

Document public



60 379



Rapport d'implantation du forage d'eau du lycée professionnel agricole de Coconi (Commune de Ouangani)

Rapport final

BRGM/RP-60379-FR
Novembre 2011

89 3740 46 875 5



2520



Rapport d'implantation du forage d'eau du lycée professionnel de Coconi (Commune de Ouangani)

Rapport final

BRGM/RP-60379-FR
Novembre 2011

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2011 – PSP11MAY28

T. JAOUEN

Vérificateur :

Nom : B. Vittecoq

Date : le 9 novembre 2011

Signature :

Approbateur :

Nom : P. PUVILLAND

Date :

Signature :

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.

Mots clés :

Hydrogéologie, forage, hydraulique agricole, eau souterraine, Ouangani, Mayotte, Comores.

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

JAOUEN T. (2011) Rapport d'implantation du forage d'eau du lycée professionnel de Coconi (Commune de Ouangani). Rapport final. RP-60379-FR. 54 p., 26 ill. et 3 ann.

© BRGM, 2011, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Pour développer le site expérimental de Valarano, le lycée professionnel agricole de Coconi (commune de Ouangani) désire réaliser les aménagements nécessaires à l'irrigation de ses parcelles agricoles. Outre la réalisation des ouvrages hydrauliques, destinés au stockage et à l'irrigation, la recherche de ressources en eau complémentaire s'avère nécessaire. Les besoins sont évalués à un maximum de 100 m³/j (ramené à 10 m³/h avec un pompage de 10 h/j).

Le BRGM a donc été missionné par le Lycée professionnel agricole de Coconi pour apporter une aide scientifique et technique et son expertise géologique, géophysique et hydrogéologique dans le cadre de la recherche d'eau souterraine. Un forage sera réalisé ultérieurement par le Maître d'Ouvrage sur le site de Valarano (Commune de Ouangani).

A l'issu de cette étude, deux implantations sont proposées :

Un forage (1) de 50 à 60 m de profondeur situé près des bâtiments techniques de l'exploitation permettrait d'explorer les formations légèrement productives déjà reconnues par les forages de Kahani 1 et Kahani 2 et éventuellement de rechercher d'autres formations productives sous-jacentes. L'objectif de cet ouvrage est limité avec un débit d'exploitation supposé compris entre 2-3 et 15 m³/h.

Coordonnées (RGM04) : X = 514 490 m et Y = 8 581 500

Un forage (2) de 150 m de profondeur placé sur les parties hautes, au milieu de la cocoteraie dont l'objectif serait de recouper entièrement une formation située au droit de la zone d'étude. Cette formation résistante pourrait correspondre à des laves saines fissurées drainant les formations sus-jacentes. Si tel est le cas, et compte tenu des caractéristiques connues des aquifères de Mayotte, cet ouvrage pourrait fournir un débit d'exploitation de l'ordre de 20 à 25 m³/h.

Coordonnées (RGM04) : X = 514 315 m et Y = 8 581 567 m

Les débits d'exploitations indiqués ci-dessous ne sont que des ordres de grandeurs observés dans d'autres forages à Mayotte dans des formations à priori similaire. Ces informations ne sont qu'indicative et ne sauraient présager du débit d'exploitation réel des forages réalisés sur le site, qui ne pourront être défini qu'avec des pompages d'essais réalisés dans les règles de l'art et un suivi adapté de l'exploitation.

Sommaire

1. Contexte de l'étude	9
2. Analyse des données antérieures	11
2.1. LOCALISATION	11
2.2. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE	12
2.2.1. Données hydrogéologiques disponibles	12
2.2.2. Données du forage 12312X0030 – Kahani 1	14
2.2.3. Données du forage 12312X0031 – Kahani 2	17
2.2.4. Conclusions.....	19
3. Résultats des reconnaissances hydrogéologiques	21
4. Interprétation des données de géophysiques héliportées (TDEM)	25
4.1. DONNEES DISPONIBLES SUR LA ZONE D'ETUDE	25
4.2. INTERPRETATION GEOLOGIQUE DE LA GEOPHYSIQUE HELIPORTEE (TDEM)	27
4.2.1. Interprétation des profils géophysiques	27
5. Proposition d'implantation et conclusions	31
6. Bibliographie	33
7. Glossaire	35

Liste des illustrations

Illustration 1 : localisation de la zone d'étude (fond Scan25© de l'IGN).....	11
Illustration 2 : localisation de la zone d'étude (fond OrthoPhoto© de l'IGN).....	12
Illustration 3 : localisation de la zone d'étude sur la carte géologique au 1/50 000 de Mayotte (Stieltjes, 1988).	13
Illustration 4 : localisation des données de la Banque de données du Sous-Sol à proximité de la zone d'étude.	14
Illustration 5 : chroniques du piézomètre de Kahani 1 - 12312X0030.	15

Illustration 6 : chronique piézométrique de l'année 2010 de Kahani 1 8" - 12312X0030.	16
Illustration 7 : évolution du point d'inflexion des courbes de tarissement du piézomètre de Kahani 1.....	17
Illustration 8 : chronique piézométrique du forage de Kahani 2 - 12312X0031.	18
Illustration 9 : reconnaissances hydrogéologiques de terrain du 29 juin 2011.....	21
Illustration 10 : altérites (allotérites) observées sur les parties hautes (Mark 18).	22
Illustration 11 : altérites grises (isaltérites) observées dans une partie incisée du lit de la rivière (Mark 08).....	22
<i>Illustration 12 : cocoteraie et lande rase sur les altérites (allotérites) observées sur les parties hautes (Mark 15).....</i>	<i>22</i>
Illustration 13 : coulée de lave saine formant une cascade (Mark 13).	22
Illustration 14 : panorama de la plaine alluviale (à gauche) et de la base des coteaux (à droite) (Mark 09).	23
Illustration 15 : panorama de la zone marécageuse (Mark 12) en aval de la cascade (Mark 13).	23
Illustration 16 : affleurement de lave saine au carrefour de de Chiconi (aval de la zone d'étude) présentant quelques émergences dans les basaltes sains fissurés de la rive droite.	24
Illustration 17 : localisation des profils TDEM sur les fonds Scan25© et Orthophoto© de l'IGN.	25
Illustration 18 : vue de l'extraction (bloc 3D) utilisé pour l'interprétation des données TDEM sur la zone d'étude.	26
Illustration 19 : localisation des profils TDEM et des sondages électromagnétiques sur la zone d'étude.....	26
Illustration 20 : coupe TDEM interprétée ; les coupes sont orientées respectivement à leur nom de g. à d.	29
Illustration 21 : proposition des implantations de forage.	32
Illustration 22 : Processus de traitement des sondages TDEM : a) acquisition des données, b) signal enregistré, c) inversion des données, d) représentation 3D de la résistivité du sous sol.....	45
Illustration 23 : Lignes de vol (traits noirs) sur l'île de Mayotte tracées sur la carte de résistivité pour la profondeur 0-5m. Noter la forte densité des vols N-S et le nombre relativement limité de vols transverses.....	47
Illustration 24 : Exemple de représentation des mesures de résistivités (le Nord est à droite).....	48
Illustration 25 : Exemple de coupes de résistivités.....	48
Illustration 26 : Exemple d'extension de l'isorésistivité 20 ohm.m (en vert) et de l'isorésistivité 5 ohm.m (orange) superposée à des coupes de résistivités	49

Liste des annexes

Annexe 1 Coupe du forage 12312X0030 – Kahani 1	37
Annexe 2 Coupe du forage 12312X0031 – Kahani 2	41
Annexe 3 Principe de la géophysique héliportée (TDEM)	44

1. Contexte de l'étude

Pour développer le site expérimental de Valarano, le lycée professionnel agricole de Coconi (commune de Ouangani) désire réaliser les aménagements nécessaires à l'irrigation de ses parcelles agricoles. Outre la réalisation des ouvrages hydrauliques, destinés au stockage et à l'irrigation, la recherche de ressources en eau complémentaire s'avère nécessaire. Les besoins sont évalués à un maximum de 100 m³/j (ramené à 10 m³/h avec un pompage de 10 h/j).

Le BRGM a donc été missionné par le Lycée professionnel agricole de Coconi pour apporter une aide scientifique et technique et son expertise géologique, géophysique et hydrogéologique dans le cadre de la recherche d'eau souterraine. Un forage sera réalisé par le Maître d'Ouvrage sur le site de Valarano (Commune de Ouangani).

Le présent rapport définit l'implantation prévisionnelle de l'ouvrage en s'appuyant sur les données hydrogéologiques et géophysiques existantes.

2. Analyse des données antérieures

2.1. LOCALISATION

La zone d'étude se situe au lieu-dit Valarano, au Nord du village de Coconi sur la commune de Ouangani.

La zone d'étude appartient à l'hydro-éco-région Nord-Ouest de Mayotte, secteur recevant les plus fortes précipitations, de l'ordre de 1 500 mm/an. Dans ce secteur, les crêtes topographiques forment des structures grossièrement planaires incisées sur quelques dizaines de mètres par des vallées et des ravines. Des monts, appelés Mlima, ressortent de ce paysage près du village de Chiconi, Kahani et plus au Nord près de l'estuaire de la Mro oua Orouvéni.

Une cocoteraie cultivée par le lycée professionnel occupe la zone d'étude. Cet espace agricole est entouré au Nord par un cours d'eau temporaire se jetant dans le Mro oua Hachiké et au Sud par le Mro oua Coconi. La confluence entre le Mro oua Hachiké et le Mro oua Coconi se situe au niveau de la bordure Sud de la Zone d'étude. Ce réseau hydrographique appartient au bassin versant de la Mro oua Coconi qui rejoint la mer à 1,5 km à l'Ouest.

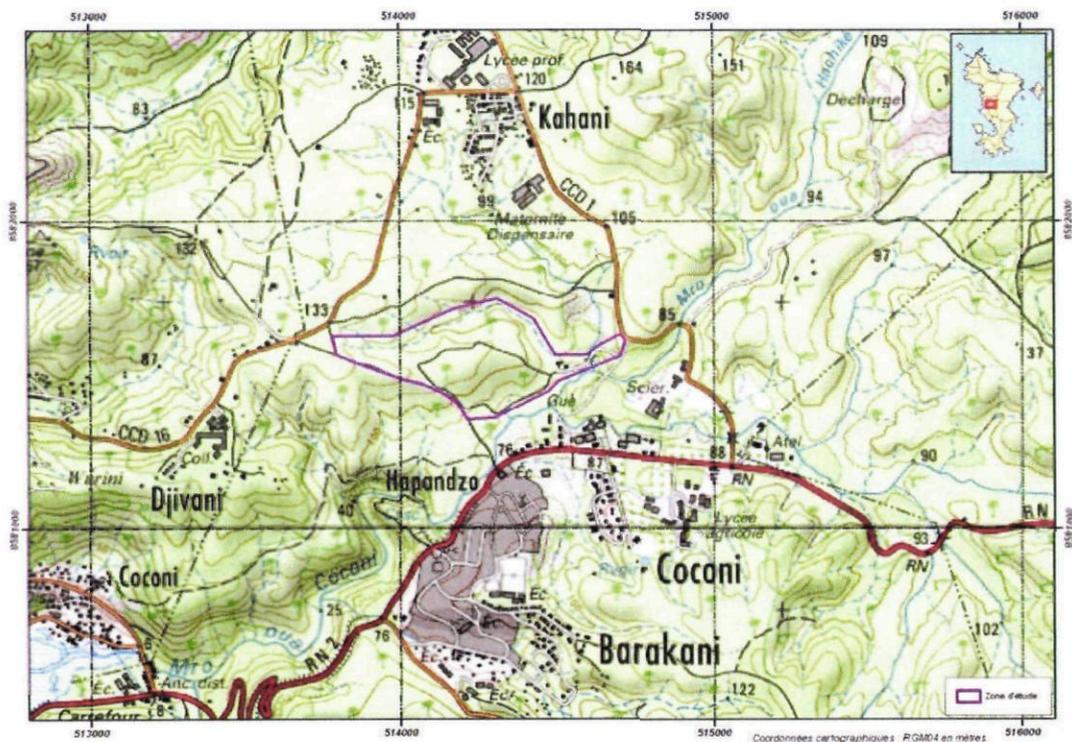


Illustration 1 : localisation de la zone d'étude (fond Scan25© de l'IGN).

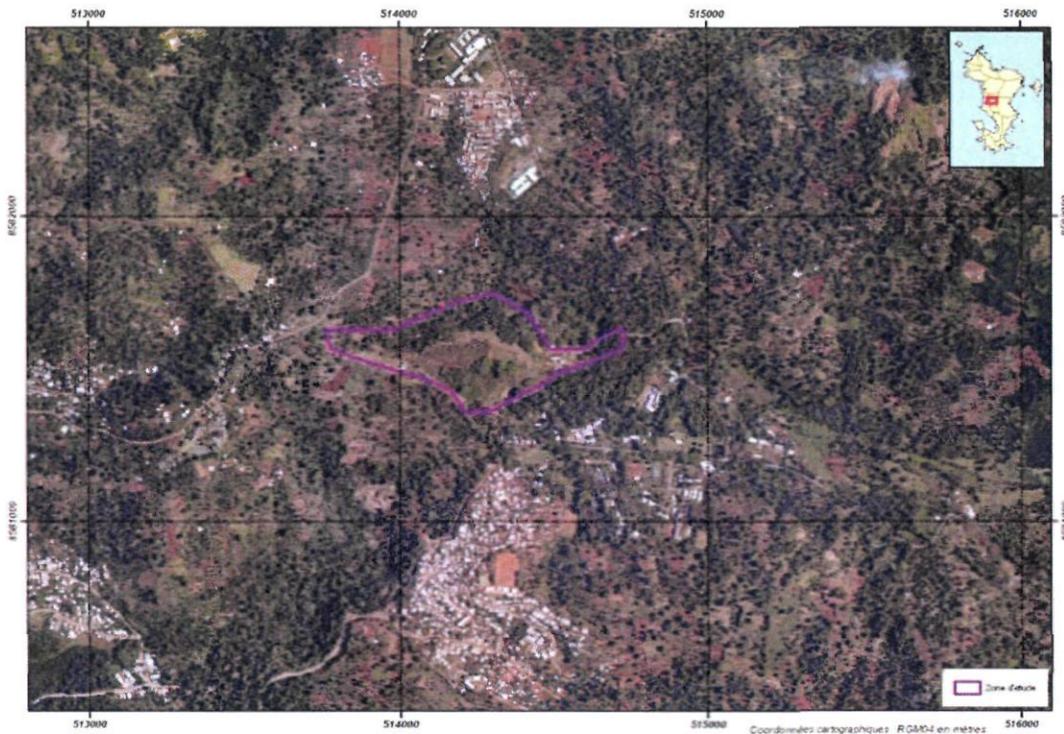


Illustration 2 : localisation de la zone d'étude (fond OrthoPhoto© de l'IGN).

2.2. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

2.2.1. Données hydrogéologiques disponibles

Deux éléments clés caractérisent la géologie de Mayotte : la quasi omniprésence des formations volcaniques, majoritairement constituées de laves de type basaltique et leur profonde altération, jusqu'à plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, qui marque fortement dans le paysage.

La zone d'étude (Illustration 3) se situe au sein des formations basaltiques du bouclier méridional ancien. Ces formations ont émergé via un ou plusieurs volcans coalescents. Elles sont généralisées au deux tiers Sud de l'île, dont les coulées de base subaériennes sont datées aux environs de 8 Ma. L'âge du volcanisme initial (basanites et basaltes à néphéline, augite, olivine) est estimé entre 10 et 15 Ma. Ce massif s'est structuré par l'alternance de phases de comblement des dépressions topographiques (vallées, plaines, effondrements) par des formations volcaniques ou volcano-sédimentaires suivies de phase d'altération chimique et d'érosion mécanique. Des paléo-vallées comblées par des coulées volcaniques plus récentes et des paléo-planèzes sont identifiés au sein des boucliers anciens. Dans cette partie de l'île, les formations volcaniques les plus récentes correspondent à des laves intrusives qui forment aujourd'hui les « mlima », dômes de phonolite massive aisément identifiables dans le paysage.

A l'Ouest de la zone d'étude, des formations de cendre d'âge indéterminé recouvrent les laves du bouclier ancien. De même, des formations superficielles de versant ou de fond de vallée occupent les parties basses du relief. Une frange d'altération pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur recouvre généralement les terrains les plus superficiels.

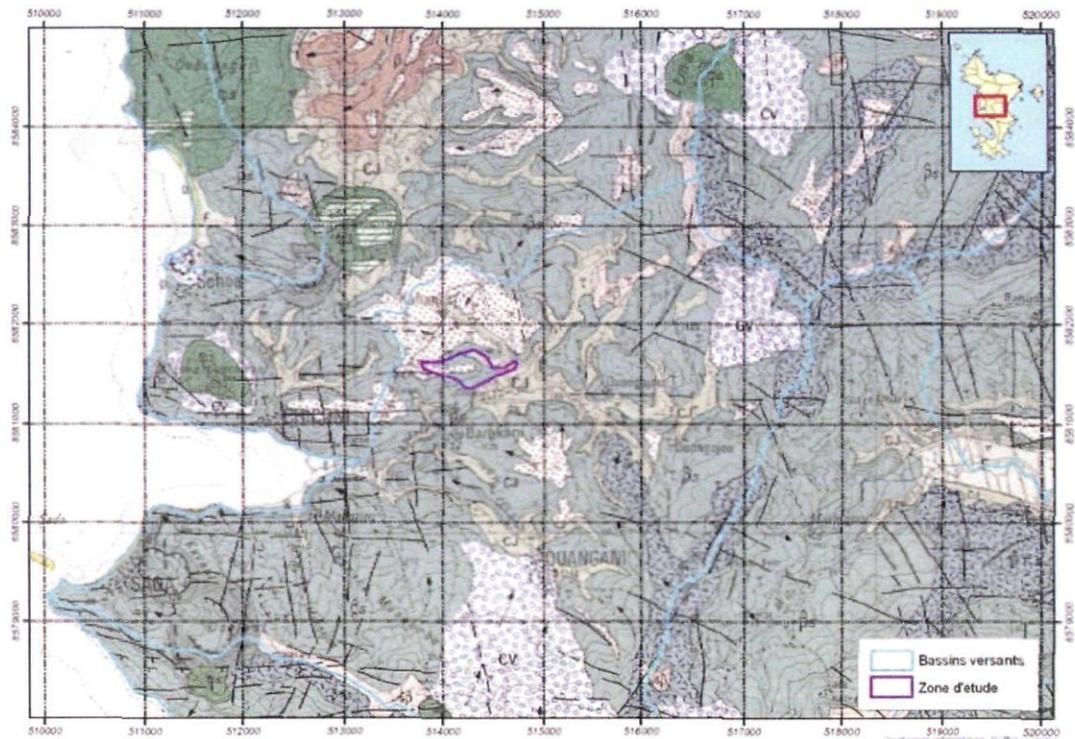


Illustration 3 : localisation de la zone d'étude sur la carte géologique au 1/50 000 de Mayotte (Stieltjes, 1988).

Légende : β_s : basaltes, basaltes à néphéline, néphélinites altérées ; $\beta_{\pi s}$: basaltes ankaramitiques ; ϕ_s : phonolites alcalines ; β : basaltes indifférenciés du Mtsapéré ; CV : colluvions de versant ; F : formations alluviales ou littorales ; CJ : formations alluviales de fond de vallée ; pointillés orange : projections de cendre.

Ce secteur n'a pas fait l'objet d'études antérieures apportant des indications hydrogéologiques. Cependant, deux forages de recherche d'eau souterraine ont été réalisés lors de la campagne 1990-1991 (Mauroux, 1992, BRGM/RR-35165-FR) et des stations de jaugeage de la Mro oua Coconi sont suivies de manière régulière par la DEAL (anciennement DAF) au Sud de la zone d'étude (

Illustration 4).

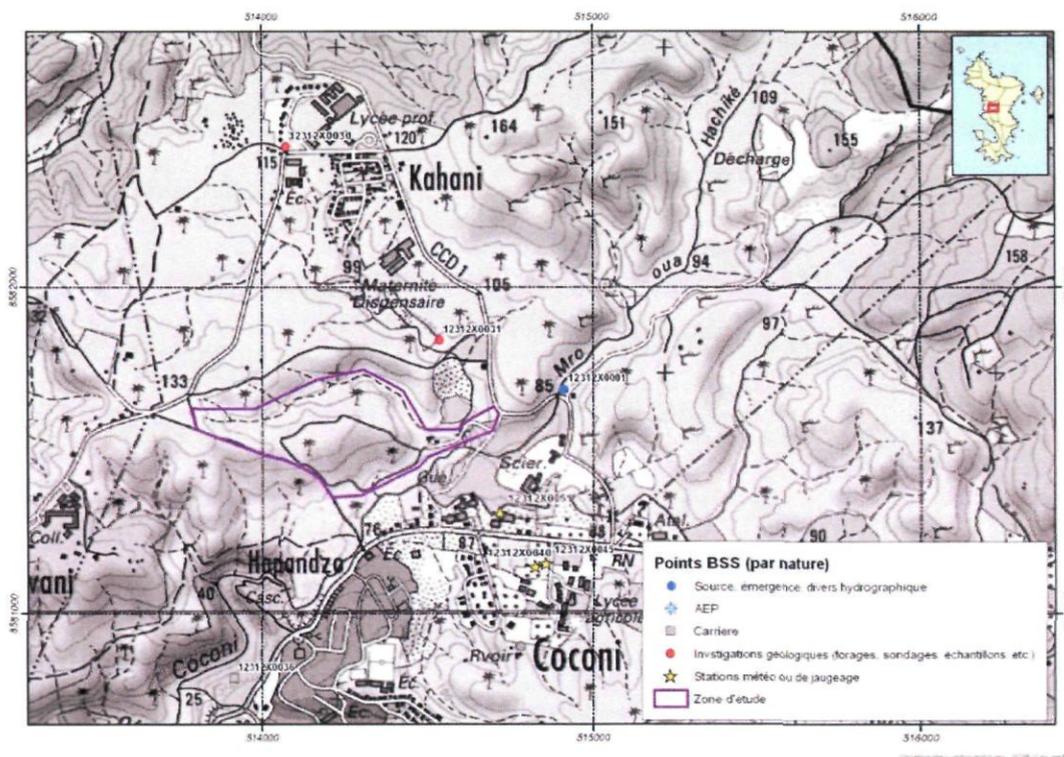


Illustration 4 : localisation des données de la Banque de données du Sous-Sol à proximité de la zone d'étude.

2.2.2. Données du forage 12312X0030 – Kahani 1

Le forage de Kahani 1 – 12312X0030 qui a atteint la profondeur de 45 m a recoupé une succession de formation argileuses sur 18 m avant de rencontrer 4 m d'altérites puis 23 m de basalte fin à olivine, zéolitisé et fracturé. Lors de la foration, des horizons aquifères ont été recoupés (Annexe 1). Ce forage est situé à 750 m de la zone d'étude.

Les essais de type Lefranc donnent des valeurs de perméabilité comprises entre 10^{-3} et 5.10^{-5} m/s pour les formations argileuses alors que les valeurs pour les formations basaltiques sont plus faibles, de l'ordre de 10^{-6} m/s. Cette faible perméabilité des terrains volcaniques peut s'expliquer par la zéolitisation qui, en remplissant la porosité des roches, diminue leur perméabilité.

Un essai à l'air-lift a donné un débit de 1,66 l/s provoquant un rabattement de 8,0 m. Ces caractéristiques hydrauliques, garantissant moins de 1 ou 2 m³/h en exploitation, sont faibles par rapport aux ouvrages exploités à Mayotte. Les mesures de conductivité de l'eau effectuées durant cet essai sont restées stables à 90-110 µS/cm. Cette valeur de conductivité correspond à des eaux peu minéralisées indiquant certainement un temps de résidence assez court.

Cet ouvrage a été aménagé en piézomètre de surveillance dont le suivi a été assuré par la DAF de Mayotte entre 1991 et 2007 puis par le BRGM jusqu'à aujourd'hui (Illustration 5).

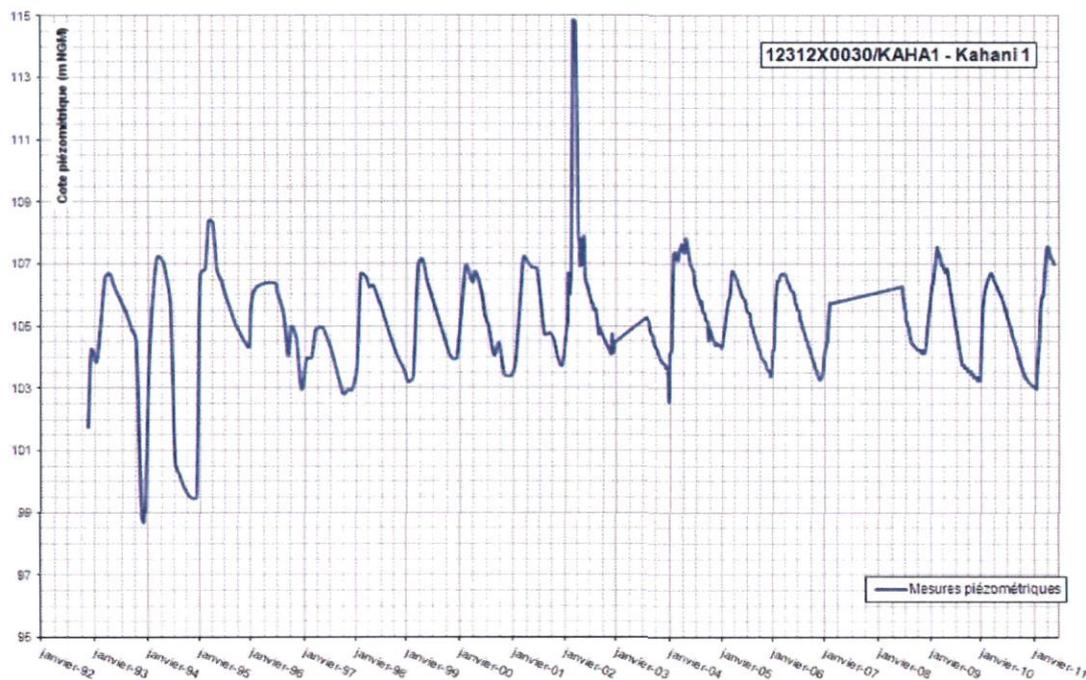


Illustration 5 : chroniques du piézomètre de Kahani 1 - 12312X0030.

Les mesures effectuées durant les étiages de 1993-94, 1994-95 et 2003-04 ainsi que les hautes eaux de 2001 ne semblent pas cohérentes avec les valeurs piézométriques moyennes de l'aquifère (Illustration 5). Elles seront donc écartées. La cote piézométrique oscille entre +108,33 m NGM et +102,96 m NGM pour une amplitude de l'ordre de 5 m.

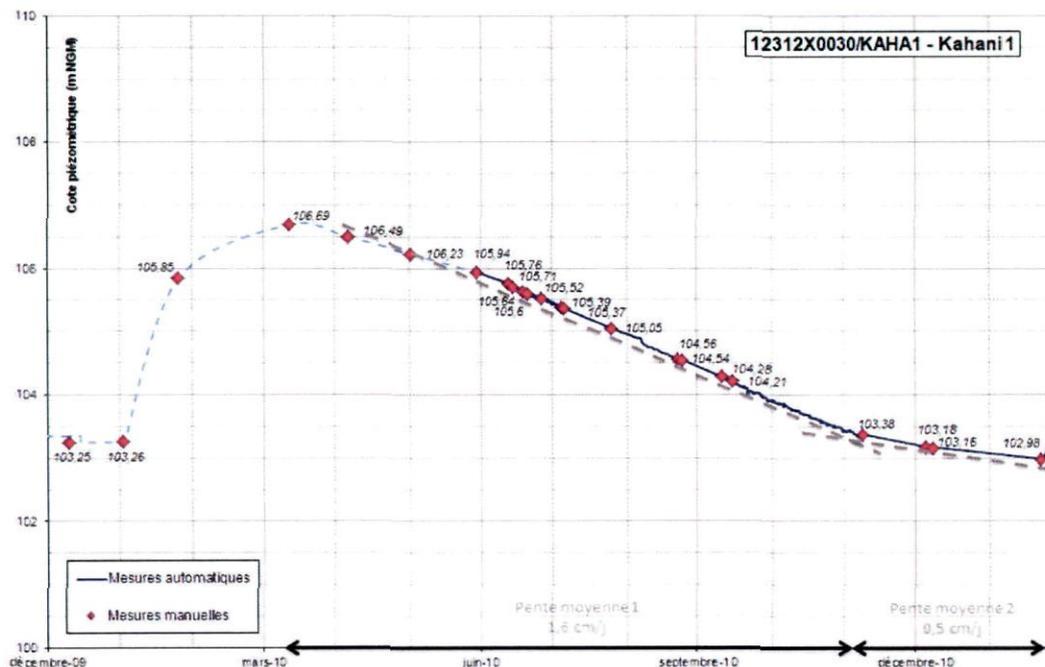


Illustration 6 : chronique piézométrique de l'année 2010 de Kahani 1 8'' - 12312X0030.

La vitesse de recharge de l'aquifère est estimée à 3,7 cm/j pour la saison des pluies 2009-2010, vitesse calculée à partir des quelques mesures ponctuelles disponibles (Illustration 6). Cette estimation est cohérente avec les valeurs antérieures comprises entre 3 et 5 cm/j (Malard A. 2009 BRGM/RP-56768-FR). Pour l'année 2010, le niveau piézométrique maximum se situe à +106,69 m NGM.

La courbe de tarissement du piézomètre de Kahani 1 présente une rupture pente distinguant deux portions pseudo-linéaires (Illustration 6). La première pente est de l'ordre de 1,6 cm/j pour l'année 2010 contre 0,5 cm/j pour la seconde. Cette rupture de pente est généralement observée à la fin du mois d'août lorsque la qualité des données piézométriques le permet.

Sur les trois derniers cycles hydrologiques, ce point d'inflexion semble arriver de plus en plus tardivement et pour une cote piézométrique de plus en plus basse : de +104,48 m NGM en 2008 à +103,38 m NGM en 2010 (Illustration 7).

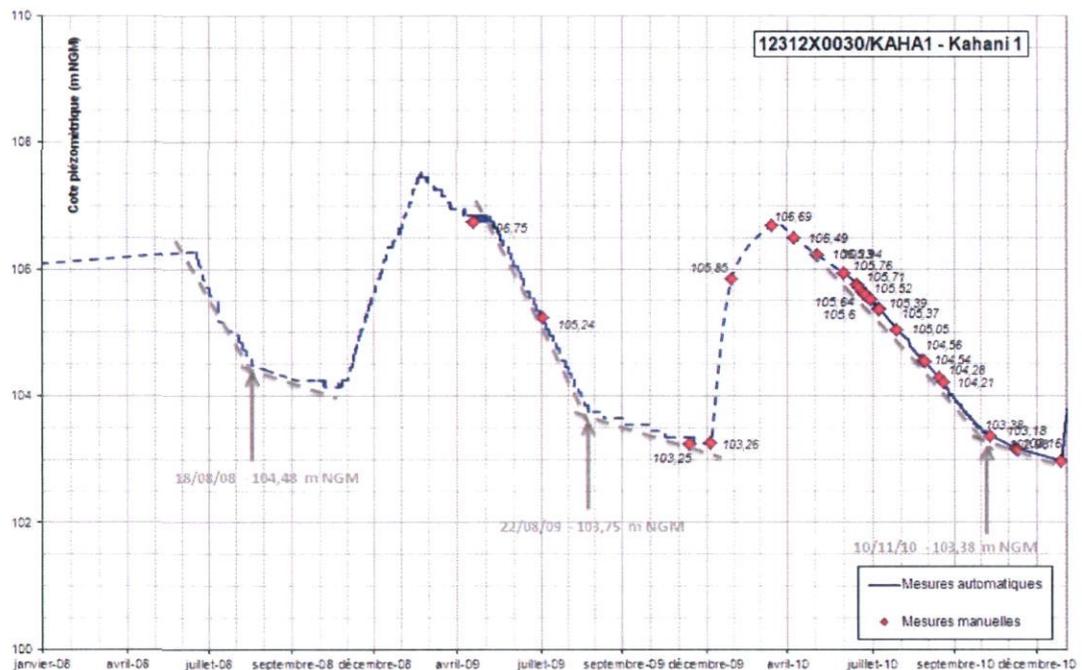


Illustration 7 : évolution du point d'inflexion des courbes de tarissement du piézomètre de Kahani 1.

Ce point d'inflexion est pour le moment interprété comme la vidange de compartiments aux propriétés hydrauliques différentes. La pente la plus forte, comprise entre 1 et 1,6 cm/j correspondrait à la vidange de l'aquifère par les formations basaltiques fracturées. Le tarissement plus lent, inférieur à 1 cm/j, serait imputable à des formations moins transmissives : altérites et/ou limons et argiles (Malard A. et Malard A. et Jaouen T., 2010, BRGM/RP-57459-FR).

En conclusion, cet ouvrage recoupe un aquifère perché de sub-surface résident dans les formations superficielles argileuses et dont la réactivité aux évènements pluvieux est importante. Cependant, les essais à l'air lift ont montré que sa productivité reste très limitée.

2.2.3. Données du forage 12312X0031 – Kahani 2

Le forage de Kahani 2 – 12312X0031 qui a atteint la profondeur de 45 m a recoupé une succession de formation sédimentaires ou d'altération à dominante argileuses sur 21,6 m avant de rencontrer une succession de formation basaltiques majoritairement saine et sub-aphyrique (Annexe 2). Lors de la foration, des horizons aquifères ont été recoupés. Ce forage est situé à 200 m en amont de la zone d'étude.

Les essais de type Lefranc donnent des valeurs de perméabilité comprises entre 10^{-5} et 5.10^{-6} m/s pour les formations argileuses alors que, à l'inverse du forage de Kahani 1, les basaltes ont une meilleure perméabilité de l'ordre de 10^{-4} m/s. Cette

bonne perméabilité, compte tenu du contexte régional, peut s'expliquer par la présence d'horizons vacuolaires et fracturés qui présentent généralement de bonnes caractéristiques hydrauliques.

Un essai à l'air-lift a donné un débit de 1,3 l/s provoquant un rabattement de 1,0 m. Cet ouvrage est plus productif que celui de Kahani 1 : si les débits obtenus lors de l'air-lift sont comparables, le rabattement est faible montrant une meilleure transmissivité des terrains au droit de l'ouvrage. Les mesures de conductivité de l'eau effectuées durant cet essai sont restées stables à 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cette valeur de conductivité correspond à des eaux très faiblement minéralisées indiquant un temps de résidence dans l'aquifère très court.

Cet ouvrage a été aménagé en piézomètre de surveillance dont le suivi a été assuré par la DAF depuis 1992. La DEAL de Mayotte a repris ce piézomètre depuis 2011.

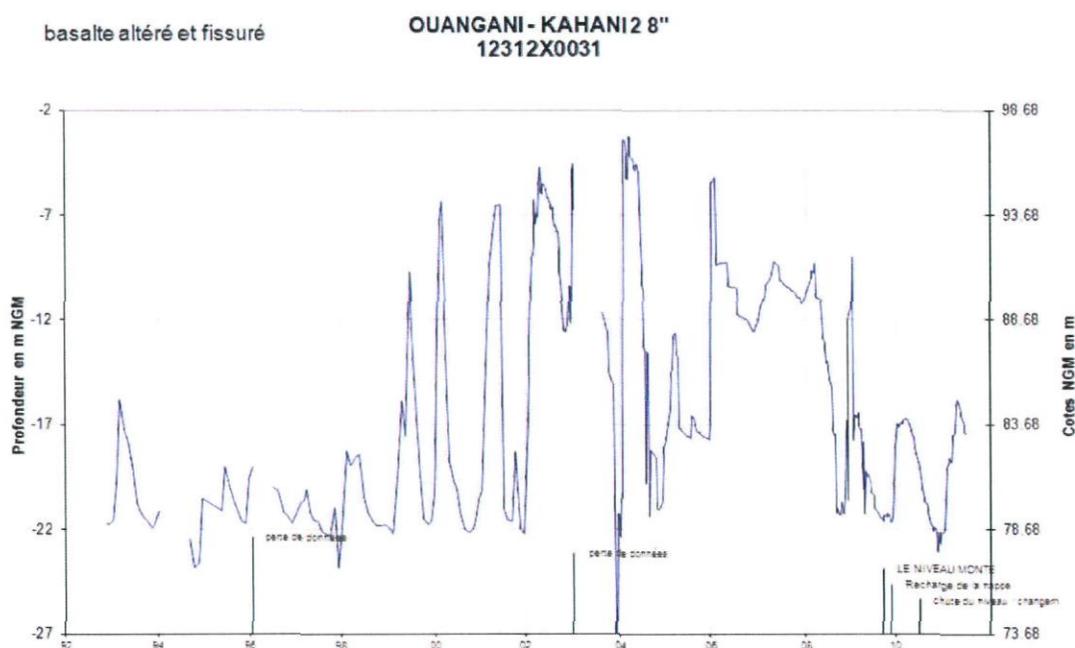


Illustration 8 : chronique piézométrique du forage de Kahani 2 - 12312X0031.

Les chroniques piézométriques disponibles montrent une grande discontinuité entre les mesures effectuées avant 1998 et après 2010 et les mesures de la période 1999-2009 (Illustration 8). La DEAL (ex DAF) qui en assure le suivi, suggère l'existence de défauts dans la margelle permettant l'infiltration d'eaux de pluie. Ceci expliquerait les taux de variations maximum du niveau piézométrique de l'ordre de 10 cm/h (à Mayotte les valeurs moyennes se situent entre 1 et 10 cm/j).

Néanmoins, cet aquifère semble également très réactif aux événements pluvieux même si l'horizon aquifère d'origine basaltique est protégé par une vingtaine de mètres de formations moins perméables.

2.2.4. Conclusions

La zone d'étude se situe dans une région faiblement accidentée bénéficiant de précipitation moyenne à forte pour l'île de Mayotte (1 500 mm/an).

Les forages de Kahani 1 et 2 témoignent de la présence de ressources en eau souterraines. La productivité des formations recoupées par ces forages, que ce soit les formations meubles altéritiques ou les laves plus saines, semble toutefois limitée à quelques mètres cubes par heure. Le forage de Kahani 2 montre clairement un potentiel plus intéressant se traduisant par un rabattement bien moins important.

Les conductivités mesurées à l'époque de la réalisation de ces forages traduisent une eau de bonne qualité (non salée) faiblement minéralisée. Cette tendance est corroborée par la réactivité des aquifères aux précipitations qui traduit des vitesses d'infiltration rapide.

3. Résultats des reconnaissances hydrogéologiques

Des reconnaissances sur le terrain ont été menées le 29 juin 2011 afin de rechercher des informations sur la géomorphologie du secteur d'étude et l'origine des écoulements tant superficiels que souterrains (Illustration 9).

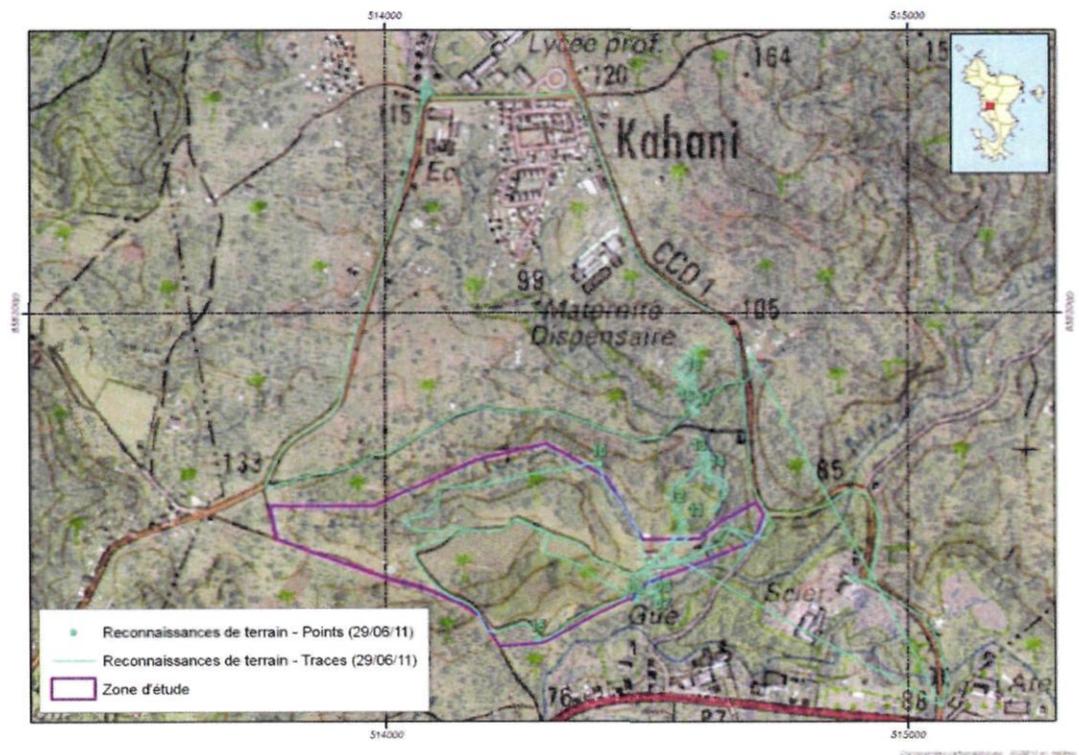


Illustration 9 : reconnaissances hydrogéologiques de terrain du 29 juin 2011.

Le secteur de Combani-Coconi est assimilable à une large planèze en cours d'incision par deux cours d'eau importants : l'Ourovéni et la Coconi. Sur cette zone d'étude, deux ensembles morphologiques se distinguent :

A - Sur les **coteaux et les parties sommitales** dominés par une lande sèche arbustive et la cocoteraie affleurent des formations d'altération. Les parties hautes sont dominées par des **altérites** (éventuellement des allotérites) brun-rouge dépourvues de minéraux identifiables (Mark 18 - Illustration 10). Les pentes sont recouvertes d'altérites colluvionnées de couleur brun-marron (Mark 15 - Illustration 12). Dans le fond de la vallée, là où la rivière incise le substratum, des isaltérites grises à minéraux altérés de couleur orangée ont été observées (Mark 08 – Illustration 11). Au Nord de la zone d'étude (Mark 13 - Illustration 13), une cascade formée par une coulée saine de

lave massive a été observée. Par conséquent, il n'est pas impossible que de telles **coulées massives** arment les reliefs même si à l'affleurement seules des formations altérées sont visibles.



Illustration 10 : altérities (allotérites) observées sur les parties hautes (Mark 18).



Illustration 11 : altérities grises (isaltérites) observées dans une partie incisée du lit de la rivière (Mark 08).



Illustration 12 : cocoteraie et lande rase sur les altérities (allotérites) observées sur les parties hautes (Mark 15).



Illustration 13 : coulée de lave saine formant une cascade (Mark 13).

B – Les **fonds de vallées** sont comblés par des dépôts alluvionnaires et colluvionnaires recouvrant les formations altérées formant **une plaine alluviale**. Cela se traduit par un aplanissement de la topographie et un changement de végétation : culture maraichère, plantes hydrophiles et herbacées de grande taille (Mark 09 - Illustration 14). Ces formations sont incisées au niveau des cours d'eau jusqu'aux formations altéritiques sous-jacentes.



Illustration 14 : panorama de la plaine alluviale (à gauche) et de la base des coteaux (à droite) (Mark 09).

Sur le secteur de Combani à Coconi, le réseau hydrographique montre une forte dichotomie entre les sections pérennes et les talwegs.

Comme pour la majeure partie de l'île, les **sections pérennes** montrent une alternance de zone de sédimentation (plaine alluviale) et de zone en incision (cascades, seuils, sauts, etc.). Cette alternance est contrôlée par l'empilement des terrains sous-jacents qui forment des « marches d'escalier » en s'érodant ; chaque marche contrôlant le niveau hydrologique de base en amont. Ce fonctionnement est particulièrement bien illustré par la présence de nombreuses cascades observées sur et près de la zone d'étude.

Localement, des zones marécageuses (Mark 12) correspondant à la plaine d'inondation ont été observées (Illustration 15 : panorama de la zone marécageuse (Mark 12) en aval de la cascade (Mark 13)).



Illustration 15 : panorama de la zone marécageuse (Mark 12) en aval de la cascade (Mark 13).

Au niveau de la cascade (Mark 13), aucune variation du débit entre l'amont et l'aval n'a pu être mise en évidence. De même, plus en aval, aucune variation du débit de la Mro oua Coconi n'a été observée entre l'amont et l'aval de la cascade de Hapandzo-

Barakani (ancienne carrière d'Hapandzo)¹. Mais, au niveau du carrefour de Chiconi (Illustration 16), près du pont, des résurgences ont été observées². Donc, le rôle hydrogéologique des laves saines qui forment les sauts et cascades sur ces rivières est variable en fonction des leurs propriétés hydrodynamiques.



Illustration 16 : affleurement de lave saine au carrefour de de Chiconi (aval de la zone d'étude) présentant quelques émergences dans les basaltes sains fissurés de la rive droite.

Quant à eux, les **talwegs secs** montrent une quasi absence de traces d'écoulement (alluvions, laisse de crue, embâcles) comme d'incision (ravinement ou affouillement). De plus, dans ces talwegs, les sols sont généralement colonisés par une lande rase et sèche. Ceci semble indiquer que dans ces talwegs l'infiltration serait supérieure au ruissellement.

Le réseau hydrographique présente peu de chenaux de drainage. Ceux-ci sont limités aux cours d'eau pérennes alimentés plus en amont par les reliefs du Songoro M'Bili. A l'opposé de nombreux talwegs secs, colonisés par de la lande rase, peuvent être considérées comme des zones majoritairement infiltrantes.

¹ Communication personnelle : mesure effectuée par Arnaud Malard (ingénieur hydrogéologue – BRGM – Antenne de Mayotte) en 2008 dans le cadre de la définition des réseaux de surveillance de la qualité des eaux superficielles de Mayotte.

² Reconnaissances hydrogéologiques de terrain réalisées en août-septembre 2011 dans le cadre du projet de caractérisation hydrogéologique du potentiel en eau souterraine de Mayotte – Secteur Centre-Sud (SIEAM-ONEMA-BRGM).

4. Interprétation des données de géophysiques héliportées (TDEM)

4.1. DONNEES DISPONIBLES SUR LA ZONE D'ETUDE

Un levé électromagnétique héliporté a été réalisé en octobre 2010 afin d'obtenir une cartographie en trois dimensions de la résistivité sur toute l'île dans le cadre du projet GéoMayotte de cartographie géologique de l'île (partenariat DEAL-BRGM).

Le principe de fonctionnement de la méthode TDEM est rappelé en Annexe 3.

Tout d'abord, la partie du modèle électromagnétique 3D couvrant la zone d'étude a été extraite (Illustration 18). Cette extraction est volontairement beaucoup plus étendue que la zone ciblée de manière à faciliter la représentation de la géométrie du sous-sol. Rappelons que la précision du modèle électromagnétique 3D est liée à la densité de sondages réalisés par TDEM. La zone extraite dispose d'une couverture satisfaisante pour l'interprétation de la méthode TDEM (Illustration 19).

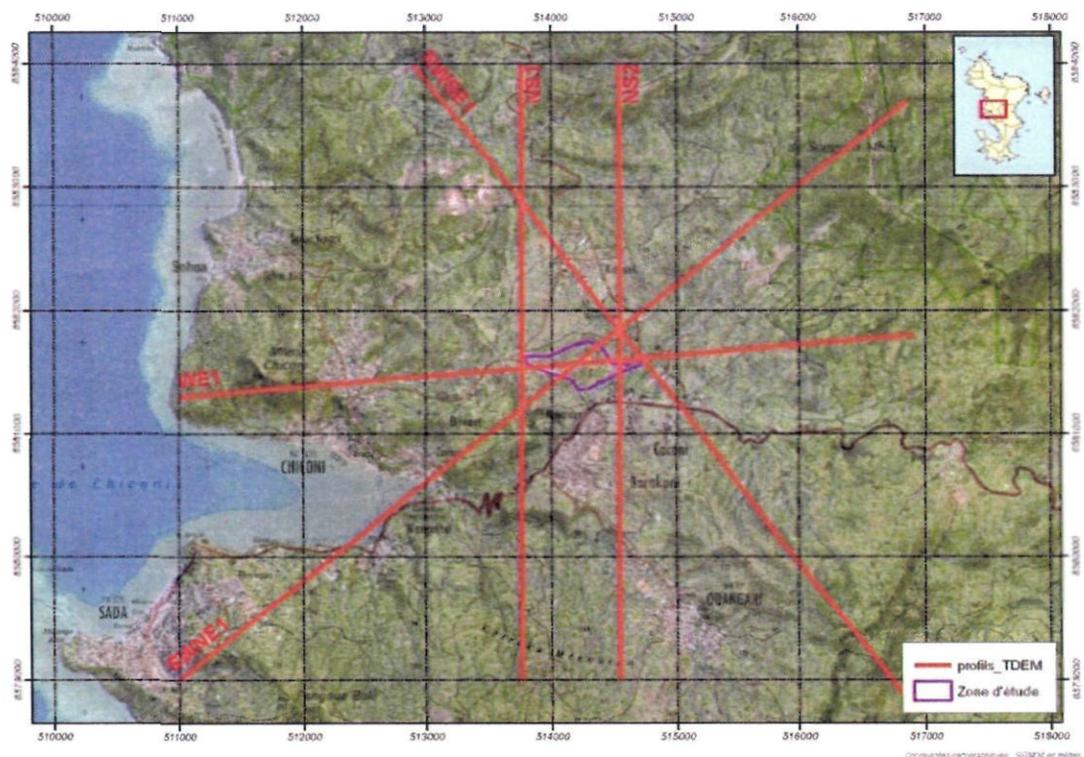


Illustration 17 : localisation des profils TDEM sur les fonds Scan25© et Orthophoto© de l'IGN.

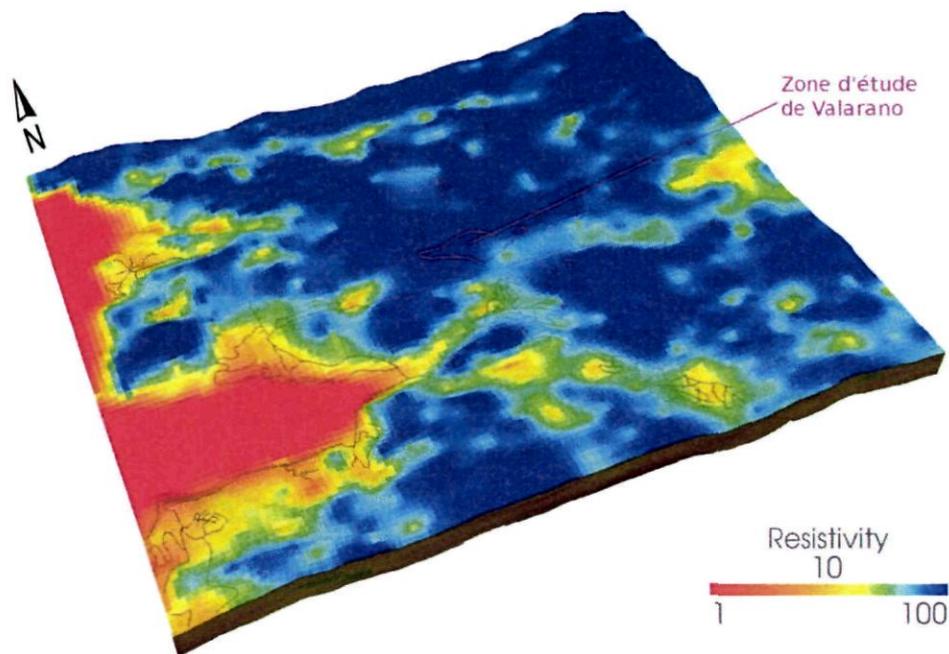


Illustration 18 : vue de l'extraction (bloc 3D) utilisé pour l'interprétation des données TDEM sur la zone d'étude.

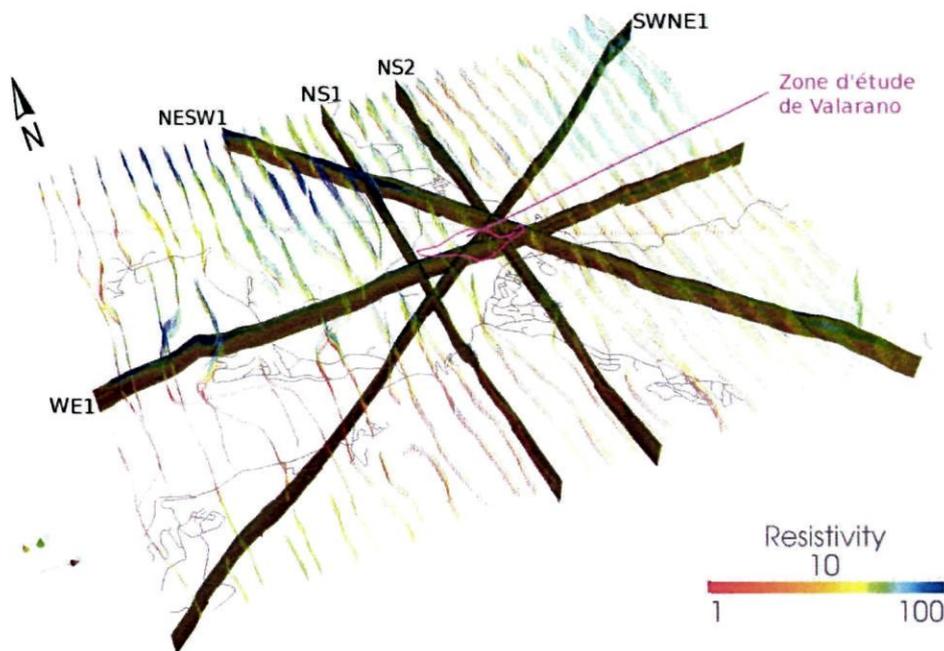


Illustration 19 : localisation des profils TDEM et des sondages électromagnétiques sur la zone d'étude.

4.2. INTERPRETATION GEOLOGIQUE DE LA GEOPHYSIQUE HELIPORTEE (TDEM)

4.2.1. Interprétation des profils géophysiques

L'interprétation de ces profils repose sur l'hypothèse que les caractéristiques électromagnétiques d'une roche varient avec sa nature géologique. Ainsi, une formation géologique homogène et continue, dont les propriétés électromagnétiques contrastent avec les formations qui l'entourent, pourra être mise en évidence. A l'inverse, des formations de natures géologiques différentes pourront avoir les mêmes caractéristiques électromagnétiques. C'est pourquoi, il est indispensable d'interpréter ces données au regard des informations géologiques recueillies sur le terrain et notamment grâce à des forages de calage.

L'interprétation des profils de résistivité (TDEM) au niveau de la zone d'étude permet, à partir des observations de terrain, de déterminer la structure du sous-sol en profondeur et, par la même, d'estimer la géométrie des formations géologiques.

Les profils électromagnétiques ont permis d'identifier, des plus superficielles au plus profondes (Illustration 20) :

- Une **unité résistante R1 (60 à 100 ohm.m)** nappe l'ensemble de la zone étudiée sur environ 20 mètres d'épaisseur. R1 pourrait correspondre à la partie superficielle de l'altération (allotérites), cette formation suivant la topographie. Les forages de Kahani 1 et Kahani 2 confirment cette interprétation : des formations argileuses (allotérites) et des altérites (isaltérites) ayant été recoupées sur environ les 22 premiers mètres. Cette interprétation pourrait expliquer la présence, localement, d'unité sous-jacente moins résistante (60 à 20 ohm.m) qui marquerait un approfondissement du profil d'altération dans le sous-sol (isaltérites ou horizon fissuré épais).
- Une **unité résistante R2 (50 à 20 ohm.m)** semble s'individualiser au sein de l'unité C1. Elle pourrait correspondre à des roches de nature différente ou plus préservées de l'altération que le reste de l'unité C1.
- L'**unité résistante R3 (supérieure à 100 ohm.m)** correspond à un épisode volcanique qui affecte le quart Nord-Ouest de la zone d'étude. Il affleure sous la forme de Mlima au niveau de Chiconi, Sohoa et de l'embouchure de l'Ourovéni et correspond à des laves tardives de type phonolitique.
- Enfin, une dernière **unité résistante R4 (20 à 80 ohm.m)** correspond aux formations volcaniques armant la crête de Songoro M'Bili - massif du Maevadoani - situé en dehors du champ de cette étude.
- Le **conducteur C1 (inférieur à 25 ohm.m)** forme une unité homogène généralisée à l'ensemble de la zone étudiée sur plus de 200 mètres d'épaisseur. Outre l'unité résistante R2 qui s'intercale au sein de celle-ci, l'unité C1 présente une stratification marquée par un empilement de couches planes.

Cet empilement ne se présente pas sous la forme d'un ensemble homogène mais comme un enchevêtrement d'objets approximativement planaires. En milieu volcanique et compte tenu des unités R3 et R4 qui forment des massifs au Nord-Ouest et à l'Est de la zone d'étude, le conducteur C1 peut être interprété comme une ancienne dépression comblée par des dépôts successifs : coulées de lave, projections volcaniques, alluvions, glissement, effondrement, etc. La faible résistivité de cet ensemble semble laisser supposer qu'il soit altéré à très altéré.

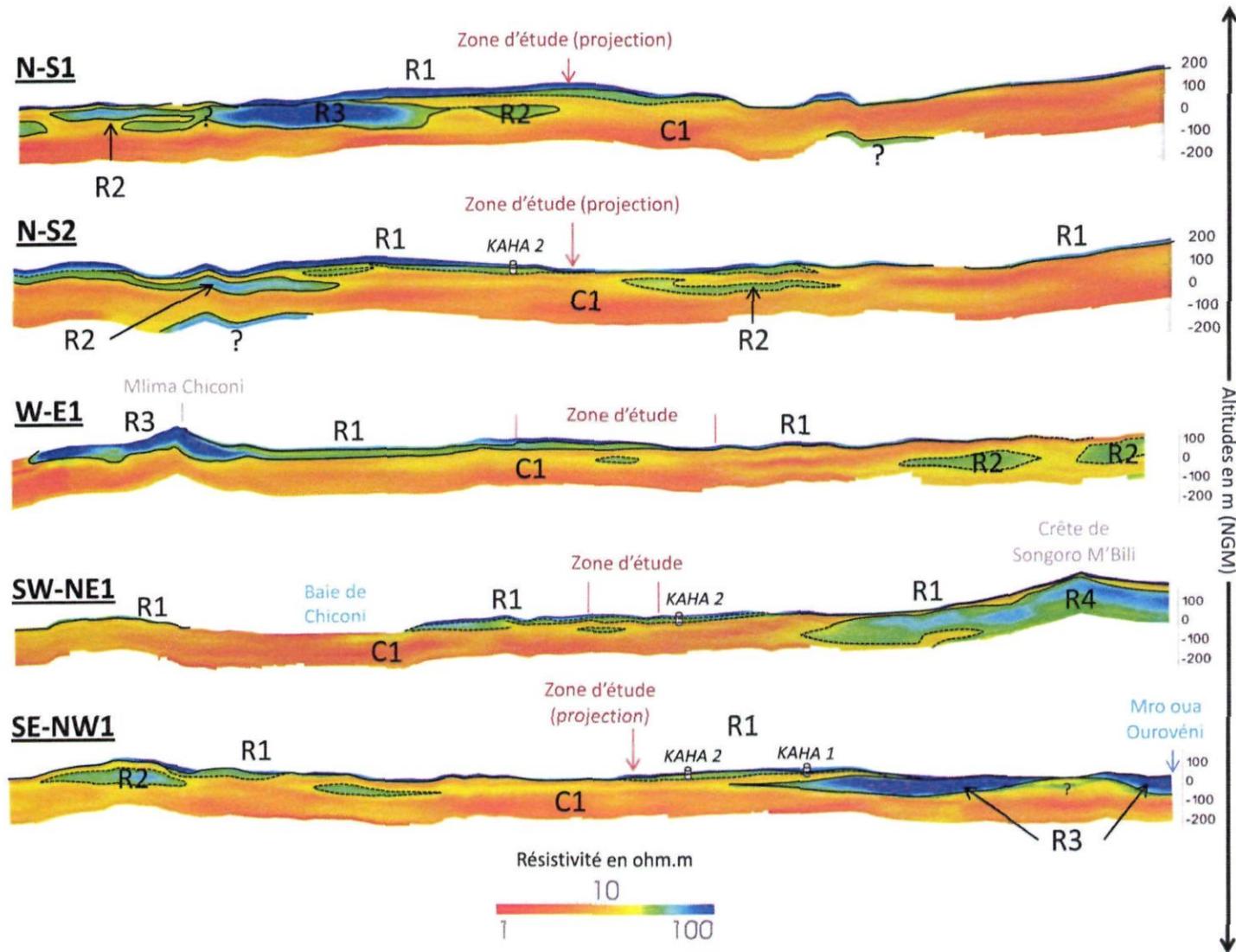


Illustration 20 : coupe TDEM interprétée.

5. Proposition d'implantation et conclusions

Les données antérieures et les reconnaissances hydrogéologiques de terrain mettent en avant l'existence de ressources en eau souterraine potentielles.

Les forages de Kahani 1 et 2 ont révélé la présence d'eau souterraine même si les débits obtenus au soufflage et les essais de perméabilité se sont révélés insuffisants pour la mise en exploitation pour l'alimentation en eau potable. Néanmoins, les résultats de ces forages sont à nuancer. La méthode de forage utilisée à l'époque (faible profondeur d'investigation et petit diamètre) est susceptible d'avoir limité le rendement de l'ouvrage.

Les investigations hydrogéologiques sur le terrain ont permis de mettre en évidence plusieurs critères suggérant la présence de ressources en eau souterraine exploitables :

- la présence de zones infiltrantes permettant la recharge des aquifères ;
- la pérennité de cours d'eau importants (débit minimum d'étiage supérieur à 1 l/s) soutenus par des aquifères en étiage ;
- l'observation de formations capacitives (altérites) et de formations drainantes (laves saines fissurées) dont la présence est nécessaire pour stocker et restituer les eaux souterraines.

De plus, l'interprétation des données de géophysique hélicoptée montre que l'étendue des formations recoupées par les forages de Kahani 1 et 2 englobe toute la zone d'étude qu'il s'agisse des formations meubles altéritiques ou des laves sous-jacentes plus ou moins altérées. De plus, elles révèlent également l'existence d'objets plus résistants que leur encaissant en profondeur qui pourrait correspondre à des formations plus saines potentiellement drainantes. Ce type de formation drainante facilite l'exploitation des eaux souterraines en offrant une meilleure perméabilité et en mobilisant une zone d'appel plus importante (phénomène de drainance).

Compte tenu des éléments précédents, deux implantations sont préconisées :

1 – Un forage de 50 à 60 m de profondeur foré en diamètre 200 mm situé près des bâtiments techniques de l'exploitation permettrait de reconnaître la partie sommitale de l'objet résistant R1 situé entre les cotes +50 et -50 m NGM (Illustration 20, coupe W-E1) au droit du site. L'objectif de ce forage est d'exploiter toutes les formations légèrement productives déjà reconnues par les forages de Kahani 1 et Kahani 2 et éventuellement de rechercher d'autres formations productives sous-jacentes. L'objectif de cet ouvrage est beaucoup plus limité que celui du précédent : compris entre 2-3 et 15 m³/h.

Coordonnées (RGM04) : X = 514 490 m et Y = 8 581 500 m

2 - Un forage de 150 m de profondeur foré en diamètre 200 mm placé sur les parties hautes, au milieu de la cocoteraie dont l'objectif serait de recouper entièrement le résistant R1 situé au droit de la zone d'étude entre les cotes +50 et -50 m NGM (Illustration 20, coupe W-E1). Cette formation résistante pourrait correspondre à des laves saines fissurées formant l'ossature du relief. Cependant, il est nécessaire que des formations alimentent cette structure sans quoi sa productivité pourrait être très limitée. Si tel est le cas, et compte tenu des caractéristiques connues des aquifères de Mayotte, cet ouvrage pourrait fournir un débit d'exploitation de l'ordre de 20 à 25 m³/h. Ce forage permettra de reconnaître néanmoins à la fois les reliefs et leur sous-bassement.

Coordonnées (RGM04) : X = 514 315 m et Y = 8 581 567 m

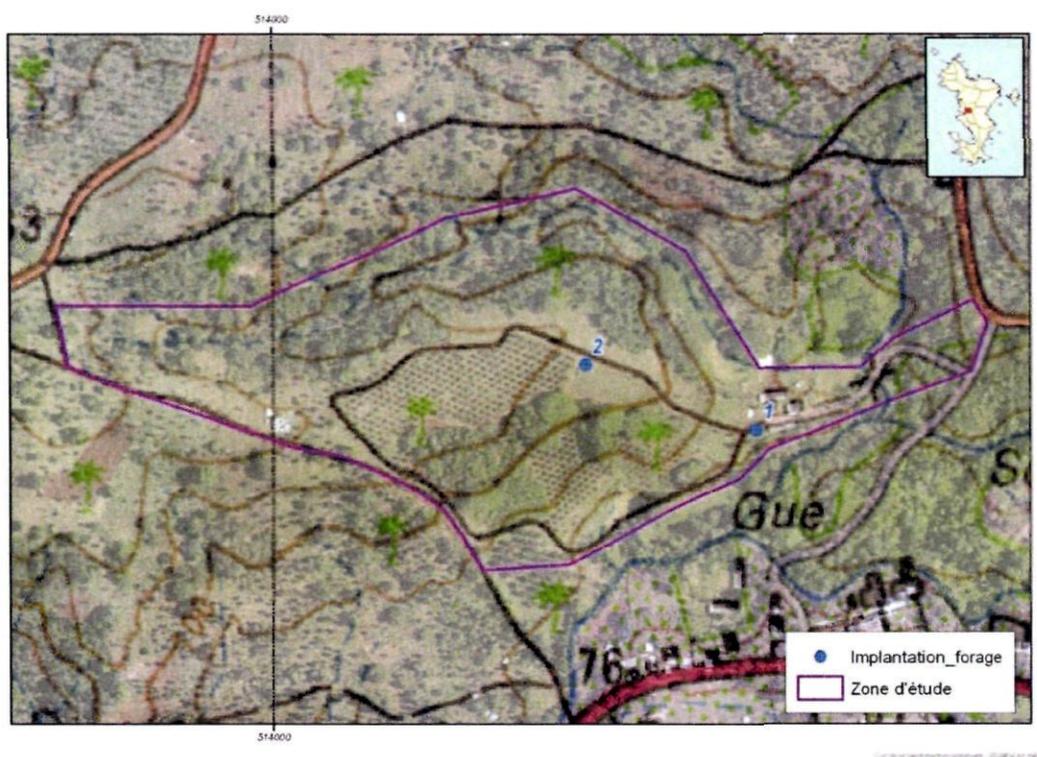


Illustration 21 : proposition des implantations de forage.

6. Bibliographie

ADIN THIERRY (2010) HYDRAULIQUE AGRICOLE / FERME DE VALLARANO. IRRIGATION DES CANNES FOURRAGERES ET COMPLEMENT D'APPORT HYDRAULIQUE DE LA COCOTERAIE. NOTE EXPLICATIVE. LYCEE PROFESSIONNEL AGRICOLE DE COCONI. MAI 2010. 38 P.

CASTANY G., MARGAT J. (1974) DICTIONNAIRE FRANÇAIS D'HYDROGEOLOGIE. RAPPORT BRGM/74-SGN-253-AME. 174 PP.

FOUCAULT A., RAOULT JF (2005) DICTIONNAIRE DE GEOLOGIE. 6EME EDITION. DUNOD

JAOUËN T. (2011) RESEAU PIEZOMETRIQUE DE MAYOTTE. CONVENTION ONEMA-BRGM. BILAN DE GESTION 2010. BRGM/RP-58230-FR, 77 P., 38 ILL., 2 ANN.

MALARD A., JAOUEN T. (2009) - RESEAU DE SURVEILLANCE PIEZOMETRIQUE DE MAYOTTE SOUS MAITRISE D'OUVRAGE BRGM. ANNEE 2009. BRGM/RP-57459-FR, 75 P., 21 ILL., 8 TABL., 4 ANN.

MAUROUX B. (1992) - PROGRAMME DES FORAGES DE RECONNAISSANCE DES EAUX SOUTERRAINES A MAYOTTE. RAPPORT BRGM/RR-35165-FR, 102 P.



7. Glossaire

Alluvion : sédiment des cours d'eau et des lacs composés, selon les régions traversées et la force du courant, de galets, de gravier et de sable en dépôts souvent lenticulaires. La fraction fine correspond à des argiles et des limons (c'est elle qui domine dans les zones inondables) (adj. alluvial).

Altération : modification des propriétés physico-chimiques des minéraux, et donc des roches, par des agents atmosphériques, par les eaux souterraines et les eaux thermales. Elle dépend en particulier du climat, de la température des eaux, de la nature des roches et de leur degré de fracturation. Elle a généralement pour effet de rendre les roches moins cohérentes ce qui facilite leur désintégration.

Altérite : formation superficielle résultant de l'altération et de fragmentation sur place de roches antérieures sans transformations pédologiques notables (adj. altéritique).

Ankaramite : basalte très riche en pyroxène.

Aquifère : corps (couche, massif) de roche perméable comportant une zone saturée (section verticale gorgée d'eau) permettant l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage d'eau le cas échéant (adj. aquifère).

Basalte : roche magmatique effusive (lave) très commune.

Drainance : transfert essentiellement vertical d'un aquifère à un autre.

Etiage : période de l'année où les débits d'un cours d'eau sont les plus faibles et où généralement ceux-ci ne sont plus alimentés que par les eaux souterraines.

Lave : roche émise en fusion à l'état liquide ou pâteux par les volcans, et donnant en général des coulées ou des dômes d'extension très variable (couvrant des surfaces de quelques centaines de m² à plusieurs km²) (adj. lavique).

Néphéline : minéral incolore à blanc présent dans certains types de laves.

Olivine : minéral se formant à haute température de couleur verte à jaune et à éclat vitreux couramment présente dans les laves basaltiques.

Piézomètre : dispositif consistant en un tube enfoncé verticalement dans le sol par sondage et servant à mesurer la pression de l'eau (niveau) avec laquelle il est en relation à son extrémité inférieure.

Porosité : ensemble des volumes de petite taille pouvant être occupés par des fluides (gaz, liquide) à l'intérieur d'une roche (adj. poreux).

Puissance : épaisseur.

Pyroxène : minéral noir à éclat métallique très commun dans les laves et en particulier dans les basaltes.

Substratum : terme très général qui désigne ce sur quoi repose une formation géologique prise comme référence.

Talweg : ligne du fond d'une vallée/ravine suivie par le cours d'eau quand il en existe un.

Transmissivité : paramètre régissant le flux d'eau qui s'écoule par unité de hauteur de la zone saturée d'un aquifère continu (adj. transmissif).

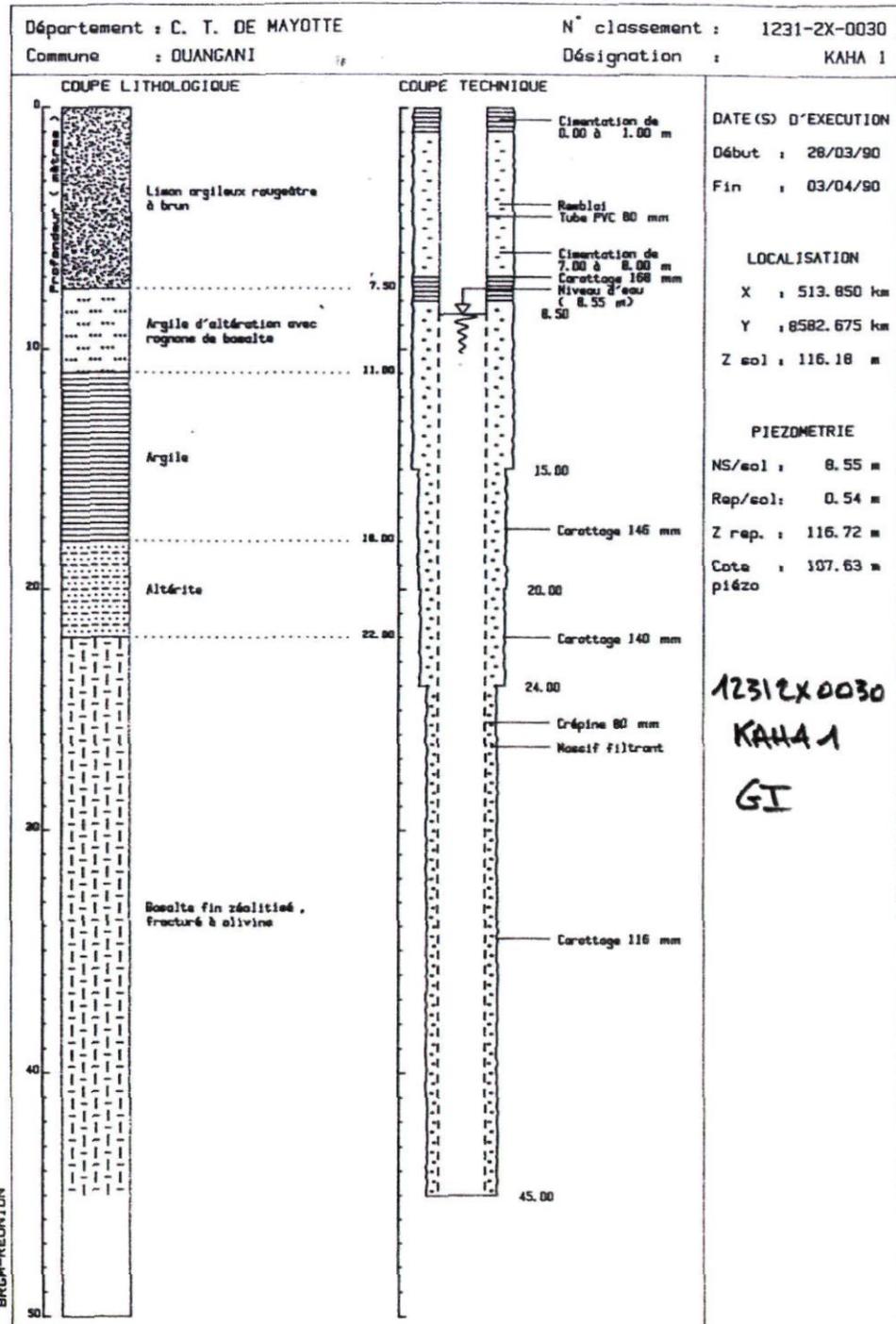
Zéolite : famille de minéraux dont beaucoup d'entre eux tapissent les cavités des roches magmatiques et en particuliers des laves.

Annexe 1

Coupe du forage 12312X0030 – Kahani 1



FIGURE 13

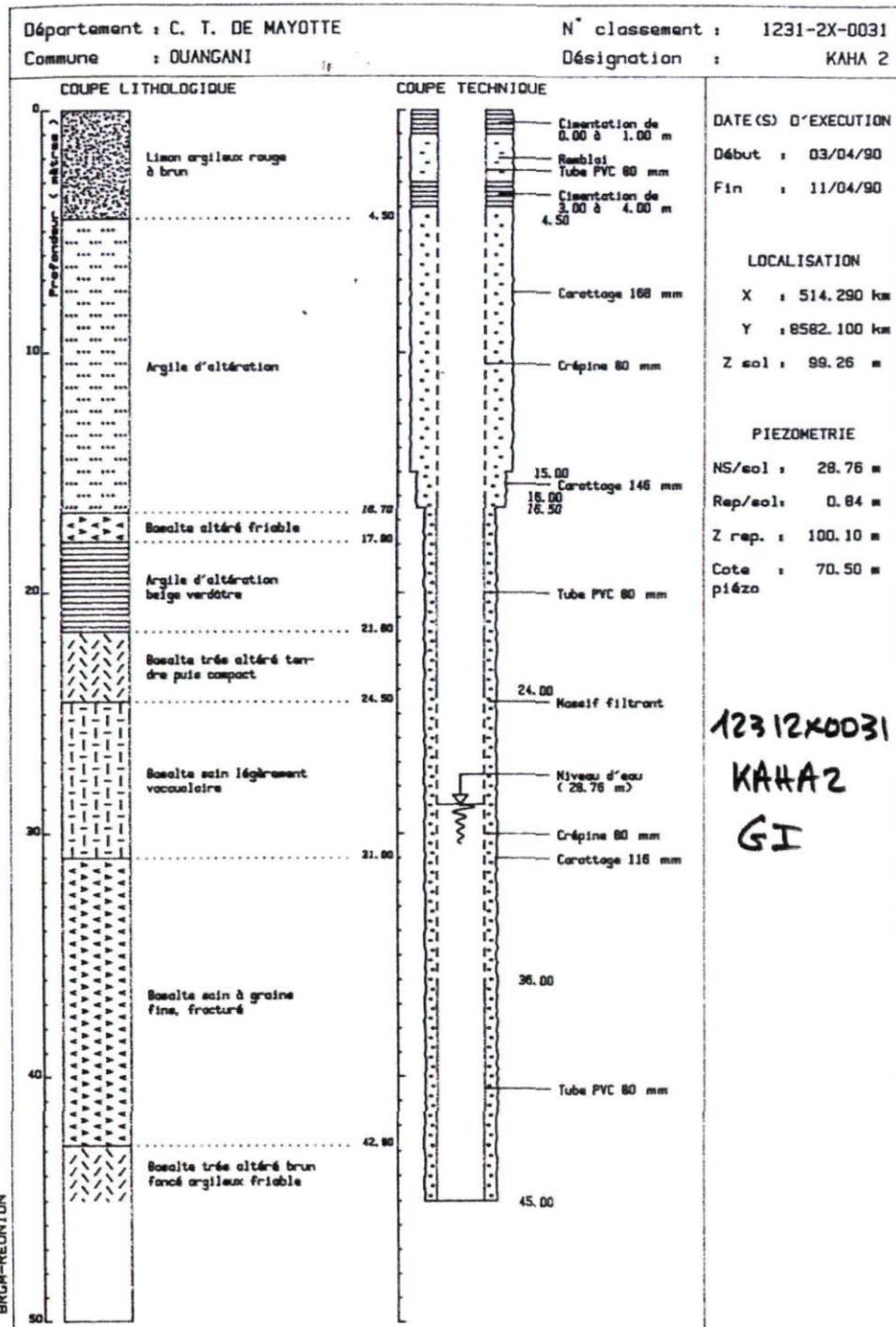


Annexe 2

Coupe du forage 12312X0031 – Kahani 2



FIGURE 14



Annexe 3

Principe de la géophysique héliportée (TDEM)

1. Principe / méthode

La méthode TDEM est une méthode géophysique permettant de sonder le sous-sol grâce à l'induction électromagnétique. Cette induction est produite par la coupure brusque d'un champ magnétique statique établi en surface grâce à une boucle dans laquelle on a fait circuler un courant électrique (Illustration 1a). La différence de flux crée une induction dans le sol, sous forme de boucle de courant qui crée à son tour un champ secondaire (Illustration 1b) par une boucle réceptrice. La courbe de décroissance du champ secondaire est étudiée et inversée pour reconstituer la variation de la résistivité en fonction de la profondeur (Illustration 1c). L'hypothèse prise lors de cette étape est celle d'un terrain stratifié horizontalement (situation 1D). Un modèle 3D de résistivité peut être réalisé (Illustration 1d) en mettant bout à bout les sondages le long des lignes de vol et en interpolant entre les lignes de vol.

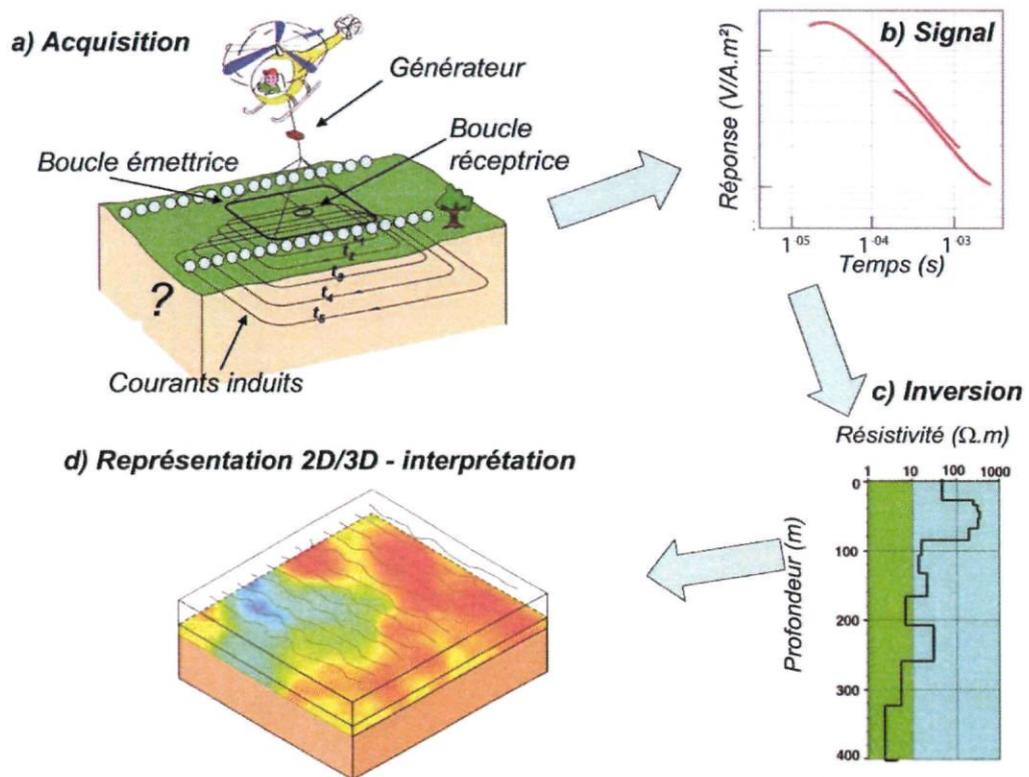


Illustration 22 : Processus de traitement des sondages TDEM : a) acquisition des données, b) signal enregistré, c) inversion des données, d) représentation 3D de la résistivité du sous sol.

Le modèle de résistivité est soumis à des règles d'équivalence et de suppression en fonction de la profondeur (analogue à celles connues pour l'électrique) ce qui fait qu'une inversion n'est jamais unique et réclame souvent une connaissance a priori sur la profondeur ou sur la résistivité des terrains qui peuvent être connus par une autre

méthode (i.e. forage, diagraphie,...). La méthode TDEM est également très sensible aux terrains conducteurs et à la position de leur toit et les définit de façon plus précise que les sondages électriques. En revanche, les terrains résistants (supérieurs à 500 ohm.m) sont mal définis.

2. Spécifications de mesures

Les acquisitions géophysiques ont été réalisées sur les deux îles principales de Mayotte avec un espacement de base de 200 m et 400 m entre ligne de vol en fonction de l'intérêt de la zone (Illustration 23), resserré à 100 m sur petite terre.

Le plan de vol et la localisation des mesures ont été reportés dans le système géodésique UTM 38S/WGS 84. Dans ce système, les lignes de vol ont une orientation Nord-Sud. La garde au sol attendue entre le système d'émission électromagnétique et le sol est de 30 mètres, avec une augmentation pendant le survol des forêts, lignes électriques, variations topographiques. La vitesse de l'hélicoptère attendue est de l'ordre de 80 km/h (22 m/s) au-dessus d'une topographie plate. Celle-ci peut varier dans les zones présentant des variations topographiques importantes et des changements de vitesse de vent.

Les systèmes embarqués lors de l'acquisition comprennent un TDEM, des inclinomètres, des altimètres, des GPS ainsi qu'un magnétomètre.

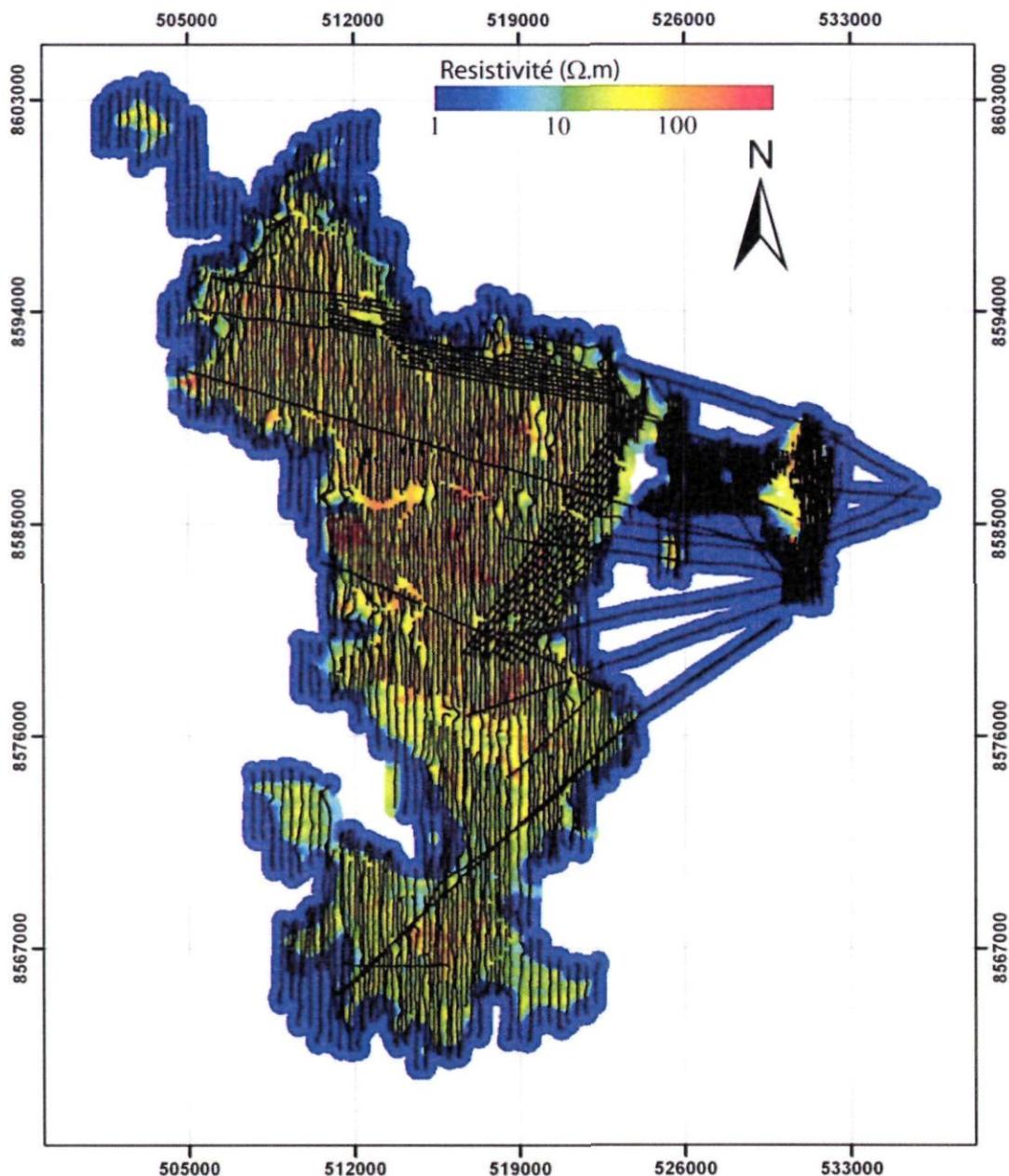


Illustration 23 : Lignes de vol (traits noirs) sur l'île de Mayotte tracées sur la carte de résistivité pour la profondeur 0-5m. Noter la forte densité des vols N-S et le nombre relativement limité de vols transverses.

3. Représentation des mesures

Les mesures ont ensuite été compilées dans un fichier permettant de les visualiser en trois dimensions (Illustration 24), de réaliser des coupes (Illustration 25) et de

représenter l'extension d'horizon d'égale résistivité (Illustration 26). Le logiciel ParaView a été utilisé pour ces représentations.

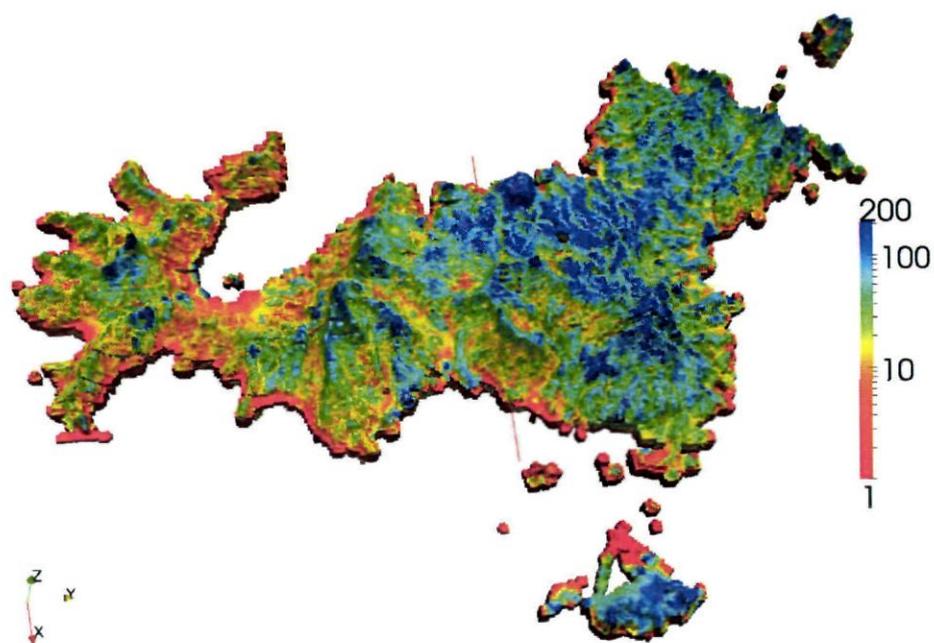


Illustration 24 : Exemple de représentation des mesures de résistivités (le Nord est à droite)

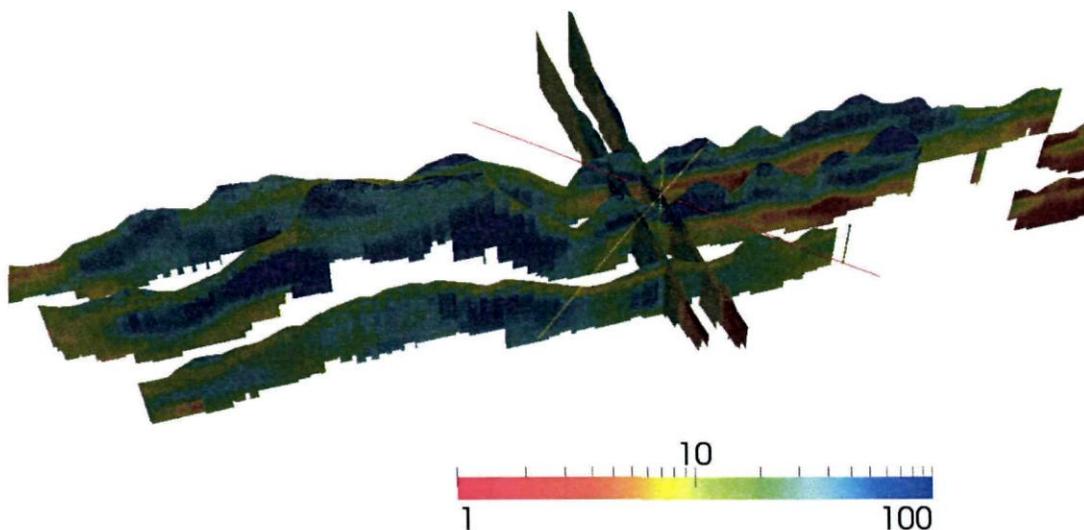


Illustration 25 : Exemple de coupes de résistivités

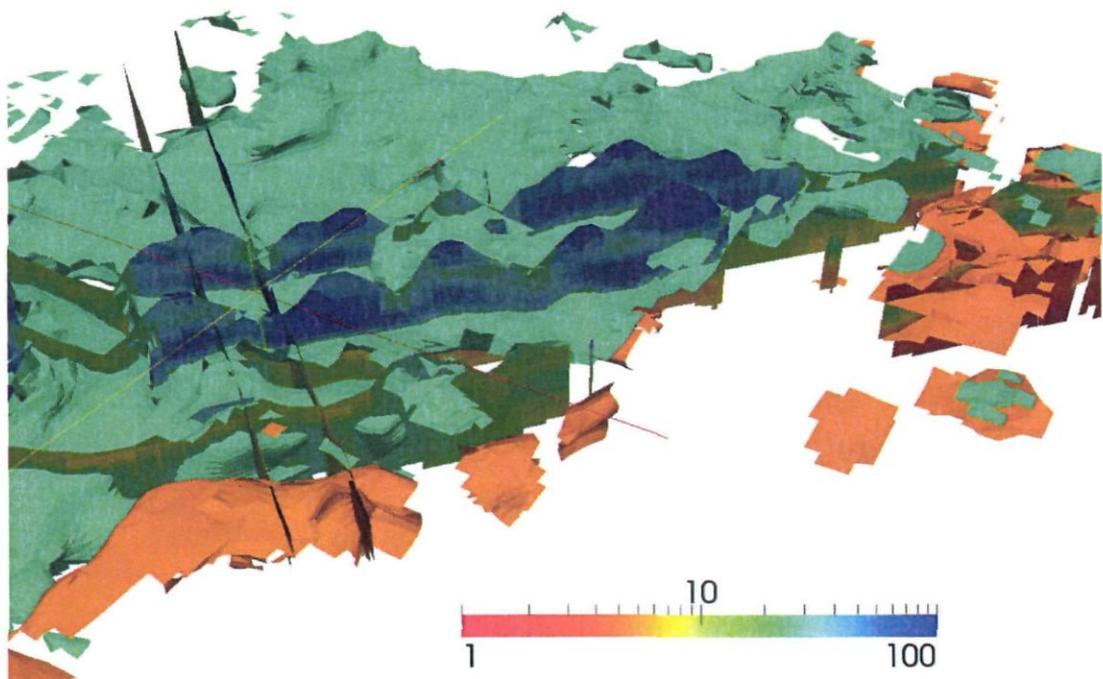


Illustration 26 : Exemple d'extension de l'isorésistivité 20 ohm.m (en vert) et de l'isorésistivité 5 ohm.m (orange) superposée à des coupes de résistivités



Géosciences pour une Terre durable

brgm

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

Service géologique régional de Mayotte
9, centre Amatoula
B.P. 363 – Z.I. Kawéni
97600 – Mamoudzou - France
Tél. : 02.69.61.28.13