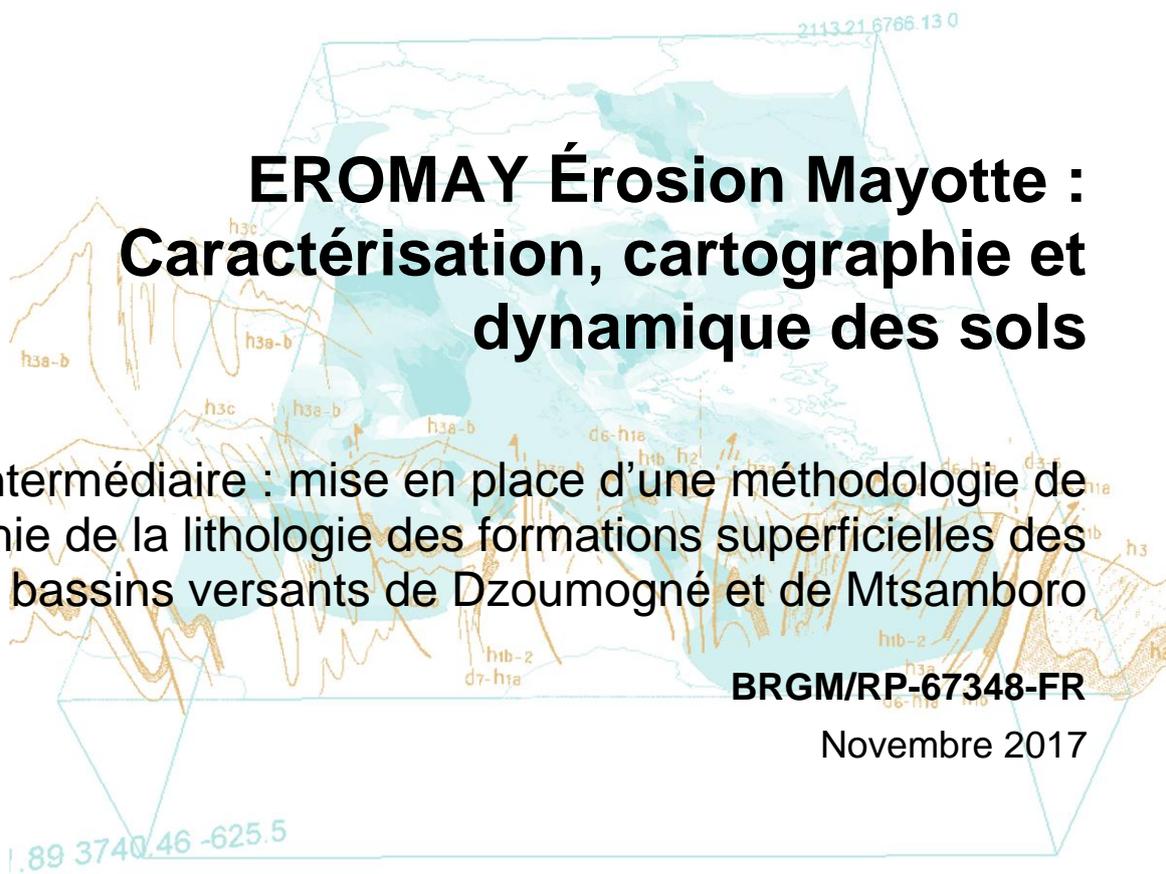


Document public



EROMAY Érosion Mayotte : Caractérisation, cartographie et dynamique des sols

Rapport intermédiaire : mise en place d'une méthodologie de cartographie de la lithologie des formations superficielles des bassins versants de Dzoumogné et de Mtsamboro

BRGM/RP-67348-FR

Novembre 2017



Géosciences pour une Terre durable

brgm

EROMAY Érosion Mayotte : Caractérisation, cartographie et dynamique des sols

Rapport intermédiaire : mise en place d'une
méthodologie de cartographie de la lithologie des
formations superficielles des bassins versants de
Dzoumogné et de Mtsamboro

BRGM/RP-67348-FR

Novembre 2017

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Recherche du BRGM 2017

C. Prognon, J. Bernard, F. Lacquement, A. Raingeard, P.A. Reninger
(Auteurs dans l'ordre alphabétique après l'auteur principal)

Vérificateur :

Nom : H. TISSOUX

Fonction : Responsable scientifique du
programme RGH05

Date : 22/12/2017

Signature :



Approbateur :

Nom : Frédéric Tronel

Fonction : Directeur DAT Mayotte

Date : 21/02/2018

Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.



Géosciences pour une Terre durable

brgm



Mots-clés : Mayotte, Érosion, Cartographie, Électromagnétisme

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

C. Prognon, J. Bernard, F. Lacquement, A. Raingeard, P.A. Reninger (2017) – EROMAY Érosion Mayotte : Caractérisation, cartographie et dynamique des sols. Rapport intermédiaire: mise en place d'une méthodologie de cartographie de la lithologie des formations superficielles des bassins versants de Dzoumogné et de Mtsamboro BRGM/RP-67348-FR. 44 p., 21 fig., 4 tab.

Synthèse

Le BRGM a proposé dans le cadre du CPER et dans le cadre de la feuille de route sur la lutte contre l'érosion des sols de Mayotte, la mise en place d'une étude concernant la caractérisation et la dynamique des formations superficielles à Mayotte. Les besoins sont de caractériser et cartographier les matériaux facilement mobilisables. La connaissance des niveaux d'infiltration et d'érodibilité des différentes formations superficielles permet, entre autres, d'identifier les zones sensibles à protéger en priorité, sur lesquelles les mécanismes d'érosion apparaissent plus rapidement et plus intensément, mais également de caler certains paramètres physiques fondamentaux pris en compte dans la modélisation du ruissellement, de la production et du transport des matières minérales qui se retrouveront en suspension dans les eaux de ruissellement.

À partir des documents existants et de campagnes de terrains, une cartographie lithologique des formations superficielles au 1/10 000 a été réalisée sur les bassins versants de Dzoumogné et Mtsamboro, bassins versants pilotes. L'utilisation des données d'électromagnétisme (EM) aéroporté acquises en 2010 a alors été testée dans le cadre de ce projet pour évaluer leur potentiel en termes de cartographie prédictive.

Les premiers résultats obtenus en utilisant les données EM démontrent une sensibilité du signal à la nature lithologique de la proche surface et sont donc encourageants pour apporter une information pertinente et utilisable sur l'ensemble du territoire mahorais.

La méthodologie définie en 2017 et affinée en 2018, sera ensuite appliquée à l'ensemble de l'île de Mayotte d'ici à 2019.

Sommaire

1. Introduction	9
1.1. PROBLÉMATIQUE	9
1.2. OBJECTIFS DU PROJET	10
2. Méthodologie de travail	11
2.1. CONTEXTE GÉOLOGIQUE	11
2.2. CAMPAGNE DE TERRAIN	11
2.3. ANALYSE ET TRAITEMENT DES DONNÉES GÉOPHYSIQUES	11
3. Résultats	13
3.1. CAMPAGNE DE TERRAIN 2017	13
3.1.1. Les formations autochtones	14
3.1.2. Les formations allochtones	17
3.1.3. Carte lithologique	23
3.2. PROPOSITIONS DE PLACETTES	24
3.3. CARACTÉRISATION DE L'ERODIBILITÉ ET DU RUISSELLEMENT	25
3.4. ÉTUDE DU LEVÉ D'ÉLECTROMAGNÉTISME HÉLIporté	27
3.4.1. Principe de la mesure	27
3.4.2. Acquisition des données	28
3.4.3. Traitement des données	28
3.4.4. Interprétation.....	30
3.4.5. Vers une cartographie prédictive ?.....	34
4. Conclusions et perspectives	39
5. Bibliographie	41

Liste des figures

Figure 1 : Localisation des points d'observation avec détermination de la nature lithologique affleurante dans les bassins versant de Mtsamboro et Dzoumogné (les codes légendes seront décrits dans la suite du document), propositions de placettes complémentaires pour le projet LESELAM.	13
Figure 2 : Coulée de basalte aphyrique dans le faciès H3 présentant de nombreuses fissures liées à l'latération météoritique	15
Figure 3 : Profil schématique des différents horizons composant un profil d'altération et illustration à partir d'exemples pris dans les bassins versants de DzoumognéDzoumogné et de Mstamboro (Thierry et al. soumis) – exemples d'affleurements dans les différents horizons d'altération.	16
Figure 4 : Alluvions grossières conglomératiques dans le lit d'une rivière – affleurement FL0062.	17
Figure 5 : Alluvions sablo-graveleuses constituant la matrice des dépôts conglomératiques – affleurement FL0064.	18
Figure 6 : Alluvions limoneuses – affleurement FL0063.	19
Figure 7 : Dépôts de pente limono-argileuses à rares blocs subanguleux – affleurement FL0084 (en haut) et FL0047 (en bas).....	20
Figure 8 : Dépôts de pente à matrice argilo-sableux à blocs subanguleux – affleurement FL0044.	21
Figure 9 : Dépôt de pente grossier à blocs jointifs – affleurement FL0035 (en haut) et FL0041 (en bas). ..	22
Figure 10 : Carte lithologique des bassins versants de Mtsamboro et Dzoumogné (légende dans le texte).....	23
Figure 11 : Localisation des points de mesure exploitables au niveau de la zone d'étude. La carte en fond est la carte lithologique présentée Figure 10.	29
Figure 12 : Valeurs de resistivité par lithologie si l'on considère la première couche des sondages EM... ..	30
Figure 13 : Valeurs de resitivité par lithologie si l'on considère les quatre premières couches des sondages EM.....	31
Figure 14 : Cartographie lithologique des formations allochtones aux points de mesure EM. L'échelle de couleur est directement basée sur la résistivité imagée en surface et a été adaptée au regard des résultats de la statistique manuelle réalisée.	32
Figure 15 : Cartographie lithologique des formations autochtones aux points de mesure EM. L'échelle de couleur est directement basée sur la résistivité imagée et a été adaptée au regard des résultats de la statistique manuelle réalisée.....	33
Figure 16 : Gammes de pentes (en mètres) observées pour chaque lithologie, basées sur les polygones de la carte lithologique obtenue lors de la campagne de terrain de 2017.	34
Figure 17 : Gammes de courbures observées pour chaque lithologie, basées sur les polygones de la carte lithologique obtenue lors de la campagne de terrain de 2017.	34
Figure 18 : Dendrogramme correspondant à la CAH 20 classes. La répartition en 4 classes est mise en évidence grâce aux pointillés.	35
Figure 19 : Observation du résultat de la CAH à 4 classes sur la carte lithologique.	36
Figure 20 : Observation du résultat de la CAH à 20 classes sur la carte géologique.....	37
Figure 21 : Cartographie des lithologies par définition de zones lithologique dans l'espace 3D (résistivité - pente - courbure).....	38

Liste des tableaux

Tableau 1 : Liste des placettes identifiées pour la réalisation de mesures dans le projet LESELAM.	24
Tableau 2 : Corrélation empirique entre les lithologies de la carte géologique au 1/25 000 et les degrés d'érodibilité et de ruissellement – les formations de la carte géologique non concernées ne sont pas représentées (roches dures) (0 étant la valeur la plus faible et 5 la valeur la plus forte pour chacune des grandeurs).	26
Tableau 3 : Limites de résistivité inférieures et supérieures obtenues pour les différentes lithologies décrites après statistique automatique sur quatre couches.	31
Tableau 4 : Limites de résistivité inférieures et supérieures obtenues pour les différentes lithologies décrites après comparaison manuelle.	32

1. Introduction

1.1. PROBLÉMATIQUE

Le projet EROMAY s'inscrit dans le cadre de la Feuille de Route sur la lutte contre l'érosion des sols à Mayotte sollicitée par les autorités publiques (DEAL, 2012). Il participe à l'acquisition de données indispensables au projet LESELAM (Lutte contre l'Érosion des Sols et l'Envasement du Lagon à Mayotte). Le projet vise à engager les acteurs dans une démarche collective afin de définir et mettre en œuvre un ensemble de pratiques techniques et organisationnelles de lutte contre l'érosion des sols pour une adéquation durable entre le développement de l'agriculture et de l'habitat rural d'une part, et la qualité du milieu lagunaire, d'autre part. Les objectifs opérationnels portent sur la (1) création d'un observatoire de l'érosion visant à caractériser l'érosion hydrique ; (2) la création, en partenariat avec les acteurs, d'un démonstrateur de bonnes pratiques visant à tester et évaluer à différentes échelles les premières mesures de remédiation de type agriculture de conservation (AC) et défense-restauration des sols (DRS) ; et (3) sur la structuration de l'action collective (ateliers multi acteurs) et la sensibilisation de la société civile avec un important volet de communication et de transfert de compétences vers les différents acteurs concernés.

Les actions mises en œuvre en 2015, 2016 et 2017 sur les bassins de référence de Mtsamboro et Dzoumogné portent sur l'instrumentation hydrométéorologique multi-échelles (observatoire), la réalisation, le suivi-évaluation des premières mesures de remédiation de type AC-DRS (démonstrateur) et la tenue de séries d'ateliers multi-acteurs pour la communication-sensibilisation, le transfert des connaissances et la co-construction de plan d'actions.

L'érosion hydrique des sols représente un enjeu majeur à plusieurs égards. Du point de vue agricole, la perte de sols due à l'érosion s'accompagne d'une baisse du potentiel de production. Compte tenu de la forte croissance démographique, cette évolution représente une sérieuse menace en termes de sécurité alimentaire du territoire. L'érosion entraîne également une dégradation des écosystèmes aquatiques, dont la manifestation la plus spectaculaire est l'envasement du lagon et la détérioration irréversible des récifs frangeants. Or, ce patrimoine naturel exceptionnel représente une opportunité unique de développement touristique – donc économique – qu'il convient de préserver.

C'est dans ce contexte que les services de l'État et les principaux acteurs concernés par l'érosion ont engagé une réflexion collective ayant débouchée sur un document stratégique intitulé « Feuille de Route Érosion ». Cette feuille de route propose un ensemble d'actions à réaliser sur le continuum bassin versant - lagon afin de contrôler les différents facteurs biophysiques déterminants de l'érosion hydrique des sols en milieux naturels, agricoles et d'habitat rural et préserver ainsi l'atout majeur environnemental, économique et touristique de Mayotte : son lagon.

Le projet EROMAY s'intéresse plus particulièrement au premier point. Le BRGM propose dans le cadre du CPER la mise en place d'une étude sur la caractérisation cartographique de la nature lithologique en surface et leur susceptibilité sur les facteurs d'érodibilité et de ruissellement.

1.2. OBJECTIFS DU PROJET

Dans le cadre de la compréhension des volumes de roches transférées depuis le domaine émergé vers le lagon, il est nécessaire de réaliser une caractérisation et une cartographie des matériaux facilement mobilisables à Mayotte. La connaissance des niveaux d'infiltration et d'érodibilité des différentes formations superficielles permettra, entre autres, d'identifier les zones sensibles, à protéger en priorité, sur lesquelles les mécanismes d'érosion apparaissent plus rapidement et plus intensément mais également de caler certains paramètres physiques fondamentaux pris en compte dans la modélisation du ruissellement et de la production et du transport des matières minérales qui se retrouveront en suspension dans les eaux de ruissellement.

À partir des documents existants et de compléments terrains, une cartographie lithologique des formations superficielles sera réalisée au cours de cette étude. Elle permettra d'établir une carte de paramètres en termes d'érodibilité et de capacité de ruissellement à 1/10 000, objectif final de notre étude.

La première année est consacrée à l'étude de bassins versants sur les communes de Dzoumogné et Mtsamboro ainsi qu'une première visite de celui de Salim Bé. Dans un premier temps une méthodologie de travail a été définie sur ces zones pilotes, elle fait l'objet de ce présent rapport d'avancement. L'utilisation des données d'électromagnétisme (EM) aéroporté acquises en 2010 a alors été testée dans le cadre de ce projet. La méthodologie sera ensuite appliquée à l'ensemble de l'île de Mayotte d'ici à 2019.

2. Méthodologie de travail

2.1. CONTEXTE GÉOLOGIQUE

Afin de répondre aux attentes de caractérisation des matériaux susceptibles d'être mobilisés par l'érosion et transportés jusqu'au lagon, il est nécessaire d'avoir à disposition une information sur la nature lithologique en surface et sur les premiers centimètres.

Pour le moment, le seul document cartographique rendant compte de la nature lithologique des terrains affleurants sur l'île de Mayotte correspond à la carte géologique de Mayotte au 1/30 000 réalisé en 2013. Sur ce document, les auteurs ont caractérisé différentes formations géologiques en apportant une information sur le degré d'altération des roches autochtones (en « place ») ainsi que sur la nature des formations allochtones (alluvions et formations de pente) masquant les terrains autochtones.

Pour chaque entité ou caisson géologique, la description des terrains concernés permet d'avoir une idée des différents états de la roche suivant son altération, ou des différents faciès lithologiques résultant d'un contexte de remobilisation et/ou dépôt. Ces variations sont parfois importantes au sein d'un même caisson et ne permettent pas une traduction directe de celui-ci en terme de lithologie, une variabilité importante de lithologie pouvant être contenu au sein d'un seul caisson. Ainsi par exemple, le caisson des colluvions englobe l'ensemble des formations de pente à matrice argilo-silteuse dont la proportion de blocs et leur taille peuvent varier fortement (de l'amont vers l'aval et/ou latéralement). De la même manière les séries laviques altérées sont souvent rassemblées dans le faciès « isaltérites ». Or ce faciès regroupe plusieurs sous ensemble dont la variabilité n'est pas représentable au 1/30 000, mais dont le comportement en surface face aux facteurs d'érosion est différent et peut être représenté au 1/10 000, échelle de restitution de notre étude.

2.2. CAMPAGNE DE TERRAIN

Au cours de l'hiver austral 2017, une campagne de cartographie a été organisée sur la partie nord de l'île, au niveau des bassins versants de Dzoumogné et Mtsamboro, bassin instrumentés dans le projet LESELAM. La mission de terrain s'est achevée par la visite du bassin versant de Salim Bé.

La méthodologie de terrain déployée sur l'année 1 du projet est définie comme suit :

- identification des différentes formations géologiques en termes de lithologie sur le terrain et choix d'une méthode de cartographie à 1/10 000 ;
- description d'affleurements représentatifs de l'ensemble des lithologies rencontrées. Une attention particulière a été portée aux affleurements au droit des lignes de vol EM ;
- définition d'une légende détaillée adaptée ;
- propositions d'implantation de placettes complémentaires pour le projet LESELAM en fonction des lithologies rencontrées sur le terrain.

2.3. ANALYSE ET TRAITEMENT DES DONNÉES GÉOPHYSIQUES

Sur la base des éléments de terrain acquis sur les bassins versants étudiés, une analyse des résultats EM a été entreprise afin d'évaluer son potentiel d'utilisation pour la cartographie prédictive des lithologies de surface.

3. Résultats

3.1. CAMPAGNE DE TERRAIN 2017

Au cours de l'hiver austral, une campagne de cartographie de la nature lithologique des terrains affleurants dans les bassins versants de Dzoumogné et Mtsamboro a été réalisée ainsi qu'une visite du bassin versant de SalimBé.

Au cours de cette mission, 356 points d'observation ont été récoltés sur les bassins versants de Dzoumogné et de Mtsamboro afin de produire deux documents cartographiques. La carte du bassin versant de Dzoumogné a été levée au 1/5 000, et la carte du bassin versant de Mtsamboro a été levée au 1/3 000. Pour chaque point d'observation, la position GPS a été relevée et la nature lithologique des terrains de proche surface décrite. Pour ceux présentant de faibles épaisseurs et là où il est possible d'identifier la nature des terrains sous-jacent, les géologues ont décrits la puissance de la couche de surface.

À partir de l'interprétation de l'ensemble des observations de terrain (Figure 1), a été dessinée une carte interprétative pour chacun des bassins versants, rendant compte de la nature lithologique de surface. Leur échelle de restitution est au 1/10 000.

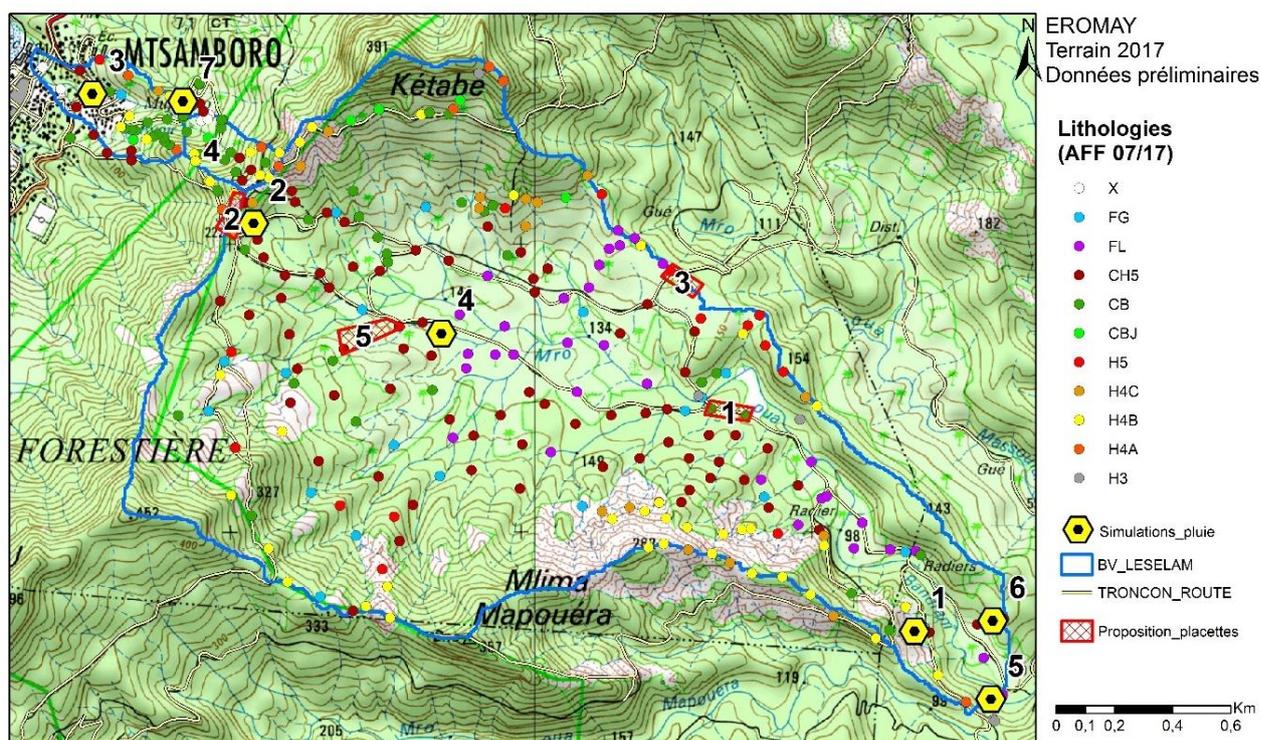


Figure 1 : Localisation des points d'observation avec détermination de la nature lithologique affleurante dans les bassins versant de Mtsamboro et Dzoumogné (les codes légendes seront décrits dans la suite du document), propositions de placettes complémentaires pour le projet LESELAM.

La lithologie décrite sur certains points d'observation ne correspond pas à la lithologie décrite sur la carte géologique finale. En effet, un travail interprétatif a été réalisé (prise en compte de l'épaisseur des formations pour mettre en avant les formations de très proche surface (jusqu'à 1m). Des choix ont également été fait en fonction de la représentativité cartographique. Afin de préserver la donnée brute observée, ce sont les lithologies « terrain » (c'est-à-dire avant toute interprétation) qui apparaissent dans la base de donnée SIG.

Les observations de terrain conduisent à identifier 11 terrains de nature différente : 6 pour les terrains allochtones, dont les formations anthropiques, et 5 pour les terrains autochtones

3.1.1. Les formations autochtones

Les formations autochtones laviques, pyroclastiques et intrusives sont caractérisées selon leur degré d'altération. Depuis la roche saine jusqu'à sa dégradation ultime : l'allotérite. L'ensemble des roches sous l'allotérite ayant subi l'altération météoritique sont regroupées sous le terme isaltérite. Cette évolution est progressive, cependant, afin de décrire l'évolution du degré d'altération des roches, le profil d'altération est divisé en 5 horizons selon le degré de fracturation, d'oxydation et de cohésion de la roche. De la base du profil à son sommet, les 5 horizons sont :

- **l'horizon H1** correspond à la roche saine ne présentant aucune trace d'altération. *Cet horizon n'est pas présent dans les secteurs cartographiés ;*
- **l'horizon H2** correspond à la base du profil d'altération. L'altération se marque par la présence de fractures au niveau desquelles une altération supergène peut être identifiée. Les fractures sont peu nombreuses et distantes de plusieurs mètres. *Cet horizon n'est pas présent dans les secteurs cartographiés ;*
- **l'horizon H3** correspond à l'horizon fissuré du profil d'altération où les fissures sont nettement plus nombreuses que dans l'horizon H2 et délimitent des blocs de taille décimétrique à métrique (Figure 2). En dehors des couloirs de fracturation la roche reste saine. Cet horizon est peu présent à l'affleurement dans les bassins versants étudiés, Il est présent uniquement le long de la rivière Bandrani au niveau de l'affleurement FL0088 (Figure 2) ;
- **l'horizon H4**, le plus souvent à dominante orange correspond à l'horizon de transition marqué par le passage de roches fissurés intensément altérées à une roche meuble où seuls persistent des fantômes de roches. Une subdivision de cet horizon en trois niveaux permet de mieux appréhender l'évolution depuis la base au sommet :
 - **le sous horizon H4a** où l'intensité de fracturation devient intense avec des blocs centimétriques à décimétriques, seuls les cœurs des blocs restent sains,
 - **le sous horizon H4b** correspond à l'horizon de transition entre la roche cohérente et la roche meuble. La roche est intensément fracturée avec des débits pouvant être millimétriques. Des débits en boules et pelures d'oignon sont observables avec des cœurs parfois contenant des roches saines,
 - **le sous horizon H4c** ne contient plus de roche dure, l'intégralité de la roche est meuble et des fantômes de roches persistent.

Le passage d'un horizon à un autre est progressif. Sur le terrain, les différents horizons sont facilement reconnaissables sur les parties hautes des bassins de Mtsamboro et Dzoumogné dans les zones de padzas. Au niveau du col, entre les bassins versants, et sur la crête nord, les affleurements sont nombreux et permettent de voir le passage entre les différents horizons d'altération sur quelques dizaines de mètres (Figure 3) ;



Figure 2 : Coulée de basalte aphyrique dans le faciès H3 présentant de nombreuses fissures liées à l'altération météoritique.

- **l'horizon H5** correspond à l'allotérite, la roche d'origine n'est plus identifiable, la roche est compacte rouge-orangée de nature argilo-ferrugineuse. Les analyses minéralogiques indiquent une disparition complète des minéraux volcaniques primaires. L'épaisseur de cet horizon est métrique, le maximum observé atteint 1,5 mètres. Cet horizon est essentiellement localisé au niveau des replats formant les crêtes à faible pente situées sur le pourtour du bassin versant.

Une représentation schématique de l'ensemble des horizons est proposée Figure 3.

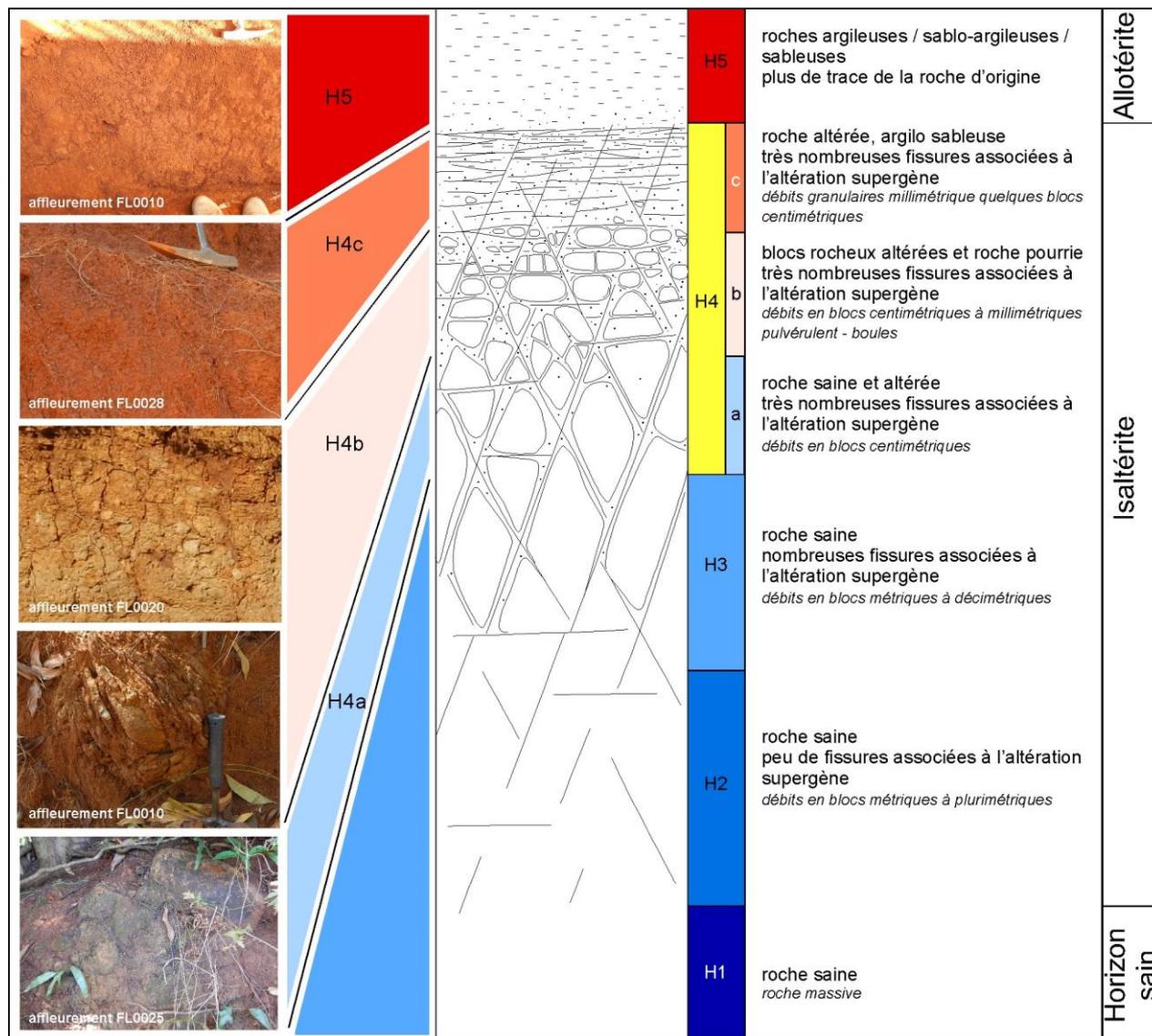


Figure 3 : Profil schématique des différents horizons composant un profil d'altération et illustration à partir d'exemples pris dans les bassins versants de DzoumognéDzoumogné et de Mstamboro (Thierry et al. soumis) – exemples d'affleurements dans les différents horizons d'altération.

3.1.2. Les formations allochtones

X - Dépôts anthropiques

Les dépôts anthropiques correspondent à toutes les formations géologiques très largement modifiées et/ou induites par l'homme. Seul le bassin de Mstamboro contient des dépôts anthropiques. La plupart des aires urbaines reposent sur des épaisseurs plus ou moins importantes de dépôts anthropiques. La nature des terrains varie depuis les faciès argileux jusqu'aux faciès à blocs avec des proportions variables. Leur épaisseur varie en fonction de la nature du dépôt, de sa composition et de la topographie. En général il ne dépasse pas les quelques mètres d'épaisseur et présente des variations latérales de faciès et d'épaisseur rapides et importantes.

FG - Dépôts alluvionnaires torrentiels

Ces dépôts correspondent à des alluvions torrentielles en zone de pente. Ils sont constitués par des dépôts conglomératiques avec des blocs de taille centimétrique à métrique dont la nature dépend de la source des matériaux. Les blocs sont moins émoussés en amont qu'en aval. Quelques lentilles sablo- graveleuses peuvent être associées aux blocs de taille décimétrique à pluridécimétrique voir métrique (Figure 4 et Figure 5). L'épaisseur des dépôts torrentiels est métrique à pluri métrique, la base est rarement observée.



Figure 4 : Alluvions grossières conglomératiques dans le lit d'une rivière – affleurement FL0062.



Figure 5 : Alluvions sablo-graveleuses constituant la matrice des dépôts conglomératiques – affleurement FL0064.

FL - Dépôts alluvionnaires limoneux

Ces dépôts sont constitués d'alluvions fines argilo-sableuses recouvrant les dépôts alluvionnaires torrentiels. Leur couleur est brune (proportion plus importante en matière organique). La texture est grumeleuse fine (« grumeaux » de quelques millimètres au maximum). Leur épaisseur est généralement faible, le maximum observé est de 2 mètres (Figure 6).



Figure 6 : Alluvions limoneuses – affleurement FL0063.

CH5 - Dépôts de pente fins

Les dépôts de pente fins remanient essentiellement les allotérites. Ils sont caractérisés par des limons argileux rougeâtres pouvant contenir de petits éléments anguleux parfois sub-anguleux de quelques millimètres à 5 cm en faible proportion (moins de 15 %). L'épaisseur cartographiée est de 20 cm minimum et peut-être plurimétrique. En surface le sol se présente sous la forme de petits « grumeaux » de quelques millimètres à quelques centimètres de diamètres.

La différence avec les dépôts alluvionnaires limoneux est la présence de petits blocs généralement de petite taille (inférieurs à 5 cm) qui sont présent dans les dépôts de pente. Parfois il est très difficile de faire la différence entre ces deux dépôts.



Figure 7 : Dépôts de pente limono-argileuses à rares blocs subanguleux – affleurement FL0084 (en haut) et FL0047 (en bas).

CB - Dépôts de pente à blocs

Ces dépôts sont caractérisés par des limons argilo-sableux généralement de couleur brun rougeâtre contenant une proportion de blocs subanguleux hétérométriques à arrondis comprise entre 15 % et 50 %. En surface, le sol se présente sous la forme de petits « grumeaux » de quelques millimètres à quelques centimètres de diamètre (Figure 8).



Figure 8 : Dépôts de pente à matrice argilo-sableux à blocs subanguleux – affleurement FL0044.

CBJ - Dépôts de pente à blocs jointifs

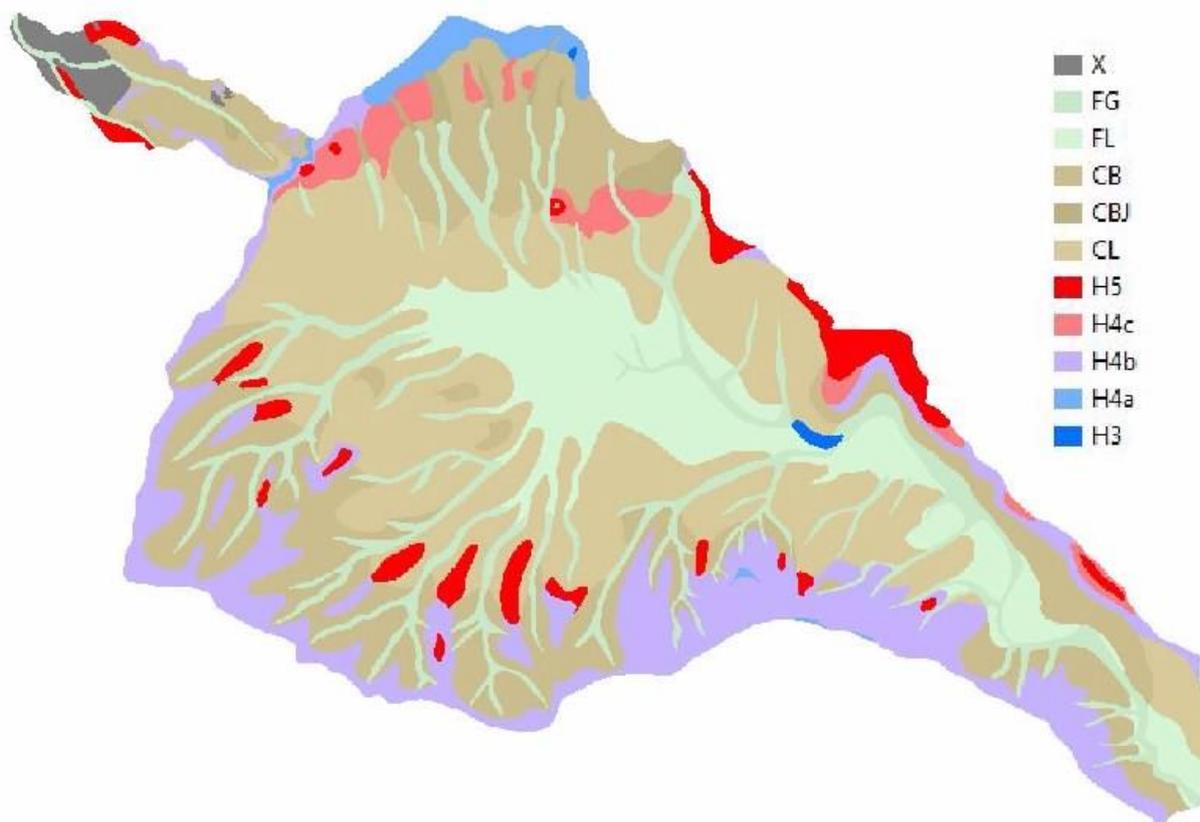
Ils représentent un assemblage de blocs anguleux à sub-anguleux sains, jointifs, de taille centimétrique à métrique, avec dans les interstices une matrice argilo-limoneuse brune. La quantité de bloc est supérieure à 50 %. L'épaisseur est supérieure au mètre (Figure 9).



*Figure 9 : Dépôt de pente grossier à blocs jointifs –
affleurement FL0035 (en haut) et FL0041 (en bas).*

3.1.3. Carte lithologique

Les résultats de la campagne de terrain ont permis de réaliser une carte lithologique des bassins versants de Dzoumogné et Mtsamboro. Le détail des différentes lithologies de chaque caisson se trouve dans les paragraphes 3.1.1 et 3.1.2



3.2. PROPOSITIONS DE PLACETTES

Le projet LESELAM avait besoin d'effectuer des mesures sur l'ensemble des lithologies présentes dans les bassins versants. Dans ce cadre sept placettes avaient été définies dans le cadre du projet LESELAM pour les mesures d'infiltration et de ruissellement sous pluie artificielle.

Suite aux investigations de terrain, nous proposons 4 placettes complémentaires. Les choix ont été effectués en suivant le critère lithologie (lithologie représentative des lithologies rencontrées dans le bassin versant), le contexte, la proximité de la piste et la pente (Tableau 1).

N° Placette	Contexte	Lithologie observée
1	Padza	Isaltérites h4b
2	Forêt	Dépôts de pente fins
3	Jardin	Dépôts alluvionnaires
4	Agricole	Dépôts limoneux
5	Seuil	Dépôts limoneux
6	Agricole	Dépôts de pentes fins
7	Cf. station météo	Dépôts à blocs
Placettes complémentaires		
P1	Forêt	Colluvions à blocs
P2	Forêt/Padza	Isaltérites h4a
P3	Agricole	Allotérites en place
P4	Agricole	Colluvions à blocs jointifs

Tableau 1 : Liste des placettes identifiées pour la réalisation de mesures dans le projet LESELAM.

3.3. CARACTÉRISATION DE L'ERODIBILITÉ ET DU RUISSELLEMENT

La détermination de la nature lithologique en surface est l'un des paramètres important pour quantifier les taux d'érosion d'un bassin versant. À partir de l'ensemble des observations menées sur le terrain et de la définition d'une légende lithologique commune à l'échelle de l'île ainsi que de la réalisation d'une carte détaillée, il sera possible de la décliner en matière d'érodibilité et de ruissellement.

Dans une première approche, sur une échelle de 0 à 5 (0 étant la valeur la plus faible et 5 la valeur la plus forte pour chacune des grandeurs) une attribution de susceptibilité à l'érodibilité et au ruissellement de chaque caisson de la carte géologique est proposée de manière empirique (Tableau 2). Dans certain cas, un caisson géologique peut être constitué par une variabilité de faciès qui ne permet pas de définir avec précision les valeurs d'érodibilité et de ruissellement. Dans ce cas une gamme de valeur lui est attribué. Cela concerne les dépôts de colluvions et les isaltérites. Par exemple, pour les isaltérites, sur la carte géologique, le caisson correspondant rassemble l'ensemble des horizons d'altération H3 et H4a, b et c. Or ces différents horizons ne présentent pas la même sensibilité face à l'érosion alors que cartographiquement elles représentent de grandes surfaces à l'échelle de l'île.

Ultérieurement, lorsque cela sera possible chaque faciès sera différencié afin de pouvoir caractériser avec plus de précision les facteurs de ruissellement et d'érodibilité. Ainsi, par exemple, lors de la mission de l'été 2017 pour les bassins versants de Dzoumogné et de Mtsamboro, les différents horizons d'altération H4a, H4b, H4c et H3 ont été distingués. De plus, la nature des colluvions a été regardée par rapport à la proportion de blocs dans la matrice (3 classes ont été proposées).

Pour mémoire :

L'*érodibilité* correspond à la capacité d'un sol meuble à être érodible, c'est-à-dire sa sensibilité face à l'érosion en fonction de sa composition et de sa structure.

Le ruissellement, ou écoulement d'eau de surface, désigne la partie des précipitations qui s'écoule à la surface du sol.

NOTATION	DESCRIPTION	Érodibilité	Ruissellement
X	Form. Sup. - Dépôts anthropiques - Remblais anthropiques	5	2
Fy	Form. Sup. - Form. Sup. allochtones - Formations alluvionnaires - Alluvions anciennes indifférenciées	4	1
Fz	Form. Sup. - Form. Sup. allochtones - Formations alluvionnaires - Alluvions indifférenciées	4	1
BGl	Form. Sup. - Form. Sup. allochtones - Formations de pente - Brèches et panneaux glissés	1	5
C	Form. Sup. - Form. Sup. allochtones - Formations de pente - Colluvions	2-3-4	3-4
Cb	Form. Sup. - Form. Sup. allochtones - Formations de pente - Colluvions à blocs	2-3-4	3-4
Ec	Form. Sup. - Form. Sup. allochtones - Formations de pente - Dépôts d'écroulements	1	4
E	Form. Sup. - Form. Sup. allochtones - Formations de pente - Éboulis	2	4
Sb	Form. Sup. - Form. Sup. allochtones - Formations de plage - Sables	5	1
íÔ	Form. Sup. - Form. Sup. autochtones - Allotérites - Allotérites de laves basiques et intermédiaires	4	3
íÔPfe	Form. Sup. - Form. Sup. autochtones - Allotérites - Allotérites de laves basiques et intermédiaires à grenailles ferrugineuses	4	3
í·	Form. Sup. - Form. Sup. autochtones - Allotérites - Allotérites de phonolites	4	3
íÔpx	Form. Sup. - Form. Sup. autochtones - Isaltérites - Isaltérites de basaltes à pyroxène	2-3-4-5	3-4
íBGl	Form. Sup. - Form. Sup. autochtones - Isaltérites - Isaltérites de brèches et panneaux glissés	2-3-4-5	3-4
íc	Form. Sup. - Form. Sup. autochtones - Isaltérites - Isaltérites de cinérites et alluvions (paléosurface de Combani)	2-3-4-5	3-4
íscÔ	Form. Sup. - Form. Sup. autochtones - Isaltérites - Isaltérites de cônes de scories	2-3-4-5	3-4
íÔ	Form. Sup. - Form. Sup. autochtones - Isaltérites - Isaltérites de laves basiques et intermédiaires	2-3-4-5	3-4
í·	Form. Sup. - Form. Sup. autochtones - Isaltérites - Isaltérites de phonolites	2-3-4-5	3-4
D·	Form. Volc. - Formations hypovolcaniques - Protrusion de phonolite	5	5
Ci	Form. Volc. - Formations volcanoclastiques - Cinérites	3	3
tfP	Form. Volc. - Formations volcanoclastiques - Projections phréatomagmatiques (maars) de Petite Terre et de Mamoudzou	4	1
1Brsc	Form. Volc. - Formations volcanoclastiques - Projections scoriacées (cônes stromboliens)	4	2
2Brsc	Form. Volc. - Formations volcanoclastiques - Projections scoriacées (cônes stromboliens) de Petite Terre et de Mamoudzou	4	2
Tfs	Form. Volc. - Formations volcanoclastiques - Tufs indifférenciés (projections intercouleées)	4	1

Tableau 2 : Corrélation empirique entre les lithologies de la carte géologique au 1/25 000 et les degrés d'érodibilité et de ruissellement – les formations de la carte géologique non concernées ne sont pas représentées (roches dures) (0 étant la valeur la plus faible et 5 la valeur la plus forte pour chacune des grandeurs).

3.4. ÉTUDE DU LEVÉ D'ÉLECTROMAGNÉTISME HÉLIporté

En parallèle de l'étude géologique, une évaluation de la méthode EM héliportée a été entreprise afin de tester son utilisation en tant qu'outil de support à la cartographie géologique. La méthode a montré son efficacité à imager les environnements hydrogéologiques dans plusieurs études (Auken *et al.*, 2017), toutefois, la cartographie de la géologie de surface n'est pas une application directe car elle est au-delà de ses limites de résolution théoriques. De par les différentes études menées, le BRGM a cependant pu entrevoir le potentiel de la méthode EM héliportée pour répondre la problématique d'aide à l'identification de la nature des roches présentes en sub-surface. Ceci doit, toutefois, nécessairement passer par un traitement précis et adapté de la donnée acquise.

3.4.1. Principe de la mesure

La théorie de l'EM appliquée à la géophysique est documentée dans différents ouvrages tels que Ward et Hohmann (1988).

Les grands principes de l'EM se basent sur les équations de Maxwell (19^{ème} siècle), et plus particulièrement sur celles du domaine diffusif (*i.e.* les courants de conduction dominant) dans le cas d'un levé EM en domaine temporel. Ces équations permettent d'expliquer la diffusion des courants dans le sous-sol suite à une excitation externe ; diffusion qui dépendra, au premier ordre, de la conductivité/résistivité électrique du milieu, qui sera donc le paramètre imagé.

Le système de mesure utilisé est le système SkyTEM® (<http://skytem.com>). Il est composé d'une boucle émettrice, qui permet l'excitation du sous-sol, d'une boucle réceptrice, pour mesurer la réponse du sous-sol, d'un générateur, comme source d'énergie, ainsi que de différents instruments de navigation tels que GPS, inclinomètres et altimètres laser afin de positionner à tout moment la mesure dans l'espace. Un magnétomètre, enregistrant le champ magnétique naturel, est également placé à l'avant du système ; les mesures magnétiques n'ont pas été utilisées dans la présente étude et ne sont donc pas discutées plus en détail. La particularité du système SkyTEM® est d'émettre deux moments magnétiques différents (fonction du nombre de tour et de l'aire de la boucle d'émission et de l'intensité du courant injecté) : un moment, dit faible, qui assure une résolution en proche surface (dans la gamme ~0-50m) et un moment, dit fort, fournissant une information à des profondeurs plus importantes. Ces deux moments sont interprétés conjointement et correspondent à un même point de mesure.

Lors d'une mesure EM, un courant d'une intensité donnée est injecté dans la boucle émettrice afin de créer un champ magnétique, dit primaire (d'après l'équation de Maxwell Ampère). Ce même courant est ensuite coupé le plus nettement possible, entraînant alors une variation du champ primaire. Celle-ci se traduit par l'induction de courants de Foucault dans le sous-sol (d'après l'équation de Maxwell Faraday), créant, à leur tour, un champ magnétique, dit secondaire, et mesuré au niveau de la boucle réceptrice. Les courants se dissipant dans le sous-sol avec le temps (effet Joule), la donnée recueillie informera donc sur la décroissance du champ secondaire en fonction du temps, celle-ci étant directement liée à la conductivité du milieu. La profondeur d'investigation de la méthode, de l'ordre de 150 m en moyenne dans le cadre de la mission menée en Mayotte, dépend de l'intensité du courant injecté, de l'aire de la boucle d'émission, du niveau de bruit de la mesure ainsi que de la conductivité du sous-sol.

3.4.2. Acquisition des données

Le levé EM de l'île de Mayotte, effectué par l'université d'Aarhus en partenariat avec le BRGM, s'est déroulé du 6 octobre au 10 novembre 2010. Il comprend 3 000 km sous la forme de lignes de vol nord-sud espacées de 200 m. Des zones d'intérêt pour les risques naturels ou l'hydrogéologie ont également fait l'objet d'une densification. Celle-ci a consisté soit en l'acquisition de données supplémentaires selon une direction différente, soit en un resserrement local des lignes de vol. Lors d'un vol, la mesure est prise sans discontinuer et à pas régulier, ce qui, dans le cas du levé de l'île de Mayotte, représente en moyenne un point de donnée tous les 30 m environ, suivant les lignes de vol.

3.4.3. Traitement des données

Dans le but d'optimiser l'exploitation des données EM acquises sur le secteur d'étude, un retraitement spécifique a été réalisé. Celui-ci a pour but, entre autres, de permettre une meilleure imagerie/résolution des couches superficielles et est détaillé ci-dessous.

La position du dispositif est mesurée toutes les secondes grâce aux GPS différentiels installés à la fois sur la boucle et à la station de base. La position de la boucle est alors obtenue en interpolant la donnée GPS par ajustement polynomial.

L'attitude de la boucle est mesurée suivant l'axe de vol et sa perpendiculaire horizontale grâce aux deux inclinomètres placés sur la boucle. Ceux-ci permettent de suivre le comportement du système durant le levé afin de calculer les aires effectives des boucles d'émission et de réception. Un filtre médian permettant de retirer les valeurs aberrantes a été appliqué sur ces mesures. À noter que les aires effectives ont été corrigées de la topographie (Reninger *et al.*, 2015).

Il existe deux moyens de connaître l'altitude du dispositif, d'une part, grâce aux deux altimètres situés sur la boucle, d'autre part, par traitement du GPS différentiel et soustraction du modèle numérique de terrain. La première solution est souvent complexe et subjective, particulièrement dans le cas d'une topographie accidentée. La seconde solution a donc été préférée.

La mesure EM est extrêmement sensible aux champs EM « ambiants », aussi bien naturels qu'artificiels, ces derniers induisent un bruit sur la donnée. Comme source naturelle de bruit, on peut citer les « sphériques », ondes EM, issues de l'activité orageuse, se propageant dans la ionosphère ; les sources artificielles de bruits comprennent quant à elles toutes installations humaines interagissant avec ou produisant un champ électromagnétique (Macnae, 1984). Sur l'île de Mayotte, les bruits EM observés sont relativement faibles et les données sont de bonne qualité.

Afin de garder uniquement les mesures fiables, il est donc nécessaire d'appliquer un filtre dans le but de « débiter » le jeu de données. Un traitement basé sur l'utilisation de la décomposition en valeurs singulières a été utilisé (Reninger *et al.*, 2011). Ce traitement permet également de récupérer toute donnée exploitable, non acquise sur une ligne de vol mais provenant des différents allers et retours de l'hélicoptère sur la zone. Ce traitement a ensuite été complété par une édition manuelle.

À l'issue de cette étape, les données sont prêtes à être interprétées d'un point de vue géophysique afin d'imager les contrastes de résistivité du sous-sol qui seraient à l'origine des mesures acquises. La Figure 11 présente la position des mesures qui ont pu être exploitées dans le cadre de cette étude.

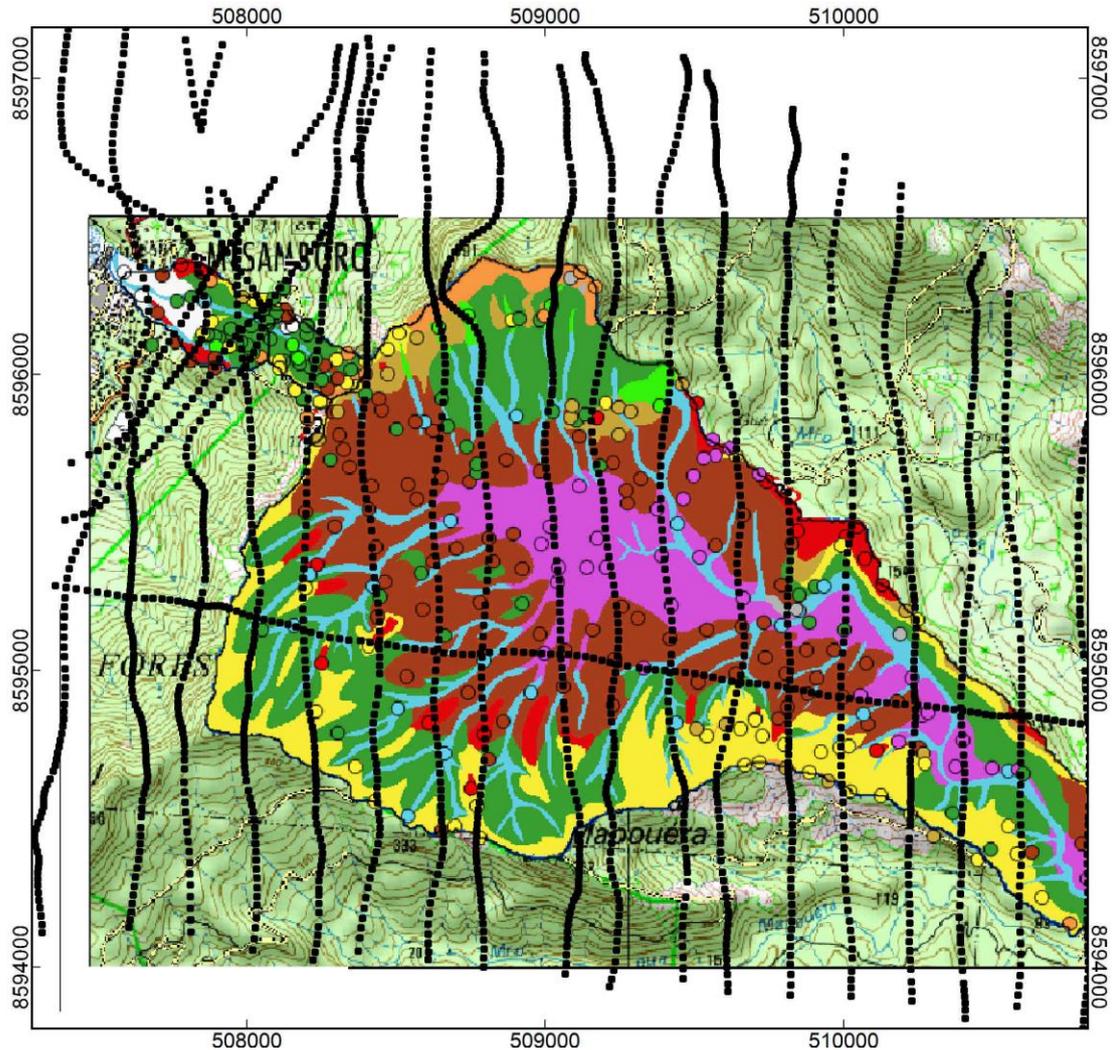


Figure 11 : Localisation des points de mesure exploitables au niveau de la zone d'étude.
La carte en fond est la carte lithologique présentée Figure 10.

Le principe de l'inversion en géophysique est de retrouver les propriétés physiques du sous-sol à l'origine des différents signaux mesurés (*i.e.* ici les décroissances EM), affectés par les caractéristiques de celui-ci. Pour ce faire, il est nécessaire de trouver le modèle, schématisant le sous-sol, qui minimise la différence entre les données mesurées et celles prédites par la théorie; celui-ci est obtenu par itération de modélisations EM et comparaisons à la donnée mesurée. Les modèles pris en considération à cette étape permettent donc d'imager les contrastes de résistivité dans le sous-sol.

L'inversion couramment utilisée considère, pour chaque point de mesure, un modèle 1D (selon la profondeur) constitué d'un nombre n de couches, caractérisée par une épaisseur et une résistivité (appelé sondage EM). Afin de stabiliser le processus, des contraintes spatiales entre les différentes couches des différents modèles sont également appliquées lors de l'inversion (cf. Spatially Constrained Inversion ; Viezzoli *et al.*, 2008). Au cours de cette inversion, la profondeur d'investigation de chaque mesure est également testée afin de calculer une limite basse (hypothèse pessimiste ; profondeur d'investigation la plus faible) et une limite haute (hypothèse optimiste ; profondeur d'investigation la plus importante).

À l'issue de l'étape d'inversion, nous obtenons donc, à l'emplacement de chaque mesure, un modèle 1D constitué de n couches et défini par n épaisseurs et résistivités sensé rendre compte des contrastes de résistivité existants en sub-surface. Le nombre n est fixé avant l'inversion et dépend de notre appréhension de l'environnement géologique et de la complexité de celui-ci.

Dans le cadre de cette étude, une inversion de type dite « Smooth » a été réalisée. Celle-ci consiste en la définition de modèles 1D possédant de nombreuses couches d'épaisseur fixe, ici 25 (entre 0 et 300 m de profondeur), dont seule la résistivité peut varier. Ce type d'inversion a l'avantage d'être moins dépendant des a priori définis pour initialiser le calcul (i.e. reflétant notre appréhension de la subsurface), mais il a le désavantage d'imager des variations lissées de la résistivité selon la profondeur. D'autres types d'inversion existent et peuvent se montrer plus efficaces pour imager précisément des interfaces. Toutefois, ces dernières sont plus dépendantes des a priori considérés pour initialiser le calcul. De plus, celles-ci sont moins efficaces pour imager de fines couches en surface.

3.4.4. Interprétation

Afin d'interpréter les résistivités imagées par l'EM, nous avons comparé statistiquement les différents points d'observation avec le sondage EM (i.e. le modèle 1D imageant les variations de la résistivité avec la profondeur) le plus proche. Celle-ci a été réalisée suivant le schéma ci-dessous :

- seuls les points d'observation cohérents avec les polygones dessinés ont été considérés ;
- la comparaison a été réalisée sur la 1ère couche (0-2 m ; Figure 11) et la moyenne des 4 première couches (0-9,8 m ; (Figure 12) des sondages EM obtenus ;
- la distance entre la mesure EM et le point d'observation devait être inférieure à 20 m ;
- la différence d'altitude entre la mesure EM et le point d'observation devait être inférieure à 5 m.

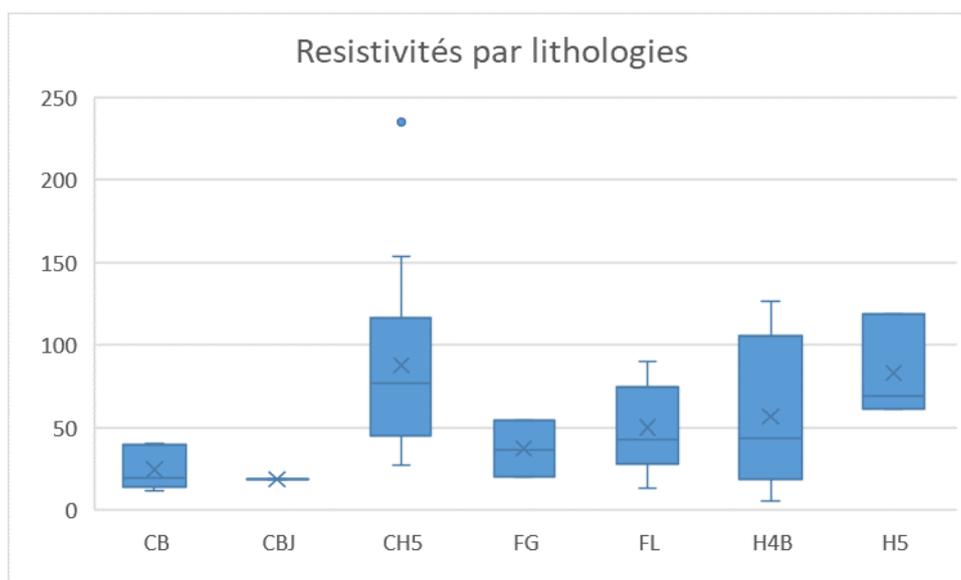


Figure 12 : Valeurs de résistivité par lithologie si l'on considère la première couche des sondages EM.

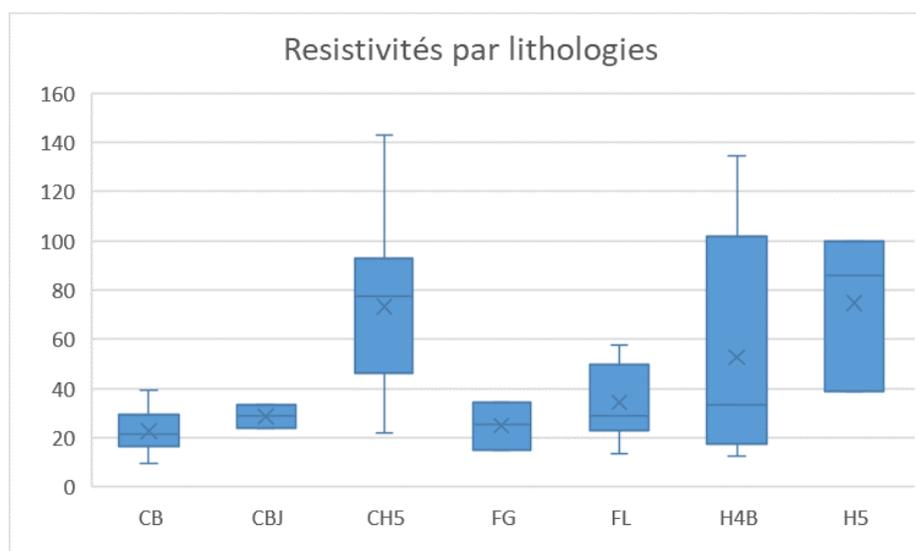


Figure 13 : Valeurs de résistivité par lithologie si l'on considère les quatre premières couches des sondages EM.

Les différences sont plus marquées lorsque l'on observe les quatre premières couches que la première couche seule. Sachant qu'avec l'inversion réalisée, l'étude sur quatre couches représente une moyenne des valeurs de résistivité sur les 9,8 premiers mètres (Figure 13). Les couches lithologiques très fines ne seront théoriquement pas bien représentées par la statistique. Le fait que le résultat soit plus marqué est donc un effet indirect des lithologies sous-jacentes. Il pourrait être intéressant d'étudier ce résultat de manière plus méthodologique. Les valeurs obtenues pour la statistique sur quatre couches sont présentées dans le Tableau 3.

Lithologie	Limite inférieure de résistivité (ohm.m)	Limite supérieure de résistivité (ohm.m)
FL	23	50
CBJ	24	33
CB	16	29
FG	14	33
CH5	46	93
H4	17	102
H5	38	100

Tableau 3 : Limites de résistivité inférieures et supérieures obtenues pour les différentes lithologies décrites après statistique automatique sur quatre couches.

Aucun affleurement n'ayant été noté à moins de 50m d'une ligne de vol pour la lithologie H3, elle ne se retrouve pas dans les résultats de la statistique automatique. La statistique ci-dessus donne un premier niveau d'information, toutefois, celle-ci souffre de plusieurs imprécisions. Principalement, le couple (affleurement / mesure EM la plus proche) considéré n'est pas nécessairement le plus adapté, une mesure EM plus distante peut être plus représentative du milieu décrit par l'affleurement. En effet, suivant le contexte, une donnée proche peut être représentative d'une formation différente, d'autant plus s'il existe un décalage vertical entre les deux types de donnée.

Une statistique manuelle a alors été réalisée afin de mieux contraindre les valeurs de résistivité correspondantes aux différentes lithologies décrites. Celle-ci a consisté à projeter les différents points d'observation sur les coupes de résistivité les plus proches et à interpréter les variations de résistivité associées. Le Tableau 4 résume les résultats obtenus.

Lithologie	Limite inférieure de résistivité (ohm.m)	Limite supérieure de résistivité (ohm.m)
FL	0	16
CBJ	0	20
CB	15	50
FG	30	90
CH5	70	120
H4	50	110
H5	100	300
H3	250	nd

Tableau 4 : Limites de résistivité inférieures et supérieures obtenues pour les différentes lithologies décrites après comparaison manuelle.

On s'aperçoit que, pour certaines lithologies, il existe des recouvrements dans la gamme de résistivité interprétée. Au regard des résultats, Il a été décidé d'établir deux échelles de couleur, une pour les formations allochtones (Figure 14) et une pour celles autochtones (Figure 15), et basée sur les résistivités imagées dans la 1ère couche de chaque sondage EM, afin de proposer une cartographie des ces mêmes formations.

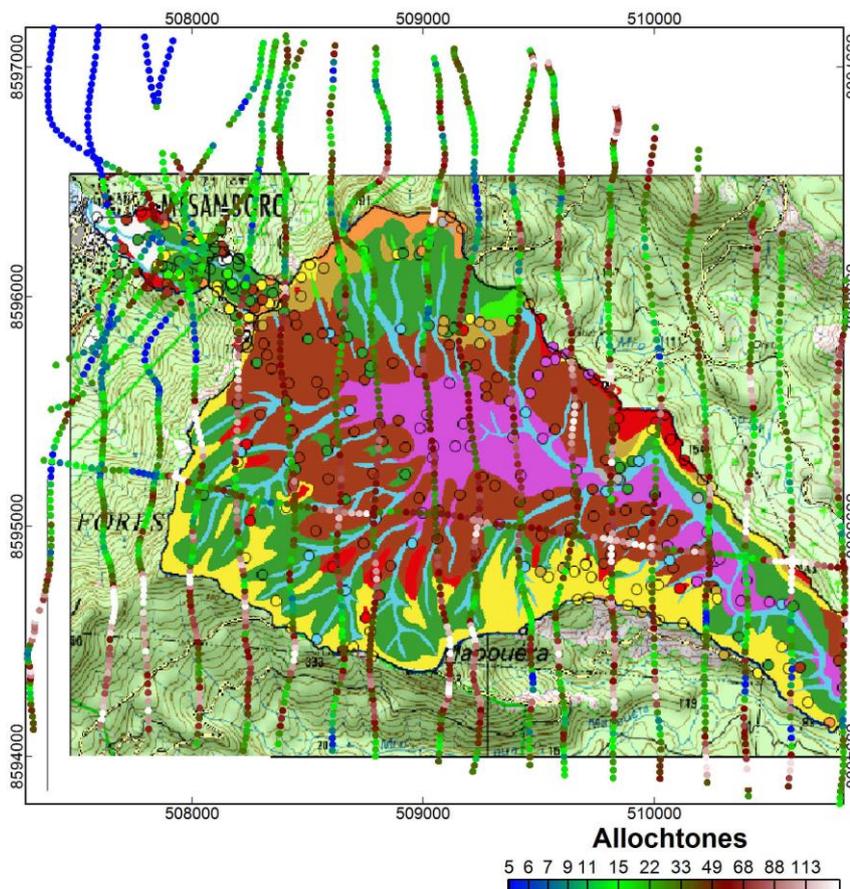


Figure 14 : Cartographie lithologique des formations allochtones aux points de mesure EM. L'échelle de couleur est directement basée sur la résistivité imagée en surface et a été adaptée au regard des résultats de la statistique manuelle réalisée.

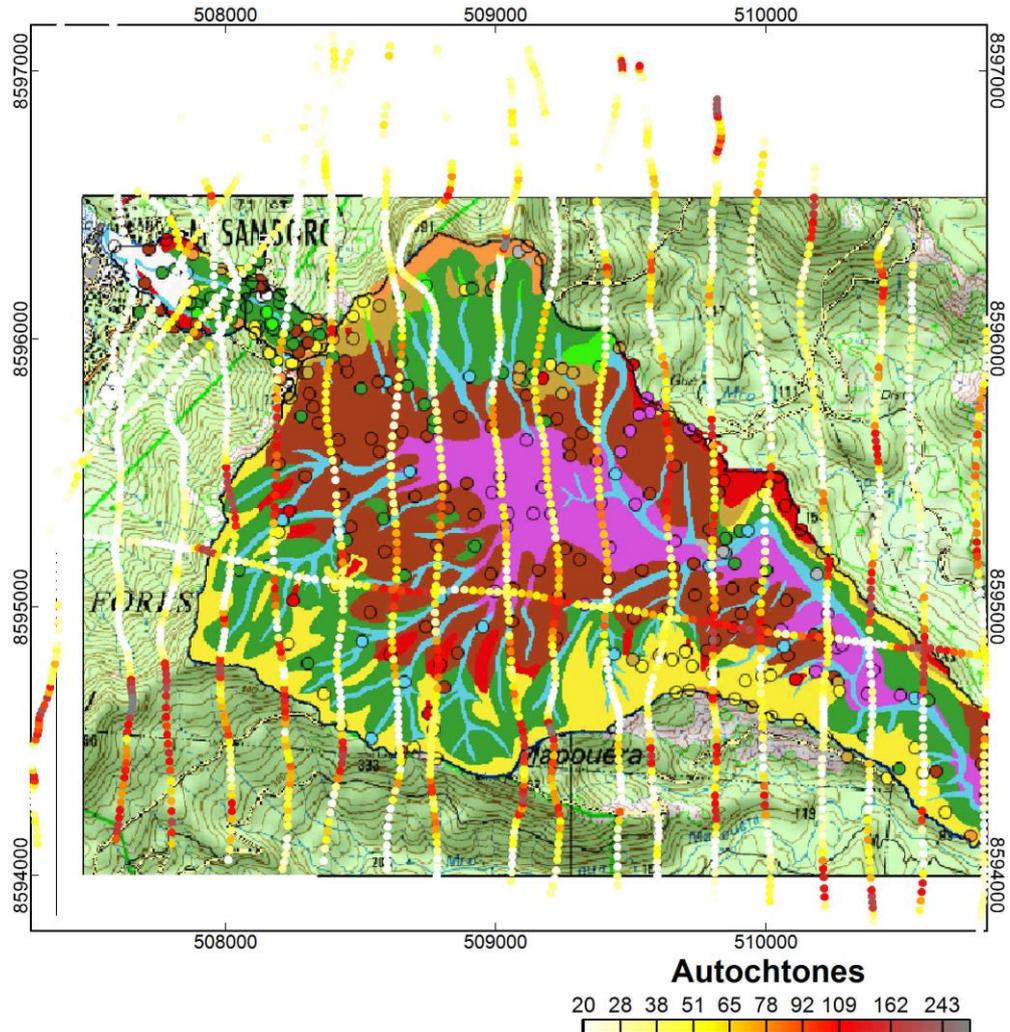


Figure 15 : Cartographie lithologique des formations autochtones aux points de mesure EM. L'échelle de couleur est directement basée sur la résistivité imagée et a été adaptée au regard des résultats de la statistique manuelle réalisée.

Ces premiers résultats sont encourageants et montrent une certaine capacité de la méthode EM à séparer les lithologies de surface. Toutefois, ces résultats restent difficilement exploitables. En raison des limites de résolution de la méthode EM et de la proximité des lithologies en présence, il est parfaitement logique d'obtenir des gammes de résistivité qui se recouvrent. Il est donc nécessaire d'ajouter de nouvelles informations si l'on veut obtenir une meilleure séparation.

3.4.5. Vers une cartographie prédictive ?

Nous avons alors regardé les pentes (Figure 16) et les courbures (Figure 17) associées à chaque lithologie, au niveau des points d'observation. On s'aperçoit alors qu'en liant résistivité, pente et courbure, il est possible de séparer de manière plus efficace les différentes lithologies.

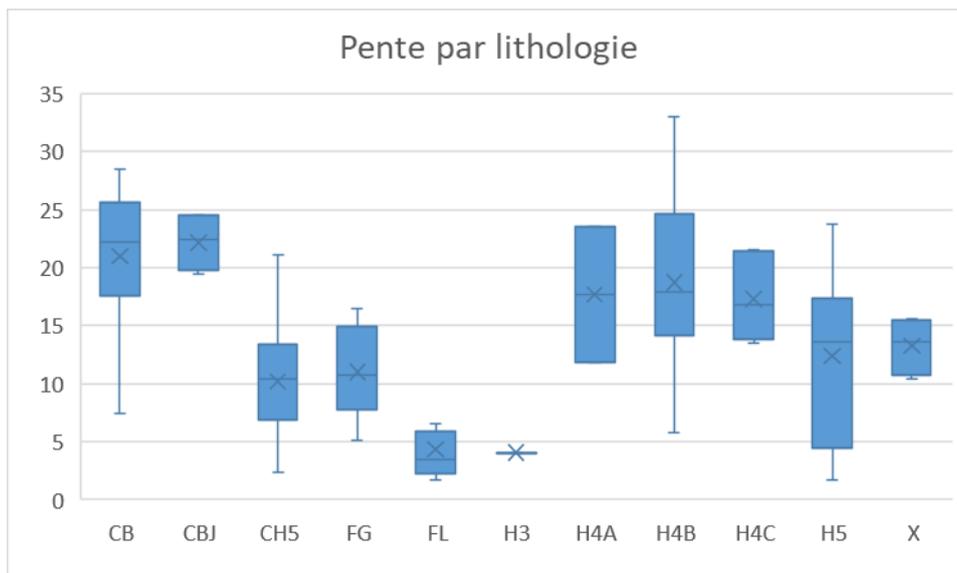


Figure 16 : Gammes de pentes (en mètres) observées pour chaque lithologie, basées sur les polygones de la carte lithologique obtenue lors de la campagne de terrain de 2017.

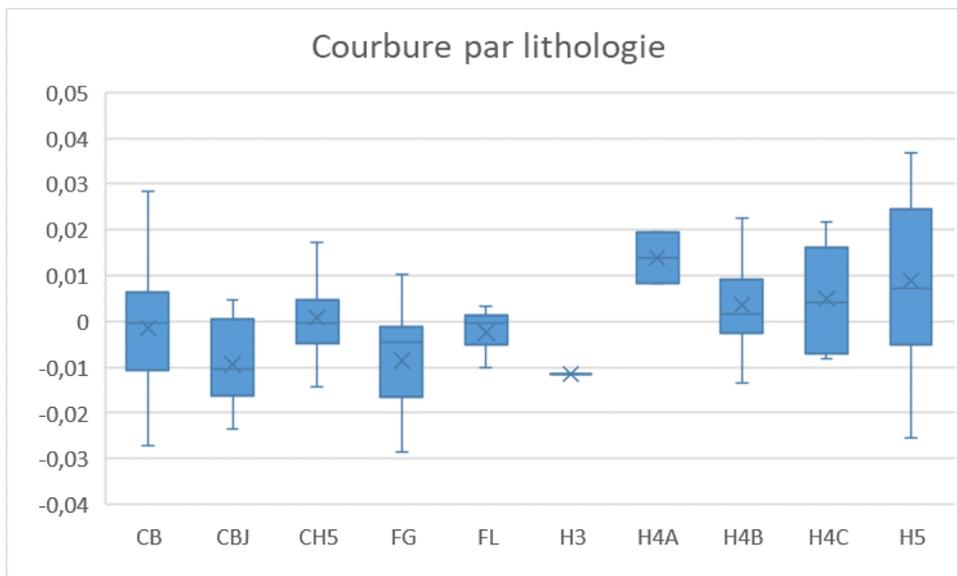


Figure 17 : Gammes de courbures observées pour chaque lithologie, basées sur les polygones de la carte lithologique obtenue lors de la campagne de terrain de 2017.

Au regard de ce résultat, un premier travail s'est porté sur l'utilisation d'une classification ascendante hiérarchique (CAH) à trois paramètres.

La CAH est une méthode de classification itérative. On commence par sélectionner un ou plusieurs paramètres à prendre en compte (ici les résistivités, pentes et courbures) qu'on observe sur N objets (ici 718 points de mesure EM hélicoporté). Chaque objet définit sa propre classe au départ, nous avons donc N classes. Puis on regroupe les deux objets dont les valeurs sont les plus proches. Ils forment ainsi une classe et nous avons N-1 classes. On répète ensuite l'opération de regroupement deux à deux jusqu'à n'avoir qu'une classe contenant tous les objets regroupés.

Ces regroupements successifs produisent un arbre de classification ou dendrogramme, dont la racine correspond à la classe unique regroupant tous les objets. Il représente une hiérarchie des classes. La certitude des corrélations entre les objets est indiquée par la longueur du trajet pour aller d'un élément à un autre sur l'arbre.

On peut alors choisir de tronquer l'arbre à un niveau voulu (20 classes par exemple, Figure 18) afin d'observer la répartition des objets dans ces classes.

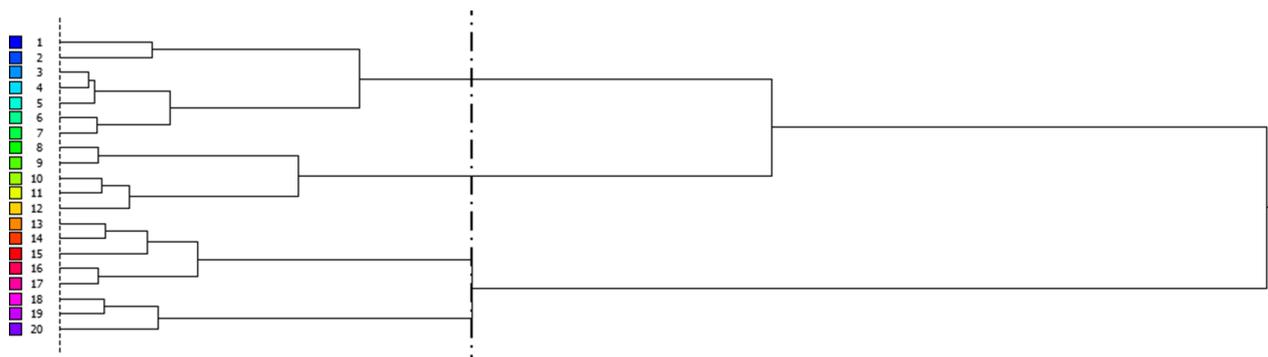


Figure 18 : Dendrogramme correspondant à la CAH 20 classes.
La répartition en 4 classes est mise en évidence grâce aux pointillés.

Nous avons cherché à associer ces classes aux lithologies ciblées lors du terrain de juillet 2017. Pour cela nous avons regardé d'une part les gammes de valeurs en résistivité, pente et courbure pour chacune des classes et les avons comparées aux résultats donnés par la statistique au point. Et d'autre part, nous avons regardé la lithologie attribué au polygone de la carte dans lequel se trouvent les points d'une même classe.

Les premiers résultats de CAH avec un nombre réduit de classes (4) donnent des résultats plutôt discriminants d'un point de vue lithologique malgré un niveau de détail limité (Figure 19). Ils permettent de séparer grossièrement les colluvions à blocs (classe numéro 1) des colluvions fins (classe numéro 3), ainsi que des dépôts alluvionnaires (classe numéro 4) et de l'horizon « plus sain » H4 (classe numéro 2).

Lithologie des affleurements et de la carte géologique

- ▲ CB
- ▲ CBJ
- ▲ CH5
- ▲ FG
- ▲ FL
- ▲ H3
- ▲ H4A
- ▲ H4B
- ▲ H4C
- ▲ H5
- △ X

CAH 4 classes

- 1
- 2
- 3
- 4

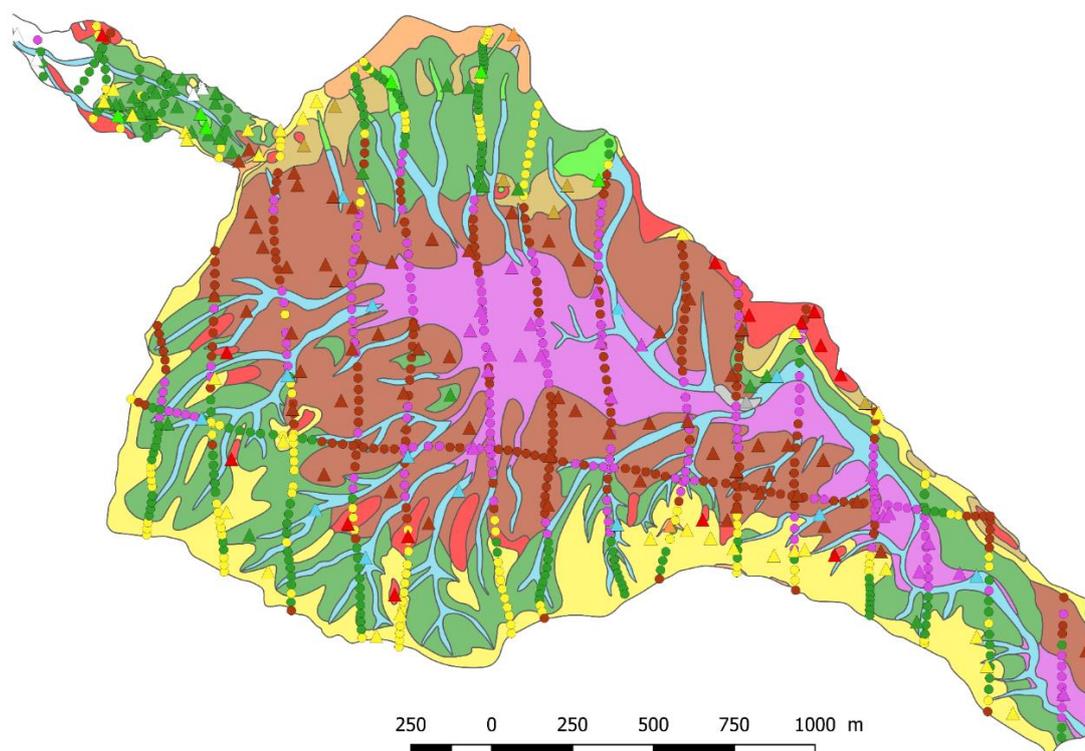


Figure 19 : Observation du résultat de la CAH à 4 classes sur la carte lithologique.

Après avoir observé les résultats à différents nombres de classe, tout en utilisant l'aspect hiérarchique de la CAH qui permet de voir quel nombre de classes il faut atteindre pour voir la classe voulue se diviser. Nous avons ainsi défini un nombre de classe intéressant qui permet d'attribuer aux classes des lithologies cohérentes, tout en regardant une représentativité statistique. Le résultat à 20 classes semble être optimal, avec un meilleur niveau de détail.

Lithologie des affleurements et de la carte géologique

- ▲ CB
- ▲ CBJ
- ▲ CH5
- ▲ FG
- ▲ FL
- ▲ H3
- ▲ H4A
- ▲ H4B
- ▲ H4C
- ▲ H5
- △ X

CAH 20 classes

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20

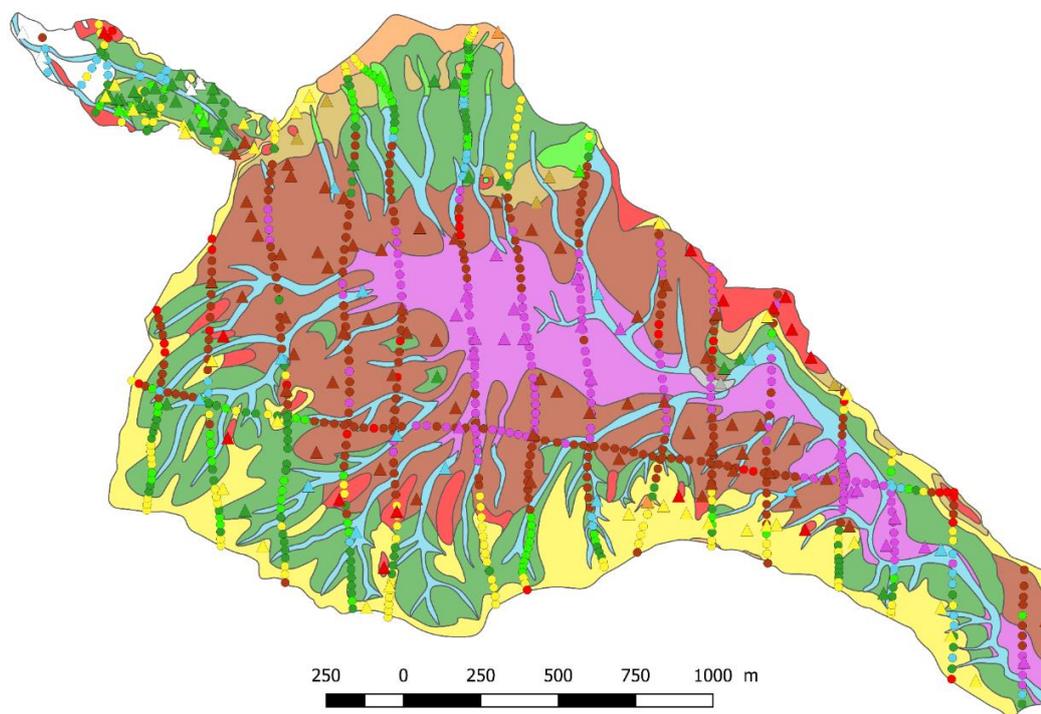


Figure 20 : Observation du résultat de la CAH à 20 classes sur la carte géologique.

Ici, plusieurs classes définissent une même lithologie (par exemple, les classes 2, 8, 9, 10 et 12 représentent les lithologies H4) et on note qu'elles ne se regroupent pas toutes dans les mêmes classes en remontant dans l'arbre (Figure 20). On observe qu'il est assez difficile de séparer les classes correspondant aux lithologies H4a, H4b et H4c et qu'il est préférable de les regrouper. Aussi, le nombre de points tombant dans le H3 étant bien trop faible, il n'est pas possible de définir cette classe en utilisant uniquement la CAH. Les points d'observation (correspondant aux points de données EM) ainsi divisés et la lithologie associée à leur classe leur étant attribuée, ils semblent donner des résultats cohérents avec la carte géologique (plus de 80 % des points de données EM sont associées à une couleur cohérente avec la lithologie de la carte géologique).

Un second travail a porté sur la définition, dans l'espace 3D (résistivité-pente-courbure), de zones de présence de telle ou telle lithologie. La définition des zones dans les 3 dimensions est basée sur les résultats de la statistique manuelle réalisée sur les résistivités et des statistiques obtenues sur les pentes et les courbures au niveau des points d'observation. Le résultat est présenté sur la Figure 21.

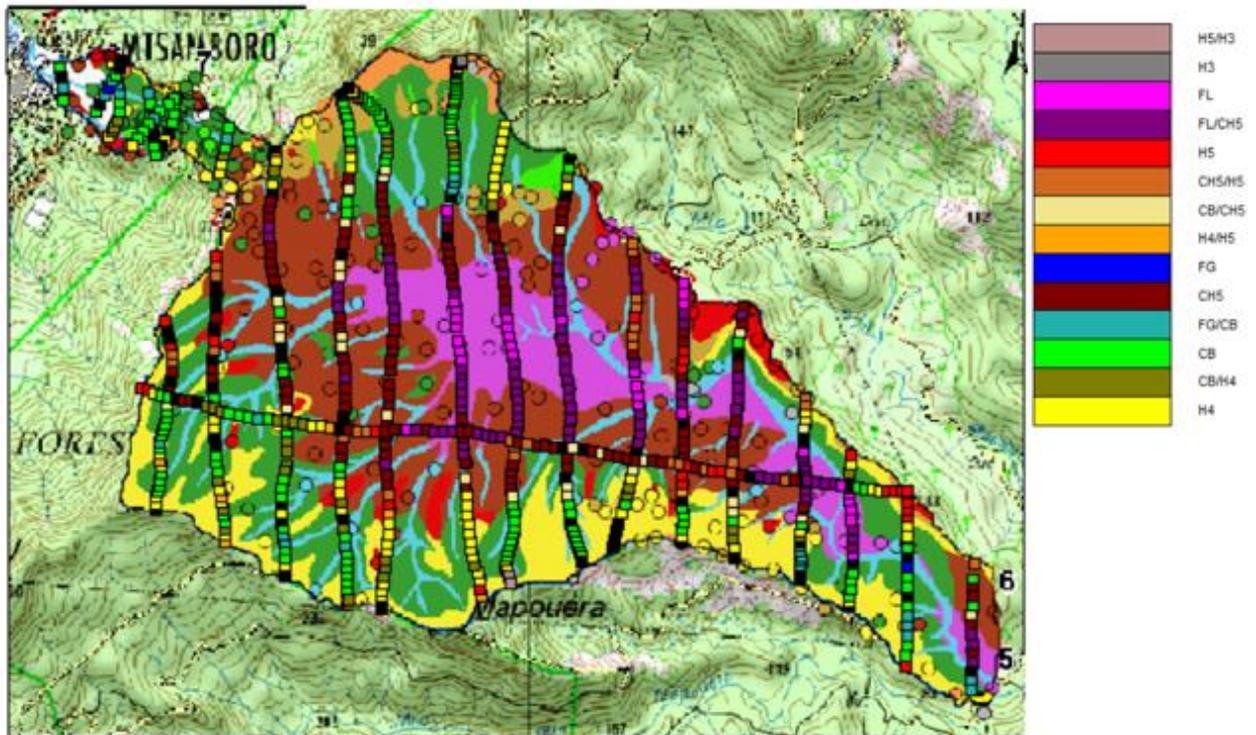


Figure 21 : Cartographie des lithologies par définition de zones lithologique dans l'espace 3D (résistivité - pente - courbure).

Les résultats obtenus par CAH ou en définissant directement des zones dans l'espace 3D, montrent que l'approche testée au cours de cette étude a du potentiel. Il est donc pertinent de penser qu'une cartographie prédictive de la géologie de surface est envisageable. Ceci est particulièrement remarquable étant donné la limite de résolution de la méthode EM pour la très proche surface.

Afin d'améliorer les précédents résultats, il est maintenant nécessaire d'engranger un maximum d'observations lithologiques afin d'alimenter la statistique.

4. Conclusions et perspectives

La campagne de terrain effectuée au cours de l'été 2017 a permis la réalisation de la carte lithologique des bassins versants de Mtsamboro et de Dzoumogné, respectivement au 1/10 000 et 1/25 000, et la visite du bassin versant de Salimbé.

Au cours de ces missions, 356 points d'observations ont été décrits et ont permis de générer une base de donnée permettant de mieux appréhender la couche de surface, et d'initier un travail sur les résultats de la donnée EM héliportée.

Les premiers résultats obtenus en utilisant les données EM démontrent une sensibilité du signal à la nature lithologique de la proche surface et sont donc encourageants pour apporter une information pertinente et utilisable sur l'ensemble du territoire mahorais (spatialisation).

En 2018, les objectifs sont de poursuivre les travaux engagés en matière de traitement de l'information géophysique et de valider la méthodologie proposée à partir d'observations de terrain complémentaires.

5. Bibliographie

Auken E., Boesen T., Christiansen A.V., 2017. Chapter Two – A Review of Airborne Electromagnetic Methods With Focus on Geotechnical and Hydrological Applications From 2007 to 2017. *Advances in Geophysics* 58, 47-93.

Macnae J.C., Lamontagne Y., West G.F., 1984. Noise processing techniques for time-domain EM systems. *Geophysics*, 49, 934-948.

Nehlig P., Lacquement F., Bernard J., Caroff M., Deparis J., Jaouen T., Pelleter. Anne-Aziliz Perrin J., Prognon C., Vittecoq B., 2013. Notice de la Carte géologique de Mayotte. BRGM/RP-61803-FR, 135 p., 1 ann.

Reninger P.-A., Martelet G., Deparis J., Perrin J., Chen Y. (2011). Singular value decomposition as a denoising tool for airborne time domain electromagnetic data. *Journal of Applied Geophysics* 75, 264–276.

Reninger PA, Martelet G., Perrin J., 2015. Frame effective tilt correction for HEM data acquired over rugged terrain. First European Airborne Electromagnetics Conference, 6-10 Septembre, Turin

Viezzoli A., Christiansen A.V., Auken E., Sørensen K. (2008). Quasi-3D modeling of airborne TEM data by spatially constrained inversion. *Geophysics* 73, F105-F113

Ward S.H., Hohmann G.W., 1988. Electromagnetic theory for geophysical applications. Nabighian, M.N. (Ed.), *Electromagnetic methods in applied geophysics*, Society of Exploration Geophysicists 1, 131-311



Centre scientifique et technique
Direction des Géoressources
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34
www.brgm.fr