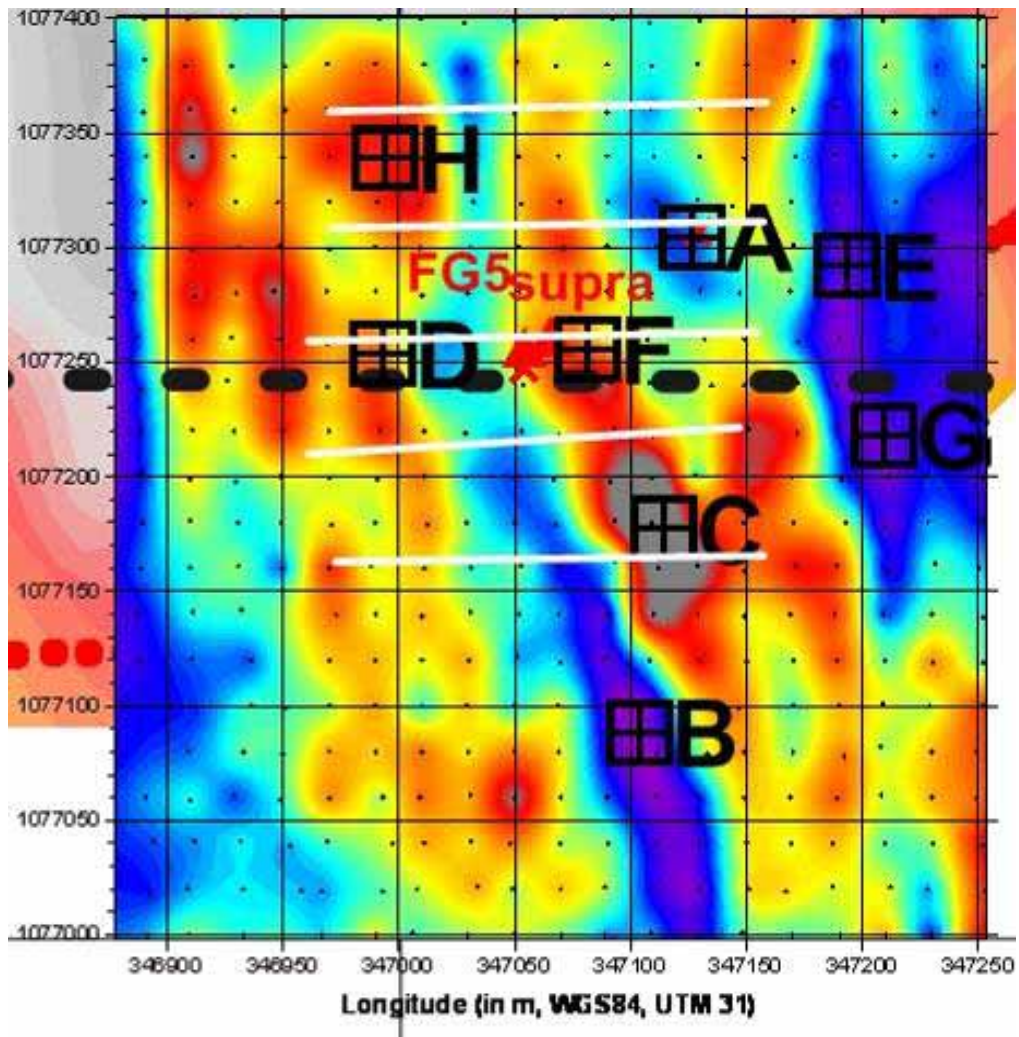


Figure 3 : carte de résistivité apparente en traîné « Schlumberger » réalisée en 2008 et positionnement des fosses étudiées. Les traits blancs montrent la position des profils électriques réalisés autour du gravimètre. Le profil « 1 » est au sud, le « 5 » au nord.

La figure 3 présente la carte de résistivité apparente en traîné « Schlumberger » réalisée en 2008 (voir rapport Desclotres et al., 2008, pour Ghyraf). Les fosses étudiées en 2011 (creusement jusqu'à 3.5 m de profondeur environ) sont les fosses C et E. Les tracés des 5 profils électriques 2D (dits « profils cube ») Le profil « cube 1 » est situé au sud, le profil « cube 5 » au nord. La position exacte des gravimètres est en attente de précision.

1.2 Profil 2D de résistivité au sud du bassin d'Ara

Le profil a été acquis en deux fois, une première partie en novembre 2010, et puis complété en février 2011. De légères variations de la résistivité pourraient se manifester entre les abscisses 1260 et 1530 m, mais surtout dans les horizons de surface (0-5m). Cela ne sera pas perceptible plus profondément.

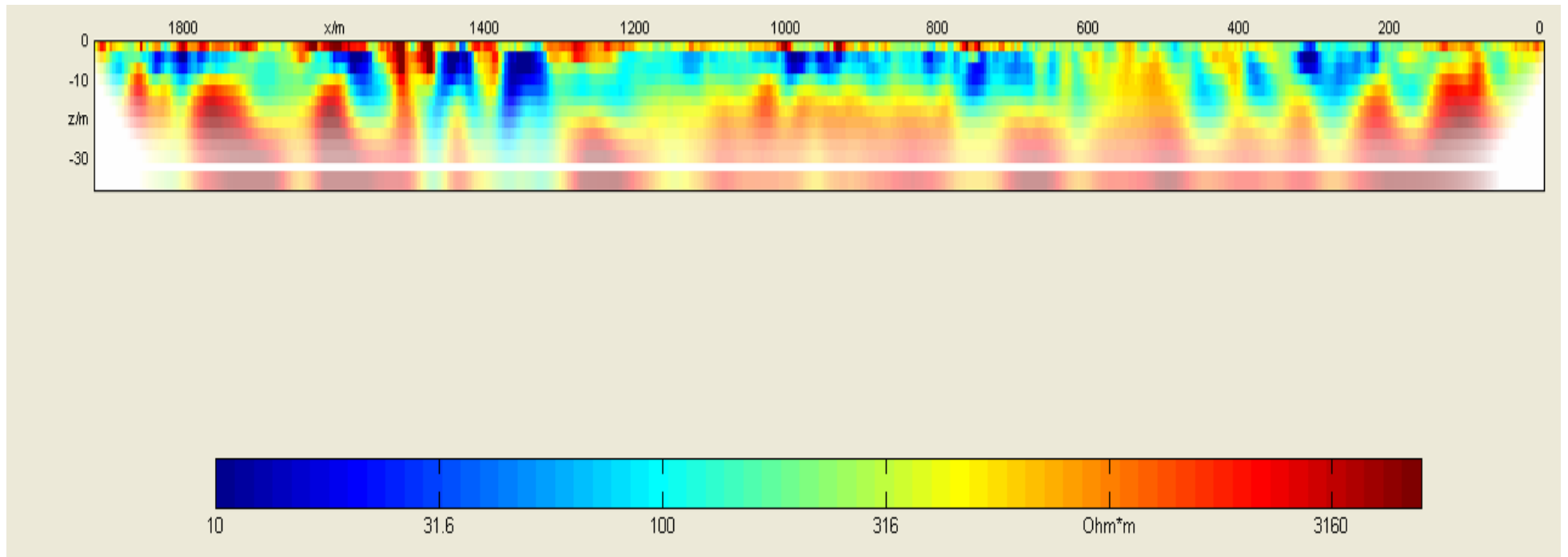


Figure 4 : Résultat de l'inversion du grand profil électrique 2D traversant la majorité des structures du sud-est du bassin versant d'Ara. L'Est se trouve à droite de l'image (coordonnée « 0 »).

La résistivité électrique est représentée en couleur, depuis une valeur de 10 ohm.m (bleu) jusqu'à une valeur de 5000 ohm.m (brun). La succession des différentes formations géologiques, plus ou moins argileuses, apparaît nettement. (Attention à la dilatation de l'échelle verticale).

Les mêmes emplacements ont été utilisés pour les électrodes, assurant un recouvrement parfait entre les jeux de données. L'écartement est de 4 m entre les électrodes. Les protocoles sont Wenner alpha et bêta. Le Wenner bêta s'est révélé très bruité par endroit et n'est pas incorporé dans l'inversion à ce stade de l'étude.

Le profil a été choisi pour recouper perpendiculairement les structures majeures du sud-est du bassin versant. Le profil (présenté figure 4) montre une alternance de compartiments conducteurs et résistants, conformément à notre attente. Grâce à la reconnaissance effectuée dans la fosse E, nous savons maintenant que les résistivités de 17 ohm.m sont tout à fait plausibles, et correspondent à des formations argileuses très conductrices dont l'épaisseur peut varier de quelques mètres à plus de 30 mètres, si l'on en croit l'inversion. Cela avait déjà été remarqué sur les coupes électriques faites dans la formation de gneiss migmatitiques au travers du bas fond BF4 (voir rapport Descloitres et al., 2003). Le pendage de 20° constaté dans nombre d'affleurements (bien que parfois légèrement différent comme l'atteste un pli peu marqué et très local dans la fosse C) n'apparaît pas clairement, surtout avec une telle distorsion graphique entre X (1900 m) et Z (30 m). Lorsqu'on respecte l'échelle X=Z, on retrouve ce pendage estompé, comme ci-dessous sur des structures bien marquées (figure 5). Cependant, on aura du mal à parfaire ces images par une inversion adaptée à ce cas de pendage. On constate aussi que les formations altérées gorgées d'eau provoquent une chute de la résistivité qui atténue l'image de continuité des bancs résistants, trompant probablement ainsi l'interpréteur.

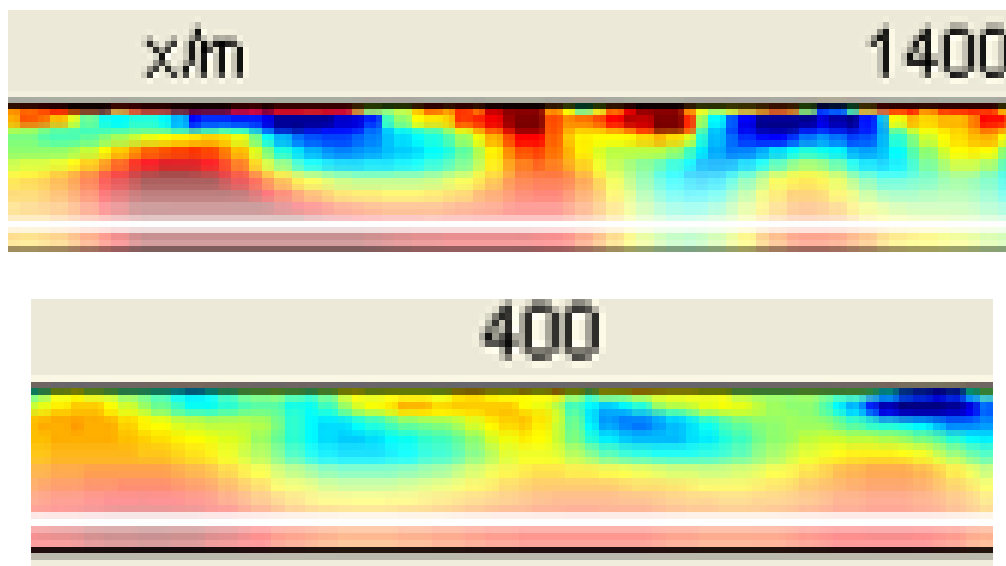


Figure 5 : Zoom sur deux parties du profil de la figure 4.

Le pendage vers l'Est des formations apparaît surtout sur le dos des bancs de schistes. Les bancs argileux (couleur bleue) se terminent en profondeur lorsque le sol redevient moins altéré.

Cette coupe géophysique confirme la complexité de l'alternance des différents bancs (formations) de roche, superposés ici avec un pendage de 20° est. Les disparités de conductivité électrique obtenues dans la fosse « C » montrent qu'il est difficile de relier la valeur de la résistivité des compartiments résistants avec des valeurs de conductivité hydraulique des formations. Nous avons déjà trouvé ce résultat en RMP. En revanche, la coupe électrique confirme la présence de formations argileuses très conductrices électriquement, et probablement non conductrices hydrauliquement parlant (sauf à l'occasion de percolations dans les fentes, phénomène qui reste à mettre en évidence). Il faut donc en tenir compte dans les scénarios d'écoulement souterrain : il faut imaginer des « remparts » latéraux au flux (en ZNS et en zone saturée), et des écoulements pour le moins en 2D, avec une direction d'écoulement préférentielle du sud vers le nord (dans la direction des versants). L'eau de pluie, tombée et infiltrée au dessus des compartiments argileux doit être forcément drainée latéralement dans des compartiments de plus grande conductivité hydraulique. Le pendage de la schistosité pourrait aussi jouer un rôle : celui de conduire l'eau préférentiellement vers la profondeur, dans le sens des bancs (vers l'est). Pour évaluer si une anisotropie de conductivité hydraulique existe (qui serait due à la schistosité), nous avons effectué des prélèvements de cylindre de densité apparente selon les 3 axes au sein de bancs de schistes altérés (voir description de la fosse C). Le pendage peut aussi jouer un rôle de « plancher » lorsque certaines couches d'argiles, concordantes avec la stratification, existent (voir le résultat obtenu sur le Parshall). Enfin, les épaisseurs d'altérations sont importantes et peuvent atteindre plus de 30 mètres. Toute étude future sur l'exfiltration par le bas de l'aquifère devra donc s'intéresser à des profondeurs importantes. Nous rappelons aussi que la logique d'organisation de la résistivité obtenue sur cette coupe peut être étendue vers le nord et vers le sud, car nous savons que cette logique suit l'organisation des formations, orientées nord-sud.

1.3 Profils 2D de résistivité dans la zone du gravimètre supra conducteur

Les données ont été acquises avec un écartement unitaire d'électrode de 2 mètres afin de caractériser à la fois les 5 premiers mètres (zone de battance de la nappe) et les structures sous jacentes. Les profils font 190 m de long, orientés est-ouest perpendiculairement aux structures, comme il se doit. Les dispositifs géométriques utilisés sont le Wenner alpha et le Wenner bêta, capables, lorsqu'ils sont combinés lors de l'inversion de données, de restituer les structures complexes du sol (Descloitres et al, 2008). Néanmoins, la restitution des pendages (20° Est) n'est pas garantie car la méthode souffre ici de difficultés certaines pour contraindre l'inversion en obligeant une « recherche numérique » des solutions guidées par la logique du pendage. L'inversion utilise le logiciel DC2DINVRes développé par Thomas Günther (LIAG, Hanovre). Les options d'inversion comprennent des options efficaces, déjà testée en Inde sur un site similaire (Descloitres et al, 2008). Elles comprennent :

- le mode « Blocky »
- un facteur d'amortissement faible capable de restituer des variations brusques de résistivité (smooth 12.8)
- un maillage fin de cellules tel que celui présenté ci-dessous
- la combinaison des deux séries de données (alpha et bêta)

Nous rappelons que ces images traduisent imparfaitement les distributions de la résistivité électrique du sous sol, et ne sont en aucun cas une image de distribution de teneur en eau ou de

conductivité hydraulique. Elles serviront néanmoins à tracer les contours souterrains des compartiments d'altérite, dont les propriétés hydriques sont estimées par d'autres méthodes (RMP, infiltrométrie par exemple). Enfin, la présence d'eau au sein de certains bancs peut les faire apparaître comme discontinus dans la partie altérée de ceux-ci

Des modélisations synthétiques permettent de se rendre compte de la qualité de restitution de la méthode d'imagerie de résistivité. Sur la figure 6, nous avons construit un modèle simple, deux bancs conducteurs au sein d'un ensemble plus résistant. Il s'agit d'un modèle de 2 couches argileuses avec un pendage vers l'est au sein d'un terrain uniforme (en haut) et une restitution de l'inversion en utilisant les paramètres optimisés (en bas). Les déformations obtenues sont difficilement améliorables à ce stade de l'étude.

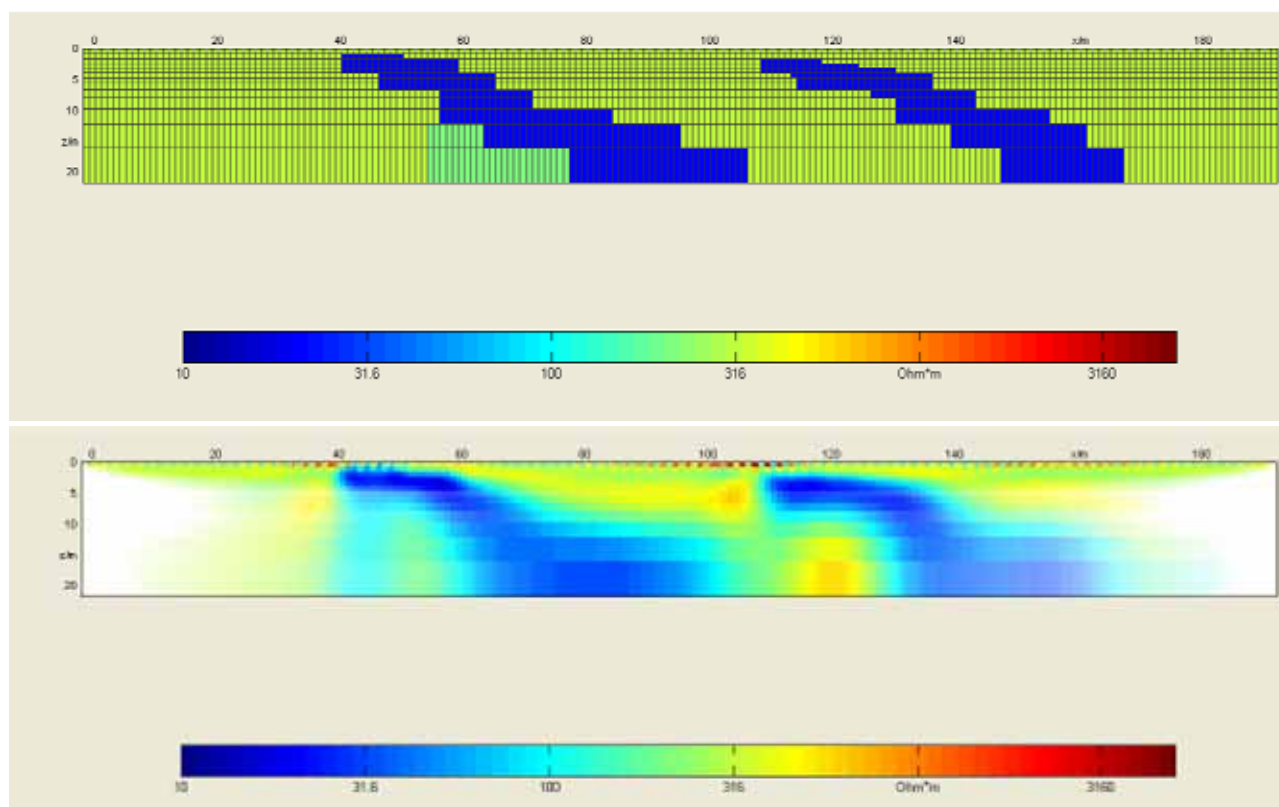


Figure 6 : Modèle de 2 couches argileuses au sein d'un terrain uniforme

Même dans un cas où les données seraient non bruitées (comme cet exemple synthétique) l'inversion peine à reproduire fidèlement les couches et leur pendage, particulièrement en profondeur. Je suggère donc que, lors de la construction des cellules du modèle gravimétrique, les bancs distingués en superficie soient prolongés directement selon le pendage 20° , sans tenir compte des distorsions observées dans les images en profondeur. Je reprends plus loin une esquisse d'interprétation pour le profil « cube 3 » le plus proche des gravimètres.

Le modèle de cellule adopté pour l'inversion est le suivant :

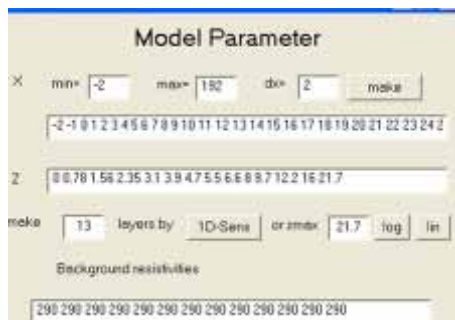


Figure 7 : Modèle de cellule pour inversion

Les profils 1 à 5 sont présentés en annexe pour alléger le corps de ce rapport.

➤ Modèles gravimétriques possibles.

La traduction des images de résistivité en grands ensembles de « variation de densités différentes » est moins facile que nous l’espérions : en effet, la restitution des pentages n’est pas optimum par la méthode électrique. D’autre part, il est aussi possible que la logique du pendage ne soit pas forcément respectée d’un banc géologique à l’autre, l’altération pouvant s’établir aussi dans des zones de faiblesses à la faveur de fractures. Sur la figure 8 je propose néanmoins, à partir du profil cube 3, deux modélisations possibles, par lesquelles nous pourrions commencer. Le modèle A tente de respecter la logique de pendage, alors que le modèle B est celui qui suppose une restitution très fidèle de la distribution de la résistivité dans le sol. Ensuite, il faut bien attribuer les valeurs de porosité de drainage. Ces dernières sont issues de la RMP (on fait l’hypothèse que la RMP maximise la porosité de drainage). La figure 8 représente le profil « cube 3 » et des tentatives de traduction des images de résistivités en terme de variations latérales de porosités de drainage (en %), pour alimenter une modélisation gravimétrique « CG5 ». Attention, la position exacte des gravimètres est imprécise ici. Nous attendons les positionnements GPS. Pour la modélisation gravimétrique, seule la zone de battance de la nappe est à considérer, le reste ne variant pas dans le temps.

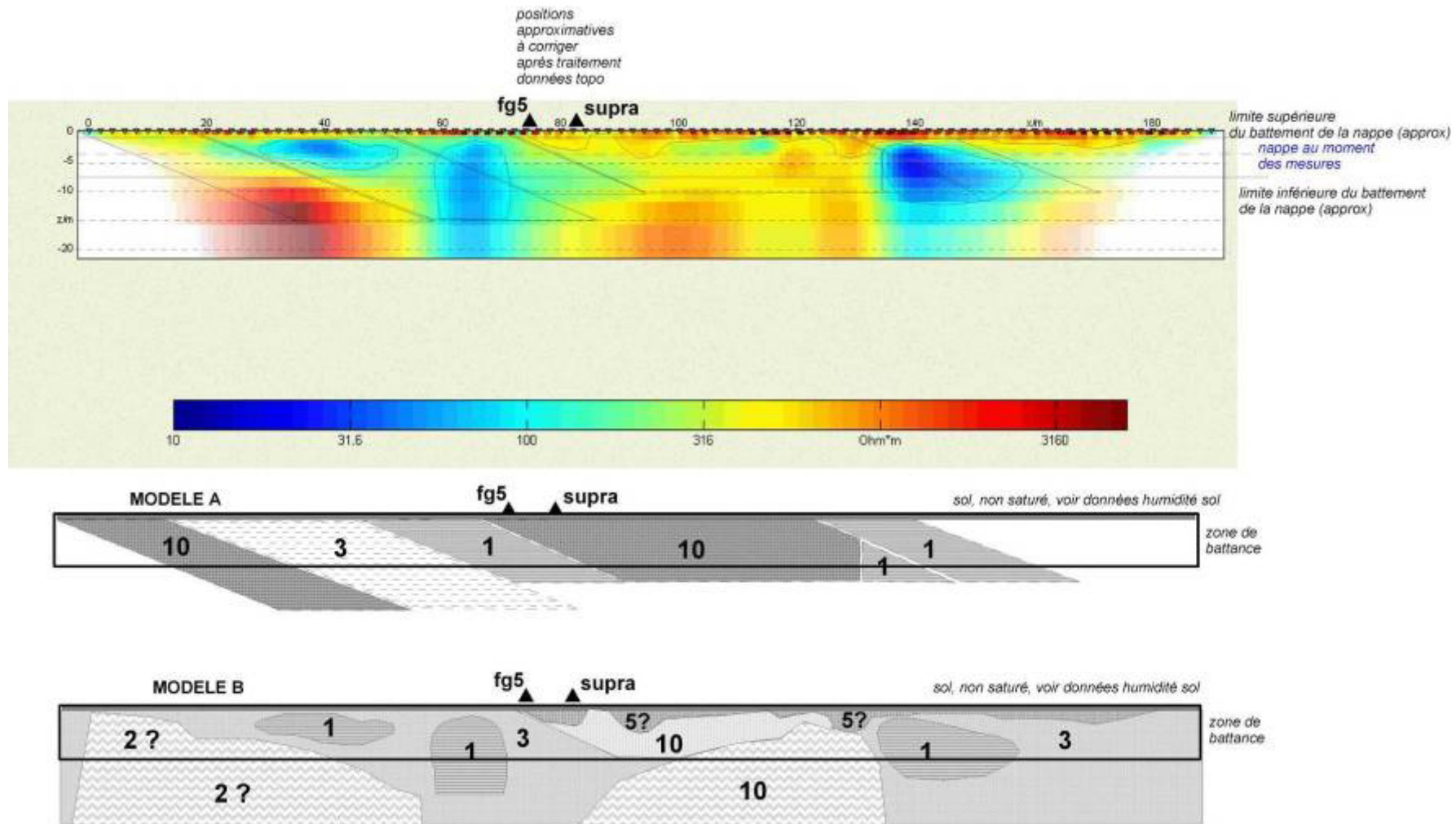


Figure 8 : profil « cube 3 ».

1.4 Profils de résistivité dans la zone du bas fond « Parshall »

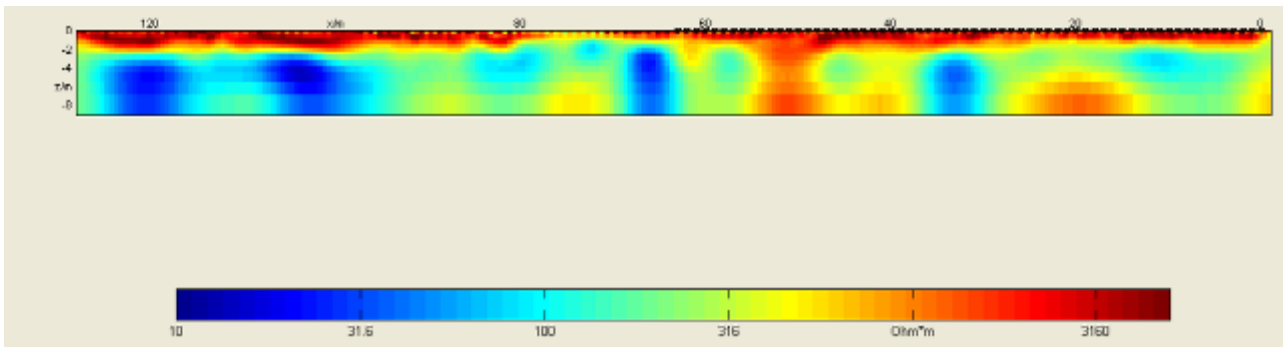


Figure 9 : Profil E-W en travers du bas fond « Parshall », à 20 m au sud (en amont) des piézomètres « DC ».

Comme pour tous les profils de ce rapport, l'Est est à droite de l'image.

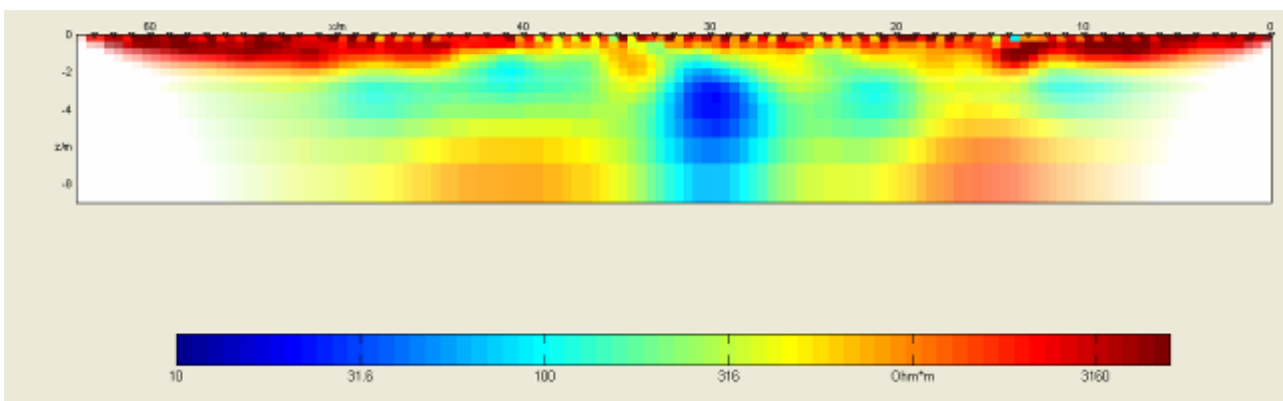


Figure 10 : Profil E-W en travers du bas fond « Parshall », passant par les piézomètres « DC » et à 5 mètres à l'amont de la fosse « bas-fond » creusée en 2011.

Sur la figure 11 ci-dessous, j'ai représenté les tracés des cuirasses probables et la position très approximative de la couche argileuse repérée dans la fosse (20 cm d'épaisseur, ce qui la rend totalement invisible par la méthode malgré le fait qu'elle possède une résistivité de 10 ohm.m...). On distingue la marque d'une infiltration possible vers le bas, ou d'une pénétration de l'altération, plus argileuse, favorisée peut être par des infiltrations ou des circulations préférentielles d'eau sous la ravine. Cette zone étant gorgée d'eau, les limites de bancs à 20° ne sont pas nets.

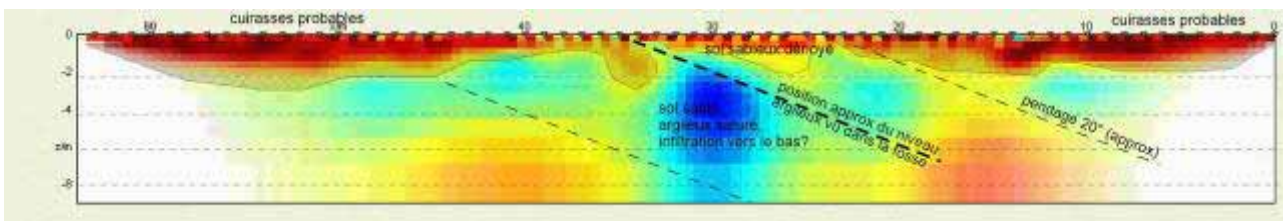


Figure 11 : Profil E-W en travers du bas fond « Parshall », tentative d'interprétation.

Le niveau piézo dans les piézos DC est de 3.36m/ surface du sol le 21/2/11. La conductivité électrique de l'eau est de 134 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour DC4 dont la crépine est à 12m de profondeur. La conductivité électrique de l'eau est de 68 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour DC5 dont la crépine est à 5m de profondeur

1.5 Mesures de résistivité dans les fosses

Des mesures de résistivités dans certaines fosses ont été réalisées lors de la mission d'octobre 2010 (voir les résultats dans le rapport de D. Robert). Je rappelle ci-dessous les résultats (tableau 1), en y incorporant les nouvelles données plus profondes dans les fosses C et E. Pour la fosse « bas-fond », se reporter à la fiche de cette fosse (présente en annexe). On constate que les résistivités sont relativement élevées dans les 2 premiers mètres, rendant ces terrains assez « transparents » aux champs magnétiques générés par les appareils électromagnétiques. Dans la fosse E, des résistivités de l'ordre de 20 ohm.m sont mesurées pour le terrain argileux humide: ce sont ces terrains qui ont été détectés par l'appareil EM 38 utilisé pour la cartographie électromagnétique autour des fosses (cf rapport de D. Robert).

Prof. (m)	Fosse C	Fosse B	Fosse A	Fosse E	Fosse D	Fosse « bas-fond »
0.2	2170				2000	
0.35	1450				1300	
0.5			3200			
0.65	905	490			900	
1.0		390	610			177.7
1.3		208				
1.5	550/828				500	234.3
1.8	450		270		500	10.4
1.9	560/1341					
2.0				31.5		67
2.2	1688					
2.3				23.7		211.2
2.4	820					
2.60				17.8		
2.8	2010					

Tableau 1 : Résistivité apparente (en ohm.m) mesurée sur les parois des fosses par des dispositifs Wenner avec des écartements de AB/3 10 ou 20 cm.

1.6 Mesure de la position et de l'azimut de la ligne à haute tension

X= 344937 Y= 1076578, direction N359° magnétique.

1.7 Conclusions

Les images géophysiques de résistivité en 2D, perpendiculairement aux structures géologiques, permettent de décrypter l'agencement de la couverture d'altération des formations de schistes, amphibolites et quartzites dans la partie sud-est du bassin versant d'Ara. Les images de résistivités ont toutes été calculées avec une hypothèse de structuration 2D de ces formations. Cette hypothèse est parfaitement valide car les cartes de résistivités, faites à toutes les échelles, montrent des alignements nord-sud de bandes successives. Les épaisseurs d'altérations sont difficiles à calculer à la seule connaissance de la résistivité, car certains terrains très altérés (par exemple certains bancs de la saprolite de schistes de la fosse C) sont aussi résistants qu'une roche massive lorsqu'elle est désaturée. Cela est probablement dû au fait que ces bancs ne sont pas du tout argileux et contiennent une eau très faiblement minéralisée (de l'ordre de $50\mu\text{S}/\text{cm}$ ou moins). En conséquence, je pense que ce sont plutôt les zones conductrices des images géophysiques que nous pouvons relier à des paramètres hydrodynamiques : elles sont le témoin de la présence d'argiles d'altérations. Ces zones sont très probablement des barrières à l'écoulement, tant vertical que latéral. La présence de ces formations argileuses doit favoriser la formation de nappes perchées temporaires (fait déjà relaté en 2003 et pris en compte dans certaines modélisations hydrologiques depuis). *Mais il ne faut pas considérer que ces zones argileuses sont continues latéralement, au contraire.* La présence de nappes perchées doit à mon avis être un phénomène assez discontinu.

Enfin, la pénétration de l'altération au sein des formations est probablement compliquée par le pendage (et de la schistosité, concordante avec le pendage) et la présence de cuirasses en surface qui peuvent protéger les altérites d'une érosion rapide. Il n'est pas exclu que des infiltrations profondes se produisent à la faveur de fractures, comme déjà évoqué en 2003 lors des premières missions géophysiques (rapport Descloitres et al., 2003). Ces fractures, indétectables en géophysique de surface, pourraient conduire un flux souterrain régional vers l'Est. Reste à trouver comment mettre en évidence ce genre de phénomène, avec une approche méthodologique qui reste à inventer (ou à dénicher dans la bibliographie : géochimie, datations, forage et diagraphies géophysique, essais d'injection, suivi à long terme des niveaux piézo ?).

2 PROSPECTIONS GEOLOGIQUES

2.1 Nalohou, secteur sud-est

2.1.1 Affleurement schiste GPS 346927/1077720, pendage N0°, 20°est.



Photo 1 : Schiste avec quartz dominant proche de la ravine. Le pendage de 20 ° Est nettement visible et mesurable.

Affleurement caractéristique de la série des mica-schistes avec quartz, avec passés amphibolitiques. X= 345987 Y= 1077224. Ancienne carrière de dalles, cet affleurement présente des bancs décimétriques de schistes à micas blancs à très forte proportion de quartz, *similaires à ceux observés le long de la route au nord du bassin d'Ara*. C'est un affleurement exemplaire (photo 2).



Photo 2 : Banc de schistes-quartzites. Les bancs présentant des oxydes de fer et des vacuoles sont nettement apparents au dessus du GPS. La photo est prise vers le Sud, et on distingue nettement le pendage de 20° vers l'Est.

Les schistes sont parfois vacuolaires, comme en témoignent de spectaculaires vacuoles sur les surfaces de bancs (photo 3). J'estime leur porosité à 20%. La présence d'indices de circulation des eaux au sein de ces formations quartzitiques se confirme donc, et il serait important de confirmer la présence de ce type de vacuoles en profondeur (ou non). Direction N0°, pendage 20° Est : on confirme donc le pendage des formations géologiques dans cette zone du bassin versant. Ce pendage est observé sur d'autres affleurements (cf photo 1, et dans la fosse « C »). Le pendage des couches est concordant avec la schistosité. Je pense donc que la schistosité a ici une origine lithologique (et non tectonique de type faille de cisaillement ou autre).



Photo 3 : Surface de banc dégagé par l'érosion. Au sein des schistes-quartzites les vacuoles sont ici dégagées et on remarque qu'elles sont interconnectées, ce qui est probablement le témoin de circulations d'eau lors de l'ouverture de fractures concordantes avec les surfaces de bancs, avec dépôts d'oxydes de fer . L'autre hypothèse pourrait être la dissolution de minéraux au sein d'un banc de roche riche en ferromagnésiens, de faible épaisseur. Ces deux hypothèses font de toute façon appel à la présence d'eau...

Cet affleurement présente également à 10 m à l'ouest, de l'amphibolite massive, comme « injectée » dans les schistes. Les cristaux d'amphibolite sont en bâtonnets (voir échantillon). Cette amphibolite est probablement à l'origine des altérations conductrices repérées lors des prospections électromagnétiques dans cette zone. On confirmerait donc ici l'association «altérites conductrices/présence d'amphibolite».

2.2 Béléfoungou

Le but de ces reconnaissances géologiques à Béléfoungou était :

- a) de tenter de connaître le type de substrat rocheux, inconnu (la carte géologique indique des gneiss migmatitiques et des schistes quartzitiques du même type que ceux observés à Ara.
- b) de connaître l'orientation principale des structures géologiques de manière à savoir si les profils de résistivité électrique existants sont bien orientés ou non, et de savoir comment les orienter à l'avenir si des mesures géophysiques sont entreprises à Béléfoungou (carte électromagnétique par exemple).
- c) de savoir s'il est possible de trouver des endroits favorables à des tests d'infiltration destinés à commencer le travail de spatialisation régional (thèse Alois Richard entre autre)

J'ai réalisé 2 itinéraires, depuis le sommet du versant, l'un partant vers le Sud-Ouest (ravine la plus marquée) l'autre vers le nord-est (petite ravine en aval du versant étudié). Ces deux itinéraires permettent de repérer la coupe de l'altération sans avoir à faire un forage : au sommet on rencontre, outre le sol forestier, des cuirasses latéritiques massives, au milieu desquelles émergent des arbres dont les racines s'insinuent dans les fractures des cuirasses. En descendant le versant, les cuirasses se démantèlent suite à l'action de l'érosion (et des racines ?). Elles laissent ensuite la place à des horizons gravillonnaires classiques (zones de carapace). Les versants sont ensuite plus argileux (couleur blanche, ocre, grise selon les endroits). On arrive enfin dans des horizons probablement moins argileux (présence de sable, de minéraux et de petits cailloux de roche) qui surmontent une roche pourrie la plupart du temps (la saprolite). Parfois les roches sont non altérées. On ne trouve des affleurements que dans les ravines. Le fait de rencontrer des matériaux d'altération de plus en plus profonds, mais dégagés par l'érosion et ce, en descendant les versants pourrait être favorable à la réalisation de mesures d'infiltrométrie caractérisant les différents niveaux de la couverture. Mais, méthodologiquement, il faut prendre garde à ne pas mesurer sur des horizons qui auraient été transformés récemment par la pousse de la végétation. Je préconise donc de réaliser des fosses le long des versants, mais à 2m de profondeur, pour tenter de s'affranchir des racines. Dans les ravines, ces conditions sont difficiles à réunir, car de nombreuses racines parcourent les sols dans ces zones très humides. Certaines coupes naturelles dans les ravines seraient cependant intéressantes à caractériser. Il faut enfin noter que de telles expériences ne pourraient être implantées qu'à la saison sèche, sans végétation (décembre à mars)

Les principaux résultats de mes observations sont résumés sur une fiche en annexe. Cette reconnaissance n'est pas exhaustive, et on pourra continuer les observations en suivant les ravines plus loin vers l'est si nécessaire. Les observations y sont décrites point par point avec leurs coordonnées géographiques (UTM, WGS 84). Pour résumer ces observations, je dirai que le substratum rocheux de Béléfoungou serait bien de la formation de gneiss migmatitiques. Nous sommes dans une formation jugée, par les géologues, identique à celle de la partie Ouest du bassin versant d'Ara, où nous n'observons pas dans la carte électromagnétique de structurations marquées (contrairement à la partie Est du bassin d'Ara). Ici, à Béléfoungou, la structuration est encore inconnue, sans réaliser une carte électromagnétique. Quoiqu'il en soit, la présence à 10 mètres d'intervalle, d'une quartzite fracturée et d'un schiste ocellé (avec des micas abondants) nous font conclure que la formation dite de « gneiss migmatitique » peut prendre, dans le détail, des faciès assez différents. On note aussi que les pendages des bancs et de la schistosité sont très accentués à

béléfoungou, contrairement à Ara, et que cela doit favoriser les infiltrations profondes ainsi que la présence de compartiments hydrologiques aux propriétés très variables latéralement (comme en Inde, cf Descloitres et al, 2008). On retrouve donc une logique qui privilégie les variations latérales des roches assez rapide (en quelques décimètres la nature des roches peut changer). Cette remarque, importante lorsqu'on veut tenter de spatialiser régionalement certains paramètres hydrodynamiques, est confirmée par les observations faites, où la nature des roches varie beaucoup en quelques centaines de mètres ! Une remarque supplémentaire : l'orientation N10° de cette formation de gneiss se confirme de façon globale à Béléfoungou même si des variations locales sont aussi observées. En conséquence, *l'orientation des profils géophysiques doit être positionnée est-ouest*. Cela n'est pas le cas des profils réalisés par le passé (à l'exception du profil P04 pour lequel l'hypothèse 2D du calcul des résistivités peut être validé).

2.3 Axe Djougou Ouaké (et Djougou- Ndali)

Le but de cette reconnaissance était d'effectuer des repérages géologiques en vue d'identifier d'éventuels points remarquables et caractéristiques des couvertures d'altération de la région, en profitant de l'ouverture récente d'une route (société Colas) entre Djougou et Ouaké (frontière du Togo). Sur cette route, on recoupe les mêmes formations géologiques que celles situées sur le bassin d'Ara et Béléfoungou : les micaschistes et quartzites et les gneiss migmatitiques. Les résultats sont présentés en annexe.

Sur l'axe Djougou Ndali, réalisé en 2009, les talus sont abimés, mais exploitables quand même pour des essais.

2.4 Conclusions

D'une manière générale, pour tous les affleurements de roche de béléfoungou notés 1 à 6, des tests d'infiltration seraient envisageables mais en creusant des fosses à quelques mètres en arrière des arbres majeurs pour éviter les systèmes racinaires. D'autre part, ces tests d'infiltration ne pourront donner que les caractéristiques des sols proches des ravines, qui sont peut être différents de ceux existant en profondeur sous les versants ?

Une régionalisation (ou du moins une tentative de caractérisation spatialisée) des paramètres hydrodynamiques des régolithes des formations de Djougou serait peut être possible si on réalise des tests d'infiltration à partir d'incisions faites dans les talus, permettant d'accéder à différents compartiments sans avoir à creuser de fosses coûteuses. Toute mission future qui souhaitera exploiter la possibilité de réaliser des essais d'infiltrométrie au long des talus des routes à des fins de régionalisation des paramètres des altérites (régolithe) serait à programmer en janvier-février, en l'absence de végétation, de manière à identifier les meilleurs endroits représentatifs.

3 MESURES HYDROLOGIQUES

Suite aux travaux d'infiltrométrie effectués par Dorothée Robert, du 20 Octobre au 20 Décembre 2010 sur le bassin versant de la rivière Ara, il est apparu intéressant de compléter l'analyse par des mesures d'infiltrométrie sur différents états de surface (afin d'étudier entre autres l'impact de l'anthropisation des sols), et par des essais en profondeur, supposés renseigner les caractéristiques hydrauliques des couches situées dans la zone de battement de la nappe (sous-jacentes au sol latéritisé et faisant partie du régolithe). Cette dernière approche a également pour objectif la confirmation *de visu* des résultats de méthodes électriques pour les premiers mètres du sol (orientation des couches, état d'altération...).

3.1 Implantation des fosses

➤ *Nalohou*

Les premiers tests d'infiltrométrie déjà réalisés avant notre mission concernaient des sols allant jusqu'à 1,5 m de profondeur. Pour la présente mission nous avons réalisé des observations dans 3 fosses de profondeur moyenne (0-4m). Ces fosses ont été choisies grâce à la prospection géophysique électromagnétique. La première se situe dans une bande résistante issue d'une formation géologique de quartz (fosse C) et la seconde dans une bande conductrice issue d'une formation d'amphibolite (fosse E). Ces deux fosses se trouvent dans le secteur du gravimètre. La troisième (fosse BF) est localisée dans le bas-fond et vise à renseigner les propriétés de cette zone qui joue un rôle clé dans le cycle hydrologique local. L'objectif est également l'observation directe des niveaux présents pour appuyer certaines hypothèses de transferts hydriques.

➤ *Béléfougou*

L'unique fosse a été creusée à une profondeur de 2.1 m, dans la zone de suivi piézométrique. Les méthodes électriques faisant paraître le milieu comme relativement homogène, il convenait d'étudier les variations des propriétés hydrauliques selon la profondeur.

Les fiches disponibles en annexe résument la description géologique et les résultats obtenus dans chacune des fosses. On y trouve les références et localisations des cylindres de densités

prélevés, les courbes de $K(\lambda)$, les valeurs de K_s déduits des expériences d'infiltrométrie, ainsi que la localisation de ces essais, les valeurs de résistivités électriques, et les résultats du passage à l'étuve des échantillons prélevés par cylindre de densité.

Les valeurs de porosités présentées sont le résultat du calcul proposé par Dorothée Robert dans son rapport de mission longue durée : la porosité est obtenue via une approximation sur la densité matricielle ($d_{matrice} = 2650 \text{ kg/m}^3$) du milieu : $\Phi = 1 - \frac{d_{sol}}{d_{matrice}}$.

3.2 Infiltrométrie dans les fosses

Les résultats, résumés sous forme de fiches, sont présentés en annexes, tandis que cette partie est consacrée à la description des problèmes rencontrés, et à l'analyse succincte des résultats.

➤ *Nalohou fosse C*

Dans cette fosse nous avons pu effectuer 4 essais multipotentiels d'infiltrométrie à disque. En raison de la forte hétérogénéité du sol et de la lenteur d'infiltration nous n'avons pas été en mesure de réaliser plus d'essais. Deux essais ont été réalisés à 2 m de profondeur (I1 et I2), un à 2,5 m (I3) et un dernier à 3 m (I4).

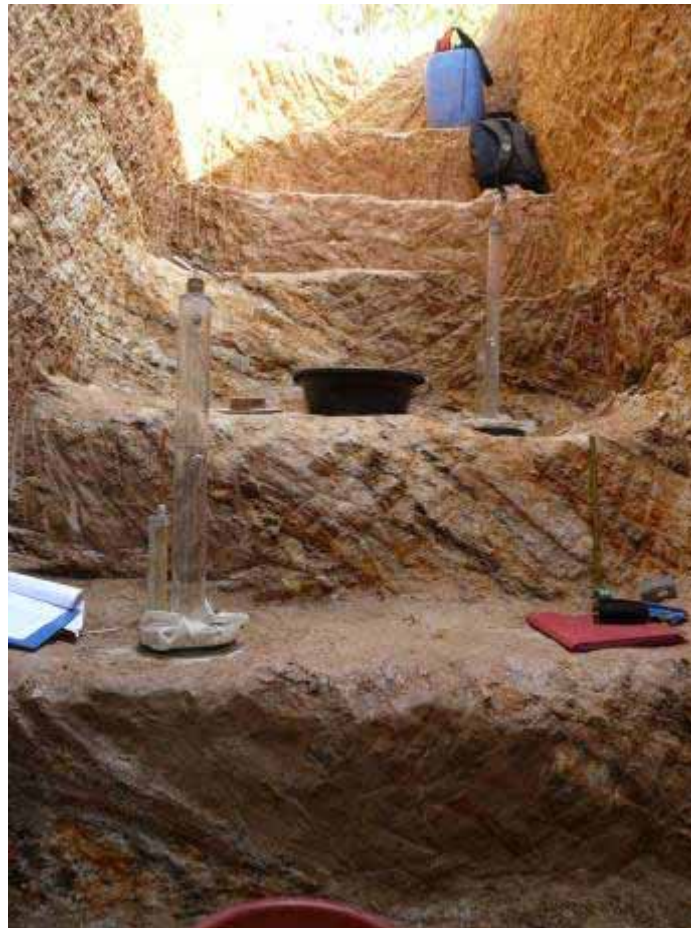


Photo 4 : Mesures d'infiltrométrie multi-potentiels

Sur la photo, I3 se trouve dans les micaschistes altérés à pendage est (en haut à droite) de l'horizon 6 et I4 dans les argiles micacées (en bas à gauche) de l'horizon 9.

Un problème récurrent observé dans les données d'infiltrométrie est une vidange partielle des couches supérieures du sol pendant le temps de remplissage du tube : ceci entraîne un flux plus fort, qui reprend un certains temps avant de rejoindre sa valeur précédente (qui dans notre cas, est aussi long que la première expérience, donc toute l'eau est à nouveau infiltrée avant d'avoir pu atteindre le régime « quasi-permanent ».), or les tubes de plus gros cylindre fuient et sont donc inutilisables. Autant donc arrêter l'expérience lorsque l'eau s'est vidée. JP Vandervaere note qu'un facteur 2 peut exister entre le flux avant et après le renouvellement de l'eau, pour la même expérience, pouvant s'expliquer par des problèmes de contact avec le sable (piégeage d'air) ou d'obstruction des pores de la toile. On préférera donc prendre les dernières valeurs avant le remplacement de l'eau, dans un tel cas de figure.

Sur la figure 20 deux effets du renouvellement de l'eau sont présentés : le temps nécessaire à l'équilibrage (régime quasi-permanent) est supérieur à la durée d'un essai (a) et le plateau après le renouvellement est supérieur au premier (b).

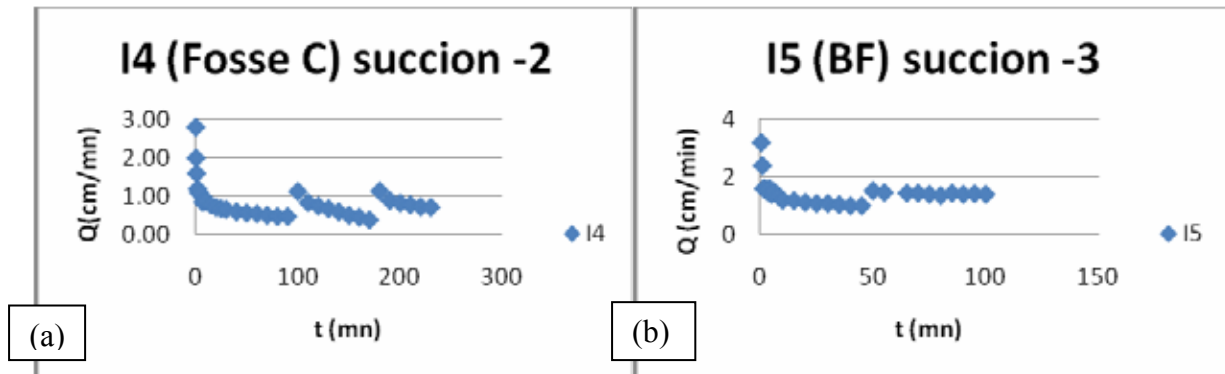


Figure 12 : Effet du renouvellement de l'eau.

L'ordre de grandeur des conductivités hydrauliques à saturation (K_s) du milieu est de 10^{-6}m.s^{-1} . On retrouve bien des valeurs similaires pour I1 et I3, qui sont situés sur le même banc, ce qui est encourageant, mais au vu du comportement des autres couches (I2 donne un K_s plus faible, I4 est tellement rapide qu'il a été inexploitable), ainsi qu'au vu des structures locales, il est clair que l'hétérogénéité locale est très grande, et sera d'autant plus un challenge à relever pour toute entreprise future de modélisation.

Plusieurs types d'échantillonnage de cylindres de densité ont été mis en œuvre :

- Des cylindres à larges diamètres, qui seront employés pour des mesures de propriétés hydrauliques (perméabilité, porosité de drainage) en laboratoire.
- Des petits cylindres, prélevés dans les 3 directions principales de chaque horizon considéré, afin de mesurer l'anisotropie intra couche (supposée forte par la foliation observée des roches para-métamorphiques.).



Photo 5 : Méthode de prélèvement de cylindres de densités.

➤ ***Nalohou fosse E***

Dans cette fosse nous n'avons pas pu effectuer d'essais d'infiltrométrie. En effet, à 1.65 m de profondeur nous avons atteint un horizon très argileux qui rend toute mesure d'infiltrométrie impossible. Il est cependant très intéressant de noter le potentiel de retrait-gonflement de cette argile : 5 jours après ouverture, des fentes de dessiccation allant jusqu'à 5 mm de large en horizontal sont apparues. Le débit en prisme de ces argiles, avec la présence *de plans de glissement*, confirme que des phénomènes de retrait gonflement se produisent au sein de ces argiles. De plus, les fissures sont actives par rapport à l'eau car certaines montrent des dépôts de fer. Il n'est pas dit qu'au cours d'une année hydrologique ce niveau argileux subisse un stress hydrique aussi fort, néanmoins le potentiel est clairement visible, et il faudra en tenir compte lors des modélisations gravimétriques.



Photo 6 : Fentes de dessiccation apparues au bout de 5 jours.

Nous avons également prélevé trois échantillons de densité.

➤ ***Nalohou fosse BF (Bas Fond)***

La fosse du bas-fond de Nalohou (BF) est en quelque sorte similaire à la fosse C.

On y distingue une couverture latéritisée surmontant le régolithe provenant d'une formation par-métamorphique, avec des degrés variables d'altération selon les couches.

Il est intéressant de noter la grande différence de l'altération de la couche VI (8 dans la fosse C) entre la fosse C et celle-ci. Dans la première, la couche est située dans la zone de battement de la nappe, et très altérée par son ennoisement annuel. Dans la seconde, elle est située sous un niveau également très altéré, et dont l'altération semble augmenter avec la profondeur, selon le pendage (le niveau V se mélange avec le niveau IV argileux, produit d'altération, à mesure que la couche s'enfonce vers la profondeur (voir coupe)). Il semble donc qu'ici, l'eau en s'infiltrant, arrive sur des horizons pentés vers l'est (niveau V avec schistosité et niveau VI peu perméable (roche saine)) et suit ce chemin, altérant l'horizon V et protégeant le niveau VI.

Le banc de quartz, présent dans ces deux fosses, est visible de par sa nature plus dure que les formations métamorphiques qui l'entourent. En effet, les processus de latéritisation des sols, et plus généralement d'altération, peinent à user cette couche. Sur la route de Natitingou, on trouve des affleurements illustrant bien ce trait caractéristique.



Photo 7 : Banc de quartz « survivant » à la latéritisation environnante

Les mesures de résistivités concordent relativement bien avec l'idée que l'on se faisait des propriétés électriques du milieu *mis à part qu'un transect électrique passant dans la zone ne pouvait pas reconnaître la présence de niveaux argileux très conducteurs peu épais* (comme l'horizon IV) à cause du principe bien connu de « suppression » (voir cours de géophysique), mais ceux-ci étaient fortement supposés d'après des observations d'ordre hydrologique.

Il est intéressant d'observer la valeur de résistivité ρ_4 , mesurée en un lieu où il était difficile de définir la limite entre les horizons IV et V : cette valeur est comprise entre les résistivités des couches alentours ($\rho_5 > \rho_4 > \rho_3$), illustrant bien le « mélange » entre ces deux couches.

Les conductivités hydrauliques mesurées sont relativement proches, et ont environ un ordre de grandeur plus fort que dans la fosse C de Nalohou.

➤ *Béléfougou fosse 1*

Globalement, la coupe est typique des milieux ayant subi une forte latéritisation, et dont le profil d'altération est très épais, et non affecté par les battements de la nappe phréatique, présente une quinzaine de mètres plus bas. Il est intéressant de noter la densité impressionnante de racines dans le premier horizon du sol.

Une observation permet de proposer une explication aux différences de profils d'altération entre les fosses de Nalohou (où l'épaisseur de la couche latéritique est faible) et celle de Béléfougou (où l'épaisseur semble très forte) : ce dernier lieu possède beaucoup plus de couverture cuirassées que le premier, et il est probable que cette couche permette une protection contre l'érosion mécanique, expliquant la conservation de la série à Béléfougou et la disparition de la partie supérieure à Nalohou. Ceci n'est qu'une remarque censée alimenter les discussions, et non une conclusion.

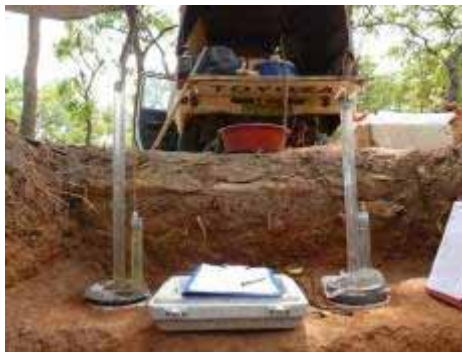


Photo 8: Infiltromètres I1 et I2.

Les résultats d'infiltrométrie sont très hétérogènes, pour un milieu d'apparence homogène. On s'attend à trouver des conductivités similaires pour une même marche, ce qui n'est pas vraiment le cas. De plus, ces résultats sont les plus fiables de toute la série, au vu du bon déroulement des expériences.

On peut néanmoins noter une diminution de la conductivité avec la profondeur.

3.3 Mesures d'infiltrométrie sur différents types d'état de surface, Nalohou

Pour compléter le travail de Dorothée Robert, nous avons également effectué des essais d'infiltrométrie 1D avec tensiomètres en surface. Nous avons cherché une bonne représentativité des différentes surfaces présentes sur le bassin. 5 essais ont ainsi été effectués sur 5 surfaces différentes :

- Une jachère,
- Un champ d'igname,
- Un champ de mil,
- Un bosquet d'anachardiers,
- Une jachère située dans le bas-fond.

Les résultats obtenus sur chaque surface sont résumés sur une fiche disponible en annexe. Cependant, ces résultats ne sont pas encore dépouillés car les tensiomètres ne sont pas encore étalonnés.

3.4 Conclusions

Le creusement des fosses a permis, du moins pour Nalohou, de rendre visible la complexité du sous-sol déjà mis en évidence par la géophysique de surface. Outre les pendages de 20° vers l'est, déjà mis en évidence lors de précédentes missions de caractérisations géologiques et géophysiques [Descloitres et al, 2003, Wubda, 2003], on a pu voir, pour les *altérites de micaschiste*, la superposition de petites couches, *de propriétés hydrauliques différentes et de sensibilité variable à l'altération*. A notre avis, seule une approche statistique permet d'anticiper cet effet à une échelle plus grande, du moins pour les altérites de schistes. De plus, on peut trouver localement des pendages variables (horizon 11 de la fosse C). Pour les altérites d'amphibolites, très argileuses, l'effet d'anisotropie et/ou de variations très locales semble moins probable.

4 FORAGES

La mission avait pour objectif l'installation de 4 piézomètres à des profondeurs de 2, 5, 10 et 20m sur le site de mesure des flux de sève sur *Isobertina Doka* dans la forêt protégée de Béléfoungou (commune de Djougou). Ces piézomètres serviront à l'injection de LiCl dans la 2ième quinzaine de mars 2011 lorsque la feuillaison des arbres sera achevée. Les forages sont tubés avec du PVC de 63mm de diamètre intérieur (un volume de 1l représente le volume d'un cylindre de 32 cm de long et du diamètre du tube PVC).



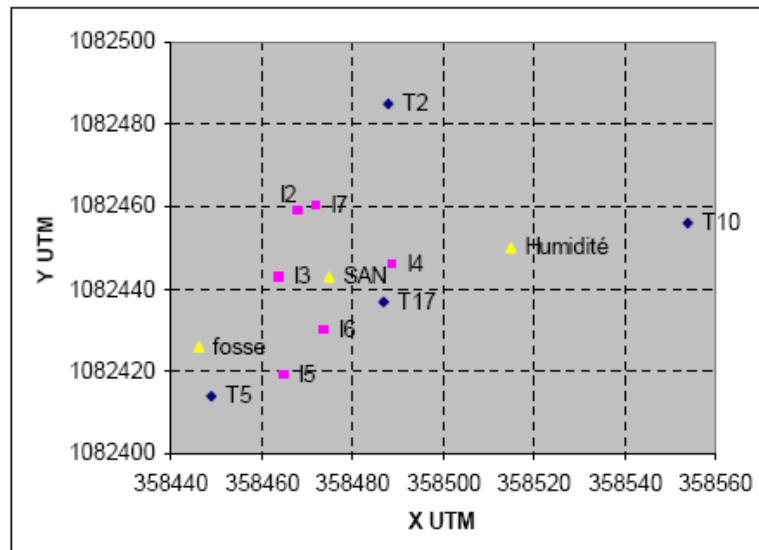
Aux 4 forages initialement prévus a été ajouté un forage à proximité de la tour de flux de Béléfoungou. L'intérêt de ce forage supplémentaire pour l'injection de LiCl réside dans le positionnement moins profond de la nappe en ce point (10m contre 15-17 m environ sur le site de mesure des flux de sève).

Les caractéristiques des forages sont regroupées dans le tableau suivant

Nom	X UTM	Y UTM	profondeur/ sol (m)	profondeur crépine /margelle (m)	margelle (m)	circonférence arbre (m)				date forage	profondeur nappe/sol
T2	358488	1082485	2	2.82	0.5	0.8	1.11	0.89	0.75	16-févr	non atteinte
T5	358449	1082414	4.7	5.37	0.5	0.8	0.99	1.06		16-févr	non atteinte
T10	358554	1082456	10	10.86	1	0.8	0.88	0.60	1.43	18-févr	non atteinte
T17	358487	1082437	17.7	18.45	1	0.8	0.67	1.10	1.13	17-févr	15.45
T11	359409	1082604	11	11.45	2	0.45	1.58	1.13		19-févr	9.62

Un prélèvement d'eau a été réalisé en T17 et au CEG de Béléfoungou. L'objectif est de déterminer la concentration en Li d'une part dans la nappe et d'autre part dans l'eau qui servira à diluer le LiCl.

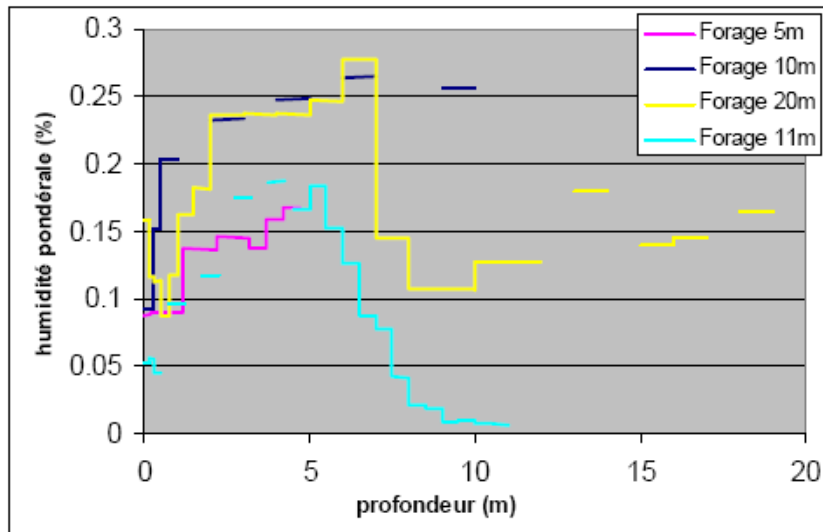
Le forage T17 avait atteint 20m de profondeur mais sa base s'est rebouchée avant l'insertion du tube PVC. Chaque forage a été réalisé à moins de 4 m de 2 à 3 *Isobertina Doka*. Le graphe suivant présente la situation des 4 forages sur le site de mesure des flux de sève.



Dans une fosse creusée jusqu'à 2.5m de profondeur afin de réaliser des tests d'infiltration par perméamètre à succion contrôlée, des racines de diamètre infra-millimétrique ont été observées au fond de la fosse. La densité de racines semble cependant la plus importante dans la zone 0-1m.



La figure ci-dessous présente les humidités pondérales de chaque forage.



Sur le forage à 20m (T17), on observe une brusque baisse d'humidité à 7.5m en accord avec le changement de matériau observé dans les cuttings. Sur le forage réalisé à la tour de flux (T11), la diminution de l'humidité jusqu'à une valeur inférieure à 1% à partir de 9m de profondeur est cohérente avec l'apparition du socle vers 8m (cf. log T11).

L'épaisseur de la cuirasse (teinte rouge sur les logs) est de 7m sur le log T17 (cette profondeur correspond à celle rencontrée sur le piézomètre A1 de Belefoungou haut lors du forage en 2004). Sur le forage T11 (Belefoungou tour de flux), la cuirasse n'a que 2.5m d'épaisseur.

Les photographies des cuttings de forage sont présentées en annexe.

Références

- Braun, J. J., Descloitres, M., Riotte, J., Fleury, S., Barbiéro, B., Boeglin, J. L., Violette, A., Lacarce, E., Ruiz, L., Sekhar, M., Mohan Kumar, M.S., Subramanian, S., Dupré B. Regolith mass balance inferred from combined mineralogical, geochemical and geophysical studies: Mule Hole gneissic watershed, South India. Accepted at *Geochimica et Cosmochimica Acta*, november 2008.
- Descloitres, M., Wubda, M., Le Troquer, Y., 2003. Prospections géophysiques sur le bassin versant d'Ara, Nord Bénin. Electricité 2D et électromagnétisme EM34. *Compte rendu de mission 5 –14 mai 2003. Projet AMMA, UR 027 Geovast, IRD Ouagadougou.*
- Descloitres, M., Séguis, L., Wubda, M., 2007. Caractérisation des aquifères sur les sites AMMA-Catch au Bénin. Apport de la Résonance Magnétique des Protons. *Rapport de mission IRD, LTHE/HSM, 80 pages, 14 figures, 4 tableaux, 5 annexes.*
- Descloitres, M., Séguis, L., Wubda, M., Legchenko, A., 2007. Discrimination of rocks with different hydrodynamic properties using MRS, EM and resistivity methods. *EAGE International Conference "Near Surface 2007"*, Istanbul, 3-5 sept. 2007.
- Descloitres, M., Ruiz, L., Sekhar, M., Legchenko, A., Braun, J. J., Mohan Kumar, M.S., Subramanian, S., 2008. Characterization of seasonal local recharge using Electrical Resistivity Tomography and Magnetic Resonance Sounding. *Hydrological Processes*, Vol. 22, pp 384-394.
- Kamagate, B., Favreau, G., Séguis, L., Seidel, J. L., Descloitres, M., Affaton, P, 2007. Processus et bilan des flux hydriques d'un bassin versant de milieu tropical de socle au Bénin (Donga, haut-Ouémé). Hydrological processes and water balance of a tropical crystalline bedrock catchment in Benin (Donga, upper Ouémé River). *Compte Rendus Académie des Sciences*, in press.
- Robert, D., 2010. Caractérisation de la variabilité spatiale des paramètres hydrodynamiques du premier mètre des sols du bassin versant de l'Ara (Bénin). Rapport de mission longue durée, 20 Octobre au 23 Décembre 2010 in press.
- Séguis, L., Kamagaté, B., Favreau, G., Descloitres, M., Seidel, J.L., Galle, S., Peugeot, C., Gosset, M., Barbé, L., Malinur, F., Van Exter, S., Arjounin, M., Wubda, M. Hydrological processes and origin of streamflow in a crystalline basement catchment of the Sudanian zone: the Donga basin (Benin, West Africa). Implications for future modelling and inter annual variability of water budget. *Under review, Journal of Hydrology, octobre 2008.*
- Vandervaere J.-P., 1995. Thèse de doctorat. Caractérisation hydrodynamique du sol in situ par infiltrométrie à disques. Analyse critique des régimes pseudo-permanents, méthodes transitoires et cas des sols encroûtés.
- Wubda, M. Reconnaissances géophysiques du bassin versant d'Ara (Djougou, Nord Bénin), 2003. *Rapport de stage de DESS, Laboratoire de Géophysique Appliquée, UMR Sisyphe, Université de Paris 6.*

Annexes

ANNEXE 1 :

Profil 2D de résistivité dans la zone du gravimètre supra conducteur.

ANNEXE 2 :

Prospection géologique sur le site de Béléfoungou.

ANNEXE 3 :

Prospection géologique sur la route de Djougou Ouaké.

ANNEXE 4 à 7 :

Fiches fosses

ANNEXE 8 :

Résultats infiltrométrie 1D avec tensiomètres

ANNEXE 9 :

Coordonnées des profils électriques

ANNEXE 10 :

Photographies des cuttings de forages

ANNEXE 1 : PROFIL 2D DE RESISTIVITE DANS LA ZONE DU GRAVIMETRE SUPRA CONDUCTEUR

➤ Profil «Cube 1 »

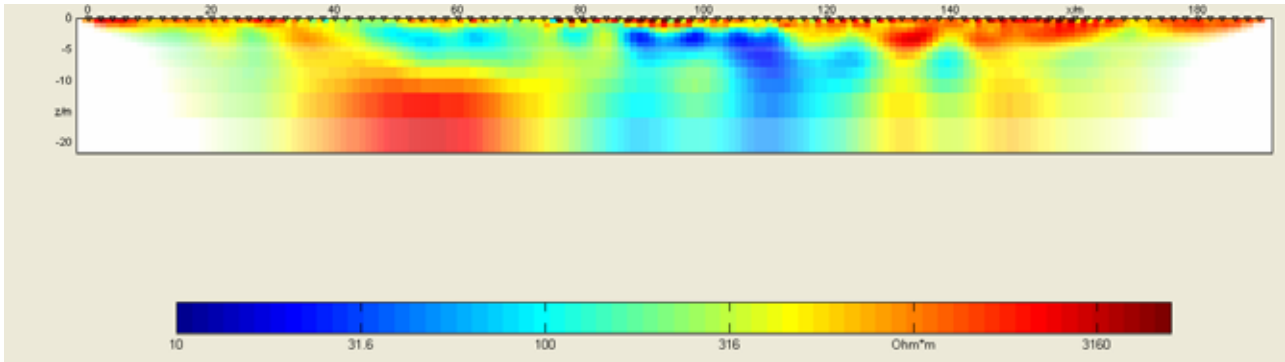


Figure 13 : Profil « cube 1 ». L'Est est à droite de la figure.

Le profil « cube 1 » présente un RMS élevé (17%), dû au bruit d'acquisition. il est donc possible que les structures soient mal représentées, mais ce profil, relativement éloigné du gravimètre, pourra être exploité.

➤ Cube 2, rms 12.2%

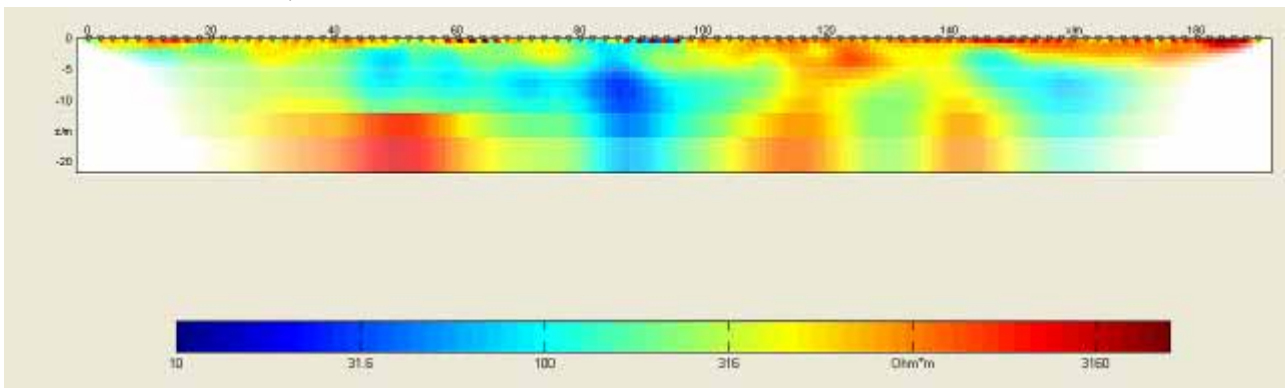


Figure 14 : Profil « cube 2 ».

➤ Cube 3, rms 11.9%

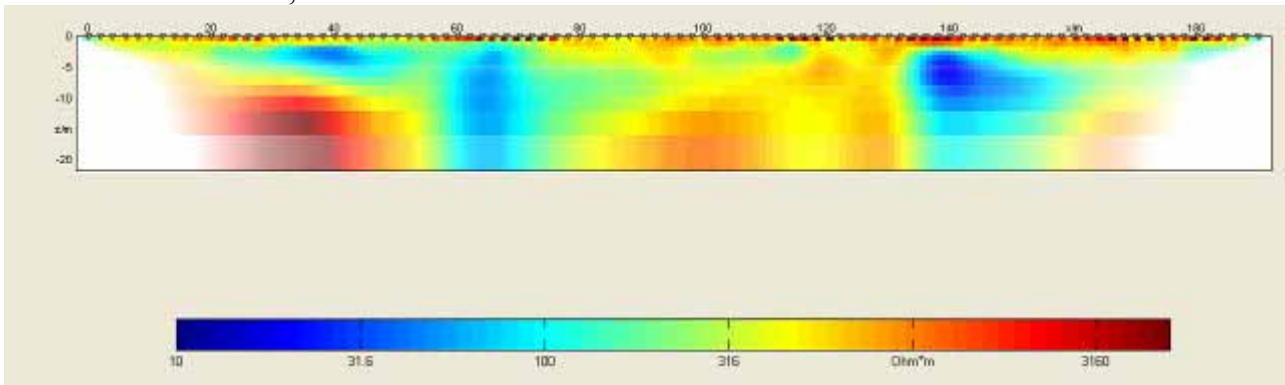


Figure 15 : Profil « cube 3 ».

➤ Cube 4, rms 6.1%

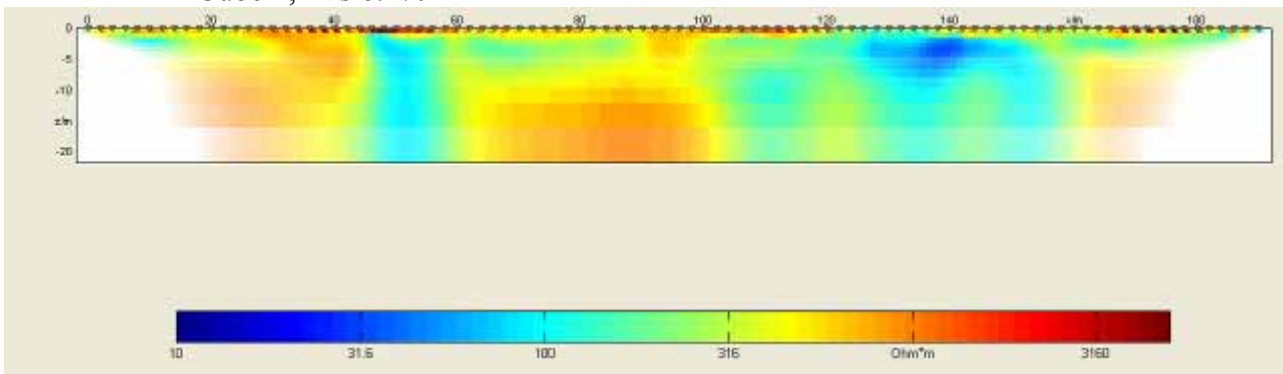


Figure 16 : Profil « cube 4 ».

➤ Cube 5, rms 6.6%

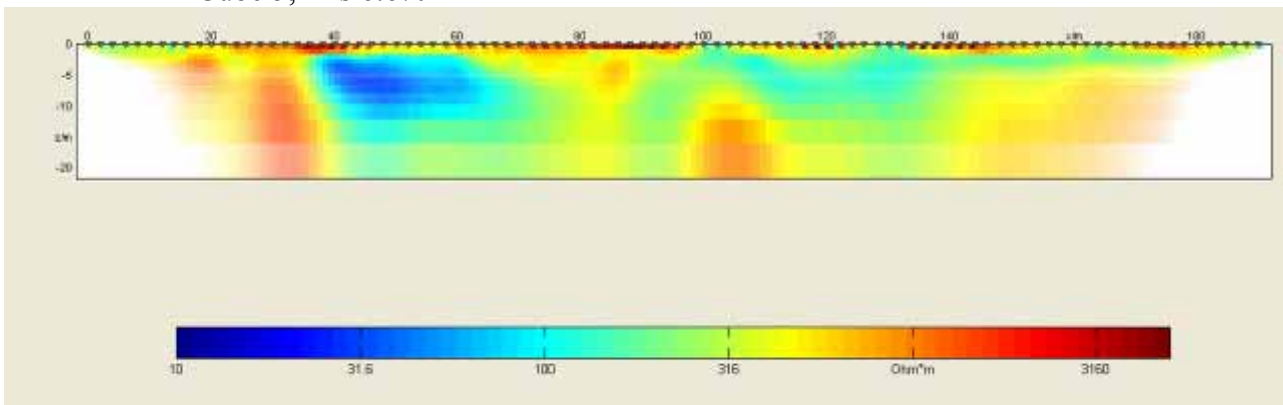
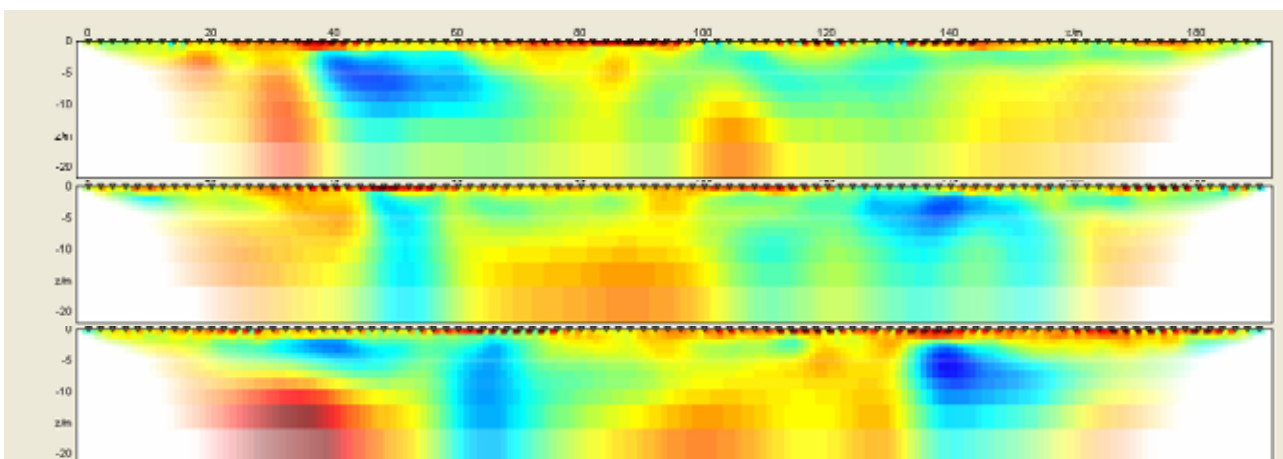


Figure 17 : Profil « cube 5 ».

➤ Ensemble des profils, depuis « cube 5 » en haut (au nord) jusqu'à « cube 1 » au Sud.



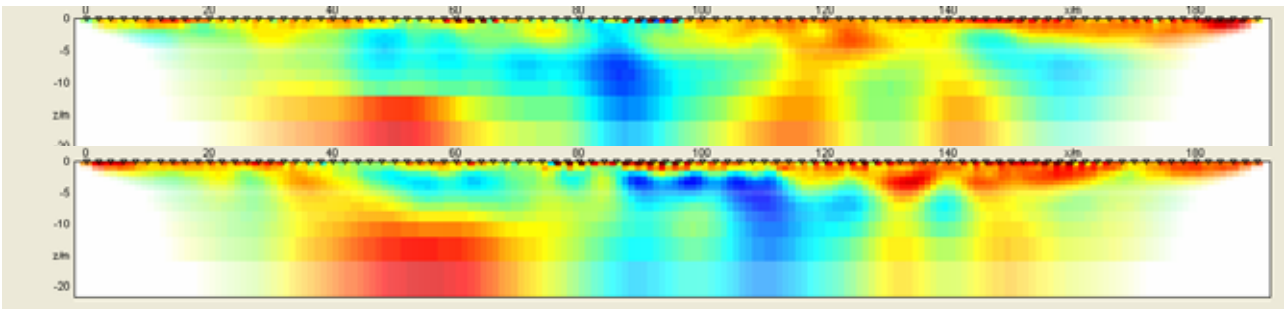


Figure 18 : Ensemble des profils de résistivité superposés.

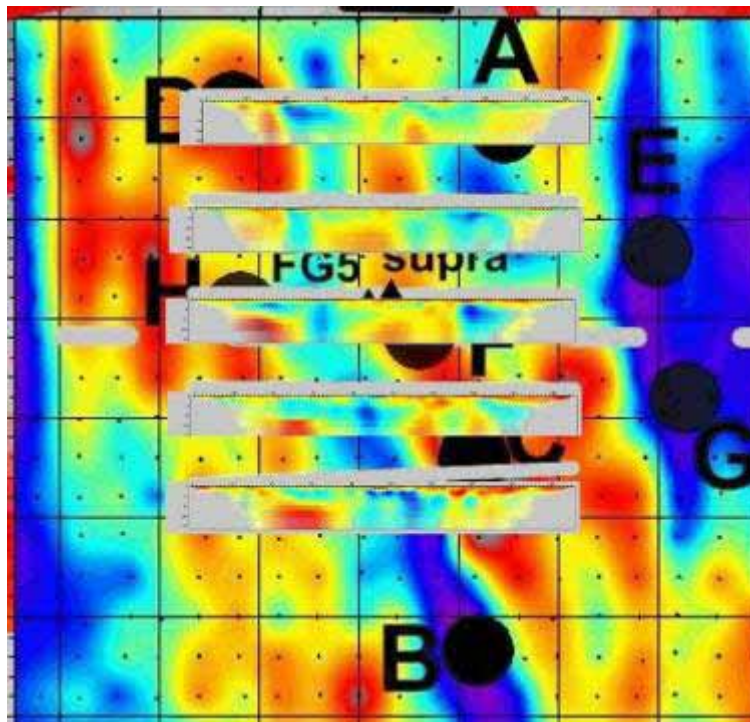


Figure 19 : Tentative de représentation des profils sur la carte de résistivité.

Cette figure sera refaite en 3D si nécessaire. On note la bonne correspondance entre les compartiments détectés par la carte et leur prolongement vers le bas mis en évidence par les coupes.

➤ **Point 1, X= 357739/ Y=1081907**

Carapace avec gravillons dominants, propices à des tests d'infiltration. Présence d'un caillou de gneiss (en place ?). à 50 m au SW, ravine naissante avec débris de quartz, altérite argileuse grise, gravillons rouges (10%) , figures d'érosion régressive. Test infiltration possibles.

➤ **Point 2, X= 357598/ Y=1081771**

Affleurement majeur de la zone, dans la ravine au sud-ouest de la zone d'étude. On remarque la JUXTAPOSITION de quartzites et de micashistes.

Les quartzites sont nettement repérables avec leurs bancs massifs (photo 4).



Photo 9 : Bancs de quartzite de Béléfoungou

La fracturation de ces bancs est prononcée (photo 5). Orientation N10°, 65°E. Susceptibilité magnétique = 0.10 (négligeable pour RMP).



Photo 10 : *Fracturation au sein des bancs de quartzites.*

On remarque à 10 à l'est un banc de schistes pourris (photo 6). Ces schistes pourraient être en fait du gneiss migmatitique finement lité et altéré, car on y distingue des anciens yeux caractéristiques (voir photo).



Photo 11 : *Schistes pourris, avec présence d'un œil (témoin probable d'un début de fusion partielle).*

Les arbres exploitent la schistosité et leurs racines pénètrent en profondeur ces formations, comme en témoignent la photo 7 ci-dessous.



Photo 12: *Système racinaire dans les gneiss migmatitiques de Béléfoungou*

➤ **Point 3, X= 357659/ Y=1081722**

Banc de schistes pourris, avec filonnets de quartz, et fines paillettes de mica (photo 8).
Foliation N15°, 75° E. Smag= 0.3.



*Photo 13 : Schiste pourris
(probablement du gneiss finement lité)*

➤ **Point 4, à environ 50 à l'est du point 3.**

Micaschiste net, avec filonnet de quartz. Orientation N20°, subvertical. Le changement d'orientation peut signifier des plissements.



*Photo 14 : micaschistes avec
filonnet de quartz.
Ce filonnet, concordant avec la
schistosité, peut être le témoin d'un
gneiss finement lité.*

➤ **Point 5, X= 357742/ Y=1081687**

Pli de micaschiste ou de gneiss très marqué (photo 10). L'axe du pli est « grosso-modo » vertical ! On distingue très nettement des boudins sigmoïdes, témoins d'une zone d'étirement

marquée au sein de la roche (extension suite à un cisaillement ?). L'affleurement ne permet pas de le savoir, car il n'y a pas de trace de plan de failles avec recristallisation de minéraux, du moins en première analyse. Des mesures et des prélèvements de roches pour lames minces permettraient d'en savoir plus. Mais cet affleurement a probablement été étudié par des géologues par le passé, tant il est remarquable (chercher des références au bureau des mines).



Photo 15 : Pli dans les schistes (ou gneiss migmatitiques)



Photo 16 : Gros plan sur les structures du pli.

On distingue la découpe des micros bancs sous forme de boudins sigmoïdes (cercles rouges)

➤ **point 6, X= 357772 / Y= 1081734**

Roche en bancs de 50 cm, d'apparence quartz, mais en fait, il s'agit d'une roche qui se débite en prismes à l'infini, avec oxydes de fer sur le plan de diaclases. Orientation N0°, pendage incertain, très probablement sub-vertical. Susceptibilité magnétiques = 0.88. Cette roche est comprise entre des bancs de schistes pourris .Il s'agit peut être d'une amphibolite très micro grenue... ou d'une ancienne argilite ?



Photo 17 : Roche micro grenue (amphibolite ?)



Photo 18 : Débit en prismes à l'infini de la roche de la photo 11

➤ **Point 7. Ce point est celui du puits de Luc, dit puits « F » . X= 359165/ Y= 1083267**

Le substratum, à la vue des cuttings, est du gneiss avec quartz et micas noirs (pas de micas blancs), feuilleté en lits très fins (5mm d'épaisseur) $S_{mag}=0.18$ à 0.22 sur tas de cuttings.

Il existe probablement aussi de l'amphibole (roche verte) avec des altérations en séricite ou en chlorite.

- **Point 8. point est situé dans l'autre ravine, celle située au nord-est du site de Béléfougou. X= 359225 / Y = 1083410**

Ce point est un affleurement de micaschites à micas blancs, en fines paillettes. Schistosité : N0°, subvertical. Les arbres présentent de spectaculaires systèmes racinaires dégagés par la ravine (photo 14).



Photo 19 : Système racinaire dégagé par la ravine

- **point 9. X= 359355 / Y= 108 3303**

Ce point est un affleurement de gneiss caractéristique en dalles émoussées, du même type que les cuttings remarquables dans le puits F dans le versant. En certains endroits des tests d'infiltrations seraient possibles sur certaines coupes naturelles dans les loupes d'érosion régressives remarquables sur les berges de la ravine.

ANNEXE 3 : PROSPECTION GEOLOGIQUE SUR LA ROUTE DE DJOUGOU/OUAKE

Les descriptions ci-dessous sont localisées en km à partir du rond point de Djougou.

➤ **Km 12.7**

Talus avec micaschistes plissés, altérites au dessus, hauteur 2mètres, très altérés (camp COLAS)

➤ **Km 15.5**

Talus avec altérites ocre et blanches. Ligne à HT et MT de part et d'autre de la route (à moins de 500 m..) compromettant des mesures RMP proches de la route...

➤ **Km 17.6**

Altérites micro-litées ocre et blanches, coupes fraîches, idéal pour essais d'infiltrométrie (photos 15 et 16). Il s'agit très probablement de la formation des gneiss migmatitiques.



Photo 20 : Talus au Km 17.6



Photo 21: Talus au Km 17.6.
*On distingue clairement le micro litage
des altérites de gneiss*

➤ **Km 19.9**

Talus dans village, formation de gneiss probable, petit talus, essais d'infiltrométrie possibles.

➤ **Km 21.7**

Altérites ocre, essais d'infiltrométrie possible.

➤ **Km 24.5**

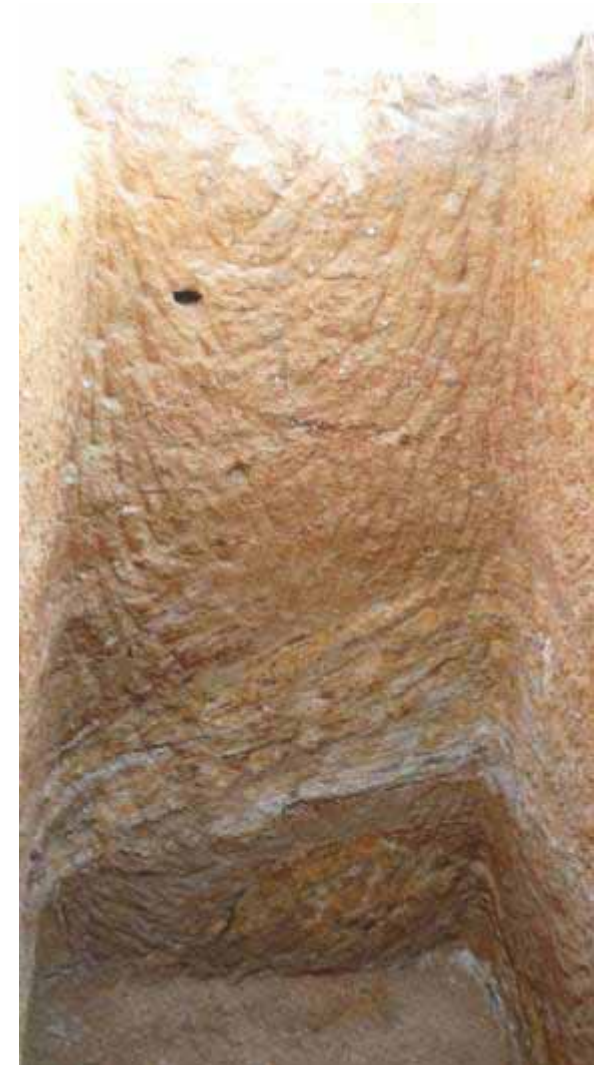
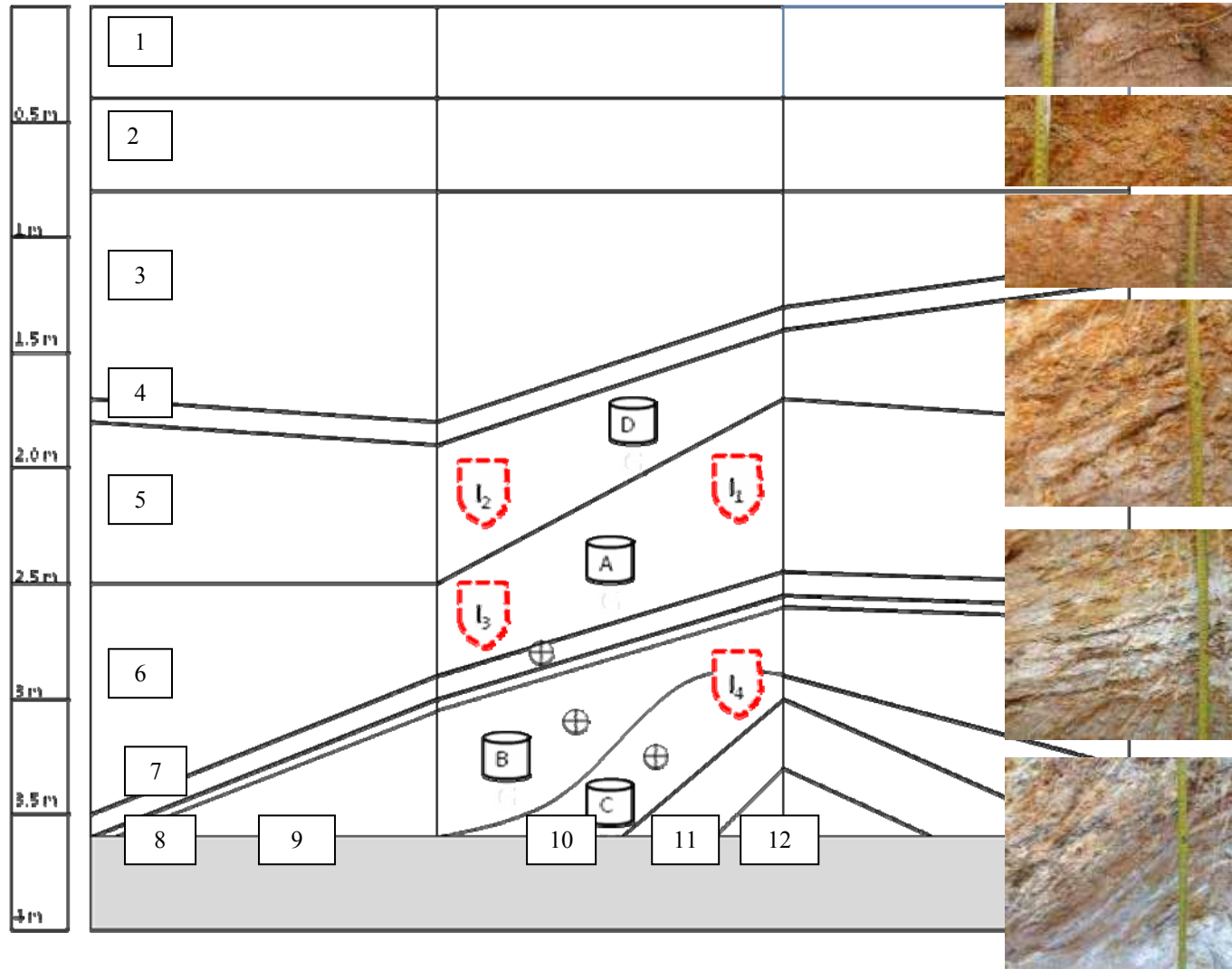
Affleurement majeur à 150 mètres au sud de la route : talus de 3m exploitable, grandes dalles de « Migmatites de Koundé », gneiss ocellé, leptinite blanche, pegmatites probables.

Des échantillons ont été collectés.

ANNEXE 4 : FOSSE C

X = 347113 m
Y = 1077174 m





Ancienne zone de jachère, brûlée récemment.
Près de la case de Sare.



Légende

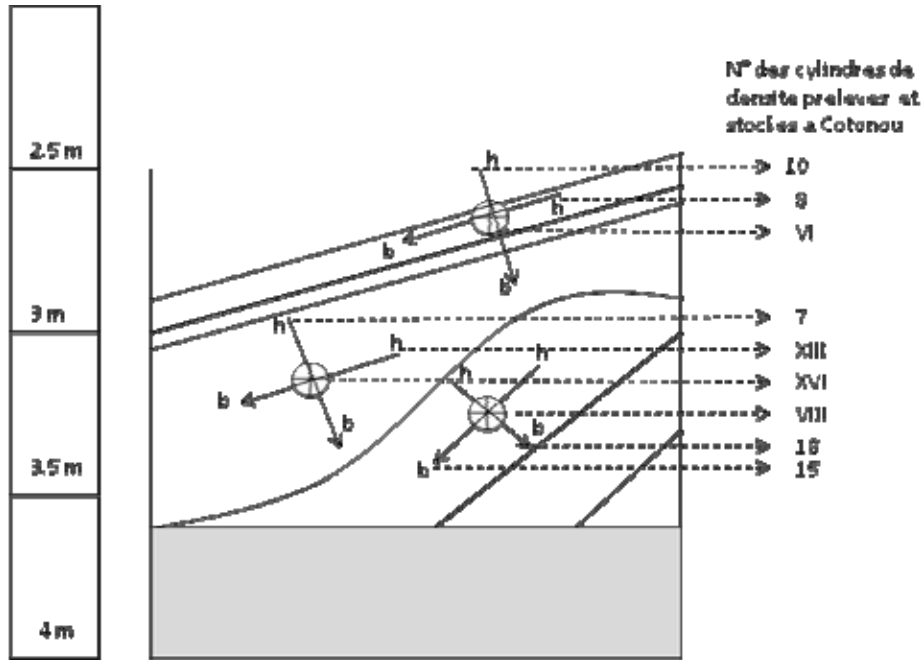
1	Horizon sableux gris-brun, présence de gravillons et de racines
2	Horizon ocre gravillonnaire, ciment argileux.
3	Horizon ocre et rouge très argileux. Macro-pores présents, résultants de l'activité termitière.
4	Lit de quartz avec feuillets de muscovite.
5	Fillonnet de quartz dans une matrice similaire à celle de l'horizon 3.
6	Horizon ocre-rouge très argileux, présence de mica-schistes en voie de fêruginisation.
7	Horizon ocre-jaune, présence de mica-schiste en petits grains, de fillonnets noir (biotite) et de mica blanc.
8	Lit blanc, présence de muscovite (cristaux d'environ 5mm) et de feldspath qui se réduit en poudre.
9	Horizon brun-nacré d'épaisseur variable, présence de fine paillettes de muscovite et de quelques quartz en très petits grains.
10	Horizon ocre jaune.
11	Horizon ocre-rouge, avec des bancs blancs laiteux feldspathiques. Cette couche, contrairement au pendage général d'une vingtaine de degrés vers l'est, est pentée vers le nord-est.
12	Horizon blanc.

Remarque : Présence de racines jusqu'au fond de la fosse.

	Infiltromètre
	Petit cylindre de densité
	Grand cylindre de densité
	Type d'horizon

DIMENSION GROS CYLINDRES		
Cylindre	Diamètre (cm)	Hauteur (cm)
A	11.8	12.5
B	11.7	13.2
C	11.6	12
D	11.7	11.9

Prélèvement des cylindres de densité

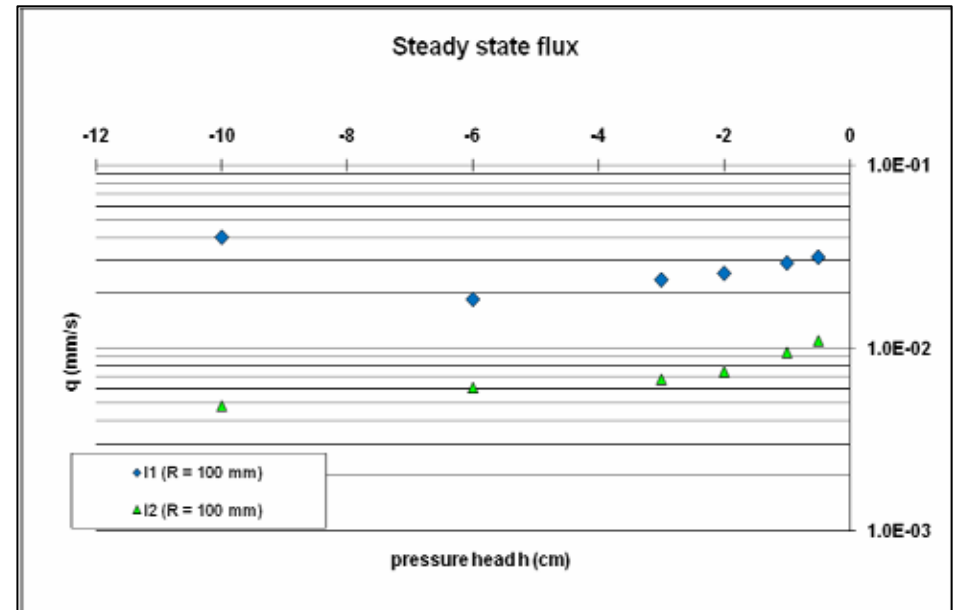
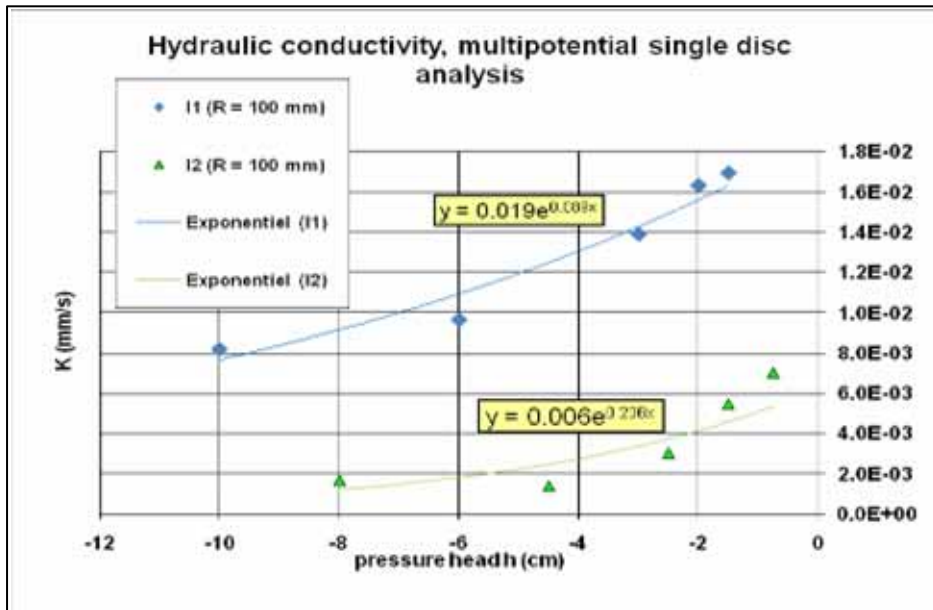


Les prélèvements ont été effectués dans 3 horizons différents et pour chaque horizon dans les 3 directions.

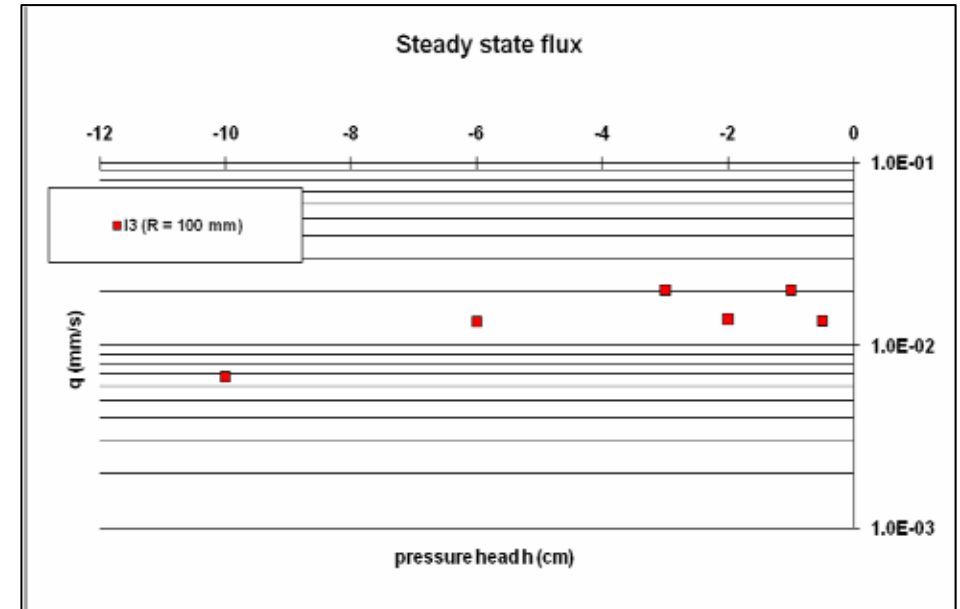
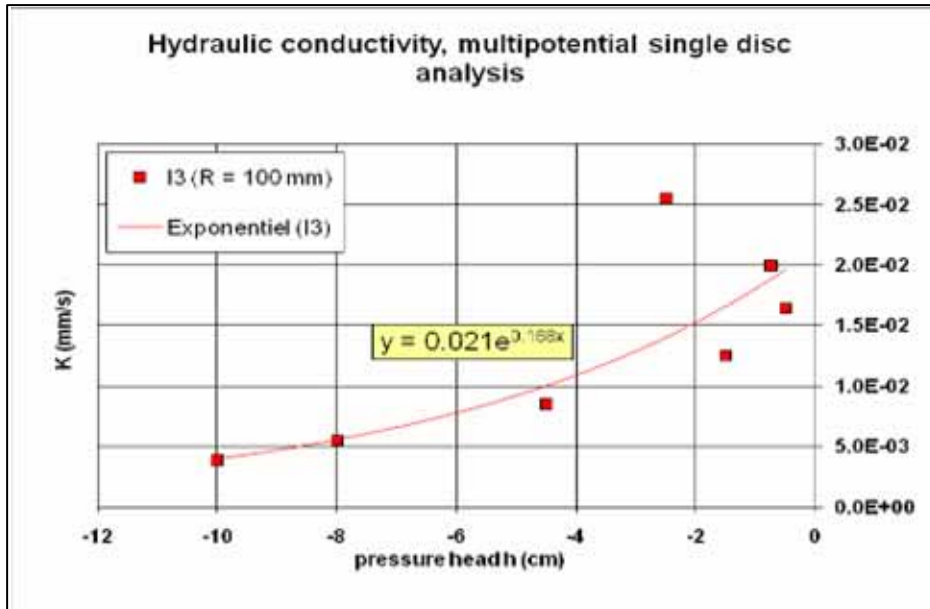
Boite	masse extraite brute (g)	masse séchée brute (g)	poind boîte (g)	volume boîte (cm ³)	masse extraite (g)	masse séchée (g)	masse eau (g)	humidité massique (%)	porosité
10	279.7	244.5	106.3	100	173.4	138.2	35.2	20.30	47.85
8	285.8	243.8	106.6	100	179.2	137.2	42	23.44	48.23
VI	271	235	105.7	100	165.3	129.3	36	21.78	51.21
7	271.5	254.3	108.8	100	162.7	145.5	17.2	10.57	45.09
XIII	289.7	264.1	105.5	100	184.2	158.6	25.6	13.90	40.15
XVI	287.2	263.2	105.8	100	181.4	157.4	24	13.23	40.60
VIII	288.3	267.5	107.2	100	181.1	160.3	20.8	11.49	39.51
18	282.5	254.9	110.5	100	172	144.4	27.6	16.05	45.51
15	296.2	272.8	107.8	100	188.4	165	23.4	12.42	37.74

Résultats

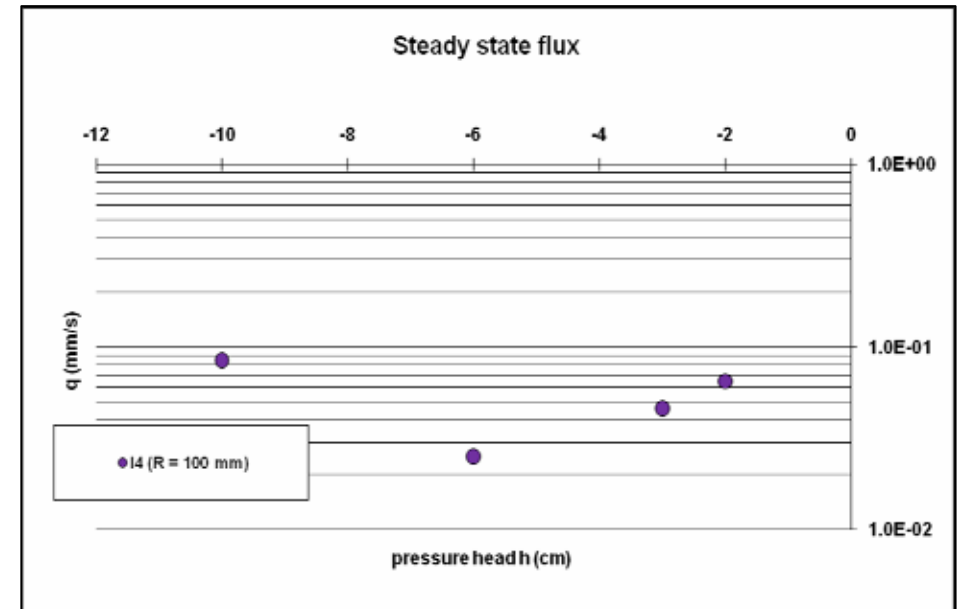
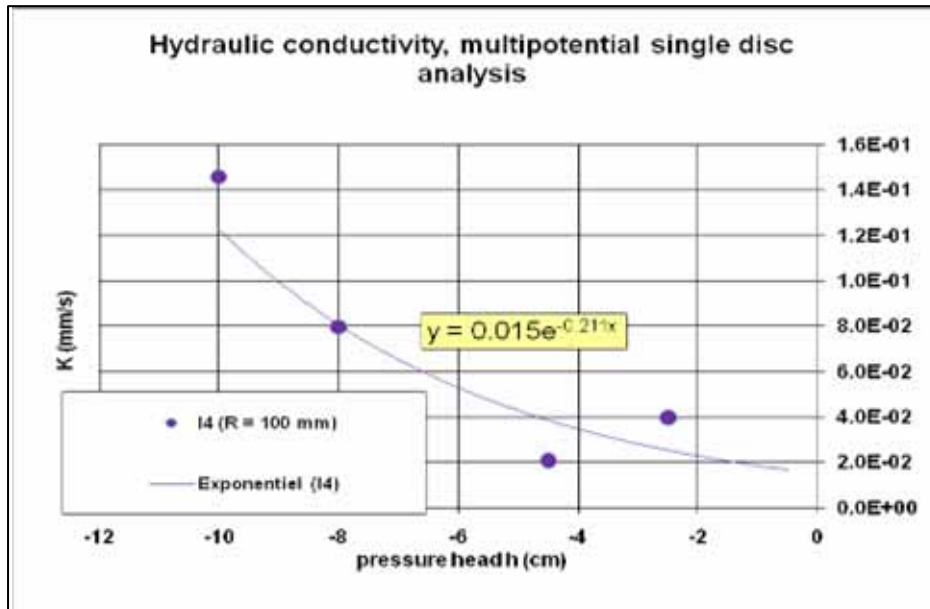
I1 - I2



- Résultats des essais d'infiltrométrie multi-potential à disque à 2 m de profondeur.
- Deux comportements distincts car les 2 essais se trouvent sur 2 horizons différents.
- Pour I1 la valeur de K à suction -10 a été supprimée car très largement sujette à caution (arrêt de l'infiltration trop tôt donc pallier non obtenu et valeur de q trop importante).



- Résultats de l'essai d'infiltrométrie multi-potentiel à disque à 2.5 m de profondeur
- Le flux n'augmente pas de façon monotone avec la succion. Ceci est dû aux problèmes liés au renouvellement de l'eau et à la forte hétérogénéité du milieu responsable d'effets indésirables dans les données (augmentation brutale du flux lors de l'atteinte d'autres horizons, plus perméables).
- Malgré tout, résultat similaire à I1, tous deux étant situés sur la même couche, mais à des profondeurs différentes.



- Résultats de l'essai d'infiltrométrie multi-potentiel à disque à 3 m de profondeur.
- Essai fortement sujet à caution.
- Pour une succion de -10 l'infiltration était trop rapide pour l'infiltromètre à petit cylindre. Le pallier n'a donc pas vraiment pu être atteint et a été approximé.
- Pour les autres succions nous avons utilisé l'infiltromètre à gros cylindre. Cependant cet infiltromètre présente des fuites au niveau du tube qu'il faudra prendre en compte (écoulement de 2mm/min dans un bac d'eau).
- Pour les succions de -6 et -3 le pallier n'a pas été atteint car l'infiltration s'est stoppée, plus aucune bulle. Raison inconnue (saturation du milieu ? Obstruction de la toile ? Eau dans le tube capillaire ?).
- Pour la succion -2, la vitesse d'infiltration augmente considérablement quand on a rempli le cylindre et que l'on repose l'infiltromètre et la décroissance du flux n'atteint pas la valeur précédemment atteinte. Après plusieurs phénomènes de ce type nous avons décidé d'arrêter l'infiltrométrie.

Bilan

Infiltró	Profondeur (m)	Ks (cm/min)	Ks (m/s)
I1	2	0.019	3.17E-06
I2	2	0.006	1.00E-06
I3	2.5	0.021	3.50E-06
I4	3.5	-	-

- Le Ks obtenu est l'amplitude de la courbe exponentielle qui fitte les données (l'ordonnée à l'origine dans le graphe semi-log).
- Suite aux différents problèmes rencontrés lors de l'infiltrométrie 4, Ks n'est pas calculé pour cet essai.

Humidité

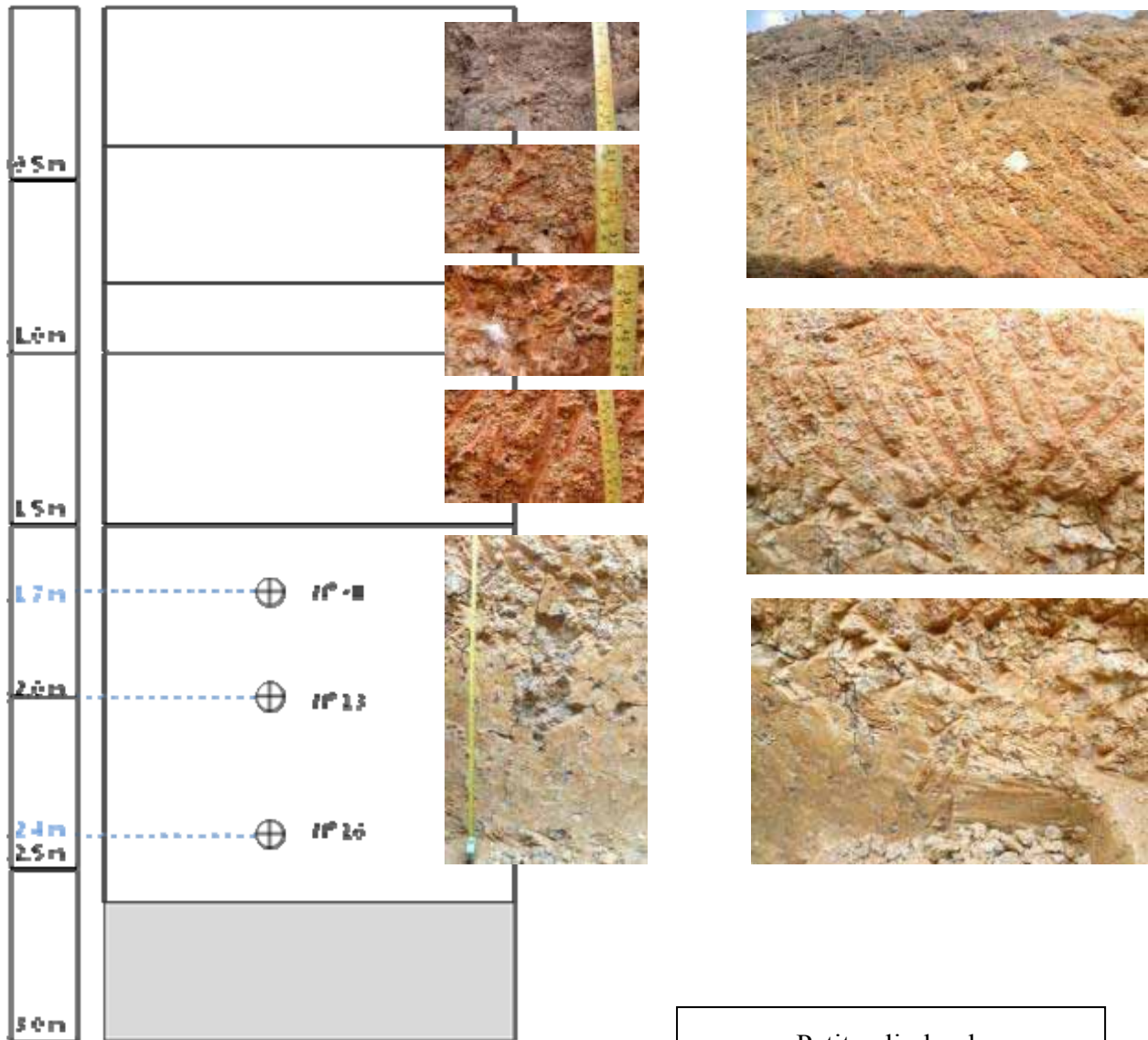
Infiltró	Etat	masse extraite brute (g)	masse séchée brute (g)	poid boîte (g)	volume boîte (cm3)	masse extraite (g)	masse séchée (g)	masse eau (g)	humidité massique (%)	porosité
I1	initial	223,9	202,5	48,1	100	175,8	154,4	21,4	12,17	41,74
I1	final	208,3	184,6	48	100	160,3	136,6	23,7	14,78	48,45
I2	initial	226,1	198,9	48,1	100	178	150,8	27,2	15,28	43,09
I2	final	229,1	186,9	48,9	100	180,2	138	42,2	23,42	47,92
I3	initial	252,1	223,6	48,4	100	203,7	175,2	28,5	13,99	33,89
I3	final	235,5	198,8	48,3	100	187,2	150,5	36,7	19,60	43,21
I4	initial	225,2	187,1	47,2	100	178	139,9	38,1	21,40	47,21
I4	final	226,8	189,8	49,4	100	177,4	140,4	37	20,86	47,02

Remarque : Pour l'infiltró 4 on a décidément des résultats très très étranges !!!!

ANNEXE 5 : FOSSE E

X = 347191 m
Y = 1077288 m

Ancienne zone de jachère, près du baobab près de la piste, brûlée récemment.



⊕ Petit cylindre de densité

IP 11 N° de boîte stockée sur Cotonou

Legende

1	Horizon noir compact, sableux, présence de grosses racines et de quelques gravillons.
2	Horizon ocre et rouge argileux, présence de gravillons noirs mats.
3	Lit de quartz cimenté par des gravillons et de l'argile.
4	Horizon rouge argileux, présence de gravillons noirs mats et de feuillets de roche pourrie.
5	Horizon gris argileux avec passé ocre. Débit des blocs avec faces sigmoïdes, témoins de retrait-gonflement typique. 5 jours après ouverture les fissures font jusqu'à 5 mm en horizontal et 8 mm en vertical. Les fissures sont actives par rapport à l'eau car certaines montrent des dépôts de fer. Pas de racines à partir de 1.5 m.

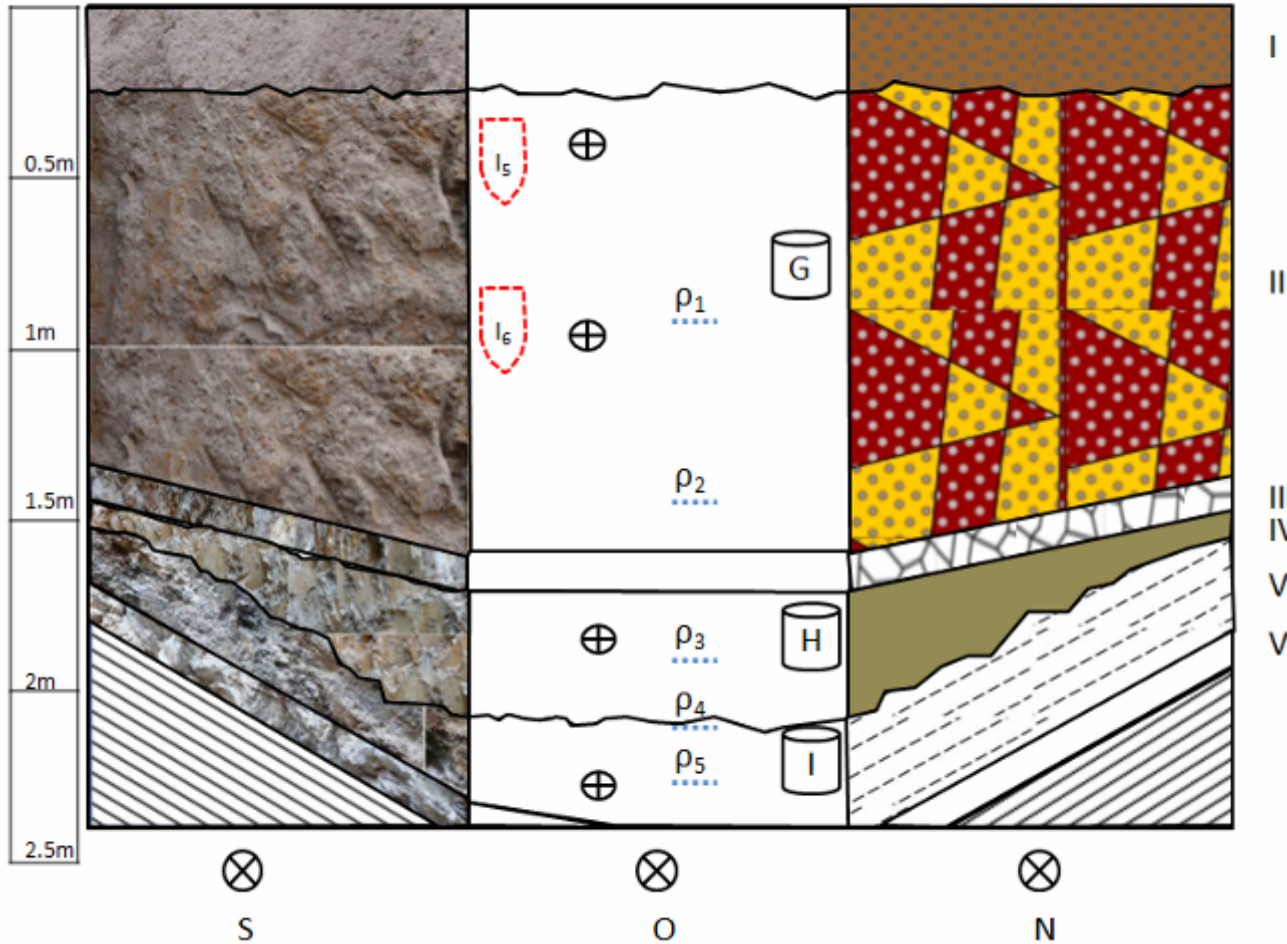
Résultats

Boite	masse extraite brute (g)	masse séchée brute (g)	poind boîte (g)	volumebôte (cm3)	masse extraite (g)	masse séchée (g)	masse eau (g)	humidité massique (%)	porosité
16	295.8	248.9	106.3	100	189.5	142.6	46.9	24.75	46.19
XII	302.7	258	105.2	100	197.5	152.8	44.7	22.63	42.34
13	300.2	253.9	106.9	100	193.3	147	46.3	23.95	44.53

ANNEXE 6 : FOSSE BAS-FOND

I5 : $K_s = 1.16E-05$ m/s
 I6 : $K_s = 1.09E-05$ m/s

Fosse Nalohou Bas-Fond (BF)



	Infiltromètre		Grand cylindre de densité
	Petit cylindre de densité		Mesures de résistivité électrique

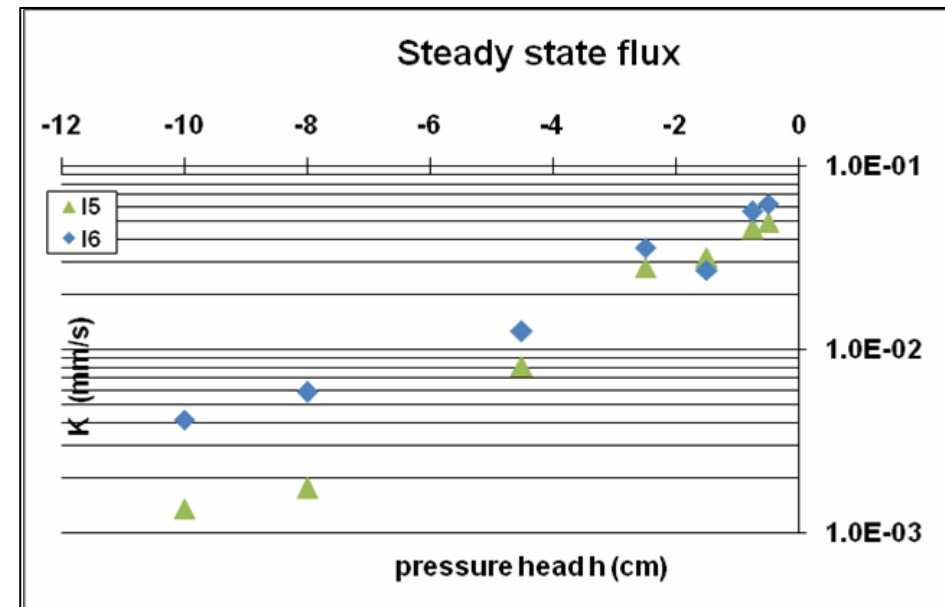
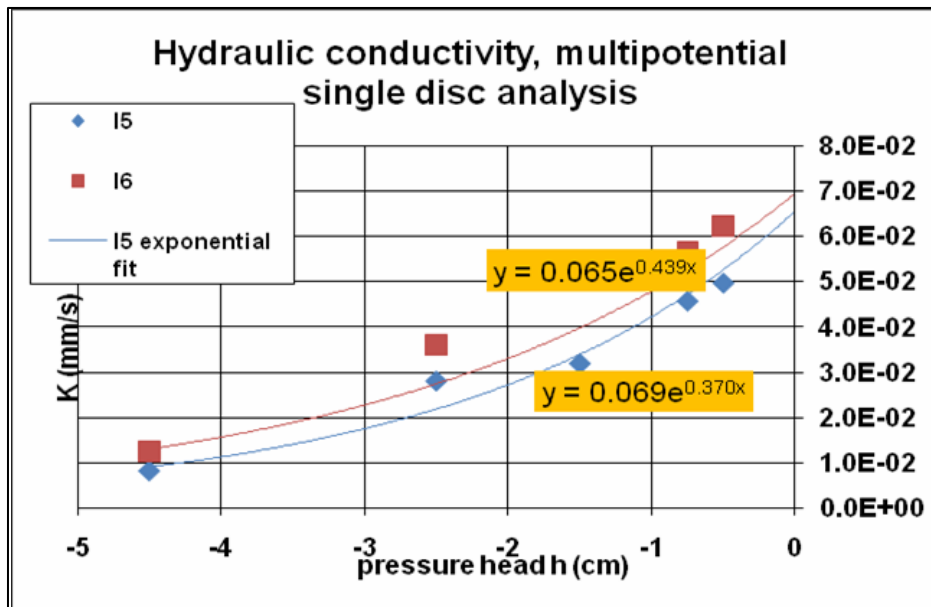
I	sol gris sab	Résistivités :		
		$\rho_1 = 177.7 \Omega.m$	$\rho_3 = 10.4 \Omega.m$	
		$\rho_2 = 234.3 \Omega.m$	$\rho_4 = 67 \Omega.m$	$\rho_5 = 211.2 \Omega.m$

II	cuirasse non consolidée grise à faible profondeur, et plus orangée vers le bas. La couche est légèrement argileuse, on observe des fentes de dessiccation sur les parois de la fosse après une journée d'exposition.
III	un banc de quartz, similaire à celui que l'on retrouve dans la fosse C (horizon 4).
IV	horizon brun ocre argilo-sableux, s'épaississant vers l'est, se mélangeant avec l'horizon V sur le mur nord. Il ne possède pas ce reflet nacré que l'on retrouve dans l'horizon similaire de la fosse C, l'horizon 9.
V	schistes altérés de pendage 20°est avec une faible composante sud. Légèrement argileux.
VI	roche dure, très peu altérée. Blanc laiteux du feldspath. Présence de muscovite. Identique à l'horizon blanc très altéré de la fosse C (horizon 8).

DIMENSION GROS CYLINDRES		
Cylindre	Diamètre (cm)	Hauteur (cm)
G	11.6	12.8
H	11.5	12.3
I	10.7	12.5

Résultats

I5 - I6



Bilan

Infiltró	profondeur (m)	K(cm/mn)	K(m/s)
I5	0.5	0,0693	1,16E-05
I6	1	0,0654	1,09E-05

Les conductivités hydrauliques mesurées sont relativement proches, et environ un ordre de grandeur plus fortes que dans la fosse C de Nalohou.

Humidité

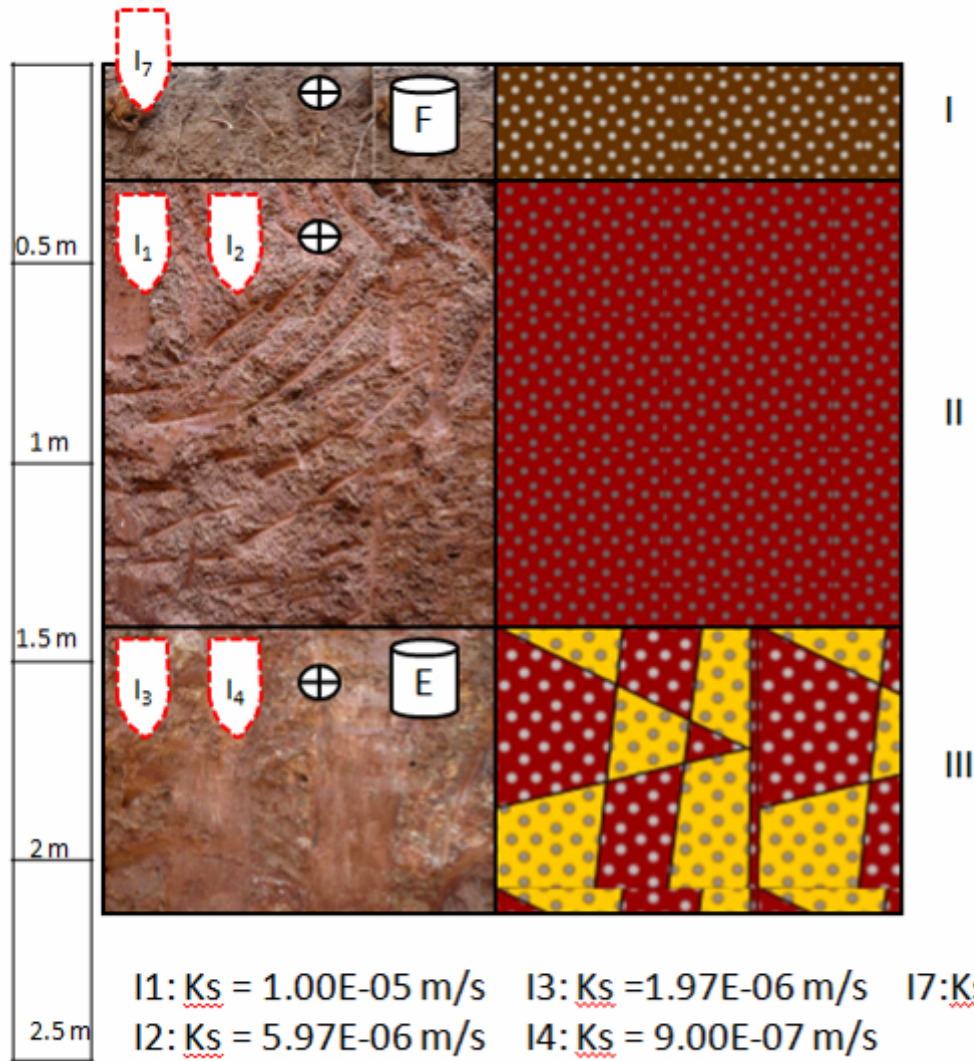
Infiltró	Etat	masse extraite brute (g)	masse séchée brute (g)	poid boîte (g)	volume boîte (cm3)	masse extraite (g)	masse séchée (g)	masse eau (g)	humidité massique (%)	Porosité
I5	initial	276,2	263,3	108	100	168,2	155,3	12,9	7,67	41,40
I5	final	241,4	211,4	47,9	100	193,5	163,5	30	15,50	38,30
I6	initial	253,8	230	47,9	100	205,9	182,1	23,8	11,56	31,28
I6	final	254,5	222,3	48,4	100	206,1	173,9	32,2	15,62	34,38

Densités

horizons	poids sec	v(cm3)	dsol (kg/m3)	Dtheorique (kg/m3)	porosité (%)
IV	149,9	100	1499	2650	43,43
V	199,1	100	1991	2650	24,87
I6	163,9	100	1639	2650	38,15
I5	155,3	100	1553	2650	41,40

ANNEXE 7 : FOSSE BELEFOUNGOU

Forêt protégée, terrain latéritique gris-noir



I1: $K_s = 1.00E-05$ m/s I3: $K_s = 1.97E-06$ m/s I7: $K_s = 1.25E-05$ m/s
 I2: $K_s = 5.97E-06$ m/s I4: $K_s = 9.00E-07$ m/s



Infiltromètre
 Petit cylindre de densité
 Grand cylindre de densité

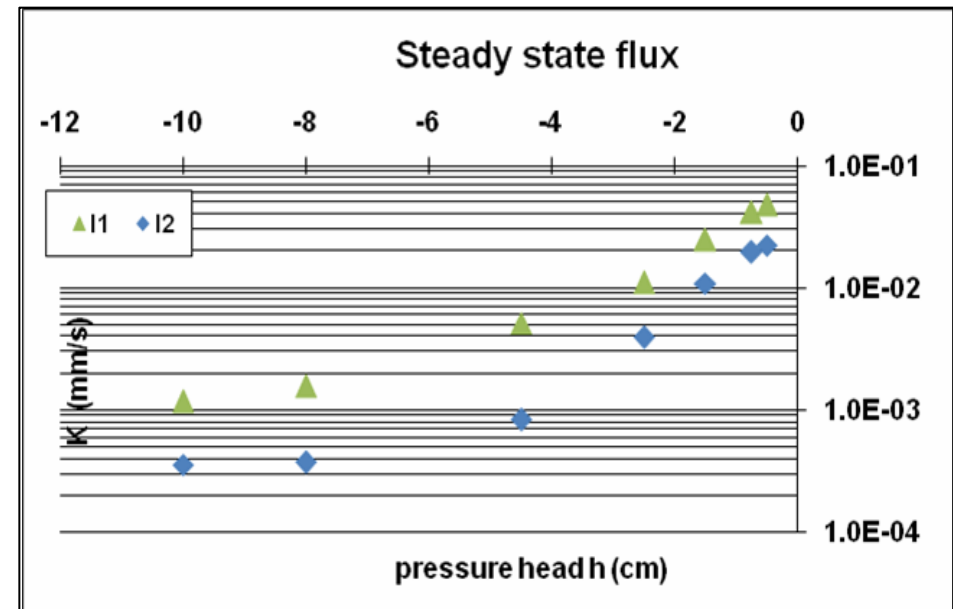
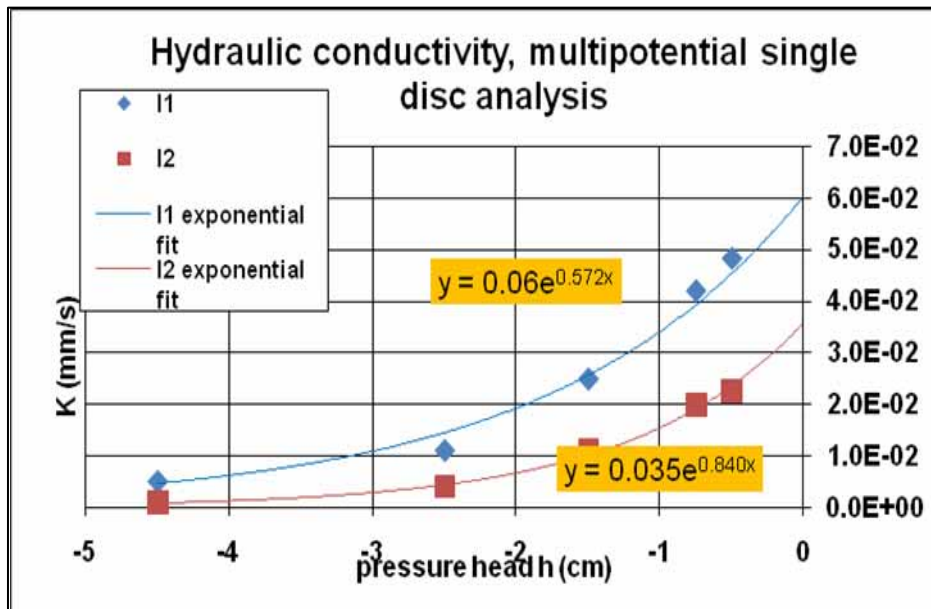
Légende

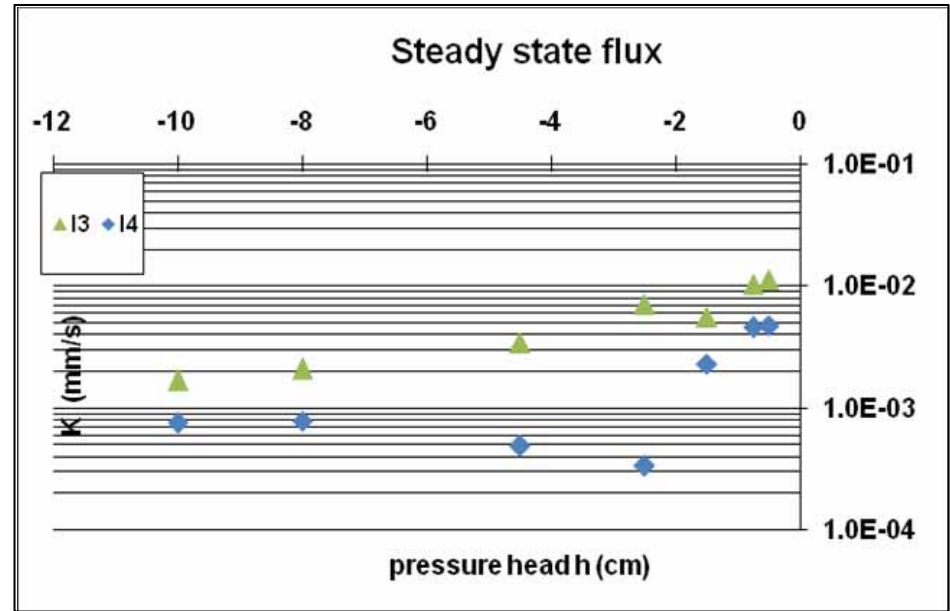
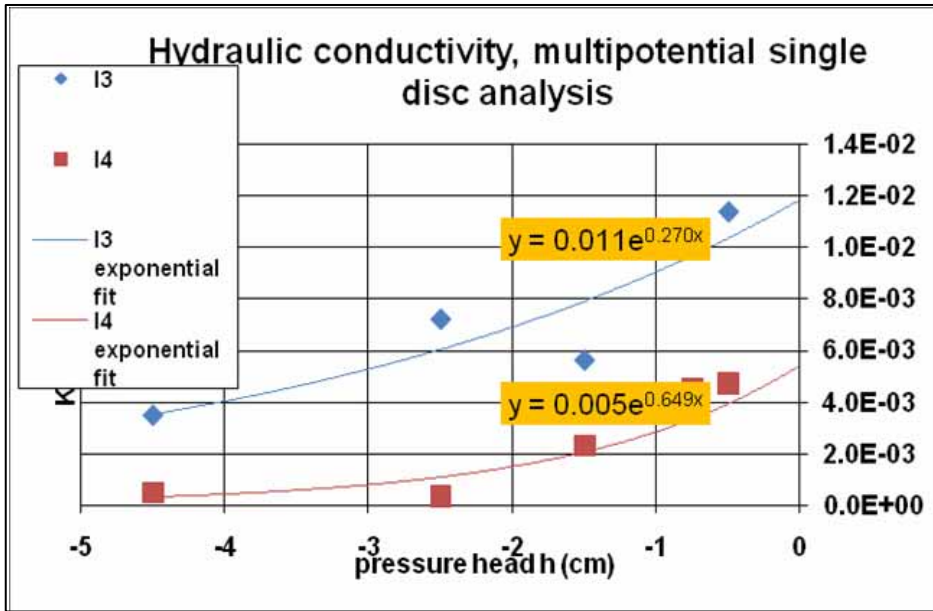
I	20 à 30 cm de sol gravillonnaire gris composé de grains centimétriques dans une matrice sableuse, typique de sols cuirassiques non consolidés. Dans cet horizon se concentrent environ 90% des racines de toute la coupe, notamment les plus grosses, pluri-centimétriques.
II	1.80m de cuirasse latéritique brune à rouge en voie de consolidation entrecoupée par quelques rares bancs de couleur jaune à blanche. Quelques racines.
III	Horizon sablo-argileux bariolé de couleurs ocre-jaune-blanc. L'altération est telle qu'il est difficile de déterminer la formation originale.

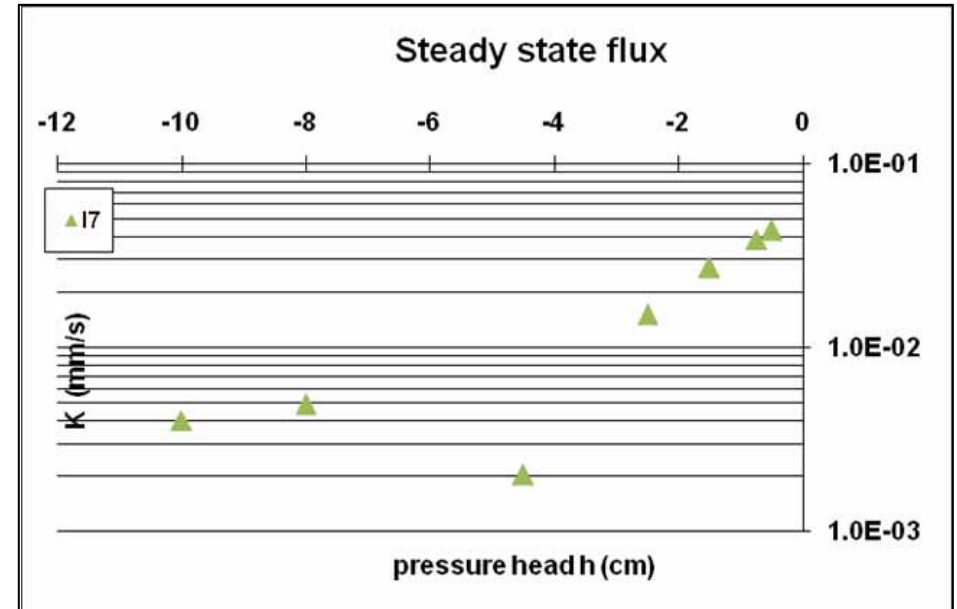
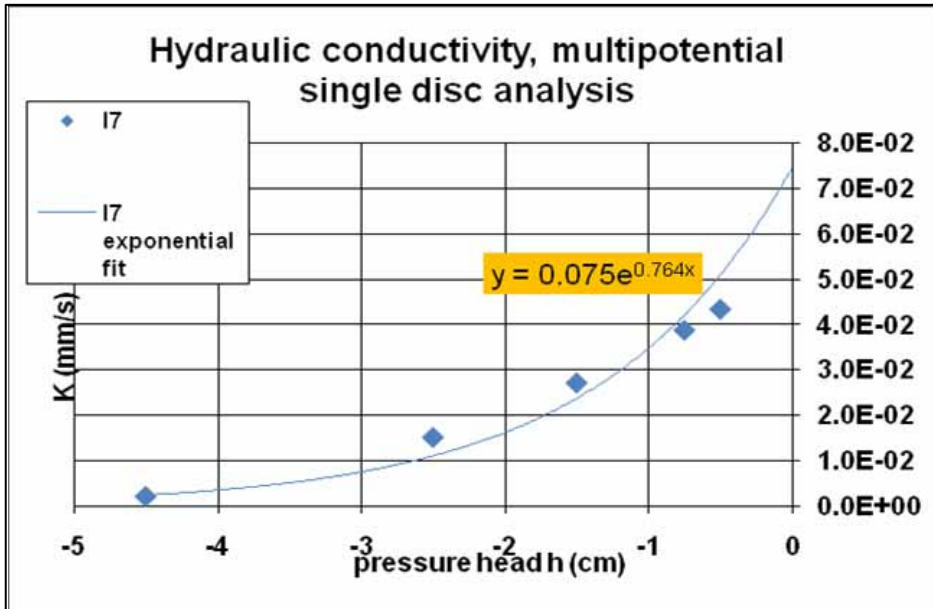
DIMENSION GROS CYLINDRES		
Cylindre	Diamètre (cm)	Hauteur (cm)
E	10.5	12.8
F	10.5	12.8

Résultats

I1 - I2







Bilan

Infiltro	profondeur (m)	K(cm/mn)	K(m/s)
I1	0.5	0,06	1,00E-05
I2	0.5	0,0358	5,97E-06
I3	1.5	0,0118	1,97E-06
I4	1.5	0,0054	9,00E-07
I7	0	0,075	1,25E-05

Les résultats sont très hétérogènes, pour un milieu d'apparence très homogène. On s'attend à trouver des conductivités similaires pour une même marche, ce qui n'est pas vraiment le cas. De plus, ces résultats sont les plus fiables de toute la série, au vu du bon déroulement des expériences.

On peut néanmoins noter une diminution de la conductivité avec la profondeur.

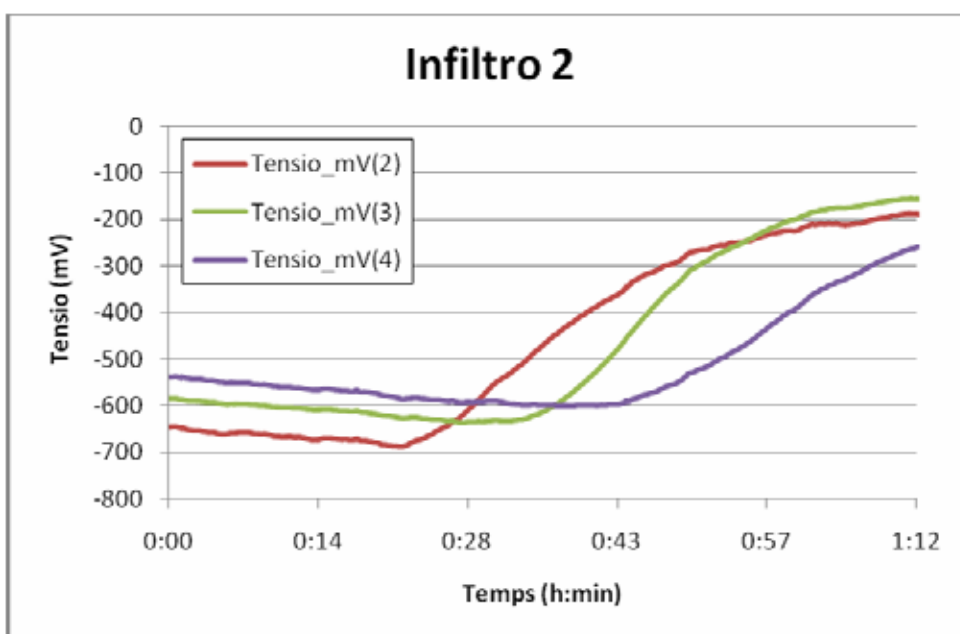
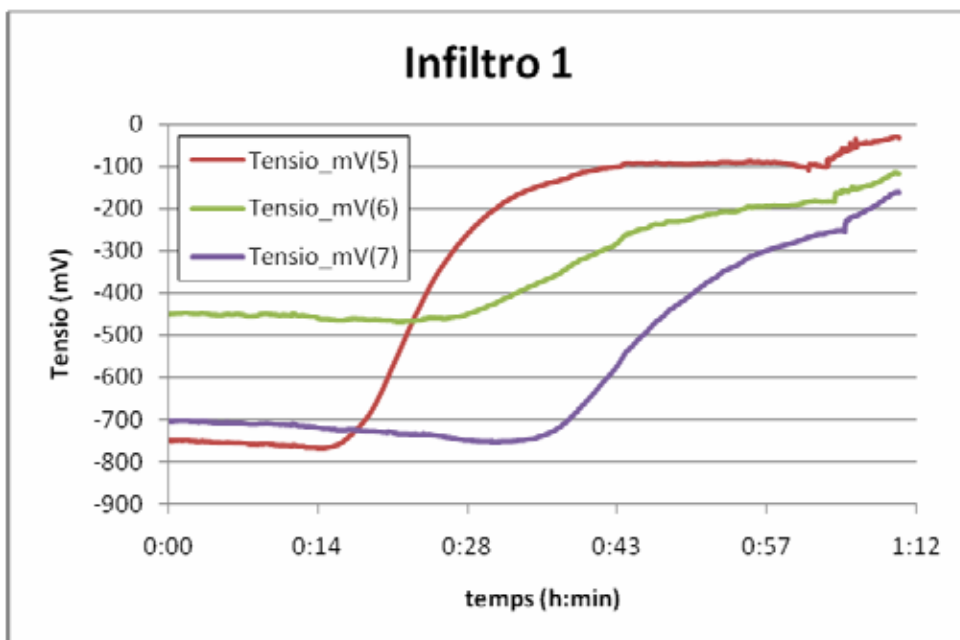
Humidité

Infiltro	Etat	masse extraite brute (g)	masse séchée brute (g)	poid boîte (g)	volume boîte (cm3)	masse extraite (g)	masse séchée (g)	masse eau (g)	humidité massique (%)	Porosité
I1	initial	212,3	194,6	39,5	100	172,8	155,1	17,7	10,24	41,47
I1	final	251,4	221,8	39,3	100	212,1	182,5	29,6	13,96	31,13
I2	initial	212,3	194,6	39,5	100	172,8	155,1	17,7	10,24	41,47
I2	final	234,7	205,2	39,8	100	194,9	165,4	29,5	15,14	37,58
I3	initial	242,1	208,5	48,4	100	193,7	160,1	33,6	17,35	39,58
I3	final	249,6	214,8	48,3	100	201,3	166,5	34,8	17,29	37,17
I4	initial	242,1	208,5	48,4	100	193,7	160,1	33,6	17,35	39,58
I4	final	248	214,1	48,1	100	199,9	166	33,9	16,96	37,36
I7	initial	280	273,9	108	100	172	165,9	6,1	3,55	37,40
I7	final	250,3	223,1	48,4	100	201,9	174,7	27,2	13,47	34,08

Jachère



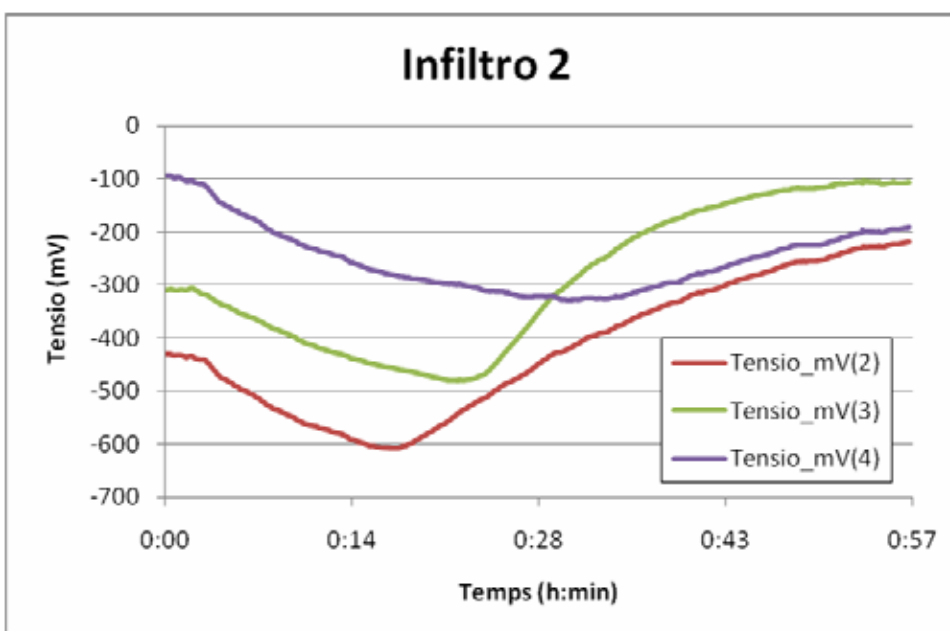
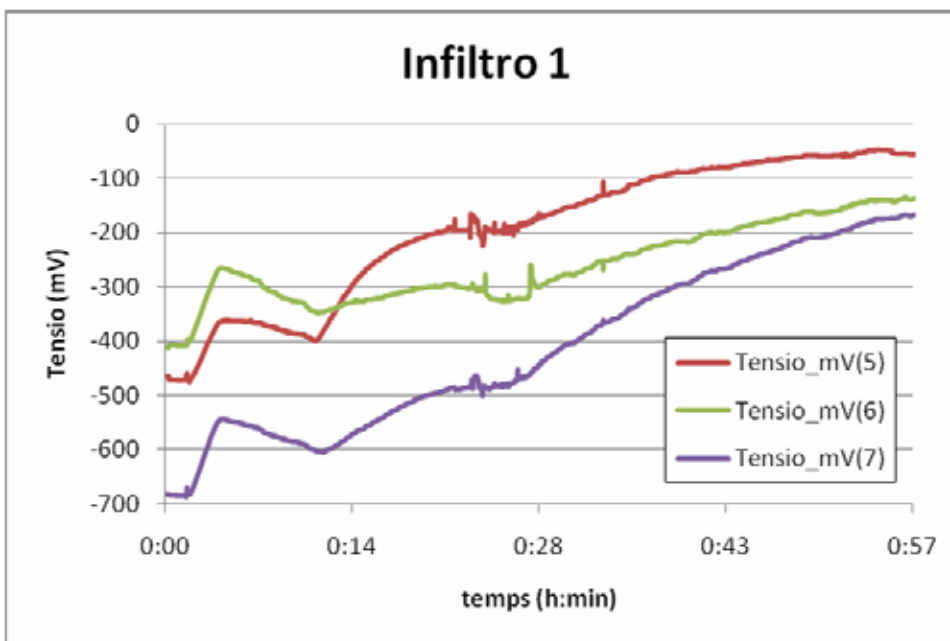
- Ancienne jachère maintenant brûlée .



Champ d'ingname



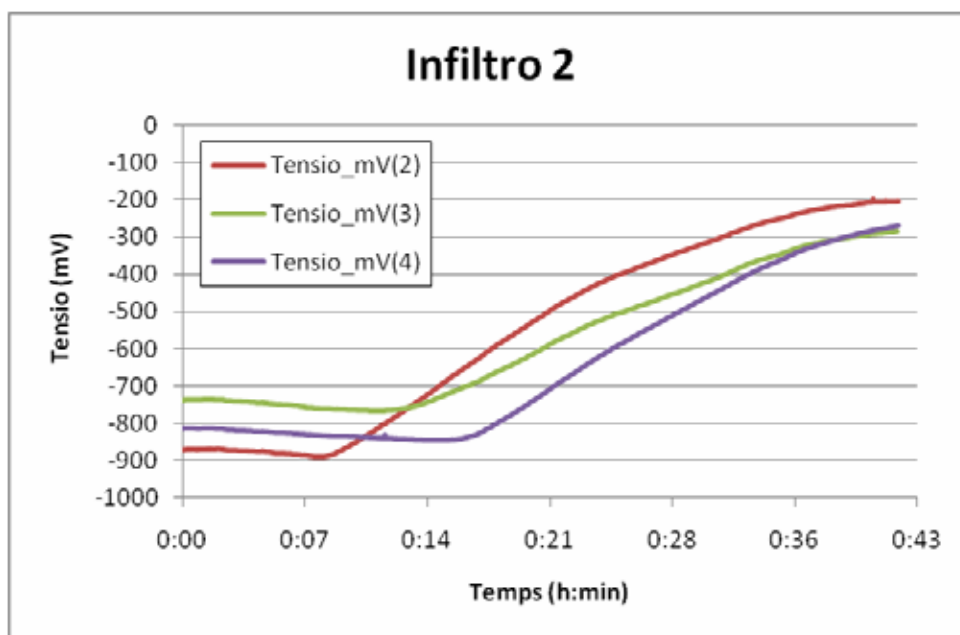
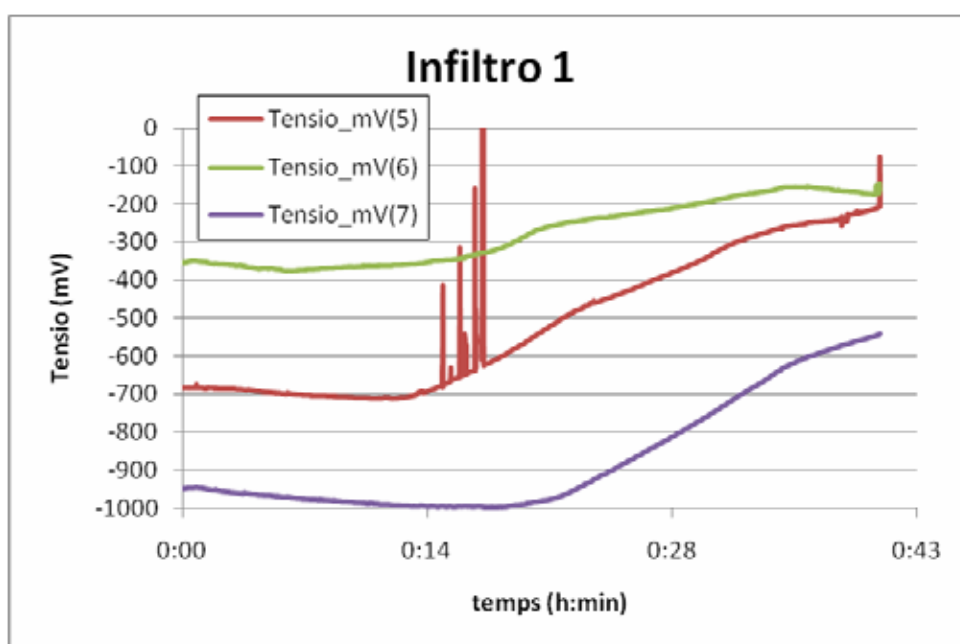
- Bord de champ d'ingnames, essai effectué entre les butes.
- Infiltro 1 : infiltration très rapide car présence d'un gros cailloux dans le cylindre.



Bosquet d'anachardier



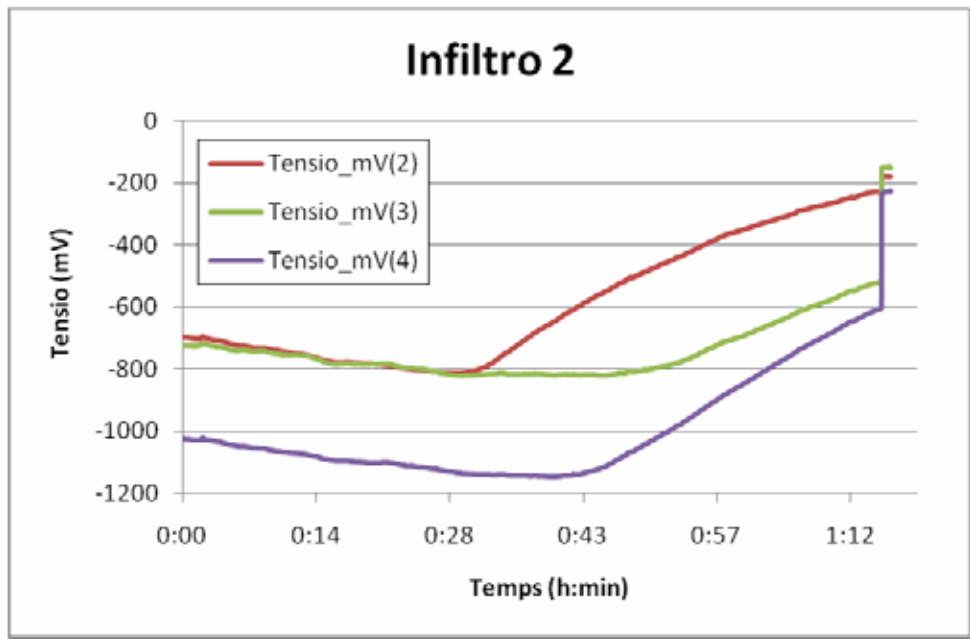
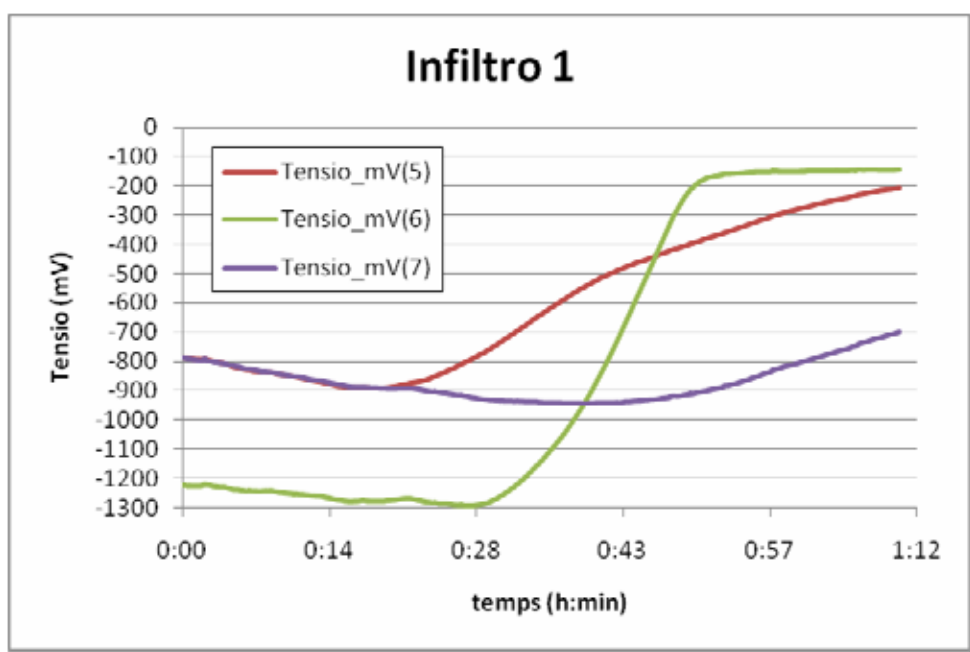
- Bosquet d'anachardier, sol recouvert de feuilles mortes et d'herbes sèches.



Champ de mil



- Ancien cham de mil, trace de brulé, recouvert de gravillons de quartz.



Bas-fond



- Bas fond, ancienne jachère, trace de brûlé
- Résultats dans la CR1000 renvoyée en France. A rajouter !

ANNEXE 9 : Coordonnées GPS et levés topographiques des profils électriques

Parschall Profil électrique 1			
Distances (m)	X (UTM, m)	Y (UTM, m)	Z (m)
0	346910	1077472	448.323
2	346908	1077472	448.365
4	346906	1077472	448.249
6	346904	1077472	448.185
8	346902	1077472	448.148
10	346900	1077472	448.059
12	346898	1077472	448.040
14	346896	1077472	448.048
16	346894	1077472	447.968
18	346892	1077472	447.888
20	346890	1077472	447.895
22	346888	1077472	447.712
24	346886	1077472	447.655
26	346884	1077472	447.546
28	346882	1077472	447.500
30	346880	1077472	447.440
32	346878	1077472	447.415
34	346876	1077472	447.357
36	346874	1077472	447.305
38	346872	1077472	447.261
40	346870	1077472	447.193
42	346868	1077472	447.117
44	346866	1077472	447.076
46	346864	1077472	447.007
48	346862	1077472	446.980
50	346860	1077472	446.832
52	346858	1077472	446.570
54	346856	1077472	446.310
56	346854	1077472	446.166
58	346852	1077472	446.158
60	346850	1077472	446.150
62	346848	1077472	446.163
64	346846	1077472	446.111
66	346844	1077472	446.106
68	346842	1077472	446.005
70	346840	1077472	445.938
72	346838	1077472	445.964
74	346836	1077472	446.035
76	346834	1077472	446.136
78	346832	1077472	446.201
80	346830	1077472	446.306
82	346828	1077472	446.510
84	346826	1077472	446.756
86	346824	1077472	446.895
88	346822	1077472	447.119
90	346820	1077472	447.198
92	346818	1077472	447.376
94	346816	1077472	447.612
96	346814	1077472	447.598
98	346812	1077472	447.613
100	346810	1077472	447.561
102	346808	1077472	447.573
104	346806	1077472	447.612
106	346804	1077472	447.659
108	346802	1077472	447.722
110	346800	1077472	447.909
112	346798	1077472	447.943
114	346796	1077472	447.955
116	346794	1077472	447.973
118	346792	1077472	447.929
120	346790	1077472	447.987
122	346788	1077472	448.044
124	346786	1077472	448.117
126	346784	1077472	448.166
127	346783	1077472	448.227

Parschall profil électrique 2			
Distances (m)	X (UTM, m)	Y (UTM, m)	Z (m)
0	346876	1077492	446.696
2	346874	1077492	446.682
4	346872	1077492	446.671
6	346870	1077492	446.576
8	346868	1077492	446.491
10	346866	1077492	446.444
12	346864	1077492	446.346
14	346862	1077492	446.282
16	346860	1077492	446.210
18	346858	1077492	445.764
20	346856	1077492	445.411
22	346854	1077492	445.093
24	346852	1077492	444.946
26	346850	1077492	444.955
28	346848	1077492	444.918
30	346846	1077492	444.896
32	346844	1077492	444.876
34	346842	1077492	444.908
36	346840	1077492	444.964
38	346838	1077492	445.005
40	346836	1077492	444.936
42	346834	1077492	445.086
44	346832	1077492	445.265
46	346830	1077492	445.571
48	346828	1077492	445.783
50	346826	1077492	445.946
52	346824	1077492	446.098
54	346822	1077492	446.274
56	346820	1077492	446.564
58	346818	1077492	446.801
60	346816	1077492	446.908
62	346814	1077492	446.941
63	346813	1077492	446.946

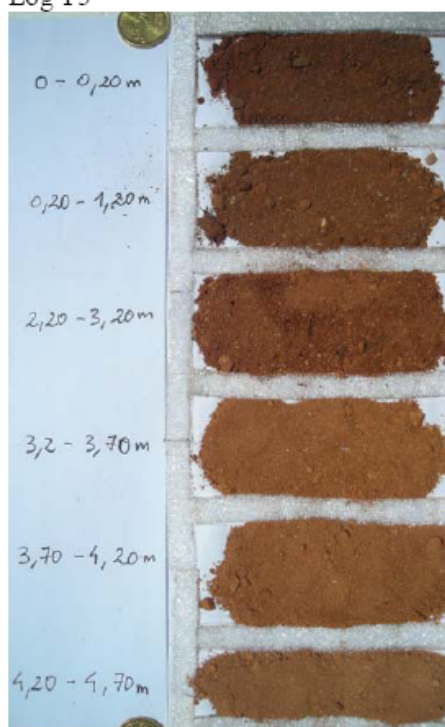
Coordonnées et points topographiques des profils électriques de la zone du parschall.

Nom Profil	Début profil			Fin profil		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Carré gravi Profil 1	346971.018	1077162.189	454.780	347154.833	1077163.567	451.441
Carré gravi Profil 2	346960.203	1077206.893	454.680	347149.374	1077222.673	452.210
Carré gravi Profil 3	346963.587	1077256.556	454.201	347154.654	1077260.729	452.126
Carré gravi Profil 4	346968.536	1077305.004	447.129	347156.893	1077307.829	451.648
Carré gravi Profil 5	346968.544	1077356.865	451.518	347156.958	1077359.405	450.133

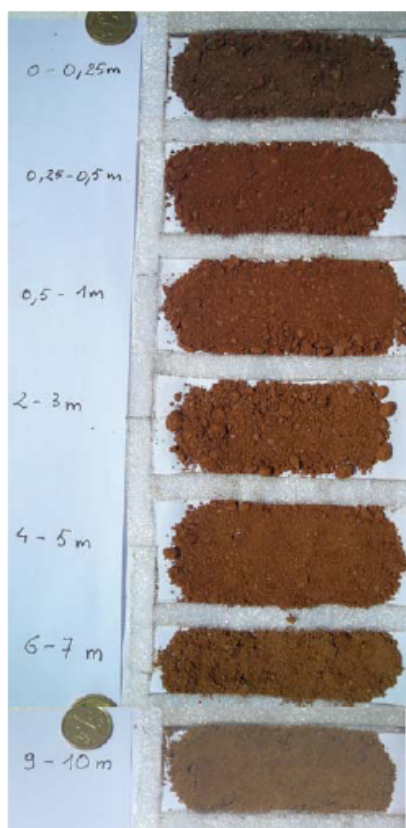
Coordonnées (UTM, m) et altitudes (m) des profils électriques du carré autour du gravimètre.

ANNEXE 10 : Photographies des cuttings de forage

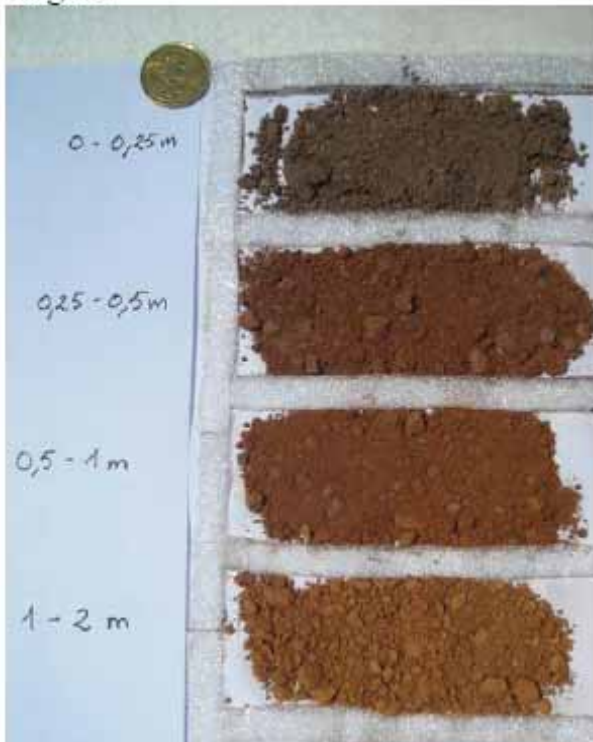
Log T5



Log T10



Log T2



Log T11



Log T17

