

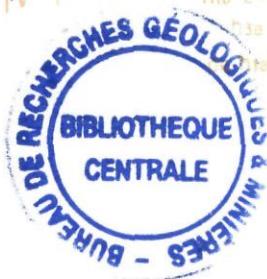
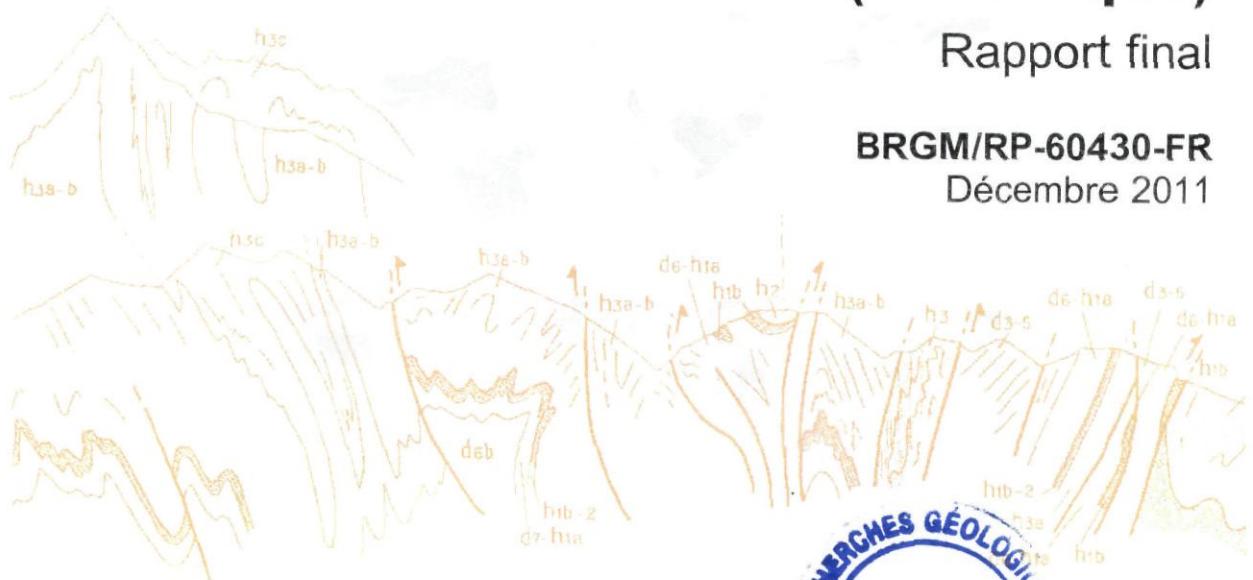


6043

Prospections hydrogéologiques sur le site de Grand Fond, commune du Marin (Martinique)

Rapport final

BRGM/RP-60430-FR
Décembre 2011





Prospections hydrogéologiques sur le site de Grand Fond, commune du Marin (Martinique)

Rapport final

BRGM/RP-60430-FR
Décembre 2011

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2010 EAUI60

L. Arnaud, F. Mathieu, M. Lhotelin

Vérificateur :

Nom : B. Vittecoq

Date : 13 novembre 2011

Signature :

Approbateur :

Nom : J.-C. Audru

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.



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Mots clés : Aquifères volcaniques, Alimentation en eau potable, Alimentation de secours, Eau souterraine, Géophysique, Milieu fissuré, Reconnaissances géologique et hydrogéologique, Le Marin, Martinique, SICSM, DOM.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :
Arnaud L., Mathieu F., Lhotelin M. (2011). Prospections hydrogéologiques sur le site de Grand Fond, commune du Marin (Martinique), Rapport BRGM/RP-60430-FR, 99 p., 32 ill., 7 ann.

Synthèse

Le SICSM souhaite diversifier et augmenter les ressources en eau potable disponibles sur son territoire, par l'exploitation des eaux souterraines. Il a ainsi été confié au BRGM la conduite d'un programme de reconnaissance des eaux souterraines du centre et du sud de la Martinique.

Le présent rapport rend compte des prospections hydrogéologiques menées en 2011 sur le site de Grand Fond au Marin selon la méthodologie suivante : reconnaissances géologique et hydrogéologique de terrain, investigations géophysiques par panneau électrique, interprétation générale du site (modèle conceptuel hydrogéologique) et propositions d'implantation de forages de reconnaissance.

Les nouvelles observations de terrain et les investigations géophysiques menées sur le site de Grand Fond ont permis de caractériser précisément la formation géologique des calcaires du Marin en termes d'extension, d'épaisseur et de structure.

Tout d'abord, les calcaires sont sub-affleurants sur la totalité du site d'étude, leur extension est donc plus importante que celle suggérée par la carte géologique.

Les six coupes de résistivités, résultats des acquisitions géophysiques, permettent d'identifier clairement la présence de trois faciès lithologiques au sein des calcaires du Marin : les calcaires supérieurs résistants, les calcaires blancs altérés, plus conducteurs (faciès moyen) et les calcaires gris résistants (faciès inférieurs).

Une cartographie des épaisseurs des calcaires a pu être dressée sur Grand Fond avec report des failles, révélées par les panneaux électriques, et orientées selon deux directions régionales : NW-SE et SW-NE.

L'implantation de 4 forages de reconnaissance a été proposée dans les secteurs où les calcaires présentent la plus grande épaisseur et à des distances significatives des failles afin de s'éloigner de possibles limites étanches.

En concertation avec le SICSM, les propositions d'implantation pourront être modifiées en fonction des éléments de réponse apportés par le(s) premier(s) forages de reconnaissance (logs géologiques, venues d'eau, rôle des failles, etc.).



Sommaire

1. Introduction.....	9
2. Présentation du site de Grand Fond.....	11
2.1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE	11
2.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE.....	12
2.3. PROSPECTIONS HYDROGÉOLOGIQUES ANTÉRIEURES	14
3. Reconnaissances géologique et hydrogéologique de terrain.....	19
3.1. ITINÉRAIRE PARCOURU ET STATIONS D'OBSERVATION	19
3.2. OBSERVATIONS GÉOLOGIQUES.....	20
3.2.1.Hyaloclastites, tuffites et coulée de débris sous-marine (notées Hm2a) ..	21
3.2.2.Calcaires du Marin (notés m2bM)	21
3.2.3.Hyaloclastites présentant le faciès brèche verte (notées Hm2b).....	24
3.2.4.Coulées de basalte et d'andésite basique à olivine et clinopyroxène (notées βm2c).....	25
3.3. OBSERVATIONS HYDROLOGIQUES ET HYDROGÉOLOGIQUES	26
3.4. MODÈLE CONCEPTUEL PRÉLIMINAIRE.....	29
4. Investigations géophysiques	31
4.1. ACQUISITIONS GÉOPHYSIQUES	31
4.1.1.Objectifs.....	31
4.1.2.Équipement	31
4.1.3.Configurations d'acquisition des panneaux électriques.....	32
4.1.4.Inversion des pseudosections	33
4.1.5.Localisation des Panneaux électriques	33
4.2. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS	35
4.2.1.MA_P1.....	36
4.2.2.MA_P2.....	39
4.2.3.MA_P3.....	41
4.2.4.MA_P4.....	43
4.2.5.MA_P5.....	45

4.2.6.MA_P6	48
5. Interprétation générale et recommandations	51
5.1. INTERPRÉTATION GÉNÉRALE	51
5.2. IMPLANTATION DES FORAGES DE RECONNAISSANCE	54
6. Conclusion.....	57
7. Références bibliographiques	59

Liste des illustrations

Illustration 1 : Localisation du site de Marin – Grand Fond (IGN)	11
Illustration 2 : Carte géologique au 1/50 000 du site de Marin – Grand Fond (Westercamp et al., 1990)	13
Illustration 3 : Plan de localisation des acquisitions géophysiques et des forages de reconnaissance réalisés en 1975 et 1978 (Paulin, 1979)	15
Illustration 4 : Principaux résultats des acquisitions géophysiques de 1975 (Allard et al., 1976).....	16
Illustration 5 : Coupe géologique réalisée à partir des sondages géophysique et des forages (Paulin, 1979)	16
Illustration 6 : Caractéristiques des forages réalisés en 1975 et 1978 et des pompages d'essai associés (Paulin, 1979)	17
Illustration 7 : Carte de l'itinéraire parcouru (en marron) et des stations d'observation (en rouge)	19
Illustration 8 : Carte des affleurements observés	20
Illustration 9 : Brèche polygénique observée au niveau de la station n° 264. Il n'est pas certain qu'elle soit en place.	21
Illustration 10 : Calcaires du Marin à l'affleurement (station n° 235). Sur la photo de gauche, on peut noter les figures d'érosion typique des formations calcaires (lapiaz)	22
Illustration 11 : Calcaires altérés observés sur la crête d'un morne (station n° 242).....	23
Illustration 12 : Calcaire observé sur la station n° 266 (de nombreux affleurements similaires sont observés à l'aval de ce point mais aucun à l'amont).....	23
Illustration 13 : Brèche observée sur la station n°260 correspondant aux hyaloclastites Hm2b	24
Illustration 14 : Hyaloclastite Hm2b altérée observée sur la station n°261. On devine une altération en pelure d'oignons en bas à gauche de la photographie.....	25
Illustration 15 : Coulée de basalte présentant de nettes cassures conchoïdales observée sur la station n° 230	25

Illustration 16 : Écoulement de la rivière Grand Fond observé sur la station n° 244.....	26
Illustration 17 : Photographies du puits 1186ZZ0185 (à gauche) et du forage de surveillance 1186ZZ0118 (à droite)	27
Illustration 18 : Chronique piézométrique enregistrée au droit du forage de surveillance 1186ZZ0118.....	27
Illustration 19 : Modèle conceptuel préliminaire du site de Grand Fond selon la coupe C1.....	30
Illustration 20 : Modèle conceptuel préliminaire du site de Grand Fond selon la coupe C2.....	30
Illustration 21 : Carte de localisation des panneaux électriques.....	34
Illustration 22 : Tableau récapitulatif des mesures géophysiques (Cf. Annexe 4 pour la signification de spacing (a) et levels (n)).....	35
Illustration 23 : Coupes de résistivité du panneau électrique MA_P1	37
Illustration 24 : Coupes de résistivité du panneau électrique MA_P2	39
Illustration 25 : Coupes de résistivité du panneau électrique MA_P3	42
Illustration 26 : Coupes de résistivité du panneau électrique MA_P4	44
Illustration 27 : Coupes de résistivité du panneau électrique MA_P5	46
Illustration 28 : Coupes de résistivité du panneau électrique MA_P6	48
Illustration 29 : Modèle conceptuel du site de Marin – Grand Fond révisé après les investigations géophysiques	52
Illustration 30 : Schéma structural interprétatif du site de Marin – Grand Fond et localisation des zones potentiellement favorables à l'implantation d'ouvrages de reconnaissance	53
Illustration 31 : Carte des isopaques des Calcaires du Marin (m2bM) et localisation des zones potentiellement favorables à l'implantation d'ouvrages de reconnaissance	54
Illustration 32 : Caractéristiques des forages de reconnaissance proposés	55

Liste des annexes

Annexe 1 Coupes géologiques des forages de reconnaissances et du forage d'exploitation réalisés en 1975 et 1978.....	61
Annexe 2 Synthèse des observations de terrain	69
Annexe 3 Fiche de synthèse du forage de surveillance qualitative du Marin – Grand Fond (1186ZZ0118)	75
Annexe 4 Principe du panneau électrique	79
Annexe 5 Coordonnées géographiques des panneaux électriques	89
Annexe 6 Paramètres d'inversion utilisés dans Res2DInv	93
Annexe 7 Résultats complets des inversions	99



1. Introduction

Le SICSM souhaite diversifier et augmenter les ressources en eau potable disponibles sur son territoire, par l'exploitation des eaux souterraines. A minima, l'objectif du SICSM est de disposer d'une ressource complémentaire mobilisable en situation de crise : étiage sévère pendant le Carême et/ou post catastrophe naturelle (cyclone, séisme).

Le SICSM a ainsi confié au BRGM un programme de reconnaissance des eaux souterraines sur le centre et le sud de la Martinique. Une première phase d'étude, menée fin 2010, a permis d'identifier 20 sites favorables à la recherche d'eaux souterraines (Rapport BRGM-59123-FR, Arnaud et al., 2010).

Les prospections hydrogéologiques de terrain ont débuté début 2011 selon une méthodologie adaptée aux aquifères volcaniques et éprouvée par le BRGM depuis plusieurs années en Martinique. Cette dernière se décompose en trois étapes principales :

- reconnaissances géologique et hydrogéologique de terrain ;
- investigations géophysiques par panneau électrique ;
- interprétation générale du site (modèle conceptuel hydrogéologique) et propositions d'implantation de forages de reconnaissance.

Le présent rapport rend compte des prospections hydrogéologiques menées en 2011 sur le site de Grand Fond au Marin.



2. Présentation du site de Grand Fond

2.1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE

Le site de Grand Fond se situe immédiatement au Nord de la commune du Marin. Son altitude varie entre 18 et 100 m, pour une superficie de 2,1 km². Le site correspond à une vaste dépression, occupée par une exploitation agricole (élevage de bovins). Il est entièrement dans l'emprise du parc régional de la Martinique (Illustration 1).

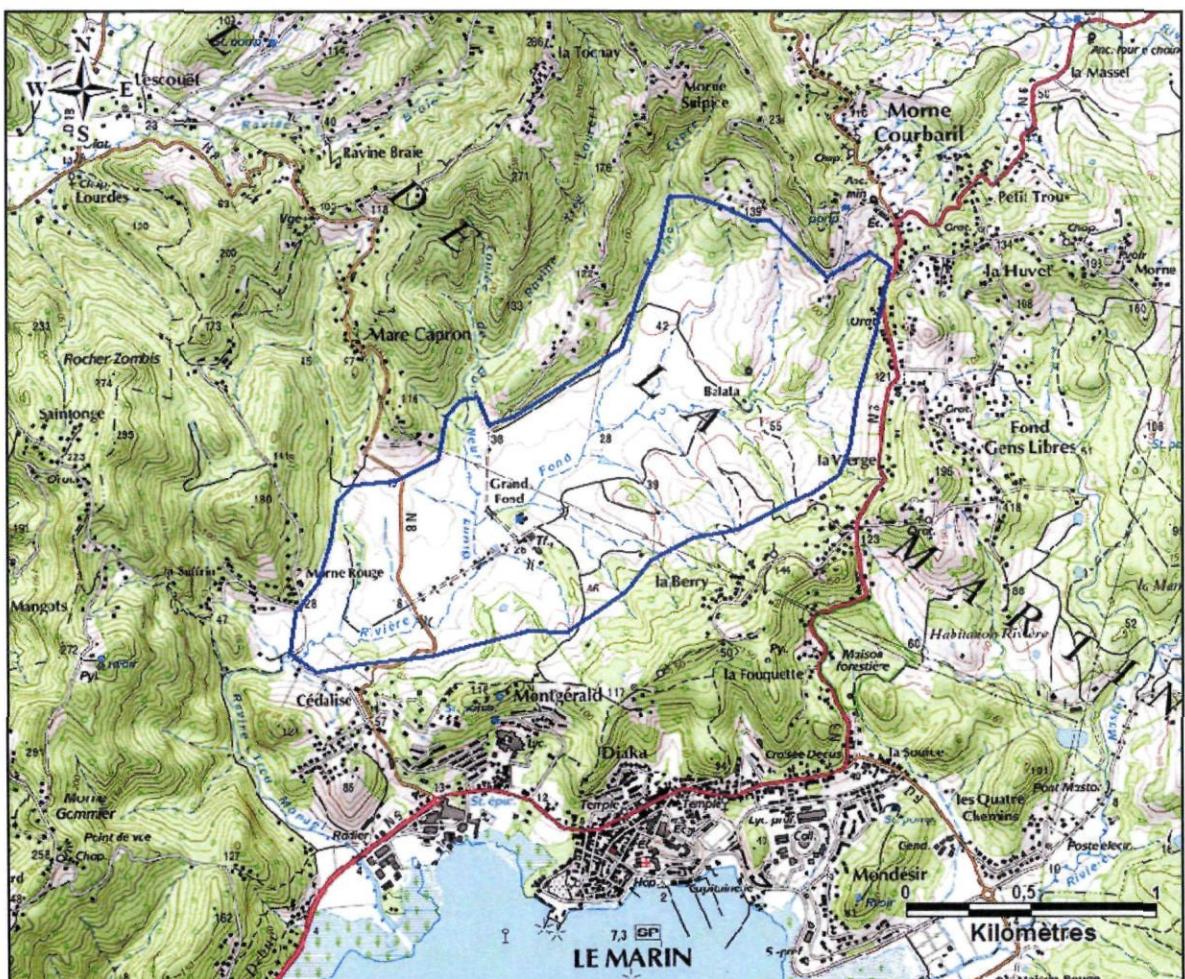


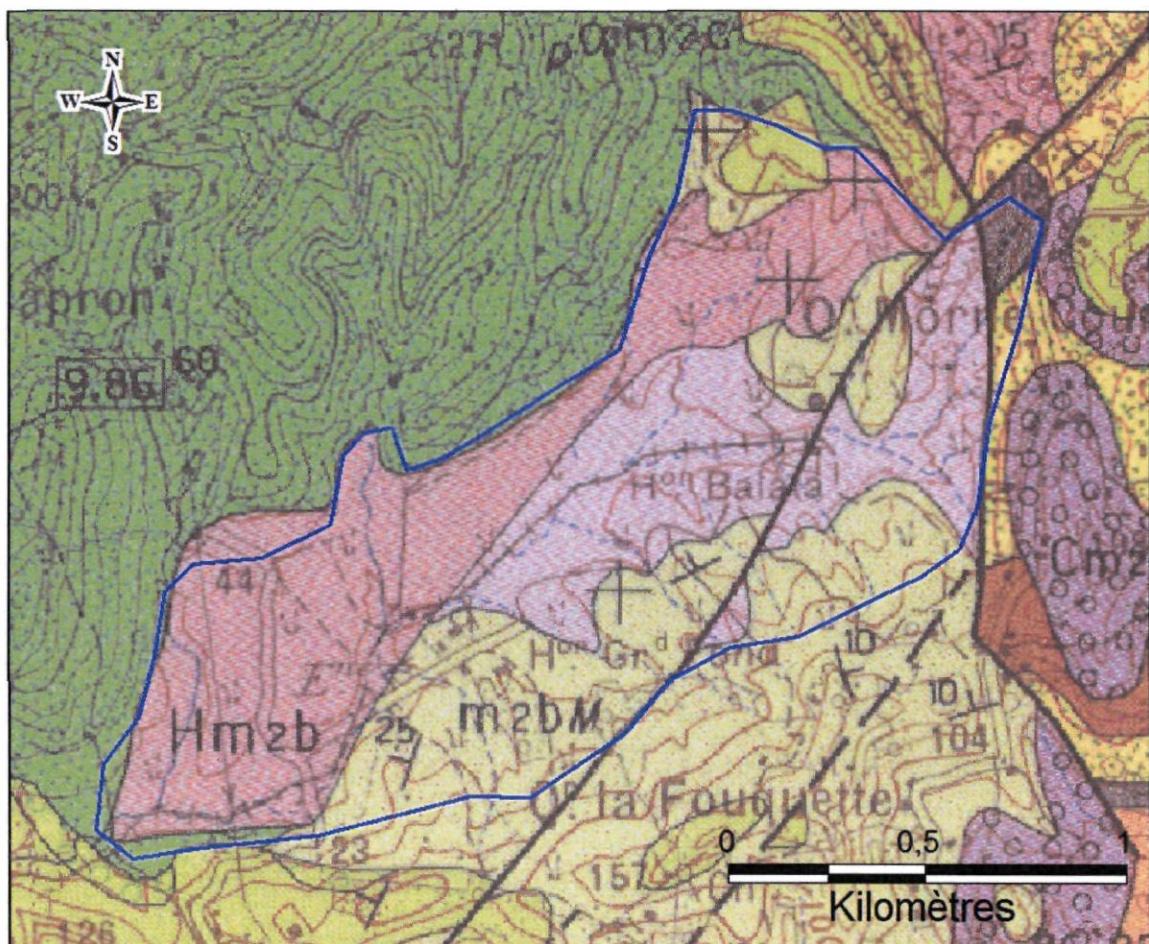
Illustration 1 : Localisation du site de Marin – Grand Fond (IGN)

2.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE

Les formations géologiques du site de Grand Fond sont issues de la chaîne volcanique sous-marine du Vauclin-Pitault. Lors de cette période, des épisodes de volcanisme et de sédimentation se sont succédés.

Selon la dénomination des lithologies de la carte géologique au 1/50 000 (Westercamp et al., 1990), et des plus anciennes aux plus récentes, les formations relevées sont (Illustration 1) :

- *les Hyaloclastites, tuffites et coulée de débris sous-marine* (notées Hm2a) provenant de l'épisode initial François-Robert. Elles appartiennent à l'ensemble des tufs du Vauclin ;
- *les Calcaires du Marin* (notés m2bM) datant du Serravalien inférieur. Dans la dépression de Grand Fond, ils reposent sur les tuffites volcaniques Hm2a. On rencontre successivement : des tuffites calcaires et argileuses, des calcaires récifaux, à nouveau des tuffites calcaires, et des calcaires francs. Enfin, il est à noter que ces calcaires sont richement fossilières ;
- *les Hyaloclastites* (notées Hm2b) présentant un faciès « brèche verte » : la roche est dure, constituée de lapilli massifs verdâtres et rougeâtres, et englobe des éléments lithiques étrangers arrachés au substratum, parfois de type cumulât volcanique. L'ensemble est emballé dans une matrice argilisée et zéolitisée à l'origine vitreuse ;
- *les Coulées de basalte et d'andésite basique à olivine et clinopyroxène* (notées βm2c) correspondant à la phase effusive de Rivière-Pilote. Les parties massives sont peu épaisses. Elles présentent le faciès typique des coulées sous-marines moyennement visqueuses, débitées en coussin grossiers le plus souvent émiellés. Elles n'affleurent pas sur le site mais immédiatement au nord-ouest (mornes Capron et Sulpice) ;
- *les Conglomérats de Rivière-Pilote* (notés Cm2c) datant aussi de la phase effusive de Rivière-Pilote. Ils sont souvent lités, à passées conglomératiques franches où les galets sont jointifs passant à des couches plus sableuses à galets dispersés. Ces derniers sont bien arrondis, généralement aplatis. Les éléments du conglomérat sont essentiellement empruntés aux coulées sous-marines limitrophes βm2c. Ils ne sont présents qu'à l'extrémité aval du site.



Chaine volcanique sous-marine du Vauclin-Pitault

Formation sédimentaire Miocène

Cm2c	Conglomérat de Rivière Pilote	m2bM	Calcaires et tuffites du Marin (s.s.)
Bm2c	Coulée de basalte sombre peu porphyrique à olivine et augite		
Hm2b	Coulée de lave massive ou bréchique débitée en coussins hyaloclastites anchimétamorphisées facies "brèche verte" du monstre Pitault"		
Hm2a	Hyaloclastites remaniées en tuffites stratifiées facies "tuf du Vauclin"; facies localement congénieratique		

Illustration 2 : Carte géologique au 1/50 000 du site de Marin – Grand Fond (Westercamp et al., 1990)

D'un point de vue structural, le site de Grand Fond est limité à l'amont par une faille de direction N-S, et affecté en son milieu par une autre faille importante de direction NE-SW. Cette situation au carrefour de 2 axes tectoniques majeurs explique le morcellement des différentes couches géologiques (Illustration 2).

2.3. PROSPECTIONS HYDROGÉOLOGIQUES ANTÉRIEURES

Deux principales études hydrogéologiques ont été réalisées sur le site de Grand Fond. Elles datent respectivement de 1975 et 1978 (Allard et al., 1976 ; Paulin, 1979).

Lors de la première étude visant à mettre en évidence une ressource en eau souterraine pour l'alimentation en eau potable du sud martiniquais, des investigations géophysiques ont été réalisées, avec 42 sondages électriques, 18 sondages magnéto-telluriques, et 6 dispositifs sismiques de 240 à 480 mètres de long comprenant 24 géophones (Illustration 3). De plus, 3 forages de reconnaissance en petit diamètre ont été effectués (notés SMA1, SMA2, et SMA3 et ayant pour indice BSS respectif 1186ZZ0086, 1186ZZ0087 et 1186ZZ0088). Des pompages d'essais ont ensuite été réalisés sur ces 3 forages (Illustration 6).

La seconde étude cherchait à valider l'hypothèse de la possibilité d'implantation d'un forage d'exploitation dans le secteur de Grand Fond. Ainsi, deux autres forages de reconnaissance SMA4, et SMA5 et un forage d'exploitation FMA1 (indices BSS respectifs : 1186ZZ0118, 1186ZZ0143 et 1186ZZ0142) ont été implantés au Sud de SMA2 (Illustration 3).

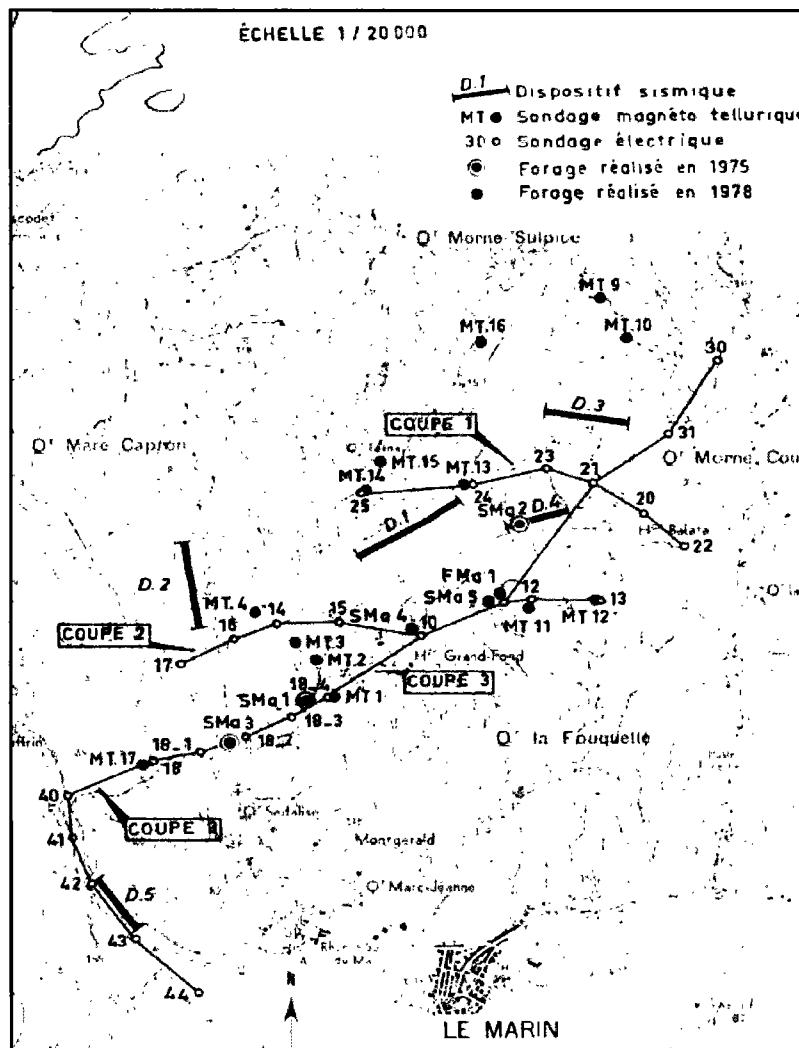


Illustration 3 : Plan de localisation des acquisitions géophysiques et des forages de reconnaissance réalisés en 1975 et 1978 (Paulin, 1979)

Sur la base des résultats de la campagne géophysique, les auteurs mettaient en évidence deux réservoirs hydrogéologiques intéressants : les Calcaires du Marin et les Hyaloclastites Hm2a dans une moindre mesure (Illustration 4).

	Vitesse sismique (m/s)	Résistivité (Ω/m)
Volcanisme sous-marin de Rivière-Pilote ($\beta m2c$)	450	3 à 5
Hyaloclastites (Hm2b)	1 000	20
Calcaires du Marin (M2bm)	3 000	5
Hyaloclastites (Hm2a)	2 400	6 à 10

Illustration 4 : Principaux résultats des acquisitions géophysiques de 1975 (Allard et al., 1976)

Les coupes géologiques des différents forages sont reportées en Annexe 1.

Les résultats de la prospection géophysique couplés aux sondages carottés ont permis entre autres de dresser des coupes géologiques de la zone de Grand Fond avec notamment la mise en évidence de failles non mentionnées sur la carte géologique (Illustration 5).

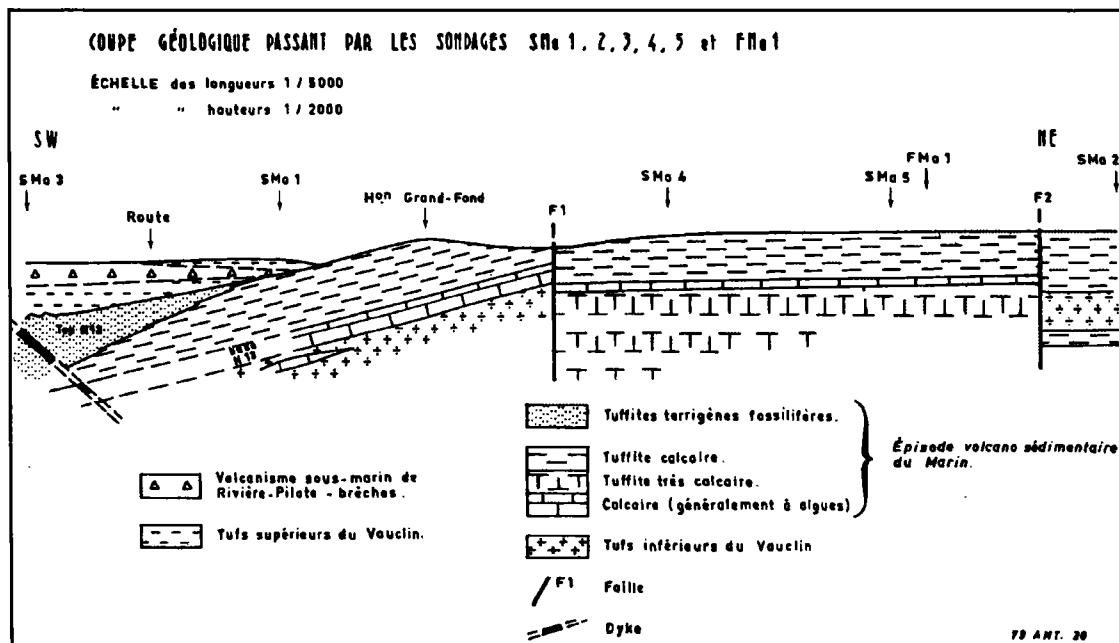


Illustration 5 : Coupe géologique réalisée à partir des sondages géophysique et des forages (Paulin, 1979)

Le compartiment central, encadré par les failles F1 et F2 et qui fera l'objet d'un forage d'exploitation lors de l'étude de 1978, est composé des calcaires du Marin. Il est à signaler que les sondages SMA1, SMA2, SMA4 et SMA5 ont été décrits comme

recouplant les calcaires du Marin, ce qui est en contradiction avec la carte géologique (Illustration 8). Aussi, un des objectifs des nouvelles reconnaissances de terrain sera de préciser l'extension des calcaires.

Le tableau de l'Illustration 6 présente les caractéristiques des 6 forages et une synthèse des pompages d'essai mis en œuvre.

Parmi les 3 premiers forages de reconnaissance, seul SMA2 présente des caractéristiques hydrodynamiques intéressantes avec un rabattement de 0.3 m pour un pompage mené à $3.8 \text{ m}^3/\text{h}$ pendant 5h30. Néanmoins, il a été mis en évidence une limite hydrogéologique étanche, probablement formée par une faille (F2 ?) de part et d'autre de laquelle les terrains aquifères sont décalés. Il a été conclu qu'un forage d'exploitation implanté dans ce secteur, à une plus grande distance de la faille, devrait donner de meilleurs résultats.

En 1978, il s'est avéré que les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe au droit de SMA5 étaient très bonnes et que cette zone offrait les perspectives les plus encourageantes concernant l'installation d'un forage d'exploitation. C'est ce qui a été fait avec le forage FMA1 (1186ZZ0142), d'une profondeur de 35 mètres, implanté à 11 mètres de SMA5.

Un pompage d'essai longue durée a été mis en œuvre : à $50 \text{ m}^3/\text{h}$ pendant 5 h puis à $30 \text{ m}^3/\text{h}$ pendant 18 h. L'interprétation de l'essai a abouti au calcul d'une transmissivité de $8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et d'un coefficient d'emmagasinement de 2 %.

Désignation	SMA1	SMA2	SMA3	SMA4	SMA5	FMA1
Indice BSS	1186ZZ0086	1186ZZ0087	1186ZZ0088	1186ZZ0118	1186ZZ0143	1186ZZ0142
Profondeur (m)	60	60.5	60	62.7	35	35
Aquifère(s) capté(s)	Calcaires du Marin (22m) Hyaloclastites Hm2a (10m)	Calcaires du Marin Hyaloclastites Hm2a (28m)	Hyaloclastites Hm2b	Calcaires du Marin (57m)	Calcaires du Marin (29m)	Calcaires du Marin (31m)
Débit essai (m^3/h)	2	3.8	4.6	7.4	7.2	50 30
Durée essai (h)	5	5.5	6.9	24	24	5 18
Rabattement (m)	18	0.3	9.2	1.3	0.375	2
T (m^2/s)	$0.6 \cdot 10^{-4}$	$\approx 2 \cdot 10^{-3}$	$\approx 0.7 \cdot 10^{-3}$	$2.2 \cdot 10^{-3}$	$7.3 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$

Illustration 6 : Caractéristiques des forages réalisés en 1975 et 1978 et des pompages d'essai associés (Paulin, 1979)

Enfin, les paramètres hydrochimiques de la nappe de Grand Fond ont été mesurés sur le sondage SMa.5 au début et à la fin du pompage. À noter une forte minéralisation de l'eau avec des concentrations élevées en Na^+ et Cl^- (respectivement 137,7 mg/l ; 159,5 mg/l). Néanmoins, aucun des ions majeurs ne dépassait les limites admissibles pour l'AEP qui sont de 200 mg/l pour chacun des deux éléments.

En définitive, le site de Grand Fond doit permettre l'exploitation d'une ressource en eau souterraine, sous réserve de préciser le contexte géologique (failles, extension des calcaires, potentiel hydrogéologique des hyaloclastites Hm2a, etc.) pour lequel des contradictions existent au niveau de la bibliographie.

3. Reconnaissances géologique et hydrogéologique de terrain

3.1. ITINÉRAIRE PARCOURU ET STATIONS D'OBSERVATION

La reconnaissance de terrain a été menée les 8 et 11 février 2011. Les conditions d'accès du site étaient très bonnes avec, en particulier, des espaces dégagés (pâtures) à faible pente et de nombreuses pistes traversant les parcelles agricoles. La totalité du site a ainsi pu être visitée.

La géologie et l'hydrogéologie du secteur ainsi que la configuration du terrain (relief, végétation) ont été appréhendés à partir de 45 stations d'observation.

L'itinéraire parcouru et les stations d'observation sont reportés sur l'Illustration 7.

La minute de terrain, où sont consignées toutes les observations faites sur site, est reportée en Annexe 2.

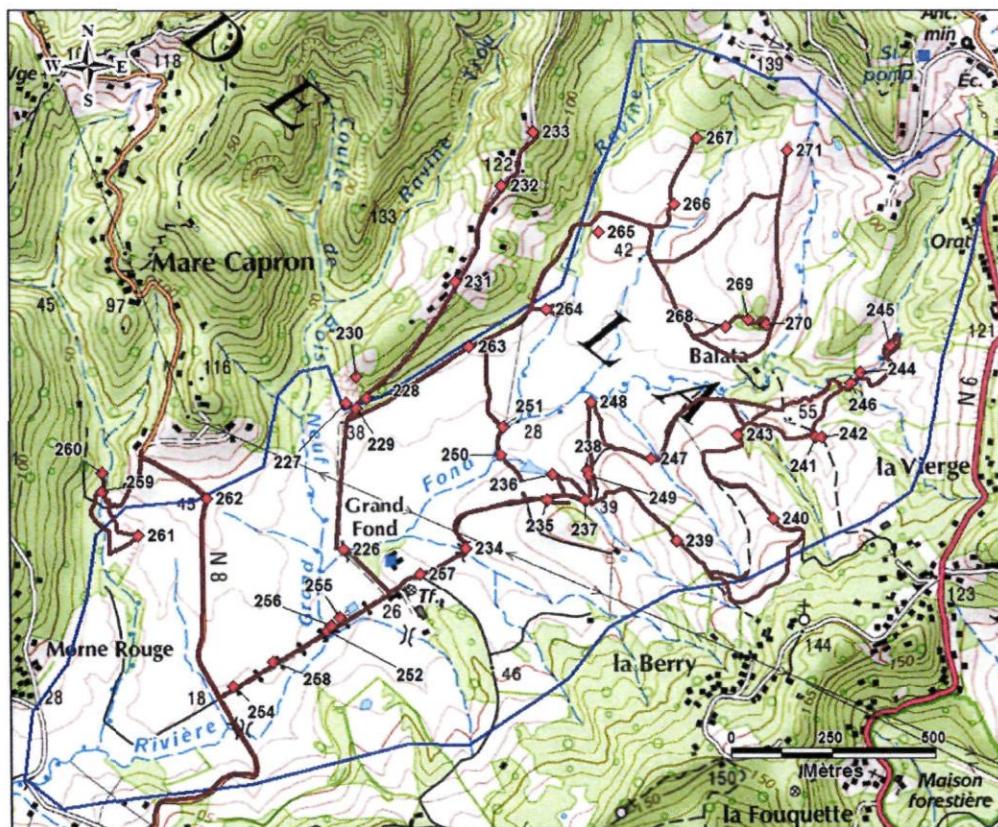
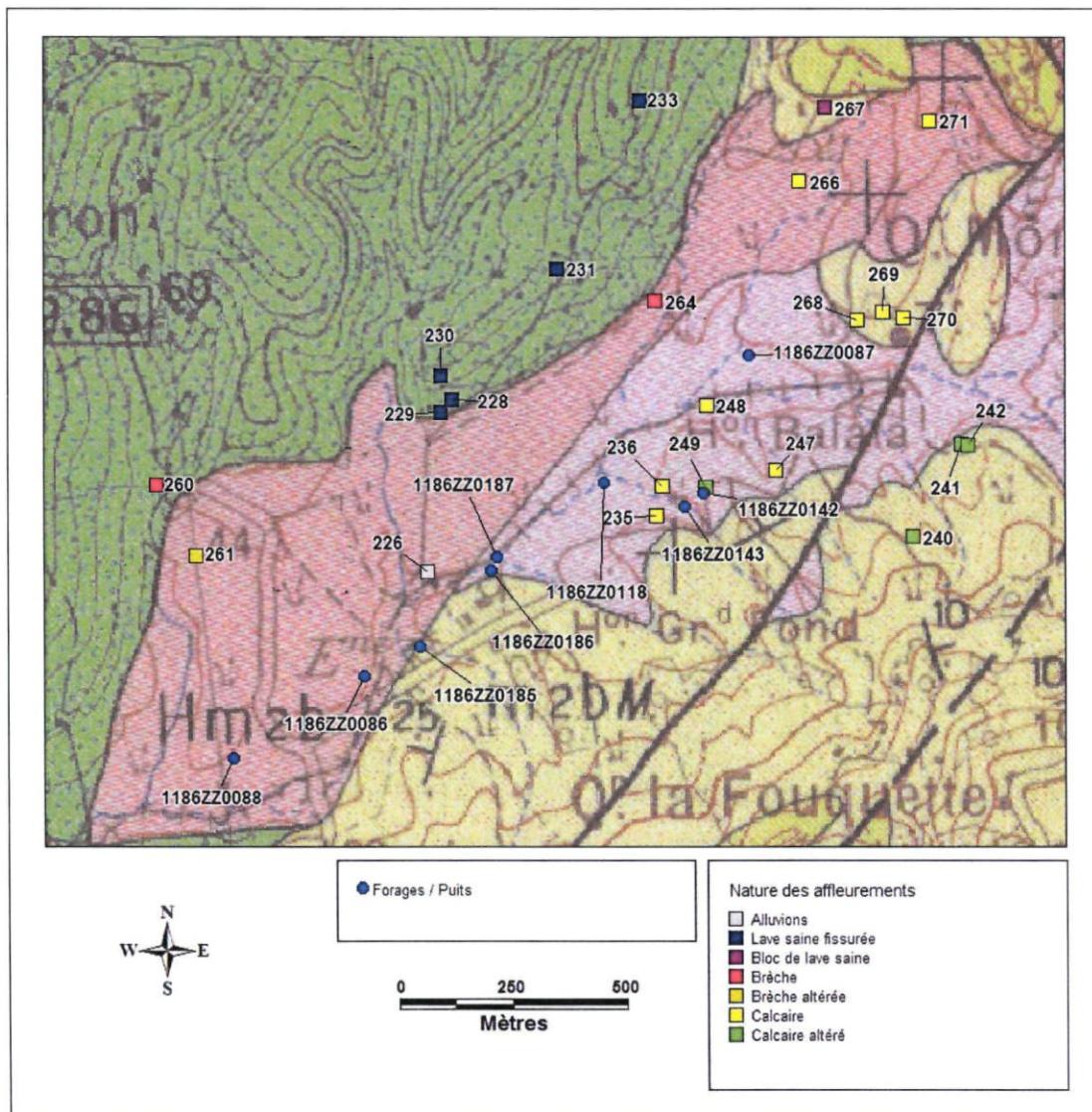


Illustration 7 : Carte de l'itinéraire parcouru (en marron) et des stations d'observation (en rouge)

3.2. OBSERVATIONS GÉOLOGIQUES

Les différentes formations lithologiques rencontrées à l'affleurement sur le site d'étude sont reportées sur la carte de l'Illustration 8. Elles sont présentées ci-après, des plus anciennes aux plus récentes. Pour chacune des stations d'observation, une description plus détaillée de l'affleurement est proposé en Annexe 2 (minute terrain).

Aucun indice permettant de valider la présence des failles indiquées sur la carte géologique n'a été observé sur le terrain.



3.2.1. Hyaloclastites, tuffites et coulée de débris sous-marine (notées Hm2a)

Malgré une présence manifeste au centre du site selon la carte géologique, aucun affleurement de hyaloclastites Hm2a n'a pu être observé avec certitude sur le terrain, en raison notamment d'un relief doux.

Seul un bloc observé pourrait correspondre à cette formation, mais il n'est pas certain que celui-ci soit en place (station n°264, Illustration 8). Il s'agit d'une brèche polygénique à éléments de lave durs et à matrice indurée sombre (Illustration 9).

Tous les éléments de lave constituant la brèche sont sombres, de couleurs gris noir, très anguleux, et de taille hétérogène (centimétrique à pluri-décimétrique). Les minéraux présents sont noirs (pyroxènes), blancs (feldspath) et verts (olivine probable). De manière générale, on distingue autant de pyroxène que de feldspath, alors que l'on ne retrouve que de rares minéraux verts.

En revanche, les éléments de lave se différencient par leur structure (aphyrique, porphyrique, et/ou vacuolaire).



Illustration 9 : Brèche polygénique observée au niveau de la station n° 264. Il n'est pas certain qu'elle soit en place.

3.2.2. Calcaires du Marin (notés m2bM)

Les calcaires du Marin ont été observés en de nombreux points, dans différents états d'altération (stations n° 235, 236, 240, 241, 242, 247, 248, 249, 266, 268, 269, 270 et 271).

Ils couvrent une grande partie du site, avec une extension plus importante que celle suggérée par la carte géologique : 5 stations (n° 235, 236, 247, 248, 249 et 266) se situent en effet au-delà de la délimitation proposée par la carte géologique.

L'affleurement de la station n° 266 pourrait marquer la limite d'extension des calcaires vers le nord-ouest. On les retrouve en de nombreux points vers l'aval, mais pas à l'amont où seules des brèches ont été observées (Illustration 8 et Illustration 12).

Pour la majorité des stations d'observation, les calcaires sont francs et massifs à l'affleurement, de couleur gris clair et constitués de débris coquillers. Ils peuvent présenter des figures d'érosion en rigole (lapiaz, typique des formations calcaires) (Illustration 10).

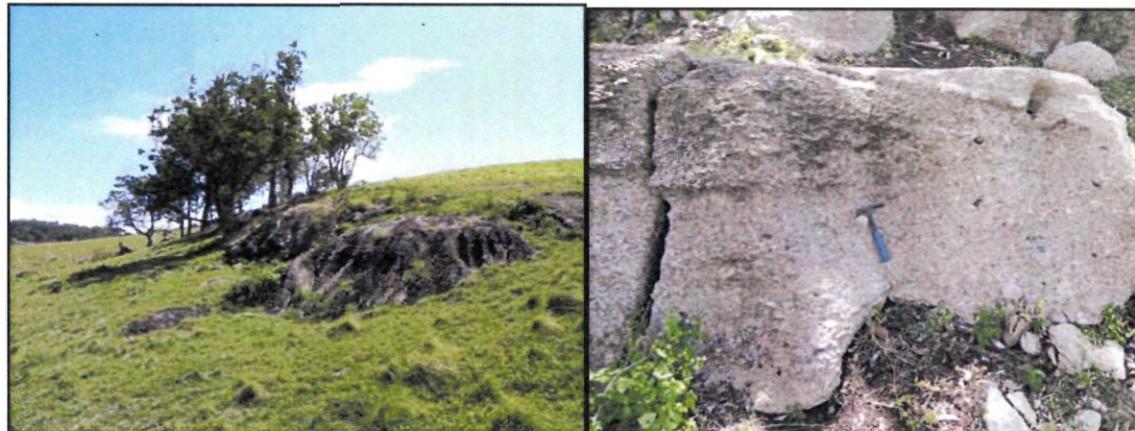


Illustration 10 : Calcaires du Marin à l'affleurement (station n° 235). Sur la photo de gauche, on peut noter les figures d'érosion typique des formations calcaires (lapiaz)

En certains points d'observations, ces calcaires sont apparus très altérés (stations n° 240, 241, 242, et 249). La matrice indurée, de couleur ocre, est alors sablo-argileuse (faciès de type grésique). À l'affleurement, les épaisseurs maximales observées sont de l'ordre de 2 mètres (Illustration 11). Les calcaires semblent plus particulièrement altérés sur les crêtes des mornes.

Enfin, aucun indice de fracturation tectonique des calcaires n'a été observé au niveau des affleurements.



Illustration 11 : Calcaires altérés observés sur la crête d'un morne (station n° 242)

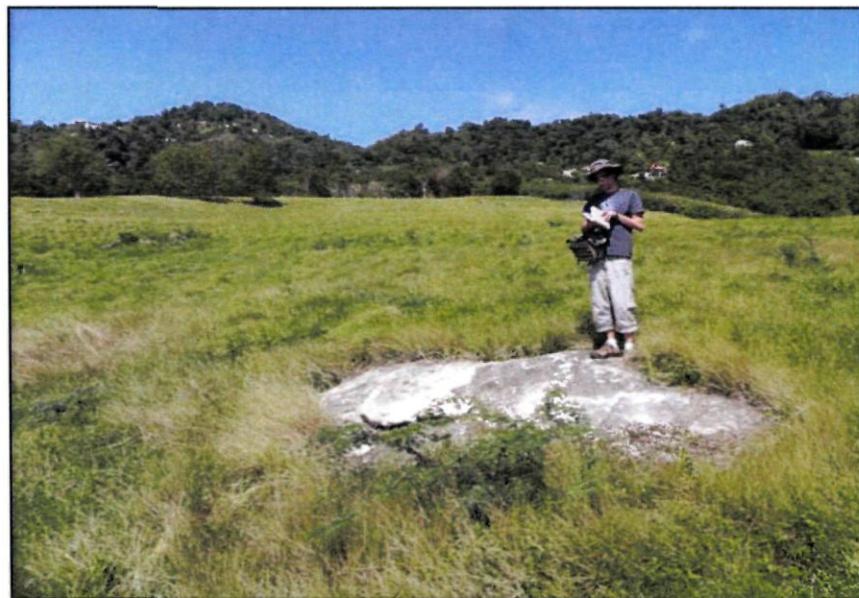


Illustration 12 : Calcaire observé sur la station n° 266 (de nombreux affleurements similaires sont observés à l'aval de ce point mais aucun à l'amont)

3.2.3. Hyaloclastites présentant le faciès brèche verte (notées Hm2b)

Deux affleurements des hyaloclastites Hm2b ont été observés dans la partie ouest du site (stations n° 260 et 261, Illustration 8) : saines pour l'un et totalement altérées pour le second.

La brèche observée est polygénique avec des éléments de lave durs et une matrice de couleur ocre (Illustration 13). Les éléments constitutifs de la brèche sont de taille hétérogène (centimétrique à pluri-décimétrique). Tous sont de couleur gris noir, très porphyriques, et anguleux. La principale différence entre les éléments est liée à la teinte des feldspaths plus ou moins opaque. (Illustration 13).



Illustration 13 : Brèche observée sur la station n°260 correspondant aux hyaloclastites Hm2b

Concernant la brèche altérée, elle est apparue très argilisée (allotérites)¹. Sa matrice est indurée et de couleur ocre. Quelques éléments de lave concentriques, indicateurs d'une altération en pelures d'oignon ont pu être observés (Illustration 14).

¹ Les allotérites correspondent à un fort degré d'altération avec une argilisation quasi-complète de la lave et une perte de la structure de la roche mère



Illustration 14 : Hyaloclastite Hm2b altérée observée sur la station n°261. On devine une altération en pelure d'oignons en bas à gauche de la photographie

3.2.4. Coulées de basalte et d'andésite basique à olivine et clinopyroxène (notées β m2c)

Les coulées de basalte et d'andésite ont été observées tout le long de la route menant au Morne Sulpice (station n° 228, 229, 231, 233) et au niveau du front de taille d'une ancienne carrière (station n° 230). Elles forment les mornes Capron et Sulpice (Illustration 8). On ne les retrouve pas sur le site prospecté.

Ces coulées sont noirâtres à brunâtres, fines et à la cassure conchoïdale (Illustration 15). Les parties massives sont constituées de fragments centimétriques et décimétriques emballées dans une matrice argileuse indurée.



Illustration 15 : Coulée de basalte présentant de nettes cassures conchoïdales observée sur la station n° 230

Les laves sont peu porphyriques et présentent une fissuration très marquée (Illustration 15). Les minéraux y sont noirs en forme de baguette (pyroxènes), blancs opaques (probablement des feldspaths) et vert-orangés (probablement de l'olivine altérée).

3.3. OBSERVATIONS HYDROLOGIQUES ET HYDROGÉOLOGIQUES

Lors des visites de terrain, seule la rivière Grand Fond, qui traverse la dépression de Grand Fond sur toute sa longueur, présentait un écoulement. Ce dernier, d'un faible débit, n'était cependant pas continu (Illustration 16).

Toutes les autres ravines étaient sèches lors des visites de terrain. Les témoignages recueillis sur le terrain montrent que la plupart des ravines sont très rarement en eau.

De par la porosité des calcaires observés à l'affleurement, on peut estimer que la quasi-absence d'écoulement de surface est le fruit du caractère infiltrant des terrains de la dépression de Grand Fond.



Illustration 16 : Écoulement de la rivière Grand Fond observé sur la station n° 244

Sur le site, un puits (station n°255, 1186ZZ0185) et un forage (station n°255, 1186ZZ0118) sont exploités ponctuellement pour les besoins de l'exploitation agricole (Illustration 17).

Le puits est utilisé par l'exploitant pendant le Carême. D'après ce dernier, en période d'étiage, il est possible de maintenir un pompage de 20m³/h pendant une durée maximale de l'ordre de 8 heures. Lors de la saison des pluies, le pompage pourrait être continu.



Illustration 17 : Photographies du puits 1186ZZ0185 (à gauche) et du forage de surveillance 1186ZZ0118 (à droite)

Le forage 1186ZZ0118 (forage de reconnaissance SMA4 réalisé en 1978) est implanté au cœur de la dépression de Grand Fond et appartient à la fois au réseau piézométrique et au réseau de surveillance de la qualité des eaux souterraines de Martinique. Il est ponctuellement exploité pour remplir la mare située à proximité, lorsque celle-ci s'assèche.

L'Illustration 18 présente la chronique piézométrique enregistrée sur le forage 1186ZZ0118. Les variations du niveau piézométrique sont typiques d'un aquifère poreux avec des fluctuations annuelles bien marquées : recharge quasi-continue en saison des pluies et vidange de l'aquifère en saison sèche. Le battement annuel peut atteindre 3 mètres. Cette chronique piézométrique semble donc confirmer l'hypothèse d'une extension plus importante des calcaires. À noter l'influence modérée de nombreux pompages en 2008.

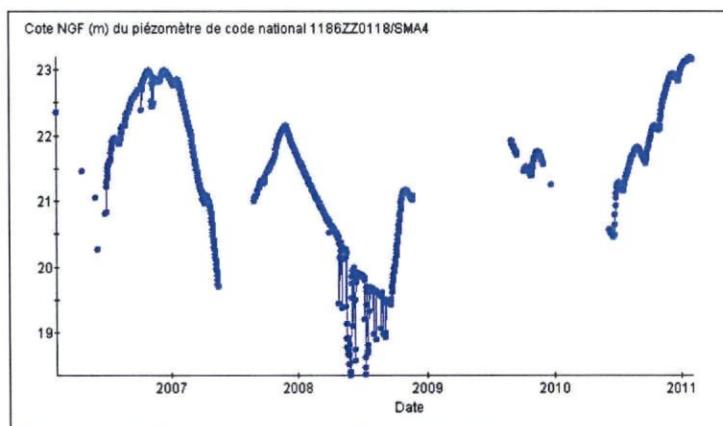


Illustration 18 : Chronique piézométrique enregistrée au droit du forage de surveillance 1186ZZ0118

D'un point de vue qualitatif, les eaux prélevées sur le forage du Marin présentent une forte minéralisation (eau de mer fossile, Bregnot et al., 2008) et une légère contamination en nitrates d'origine anthropique (entre 10 et 13 mg/l). Concernant les produits phytosanitaires, on note :

- des détections ponctuelles en chlordécone en avril et novembre 2009 à des concentrations respectives de 0,22 et 0,24 µg/l (non détectée en 2010) ;
- des détections ponctuelles en glyphosate en avril 2007 et novembre 2008 à des concentrations respectives de 0,32 et 1,05 µg/l (non détecté en 2009 et 2010).

Concernant la chlordécone, ces détections apparaissent surprenantes au vu des pâtures qui couvrent l'ensemble du bassin versant. Il est ainsi probable que la chlordécone ait été employée sur d'anciennes cultures maraîchères (petites parcelles).

Une fiche de synthèse du forage de surveillance reprenant les principaux résultats du suivi qualitatif est reportée en Annexe 3.

3.4. MODÈLE CONCEPTUEL PRÉLIMINAIRE

Le modèle conceptuel du site de Grands Fonds a été établi à la suite de l'interprétation de la carte géologique et des nouvelles informations acquises lors des investigations de terrain. Les Illustration 19 et Illustration 20 présentent des représentations schématiques du modèle conceptuel retenu selon deux coupes : respectivement NNO-SSE (C1) et OSO-ENE (C2).

Les principales caractéristiques relatives à sa structure et son fonctionnement sont présentées ci-dessous :

- l'aquifère ciblé par la présente reconnaissance hydrogéologique est l'aquifère des calcaires du Marin (m2bM). Cette formation présente un intérêt hydrogéologique de par sa potentielle double porosité : une porosité de matrice associée à une porosité de fracture. Cette dernière n'a cependant pas été mise en évidence lors des reconnaissances de terrain ;
- les calcaires peuvent être localement altérés sur le sommet des mornes. L'épaisseur de la frange d'altération ne peut être précisée, mais il est rappelé que l'épaisseur maximale observée à l'affleurement est de 2 mètres. L'horizon altéré ne représente pas un potentiel aquifère ;
- l'épaisseur des calcaires et leur extension vers l'ouest restent à préciser par les investigations géophysiques. Au regard des observations de terrain, cette extension est plus importante que celle suggérée par la carte géologique. D'après les études réalisées par le BRGM à la fin des années 70, il est possible que des failles affectant les calcaires constituent des limites étanches aux circulations d'eau souterraine. Aucun indice de terrain ne permettant de confirmer la présence de failles, ce dernier point devra également être validé par la géophysique dans la mesure du possible ;
- au droit de la rivière Grand Fond les calcaires sont recouverts d'alluvions. Leur faible épaisseur ne leur confère *a priori* aucun rôle significatif dans le système hydrogéologique étudié ;
- le mur de l'aquifère est représenté par les Hyaloclastites Hm2a dont la perméabilité est *a priori* plus faible que les calcaires les recouvrant. Il est rappelé que cette formation n'a pu être clairement identifiée sur le terrain ;
- les écoulements de la nappe suivent probablement la topographie avec des axes majeurs d'écoulement NE-SO et SE-NO ;
- la rivière Grand Fond ne semble pas drainer la nappe des calcaires mais serait plutôt en position perchée. Les niveaux piézométriques du forage 1186ZZ0118, implanté à proximité du cours d'eau, se situent en effet à des profondeurs comprises entre 5,5 et 11 m. Il est, par conséquent, probable que des pertes de la rivière vers les eaux souterraines soient observées.

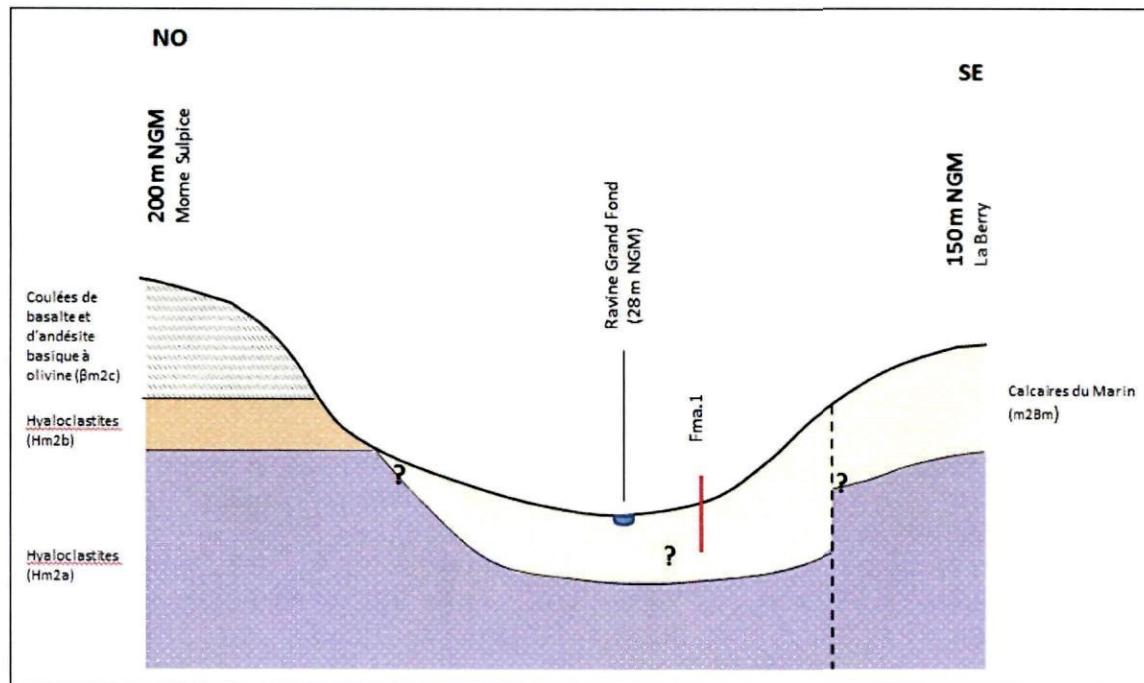


Illustration 19 : Modèle conceptuel préliminaire du site de Grand Fond selon la coupe C1

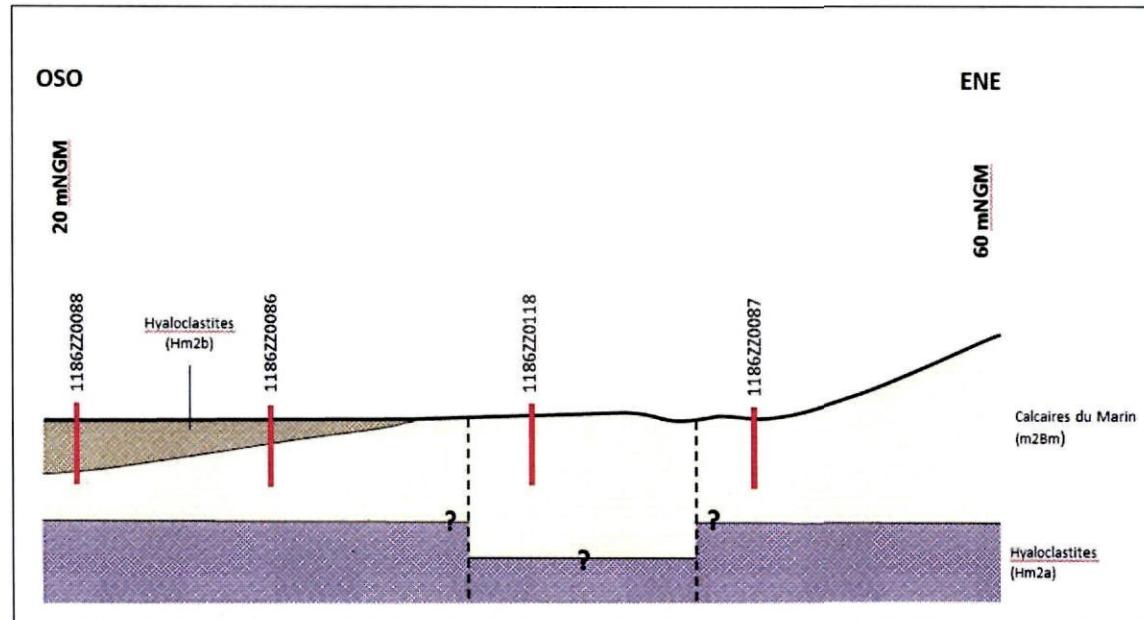


Illustration 20 : Modèle conceptuel préliminaire du site de Grand Fond selon la coupe C2

4. Investigations géophysiques

4.1. ACQUISITIONS GÉOPHYSIQUES

4.1.1. Objectifs

Les reconnaissances géologiques et hydrogéologiques entreprises sur le site de Grand Fond ont permis d'acquérir de nouvelles données et de proposer un modèle conceptuel préliminaire du fonctionnement hydrogéologique du site. L'apport de la géophysique sur ces sites a donc pour objectifs :

- de déterminer les propriétés électriques et les épaisseurs des formations géologiques présentes dans le secteur et observées à l'affleurement ;
- de définir au mieux leur extension latérale, en particulier celle des calcaires vers le NO ;
- de préciser la tectonique locale, en particulier de valider ou non la présence des discontinuités mises en évidence par les prospections antérieures ;
- de mettre à jour, en concertation avec les hydrogéologues, le modèle conceptuel hydrogéologique du site ;
- de proposer, en accord avec les résultats et en concertation avec les hydrogéologues, des sites pour l'implantation des forages de reconnaissance.

4.1.2. Équipement

Panneau électrique (PE)

L'acquisition des panneaux électriques a été réalisée à l'aide d'un Syscal-Pro (Iris Instruments, France) connecté à 12 flûtes de 8 électrodes, soit 96 électrodes métalliques régulièrement espacée de 10 mètres sur 950m (pour un dispositif élémentaire). L'énergie provenait d'une batterie externe. L'espacement inter-électrodes de 10 m a été choisi afin d'assurer à la fois une résolution acceptable des terrains de surface, et l'obtention d'une profondeur d'investigation maximale d'environ 150 m pour les grands dispositifs. Le matériel utilisé comprend :

- 1 Syscal Pro
- 12 flûtes de 8 traces
- 96 électrodes
- 96 cordons
- 3 massettes
- 4 clés de portages

- 1 transporteur à chenilles
- 2 batteries de voiture 70 Ah
- 10 connecteurs de flûtes
- Câbles divers

En comptant la subsistance et les machettes, c'est quelques 660 kg de matériel qui sont déplacés quotidiennement à quatre personnes dans des terrains gras, très escarpés et sous des conditions météorologiques tropicales.

Topographie

Les panneaux électriques (électrodes 1, 48 et 96, parfois plus) ont été positionnés au GPS (système WGS84, UTM zone 20N). La précision du positionnement varie de +/- 3m à +/- 8m en fonction de la couverture végétale et du relief. Ces coordonnées ont ensuite été converties en Fort Desaix (UTM zone 20N). L'ensemble de ces données est fourni en Annexe 5.

Les levés altimétriques ont été effectués sur chaque profil avec un télémètre laser muni d'une fonction inclinométrique (TruPulse 200). Le pas de mesure est de 10 m. En relatif, la précision sur les altitudes est de l'ordre de quelques dizaines de centimètres. Par contre, en absolu, la précision est estimée à quelques mètres tout en restant inférieure à 5 m car l'altitude des bases de référence topographique a été interpolée à partir des courbes de niveau de la carte IGN au 1/25 000. Ce procédé évite des calages de bases longs et fastidieux en zone isolée tout en donnant une précision en adéquation avec les objectifs.

4.1.3. Configurations d'acquisition des panneaux électriques

Une configuration d'acquisition est une manière d'agencer géométriquement les électrodes de courant et de potentiel en surface. Il en existe plusieurs, chacune présentant des avantages et des inconvénients, notamment en temps d'acquisition. La mise en œuvre d'au moins deux configurations d'électrodes permet, dans un contexte géologique complexe, de mieux appréhender la géométrie des différentes formations en présence (Annexe 4).

Durant cette prospection, deux configurations d'acquisition ont été mises en œuvre lors de la réalisation des panneaux électriques : un dispositif dipôle-dipôle pour la résolution des terrains de surface ainsi qu'un dispositif Wenner-Schlumberger pour la profondeur.

Le dispositif dipôle-dipôle donne une très bonne résolution des terrains de subsurface et pour les discontinuités verticales. Il est moins sensible aux effets latéraux (coulées parallèles au profil, ravines ou crêtes parallèles au profil) que le dispositif Wenner-Schlumberger. Par contre le rapport signal/bruit décroît rapidement et la profondeur d'investigation, dans le cas présent, est réduite à quelques dizaines de mètres.

Le dispositif Wenner-Schlumberger est beaucoup plus intégrant et, de ce fait, plus sensible aux effets latéraux. La résolution au niveau des horizons de sub-surface est moins bonne et celle des structures plus globale. Son intérêt majeur est la profondeur d'investigation atteinte (de l'ordre de 150m pour un dispositif de 950 m de long) grâce à un meilleur rapport signal/bruit.

4.1.4. Inversion des pseudosections

Après filtrage des données de résistivité apparente (mesurées sur le terrain) sur la base de critère de qualité, de courant émis ou de potentiel mesuré, celles-ci sont ensuite inversées avec le logiciel Res2DInv (Loke & Barker, 1996). Afin de prendre en compte les morphologies acérées rencontrées, les profils de topographie sont inclus lors des inversions de chaque panneau électrique.

La pseudosection de résistivité « vraie » (3^{ème} image des figures présentées), résultat de l'inversion, sera ensuite utilisée pour l'interprétation géologique. Elle fournit des informations quantitatives permettant de caractériser l'origine des différentes anomalies mises en évidence : résistivité, géométrie et profondeur, pendage. Les résultats de l'inversion sont présentés sous forme d'une coupe (pseudosection) présentant la distribution des résistivités calculées le long du profil en fonction de la profondeur. Cela pour les différentes configurations d'acquisition choisies.

Pour chaque cas, des paramètres d'inversion ont été choisis (Annexe 6) de manière à optimiser la réponse du modèle en incluant une information géologique « *a priori* ».

Quelles que soient les performances des algorithmes de convergence, en l'absence d'étalonnage (résistivité étalonnée, profondeur des interfaces géoélectriques) les résultats fournis par l'inversion ne sont pas définis de manière univoque (il y a plusieurs solutions satisfaisant au même jeu de données). Cette indétermination ne peut être évaluée qu'en testant différentes solutions ou en contrignant l'inversion au moyen de paramètres (résistivités, épaisseurs, profondeurs) obtenus par d'autres moyens (autre méthode géophysique, diagraphies, forages, observations des affleurements...).

4.1.5. Localisation des Panneaux électriques

L'implantation des profils s'appuie sur le modèle conceptuel, mais doit aussi prendre en compte les contraintes d'accessibilité (aucune pour Grand Fond) et les interférences électriques éventuelles (réseaux métalliques enterrés le long de l'allée menant à l'habitation).

En définitive, six panneaux électriques ont été implantés dans le secteur d'étude (Illustration 21).

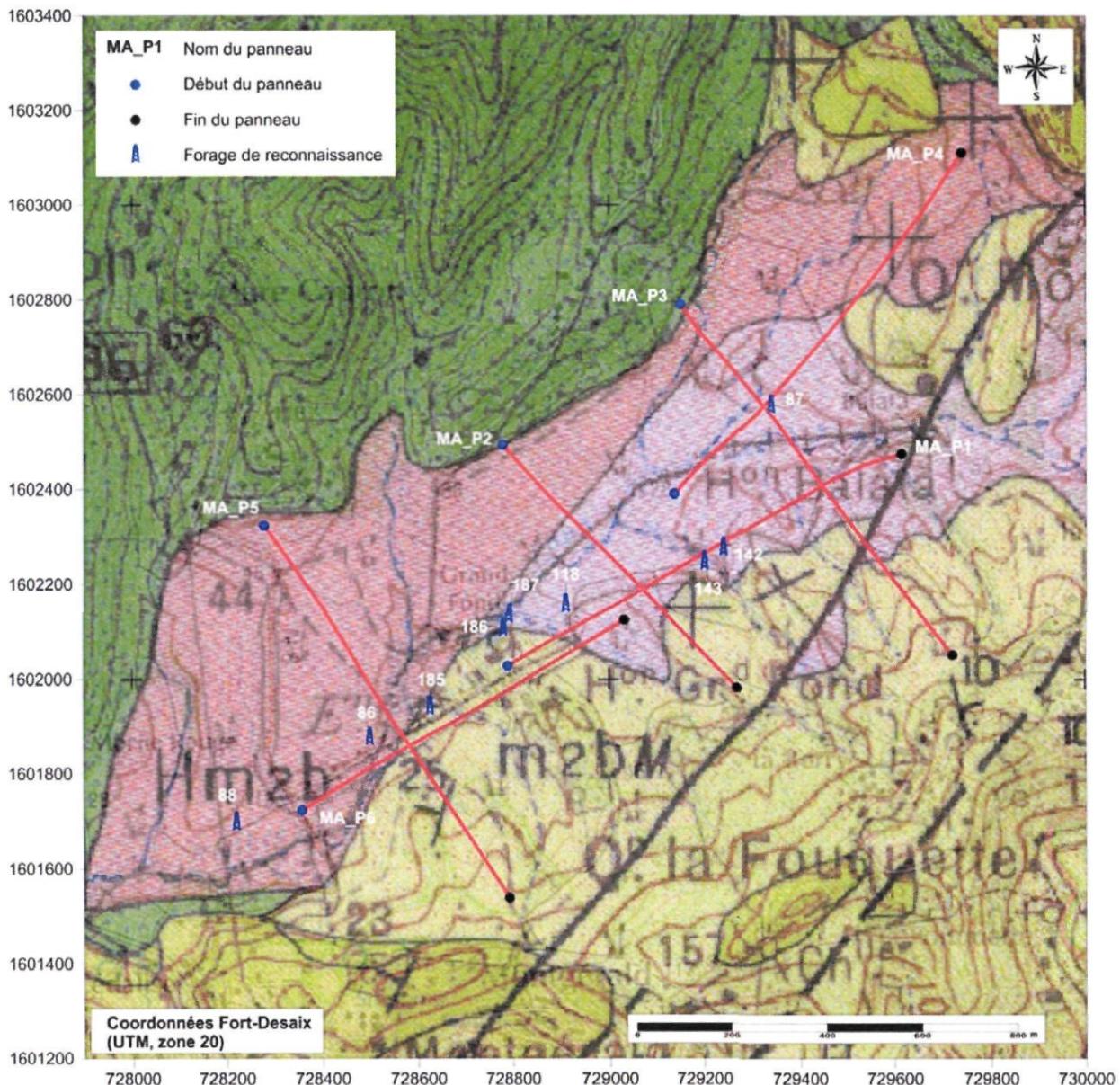


Illustration 21 : Carte de localisation des panneaux électriques

Les coordonnées GPS des panneaux électriques (système WGS84 UTM zone 20N et Fort Desaix) sont présentées en Annexe 5. Toutes les cartes sont présentées dans le système de référence locale Fort Desaix. La conversion entre les deux grilles peut s'effectuer au moyen de la formule simple suivante :

$$X_{\text{UTM}} (\text{m}) = X_{\text{FortDesaix}} (\text{m}) + 386 (\text{m})$$

$$Y_{\text{UTM}} (\text{m}) = Y_{\text{FortDesaix}} (\text{m}) + 169 (\text{m})$$

Le tableau suivant récapitule les caractéristiques des 6 panneaux réalisés.

Panneau électrique	Longueur au sol (m)	Configuration d'acquisition	Spacing (levels)	Nb mesures exploitables	Profondeur d'investigation (m)
MA_P1	950	Dipôle-dipôle	10 m (7) 20 m (7) 40 m (6) 60 m (5) 90 m (4)	1433	125
		Wenner-Schlumberger		862	160
	710	Dipôle-dipôle		1082	125
		Wenner-Schlumberger		899	125
	950	Dipôle-dipôle		1496	120
		Wenner-Schlumberger		847	160
	950	Dipôle-dipôle		1742	125
		Wenner-Schlumberger		897	160
	950	Dipôle-dipôle		1644	120
		Wenner-Schlumberger		814	160
MA_P6	790	Dipôle-dipôle		1326	120
		Wenner-Schlumberger		1139	140

Illustration 22 : Tableau récapitulatif des mesures géophysiques (Cf. Annexe 4 pour la signification de spacing (a) et levels (n))

4.2. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

Les figures présentant les résultats des inversions des données de résistivité apparentes mesurées sur le terrain sont construites de la manière suivante :

- sur la gauche figure le nom du panneau et du site, une mini-carte d'emplacement pour situer le panneau par rapport aux autres ainsi que l'échelle de couleur ;
- la première illustration montre le résultat de l'inversion des données acquises selon le dispositif dipôle-dipôle. Y figurent également des informations géologiques ainsi que des indications de positionnement de terrain. Les références à des emplacements précis sont indiquées sur la première illustration selon la distance au sol depuis le début du profil (ex : abscisse 100m = 100m au sol depuis le début du panneau électrique) ;
- la seconde illustration montre le résultat de l'inversion des données acquises selon le dispositif Wenner-Schlumberger ;
- la troisième et dernière illustration montre l'inversion jointe des données acquises selon les deux dispositifs précédents. Y figurent également les interprétations géologiques, stratigraphiques et structurales. Ces informations proviennent de l'analyse des trois coupes de résistivité et

pas seulement des résultats de cette inversion jointe. Les horizons ou structures géo-électriques identifiés sont notés :

- C pour conducteur ;
- R pour résistant ;
- S pour les terrains de résistivité intermédiaire (cf ci-dessous).
- D pour discontinuité (il peut s'agir d'une faille ou d'un brusque changement de lithologie) ;
- les chiffres 0, 1, 2, 3 identifient des horizons différents et/ou sont en relation, si possible, avec la notion de superposition de différents terrains (1 étant le terrain de surface).

D'une manière générale, la résistivité des terrains rencontrés durant cette étude sont globalement des terrains très conducteurs ($< 100 \Omega.m$) par rapport à la gamme générale des résistivités des formations rencontrées en Martinique ($0.1 - 2\,000 \Omega.m$).

- MA_P1 : 3 – 110 $\Omega.m$
- MA_P2 : 2 – 140 $\Omega.m$
- MA_P3 : 3 – 60 $\Omega.m$
- MA_P4 : 3 – 80 $\Omega.m$
- MA_P5 : 4 – 45 $\Omega.m$
- MA_P6 : 4 – 40 $\Omega.m$

À chaque description de panneau électrique, il est précisé à quelle gamme de valeurs correspondent les terrains résistants, intermédiaires et conducteurs ainsi qu'une attribution à un horizon géologique potentiel.

4.2.1. MA_P1

Le panneau électrique MA_P1 est situé pratiquement dans l'axe de la vallée et plus précisément sur son flanc SW. Il est orienté SW-NE. Il est, d'après la carte géologique, implanté sur les Calcaires du Marin (m2bM) dans sa partie aval et sur les Hyaloclastites Hm2a dans sa partie amont (Illustration 21). L'intérêt de ce panneau réside dans le fait que 2 forages (143/SMa5 et 142/FMa1) ont été réalisés à proximité de son tracé. Ces 2 ouvrages serviront de calage pour l'interprétation de la coupe de résistivité en terme de géologie.

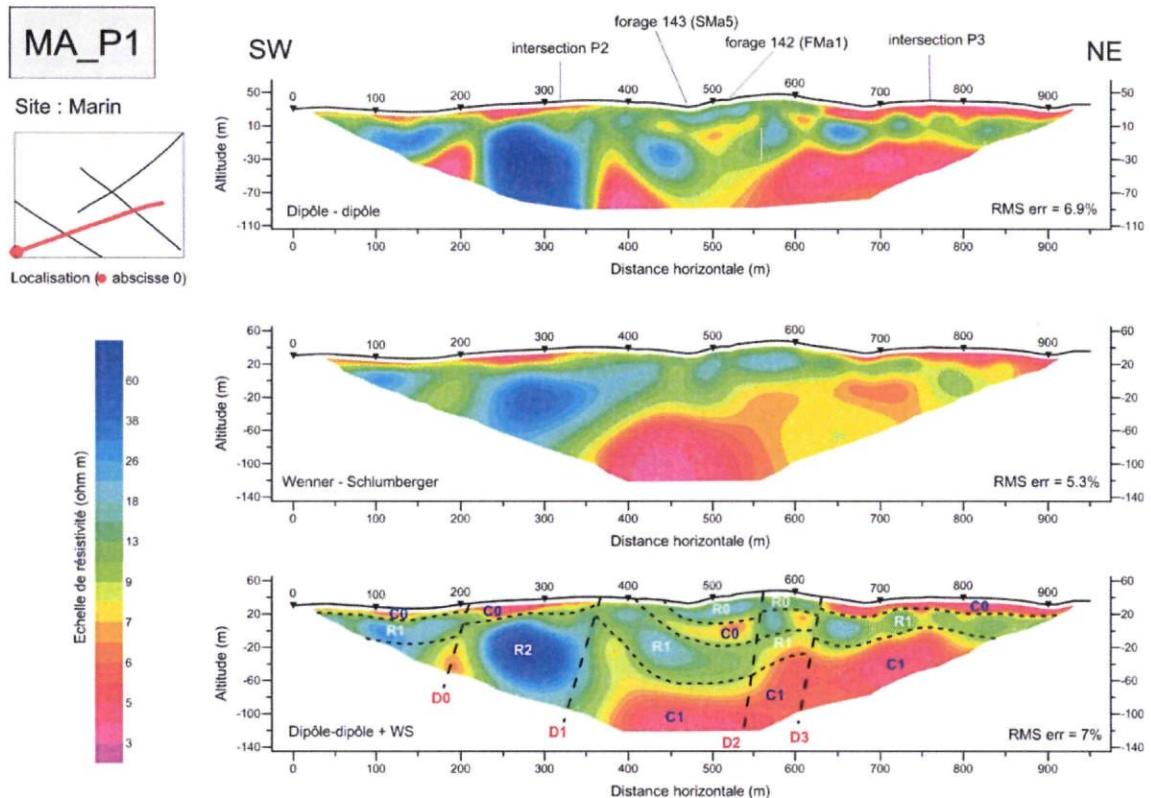


Illustration 23 : Coupes de résistivité du panneau électrique MA_P1

Compte tenu de la gamme de résistivité (3-110 Ω.m), la catégorisation sera la suivante :

Résistivité > 10 Ω.m → Terrains résistants (vert, bleu) ;

Résistivité < 10 Ω.m → Terrains conducteurs (violet, rouge à jaune).

Les horizons géoélectriques observés sur MA_P1 sont les suivants, du haut en bas (Illustration 23) :

- Un terrain de surface conducteur C0, présent entre les abscisses 0-365 et 630-950. Il est absent dans le compartiment central (365-630m), c'est-à-dire entre les discontinuités D1 et D3. Son épaisseur varie de 10 à 20m. D'après les logs géologiques des 2 forages présents sur cette coupe, cet horizon conducteur serait attribué à des calcaires très argilisés.
- Un premier terrain résistant (R0), mis en évidence dans le compartiment central (365-630m) entre les discontinuités D1 et D3. L'épaisseur de cet horizon résistant serait de l'ordre de 25m. Les forages 143 et 142 qui ont été réalisé dans ce compartiment signalent la présence de « Tuffites calcaires » de 0 à 35m de profondeur (absence de logs détaillés).

- Sous cet horizon résistant R0 et toujours dans le compartiment central (365-630m), on retrouve un horizon conducteur C0 qui serait identique au conducteur de surface et qui mettrait ainsi en évidence le caractère effondré du compartiment central limité par les discontinuités D1 et D3. Au niveau de la discontinuité D3, assimilée à une faille, le rejet vertical serait d'environ 30m.
- Un deuxième terrain résistant (R1) est présent sur l'ensemble de la coupe. Son épaisseur est d'environ 30 à 40m. C'est dans le compartiment effondré (D1-D2) que cette épaisseur est la plus importante.
- Dans le compartiment limité par les discontinuités D0 et D1, l'horizon résistant R1 n'est plus individualisé. Il semble y avoir une coalescence entre deux formations résistantes : R1 et un horizon résistant sous-jacent R2. La base de ce résistant R2 serait à plus de 120m de profondeur. Cette structure entaille assez nettement le substratum conducteur.
- Un substratum conducteur (C1) est mis en évidence dans la partie amont de la coupe de résistivité (370-950m). La profondeur du toit de ce substratum conducteur varie de 100m dans le compartiment effondré D1-D2 à moins de 50m dans la partie amont. Les forages n'ont pas atteint cet horizon géoélectrique mais d'après le modèle conceptuel, il devrait correspondre aux Hyaloclastites Hm2a.

Les points particuliers de ce panneau sont les suivants :

- 4 discontinuités majeures ont été mises en évidence. Elles peuvent être assimilées à des failles. Les 2 plus importantes, D1 et D3, limitent un compartiment effondré entre les abscisses 365 et 630m.
- Le calage sur les forages existants permet d'aboutir à la coupe géoélectrique suivante :
 - R0 = faciès supérieur des calcaires du Marin (m2bM) désigné dans la bibliographie par « Tuffites calcaires » ;
 - C0 = faciès moyen des calcaires du Marin (m2bM) désigné dans la bibliographie par « Tuffites calcaires blanches altérées » ;
 - R1 = faciès inférieur des calcaires du Marin (m2bM) désigné dans la bibliographie par « Tuffites calcaires grises ».
- La synthèse des informations issues des forages et de la coupe MA_P1 confirme les observations de terrain (§ 3), à savoir que les contours de la carte géologique dans ce secteur doivent être précisés. La partie amont du profil MA_P1, cartographiée en Hm2a, est en fait sur les Calcaires du Marin (m2bM).

4.2.2. MA_P2

Le panneau électrique MA_P2 (Illustration 21) est implanté perpendiculairement à l'axe de la vallée. Il recoupe la rivière Grand Fond au niveau de l'abscisse 290m. Il est en théorie implanté sur les Hyaloclastites Hm2b (partie NW), sur les Hyaloclastites Hm2a (partie centrale) et sur les Calcaires du Marin m2bM (partie SE).

La catégorisation des résistivités pour MA_P2 est la suivante :

Résistivité > 18 $\Omega \cdot \text{m}$ → Terrains résistants (bleu) ;

Résistivité > 10 $\Omega \cdot \text{m}$ et < 18 $\Omega \cdot \text{m}$ → Terrains de résistivité intermédiaire (~vert) ;

Résistivité < 10 $\Omega \cdot \text{m}$ → Terrains conducteurs (violet, rouge à jaune).

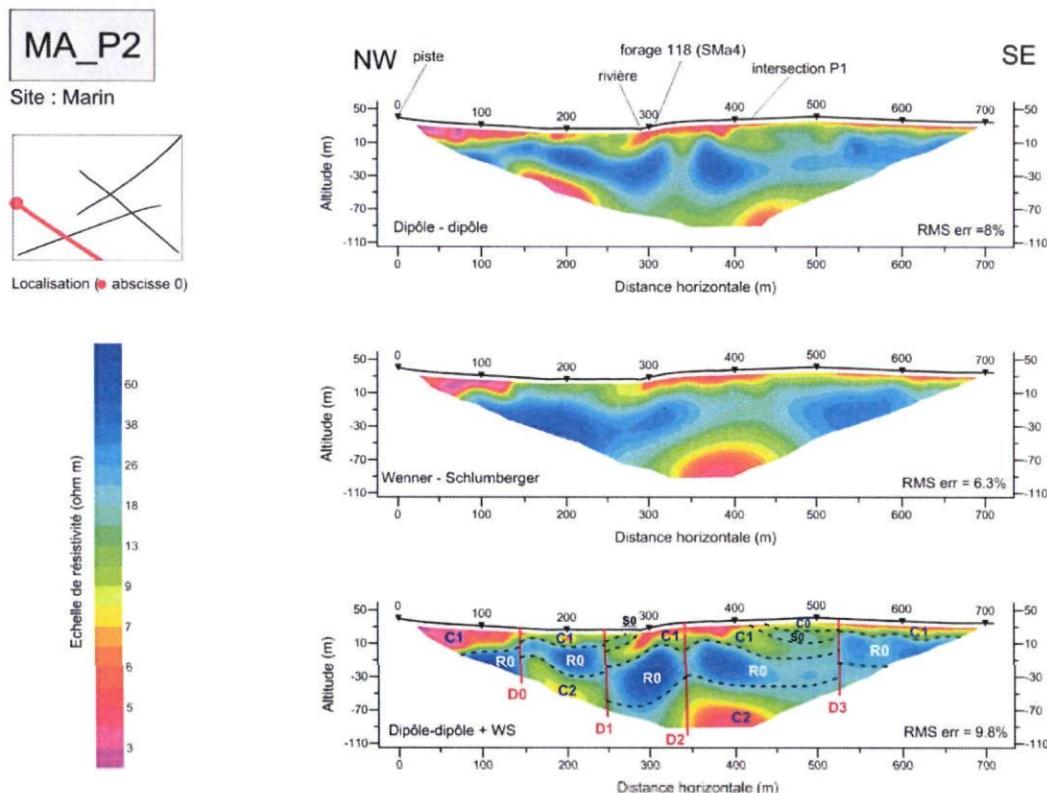


Illustration 24 : Coupes de résistivité du panneau électrique MA_P2

Les horizons géoélectriques observés sur MA_P2 sont les suivants, du haut en bas (Illustration 24) :

- Un premier terrain de surface conducteur (C0) présent entre les abscisses 430-525m. Il est limité au SE par la discontinuité D3.

- Un terrain de résistivité intermédiaire (S0) mis en évidence entre les abscisses 245-285 et 415-525m. Son épaisseur est de l'ordre de 15m. Cet horizon aurait un pendage NW dans le compartiment D1-D2 et un pendage SE dans le compartiment D2-D3.
- Un deuxième terrain conducteur (C1), soit en surface, soit sous-jacent à S0. Dans les compartiments D1-D2 et D2-D3, son épaisseur atteint une vingtaine de mètres. Entre les discontinuités D1 et D3 cet horizon reflète une structure anticlinale. Il correspondrait à l'horizon conducteur C0 de MA_P1, soit au faciès moyen des calcaires du Marin.
- Un premier terrain résistant (R0) présent sur l'ensemble de la coupe. Son épaisseur est de l'ordre de 40 à 50m. Il est largement affecté par les discontinuités qui montrent des rejets verticaux de l'ordre de 25m (D1 et D3). Le compartiment situé entre D1 et D3 serait en position effondrée. Cet horizon résistant correspondrait au R1 de MA_P1 et par voie de conséquence aux « Tuffites calcaires grises » décrites au niveau du forage 118 (faciès inférieur des calcaires).
- Un substratum conducteur (C2) essentiellement mis en évidence entre les discontinuités D0-D1 et D2-D3. La profondeur du toit de ce substratum, assimilé aux Hyaloclastites Hm2a, est d'environ 50m dans le compartiment D0-D1 et 80m dans le compartiment D2-D3.

Les points particuliers de ce panneau sont les suivants :

- 4 discontinuités majeures ont été mises en évidence (D0 à D3). Elles sont interprétées comme des failles. Les deux plus importantes, D1 et D3, limitent un compartiment effondré entre les abscisses 245 et 525m. Le rejet vertical serait de l'ordre de 25m.
- Le calage avec le forage 118 et le panneau MA_P1 donne la coupe géoélectrique suivante :
 - S0 = faciès supérieur des calcaires du Marin (m2bM) désigné dans la bibliographie par « Tuffites calcaires » ;
 - C1 = faciès moyen des calcaires du Marin (m2bM) désigné dans la bibliographie par « Tuffites calcaires blanches altérées » ;
 - R1 = faciès inférieur des calcaires du Marin (m2bM) désigné dans la bibliographie par « Tuffites calcaires grises » ;
 - C2 = Hyaloclastites Hm2a.
- Mise en évidence dans le compartiment D1-D3, d'une structure anticlinale effondrée (structure bien visible au niveau de l'horizon RO entre D1 et D3).

4.2.3. MA_P3

Le panneau électrique MA_P3 (Illustration 21) est orienté perpendiculairement à l'axe de la vallée et donc sub-parallèle à MA_P2. Il est situé à environ 450 m en amont de celui-ci. Il recoupe les panneaux MA_P1 et MA_P4. Le forage 87 est situé approximativement au niveau de l'abscisse 290 m de ce panneau.

Le panneau MA_P3 est d'après la carte géologique implanté sur les formations géologiques suivantes : les Hyaloclastites Hm2b (0 à 120 m), les Hyaloclastites Hm2a (120 à 580 m) et sur les Calcaires du Marin m2bM (580 à 950 m).

Les résistivités du profil MA_P3 ont été classées ainsi :

Résistivité > 9 Ω.m → Terrains résistants (vert, bleu) ;

Résistivité > 7 Ω.m et < 9 Ω.m → Terrains de résistivité intermédiaire (~jaune) ;

Résistivité < 7 Ω.m → Terrains conducteurs (violet, rouge).

Les horizons géoélectriques observés sur MA_P3 sont les suivants, du haut en bas (Illustration 25) :

- Un premier horizon conducteur C0, présent entre les abscisses 0-220 m et 380-780 m. Son épaisseur est de l'ordre de 15 à 20 m. Dans le compartiment D0-D1, qui serait en position effondrée, cet horizon conducteur est sub-affleurant entre 310 et 380 m et entre 270 et 310 m, il serait sous-jacent à S0. Dans le forage 87, cet horizon correspond aux « Tuffites calcaires ».
- Un horizon résistant R0 faiblement représenté dans le compartiment D0-D1 entre les abscisses 270 et 310 m. Cet horizon n'a pas été individualisé au niveau du forage 87, mais il devrait également correspondre aux « Tuffites calcaires supérieures ».
- Un deuxième horizon résistant (R1) continu sur l'ensemble de la coupe. Son épaisseur est de l'ordre de 30 à 40 m. Sa résistivité est plus importante au NW de D1 ($> 15 \Omega.m$) alors qu'au SE de D1, elle est inférieure à $15 \Omega.m$. Cet horizon résistant est affecté par au moins 4 discontinuités qui confèrent au compartiment central (D0-D2) un caractère effondré. Le rejet vertical de cet effondrement serait de l'ordre de 20 à 25 m. Cet horizon résistant R1 correspond aux « Tuffites calcaires grises » du forage 87 (faciès inférieur de m2bM).

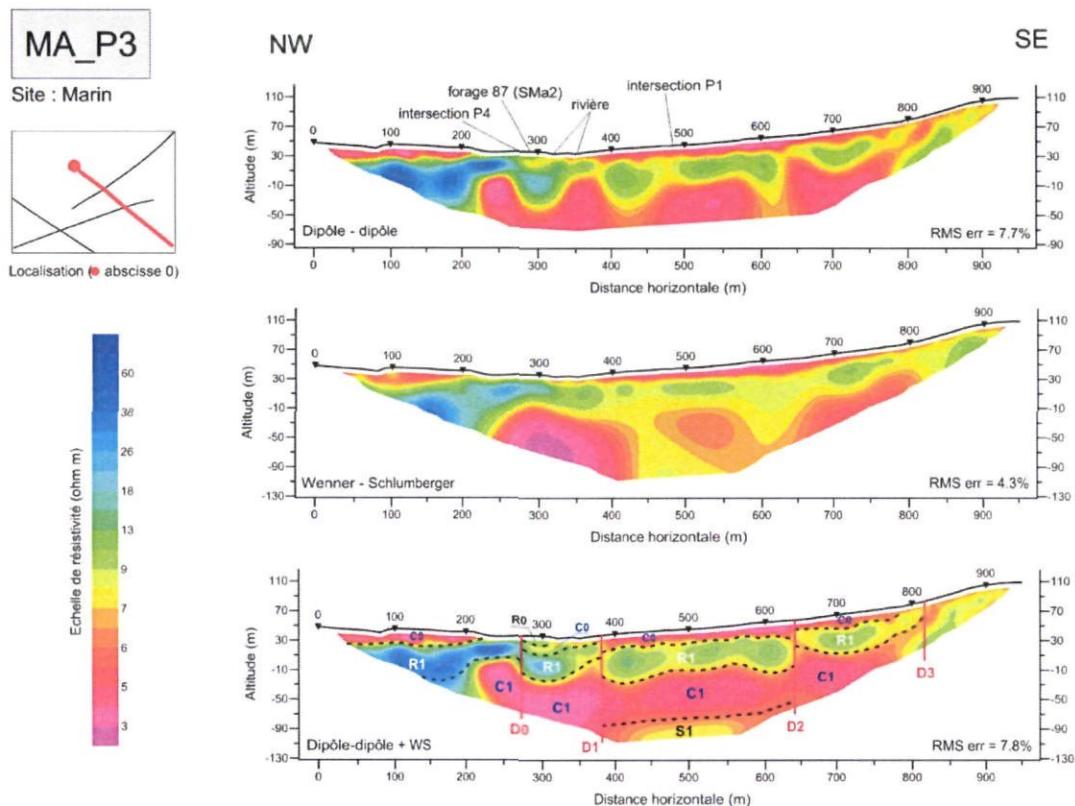


Illustration 25 : Coupes de résistivité du panneau électrique MA_P3

- Un horizon conducteur (C1), dont l'épaisseur est d'environ 70 m, présent sur l'ensemble de la coupe. Cet horizon, qui, sur les panneaux MA_P1 et MA_P2 constitue le substratum conducteur, est associé aux Hyaloclastites Hm2a.
- Un terrain de résistivité intermédiaire (S1) qui constitue le substratum géophysique de cette coupe. Le toit de cet horizon est à une profondeur de l'ordre de 120 m. Aucune information ne permet d'identifier la formation géologique pouvant être attribuée à cet horizon géoélectrique.

Les points particuliers de ce panneau sont les suivants :

- 4 discontinuités majeures ont été mises en évidence (D0 à D3). Elles peuvent être assimilées à des failles. Elles confèrent au compartiment central (D0-D2) un caractère effondré. Le rejet vertical de cet effondrement serait de l'ordre de 20 m.
- La bonne corrélation avec le forage 87 permet d'aboutir à la coupe géoélectrique suivante :

- R0 = faciès supérieur des calcaires du Marin (m2bM) désigné dans la bibliographie par « Tuffites calcaires » ;
 - C0 = faciès moyen des calcaires du Marin (m2bM) désigné dans la bibliographie par « Tuffites calcaires blanches altérées » ;
 - R1 = faciès inférieur des calcaires du Marin (m2bM) désigné dans la bibliographie par « Tuffites calcaires grises » ;
 - C1 = Hyaloclastites (Hm2a) ;
 - S1 = Formation indéterminée.
- Le panneau MA_P3 est dans une position stratigraphiquement plus basse que MA_P2 puisque la base des Hyaloclastites Hm2a a été atteinte.
- Le compartiment central effondré mis en évidence au niveau de MA_P2 a été retrouvé au niveau de MA_P3.

4.2.4. MA_P4

Le panneau électrique MA_P4 (Illustration 21) est localisé dans la partie amont de la zone d'étude et plus ou moins dans l'axe de la vallée. Il intersecte le panneau MA_P3 approximativement au niveau du forage 87. La dénivellation entre le début du panneau et la fin est de l'ordre de 50 m. En théorie, il est implanté sur les formations géologiques suivantes : les Hyaloclastites Hm2a (0 à 510 m), les Calcaires du Marin m2bM (510 à 580 m) et sur les Hyaloclastites Hm2b (580 à 950 m).

La catégorisation des résistivités pour MA_P4 est la suivante :

Résistivité > 10 Ω.m → Terrains résistants (vert, bleu) ;

Résistivité > 6 Ω.m et < 10 Ω.m → Terrains de résistivité intermédiaire (jaune) ;

Résistivité < 6 Ω.m → Terrains conducteurs (violet, rouge).

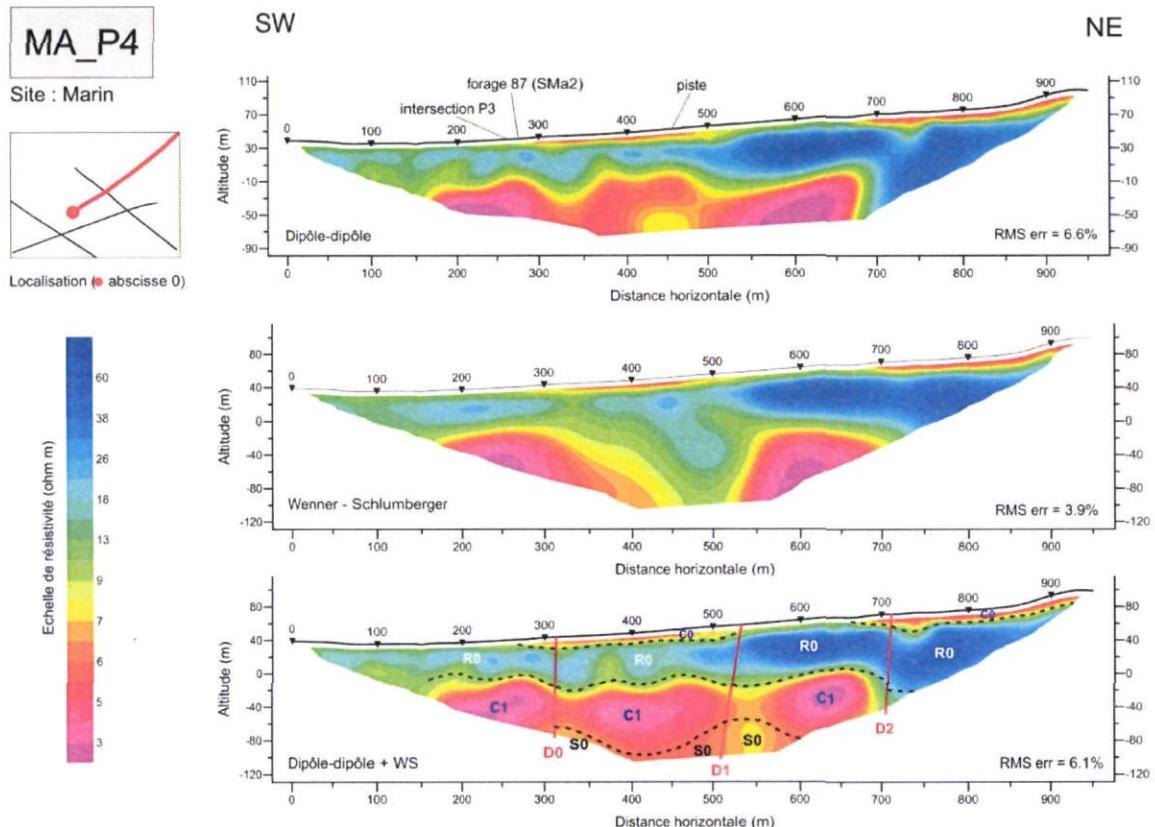


Illustration 26 : Coupes de résistivité du panneau électrique MA_P4

Les horizons géoélectriques observés sur MA_P4 sont les suivants, du haut en bas (Illustration 26):

- Un premier horizon conducteur (C0) présent entre les abscisses 270-530 m et 660-950 m. L'épaisseur de cet horizon est de l'ordre de 10 à 15 m. D'après l'interprétation géoélectrique qui se dégage des 3 panneaux traités précédemment, cet horizon correspondrait à la base des Tuffites calcaires blanches (m2bM moyen).
- Un terrain résistant (R0) présent sur l'ensemble de la coupe et parfois en position sub-affleurante. Son épaisseur est de l'ordre de 50 à 60 m. Les discontinuités qui l'affectent semblent avoir un rôle mineur. D'après le forage 87, cet horizon correspondrait aux « Tuffites calcaires grises » (m2bM inférieur).
- Un horizon conducteur (C1) présent sur l'ensemble de la coupe. Son épaisseur est de l'ordre de 80m. Cet horizon correspondrait comme sur les autres panneaux aux Hyaloclastites Hm2a.
- Un substratum de résistivité intermédiaire (S0). Compte tenu de sa profondeur (environ 120 à 140 m), l'interface constituant le toit de ce substratum est assez

mal résolu. Comme pour le panneau MA_P3, aucune information ne permet d'identifier la formation géologique en relation avec cet horizon.

Les points particuliers de ce panneau sont les suivants :

- Les 3 discontinuités mises en évidence (D0 à D2) semblent avoir un rôle mineur. La discontinuité D0 correspond très probablement à D0 mise en évidence sur le panneau MA_P3.
- Les corrélations avec le forage 87 et avec le panneau MA_P3 donnent la coupe géoélectrique suivante :
 - C0 = base du faciès moyen des calcaires du Marin (m2bM) désigné dans la bibliographie par « Tuffites calcaires blanches altérées » ;
 - R0 = faciès inférieur des calcaires du Marin (m2bM) désigné dans la bibliographie par « Tuffites calcaires grises » ;
 - C1 = Hyaloclastites (Hm2a) ;
 - S0 = Formation indéterminée.
- Le panneau MA_P4 confirme les résultats du MA_P3, à savoir que la partie amont du secteur d'étude est dans une position stratigraphiquement plus basse que la partie aval puisque les calcaires moyens seraient sub-affleurants.

4.2.5. MA_P5

Le panneau électrique MA_P5 (Illustration 21) est situé dans la partie aval de la zone d'étude et il est perpendiculaire à l'axe de la vallée. Il recoupe le panneau MA_P6 et la rivière Grand Fond au niveau de l'abscisse 560 m. Il est d'après la carte géologique implanté sur les Hyaloclastites Hm2b (entre 0 et 540 m) et sur les Calcaires du Marin m2bM (entre 540 et 950 m). Le forage 86 est situé à une cinquantaine de mètres au SW de l'abscisse 500 m.

La catégorisation des résistivités pour MA_P5 est la suivante :

Résistivité > 13 Ω.m → Terrains résistants (vert, bleu) ;

Résistivité < 13 Ω.m → Terrains conducteurs (violet, rouge, jaune).

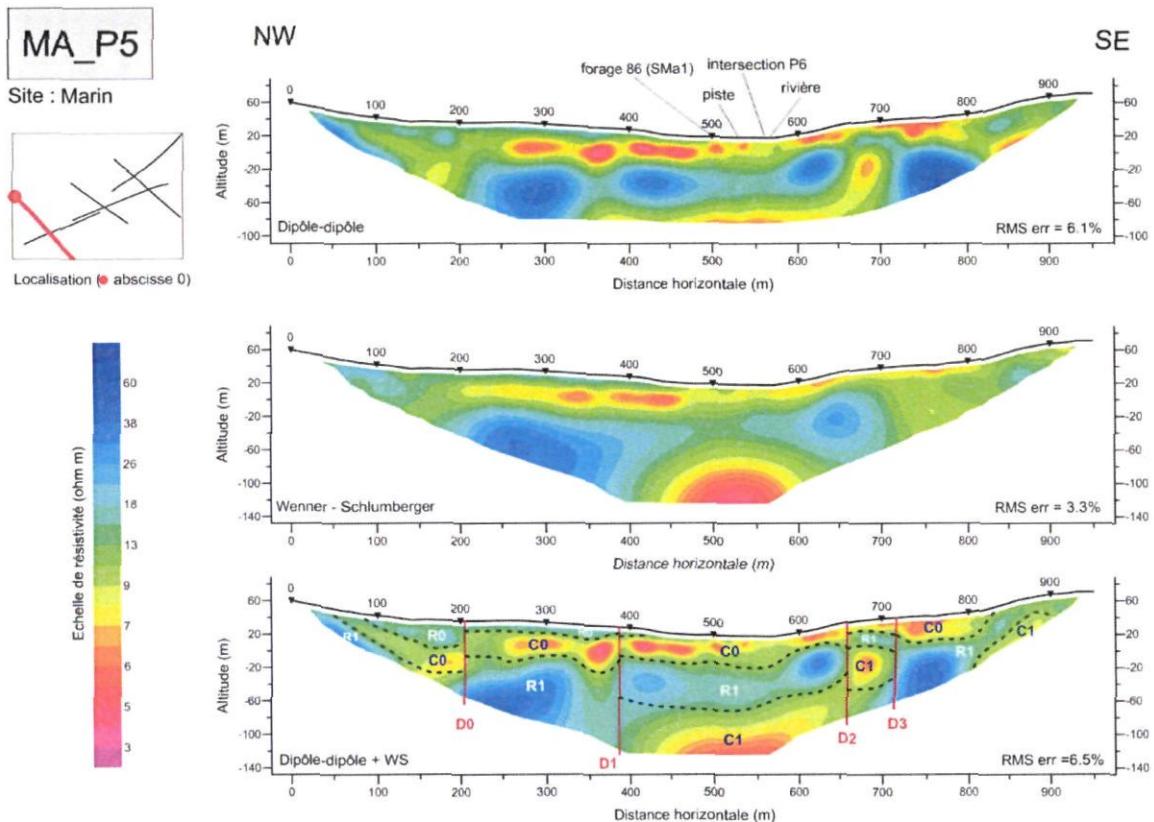


Illustration 27 : Coupes de résistivité du panneau électrique MA_P5

Les horizons géoélectriques observés sur MA_P5 sont les suivants, du haut en bas (Illustration 27):

- Un premier horizon de surface conducteur (C0), présent entre les abscisses 390 et 830 m. Son épaisseur est de l'ordre d'une trentaine de mètres. Dans le compartiment D0-D1 et au NW de D0, cet horizon conducteur est sous-jacent à l'horizon résistant R0 et il conserve une épaisseur à peu près identique. D'après le forage 86, cet horizon correspondrait aux « Tuffites calcaires blanches » (m2bM, faciès moyen) intersectées entre les profondeurs 9.5 et 39 m.
- Un horizon résistant de surface (R0) présent seulement au NW de D1. Son épaisseur maximale est de l'ordre de 30 m. Le calage sur le forage 86 montre que cet horizon résistant correspondrait aux « Tuffites calcaires » (m2bM, faciès supérieur). La discontinuité D0 peut être assimilée à une faille et met en évidence un décrochement d'une quinzaine de mètres. Le compartiment situé au NW de D0 serait effondré.
- Un deuxième horizon résistant (R1) présent sur l'ensemble de la coupe. Son épaisseur moyenne est de l'ordre d'une cinquantaine de mètres. Cet horizon résistant remonterait en surface aux extrémités NW et SE du panneau. La résolution des inversions est cependant minimale sur les bordures de la coupe.

Dans le compartiment D2-D3, l'épaisseur de l'horizon R1 est très réduite, mais il peut s'agir d'un artefact d'inversion dû à la présence de ces 2 discontinuités. Cet horizon résistant d'après le log géologique du forage 86 correspondrait aux « Tuffites calcaires grises » (m2bM, faciès inférieur).

- Un substratum conducteur (C1) qui n'est bien caractérisé que dans le compartiment D1-D2. La profondeur du toit de ce substratum serait de l'ordre d'une centaine de mètres. Cet horizon conducteur est assimilable comme pour les autres panneaux aux Hyaloclastites Hm2a. Le conducteur C1 compris entre les discontinuités D2 et D3 pourrait ne pas correspondre aux Hyaloclastites Hm2a mais plutôt à un artefact d'inversion (présence de 2 discontinuités très rapprochées).

Les points particuliers de ce panneau sont les suivants :

- Les 3 discontinuités D1, D2 et D3 semblent avoir un rôle mineur, seule la discontinuité D0 montre un rejet vertical d'une quinzaine de mètres. Le compartiment NW serait effondré.
- Les corrélations avec le forage 86 permettent de dresser la coupe géoélectrique suivante :
 - R0 = faciès supérieur des calcaires du Marin (m2bM) désigné dans la bibliographie par « Tuffites calcaires » ;
 - C0 = faciès moyen des calcaires du Marin (m2bM) désigné dans la bibliographie par « Tuffites calcaires blanches » ;
 - R1 = faciès inférieur des calcaires du Marin (m2bM) désigné dans la bibliographie par « Tuffites calcaires grises » ;
 - C1 = Hyaloclastites (Hm2a).
- Le panneau MA_P5 confirme que la partie aval de la zone d'étude est stratigraphiquement plus basse que la partie amont.

4.2.6. MA_P6

Le panneau électrique MA_P6 (Illustration 21) est situé dans l'axe de la vallée et constitue l'extension vers le SW du panneau MA_P1. Il intersecte le panneau MA_P5 et la rivière Grand Fond au niveau de l'abscisse 265 m. Les résultats du forage 86 projeté en abscisse 265 m serviront de calage pour l'interprétation. En théorie, ce panneau couvre les Hyaloclastites Hm2b de 0 à 220 m, puis les Calcaires du Marin entre 220 et 680 m et enfin les Hyaloclastites Hm2a de 680 à 790 m.

La catégorisation des résistivités pour MA_P6 est la suivante :

Résistivité > 13 Ω.m → Terrains résistants (vert, bleu) ;

Résistivité < 13 Ω.m → Terrains conducteurs (violet, rouge, jaune).

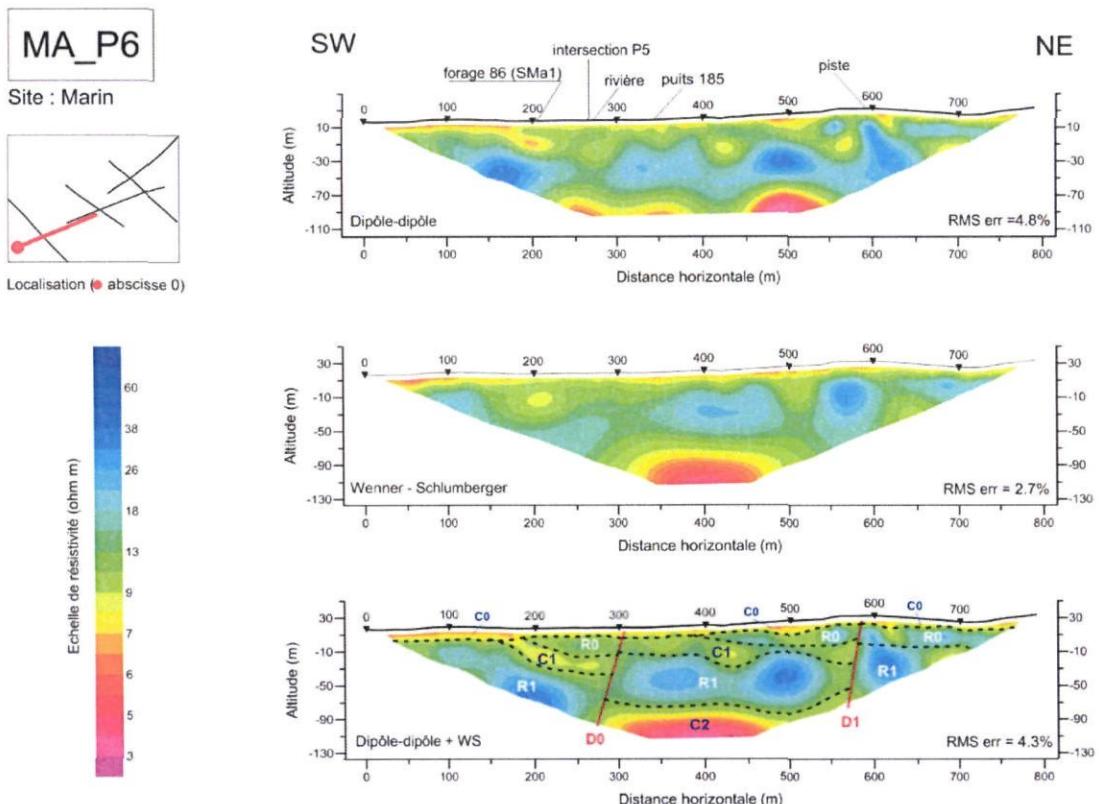


Illustration 28 : Coupes de résistivité du panneau électrique MA_P6

Les horizons géoélectriques observés sur MA_P6 sont les suivants, du haut en bas (Illustration 28) :

- Un terrain de surface conducteur (C0) présent sur l'ensemble de la coupe avec une épaisseur relativement réduite, de l'ordre de 10 m. Il pourrait s'agir

d'alluvions constituées majoritairement de calcaires altérées et d'argiles ce qui expliquerait le caractère conducteur de cet horizon.

- Un horizon résistant (R0) présent entre les abscisses 195-300 m et 400-790 m. Son épaisseur est d'environ 20 à 25 m. Au SW de la discontinuité D0, cet horizon résistant serait en position effondrée. D'après le log du forage 86 et l'interprétation de MA_P5 cet horizon correspondrait aux « Tuffites calcaires » (m2bM, faciès supérieur).
- Un horizon conducteur (C1) présent dans le compartiment D0-D1 et au SW de D0 (160-300 m). Dans le compartiment situé au NE de D1, il n'a pas été mis en évidence a priori en raison de son épaisseur réduite ou en raison d'un contraste de résistivité réduit. Dans le compartiment situé au SW de D0, cet horizon aurait un pendage vers le NE et serait en position effondré. Le rejet de la discontinuité D0 est d'environ 25 m. En cohérence avec le panneau MA_P5, cet horizon correspondrait aux « Tuffites calcaires blanches » (m2bM, faciès moyen).
- Un horizon résistant R1 présent sur l'ensemble de la coupe. Son épaisseur est de l'ordre de 60 m dans le compartiment D0-D1. Il serait successivement effondré vers le SW : 25m au niveau de D1 puis de nouveau 25 m au niveau de D0. D'après le log géologique du forage 86, cet horizon résistant correspondrait aux « Tuffites calcaires grises » (m2bM, faciès inférieur).
- Un horizon conducteur C2 seulement mis en évidence dans le compartiment D0-D1. La profondeur du toit de ce substratum conducteur est de l'ordre de 100 m. Il peut être assimilé aux hyaloclastites Hm2a.

Les points particuliers de ce panneau sont les suivants :

- Les discontinuités D0 et D1, assimilées à des failles, présentent des rejets verticaux de l'ordre de 25 m. Les compartiments SW étant successivement effondrés.
- Les corrélations avec le forage 86 et l'interprétation du panneau MA_P5 permettent d'aboutir à la coupe géoélectrique suivante :
 - C0 = Alluvions ou colluvions argileuses ;
 - R0 = faciès supérieur des calcaires du Marin (m2bM) désigné dans la bibliographie par « Tuffites calcaires » ;
 - C1 = faciès moyen des calcaires du Marin (m2bM) désigné dans la bibliographie par « Tuffites calcaires blanches altérées » ;
 - R1 = faciès inférieur des calcaires du Marin (m2bM) désigné dans la bibliographie par « Tuffites calcaires grises » ;
 - C2 = Hyaloclastites (Hm2a).



5. Interprétation générale et recommandations

5.1. INTERPRÉTATION GÉNÉRALE

Les six panneaux électriques réalisés sur le secteur de Grand Fond ont permis, après calage avec les forages existants, de préciser la carte géologique et d'aboutir à un nouveau modèle conceptuel. Les corrélations entre les panneaux électriques et les forages existants sont très bonnes. Les principaux résultats sont les suivants :

- Les calcaires du Marin m2bM sont présents en position sub-affleurante sur l'ensemble de la zone investiguée. Les observations de terrain et les acquisitions géophysiques montrent clairement que l'extension des calcaires du marin vers l'ouest est plus importante que celle mentionnée sur la carte géologique.
- Les coupes de résistivité permettent de bien distinguer les trois faciès décrits dans la bibliographie pour les calcaires du Marin (Paulin et al., 1979).
- Les hyaloclastites Hm2a qui, selon la carte géologique, occupent la partie centrale de la zone d'étude sont en fait toujours sous couverture des calcaires. Elles constituent bien le substratum du système aquifère ciblé.
- Les hyaloclastites Hm2b, indiquées par la carte géologique sur la bordure NW du secteur n'ont pas été mises en évidence par les panneaux électriques. Elles pourraient cependant être présentes sous forme de plaquages de faible épaisseur et d'extension restreinte (observées en 2 endroits sur le terrain).
- L'interprétation des coupes de résistivité, combinée à la ré-interprétation des logs des forages existants donnent, de haut en bas, la coupe géologique suivante :
 - Les calcaires supérieurs (résistivité > 13 Ω.m). Cet horizon n'est pas toujours présent du fait de l'érosion. Son épaisseur maximale mise en évidence au niveau de MA_P1 est de 25 m.
 - Les calcaires blancs moyens plus conducteurs (résistivité < 13 Ω.m). Cet horizon est sub-affleurant sur une grande partie du secteur. Son épaisseur est de l'ordre de 30 m.
 - Les calcaires gris inférieurs résistants (résistivité > 13 Ω.m). Leur épaisseur est comprise entre 40 et 60 m.
 - Les Hyaloclastites Hm2a conductrices (résistivité < 7 Ω.m) qui constituent sur la majeure partie du secteur le substratum géophysique. Les panneaux MA_P3 et MA_P4 situés dans la partie amont de la zone

d'étude ont cependant permis d'appréhender l'épaisseur de cet horizon, qui est de l'ordre de 60 à 80 m.

- Un terrain résistant sous-jacent aux Hyaloclastites Hm2a a été mis en évidence au niveau des coupes MA_P3 et MA_P4. La lithologie associée à cet horizon reste indéterminée.

D'un point de vue structural :

- Les panneaux orientés NW-SE (MA_P5, MA_P2 et MA_P3) ont mis en évidence des discontinuités qui peuvent être assimilés à des failles et qui peuvent être reliées selon une direction NE-SW, direction régionale indiquée sur la carte géologique. Ces failles seraient au nombre de 3. Les compartiments centraux sont en règle générale effondrés. L'amplitude des effondrements peut atteindre une vingtaine de mètres.
- Les panneaux orientés SW-NE (MA_P1, MA_P4 et MA_P6) mettent également en évidence des discontinuités qui peuvent être assimilées à des failles. La direction de ces failles serait *a priori* NW-SE, ce qui est également une direction structurale régionale indiquée sur la carte géologique au NW de la zone d'étude. La présence de ces failles avait déjà été signalée lors des précédentes études. Au niveau des panneaux MA_P1 et MA_P6, les compartiments générés par ces failles sont en position effondrée vers l'aval.

Le modèle conceptuel révisé et les interprétations stratigraphique et structurale sont précisés sur les Illustration 29 et Illustration 30.

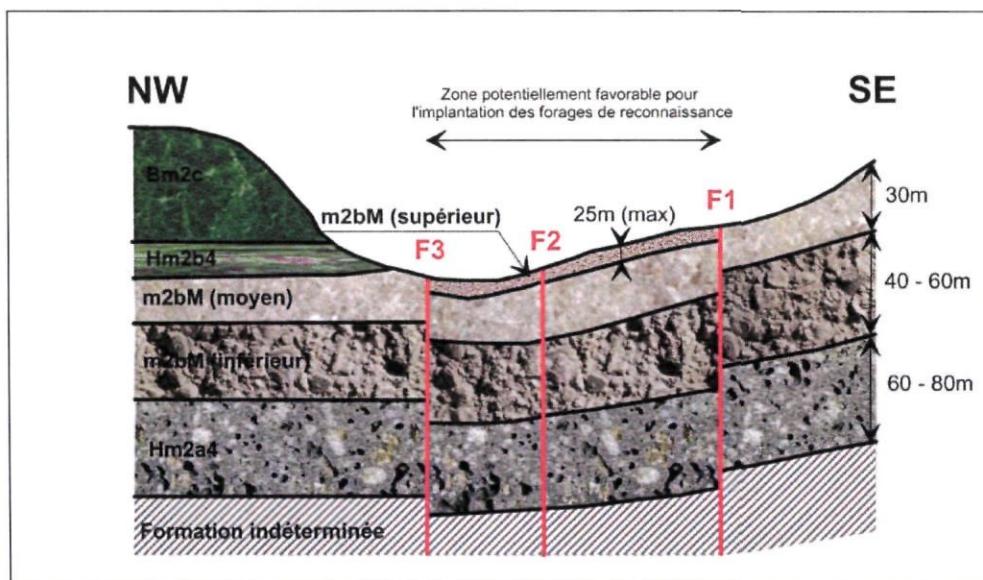


Illustration 29 : Modèle conceptuel du site de Marin – Grand Fond révisé après les investigations géophysiques

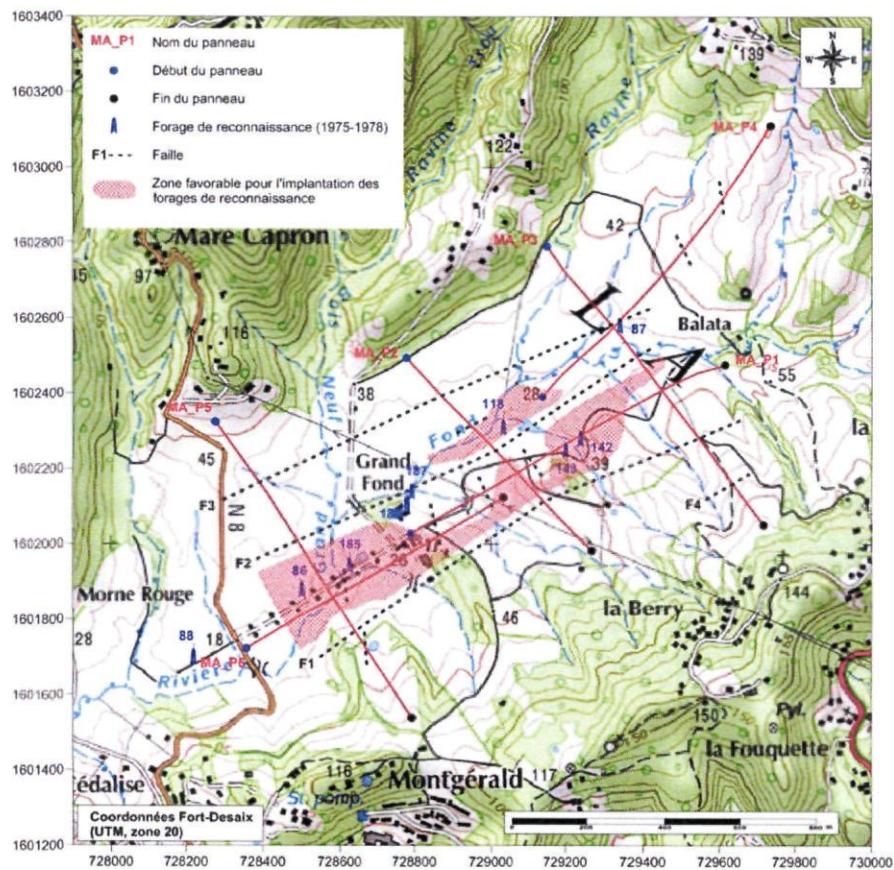


Illustration 30 : Schéma structural interprétatif du site de Marin – Grand Fond et localisation des zones potentiellement favorables à l'implantation d'ouvrages de reconnaissance

5.2. IMPLANTATION DES FORAGES DE RECONNAISSANCE

D'un point de vue hydrogéologique, les forages existants ont montré que les calcaires du Marin, quel que soit le faciès (supérieur, moyen, inférieur) constitue un aquifère potentiellement intéressant. Ils ont également montré (forage 87) que les failles pouvaient constituer des barrières imperméables. Considérant ces éléments, la zone favorable pour l'implantation des ouvrages de reconnaissance se situera dans les compartiments F1-F2 et F2-F3, où l'épaisseur des calcaires du Marin est maximale.

Ces ouvrages devront se situer dans la partie centrale des compartiments afin d'éviter l'influence des failles qui peuvent jouer un rôle de barrière étanche. La carte des isopaques estimées de la formation des calcaires du Marin (Illustration 31) donne une bonne approximation des zones où cet aquifère potentiel est le plus épais.

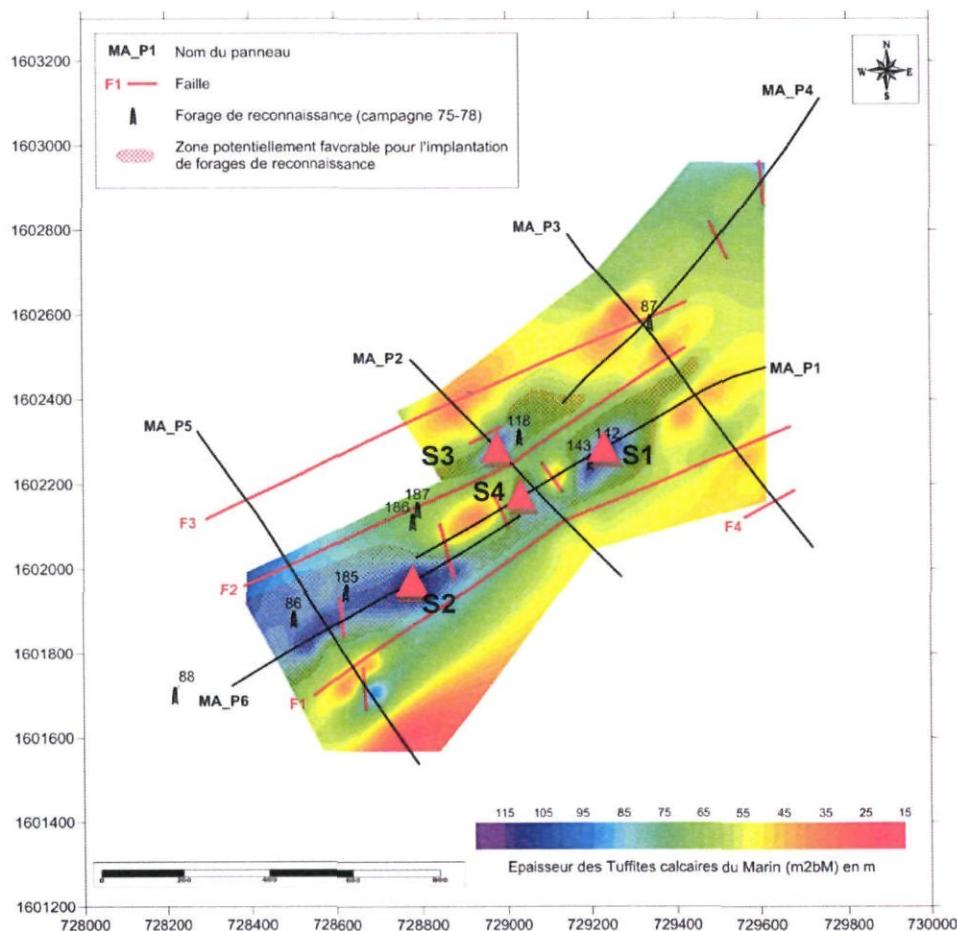


Illustration 31 : Carte des isopaques des Calcaires du Marin (m²bM) et localisation des zones potentiellement favorables à l'implantation d'ouvrages de reconnaissance

En définitive, quatre implantations pour des forages de reconnaissance sont proposées au niveau des épaisseurs maximales de calcaires, par ordre de priorité :

- ✓ **S1** : sur le panneau MA_P1 (abscisse 470m). Ce forage devrait interceper une épaisseur de calcaires de l'ordre de 90m. La question du rôle hydrogéologique des failles F1 et F2 devra être résolue à partir des pompages d'essai. L'ouvrage devrait atteindre une profondeur approximative de 110 m. S1 est implanté non loin du forage d'exploitation réalisé en 1979 (1186ZZ0142/FMa1) mais la profondeur investiguée sera beaucoup plus importante afin de recouper la totalité de l'aquifère calcaire (profondeur de 35m en 1979) ;
- ✓ **S2** : sur le panneau MA_P6 (abscisse 445m). L'ouvrage devrait également atteindre une profondeur approximative de 110 m ;
- ✓ **S3** : sur le panneau MA_P2 (abscisse 300m), non loin du forage de reconnaissance 1186ZZ0118/SMa4, mais au droit d'une épaisseur plus importante de calcaires et avec une profondeur d'investigation de l'ordre de 110 m (contre 63 m en 1979).
- ✓ **S4** : sur le panneau MA_P1 (abscisse 290m), dans le but de viser l'horizon R2 épais de 80m. L'ouvrage devra atteindre une profondeur de l'ordre de 120 m.

Sondage	X _{Fort Desaix (m)}	Y _{Fort Desaix (m)}	Z (m NGM)	Profondeur estimée (m)
S1	729 193	1 602 261	38	110
S2	728 735	1 601 945	27	110
S3	728 985	1 602 275	30	110
S4	729 040	1 602 173	38	120

Illustration 32 : Caractéristiques des forages de reconnaissance proposés

Au regard des profondeurs d'investigation visées et de la proximité de la mer, un risque d'intrusion d'eaux salines ne peut être écarté. Une augmentation de la concentration en chlorures est, en effet, observée sur le piézomètre du Marin (Cf. Annexe 3).

Ces propositions pourront bien entendu être ajustées, en concertation avec le SICSM, au regard des informations apportées par le(s) premier(s) forage(s) de reconnaissance mis en œuvre (logs géologiques, venues d'eau, rôle hydraulique des failles, intrusions marines, etc.).



6. Conclusion

Les nouvelles observations de terrain et les investigations géophysiques menées sur le site de Grand Fond ont permis de caractériser précisément la formation géologique des calcaires du Marin.

Tout d'abord, les calcaires sont sub-affleurants sur la totalité du site d'étude, leur extension est donc plus importante que celle suggérée par la carte géologique.

Les six coupes de résistivités, résultats des acquisitions géophysiques, permettent d'identifier clairement la présence de trois faciès lithologiques au sein des calcaires du Marin : les calcaires supérieurs résistants, les calcaires blancs altérés, plus conducteurs (faciès moyen) et les calcaires gris résistants (faciès inférieurs).

Une cartographie des épaisseurs des calcaires a pu être dressée sur Grand Fond avec report des failles, révélées par les panneaux électriques, et orientées selon deux directions régionales : NW-SE et SW-NE.

En définitive, sur la base de ces interprétations, l'implantation de 4 forages de reconnaissance a été proposée dans les secteurs où les calcaires présentent la plus grande épaisseur et le plus loin possible des failles mises en évidence. En effet, lors des prospections antérieures, des limites étanches avaient été suspectées.

En concertation avec le SICSM, les propositions d'implantation pourront être modifiées en fonction des éléments de réponse apportés par le(s) premier(s) forages de reconnaissance (logs géologiques, venues d'eau, rôle des failles, etc.). Il est rappelé que le SICSM prévoit, en moyenne, la réalisation de 3 ouvrages de reconnaissance par site.



7. Références bibliographiques

Allard J.-F., Cottez S., Westercamp D. (1976) – Etude hydrogéologique de la zone de Grand Fond au Marin. Rapport BRGM 76 ANT 6

Arnaud L., de Bechillon M. Wiart N. (2010). Sélection de 20 sites favorables à la recherche d'eau souterraine et répondant aux besoins du SICSM, Rapport BRGM/RP-59123-FR, 106 p., 13 ill., 3 ann.

Lachassagne P., Ballin F. (1995) – Evaluation des ressources en eau souterraine du Sud de la Martinique. Synthèse des informations disponibles et identification des zones de potentialités. Guide méthodologique de prospection. Rapport BRGM R 38578 ANT 95

Loke M. H. & Barker R.D (1996) : Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting* (44), p.131-152.

Paulin C. (1979) – Recherche d'eau souterraine en Martinique. Résultats de la campagne de reconnaissance par sondages mécaniques. Rapport BRGM 79 ANT 20

Westercamp D., Pelletier B., Thibault P.A. et Trainneau H. (1990) – Carte géologique de la France (1 / 50 000), feuille Martinique, BRGM. Notice explicative par W.D., Andreieff P., Bouysse P., Cottez S. et Battistini R., 1989



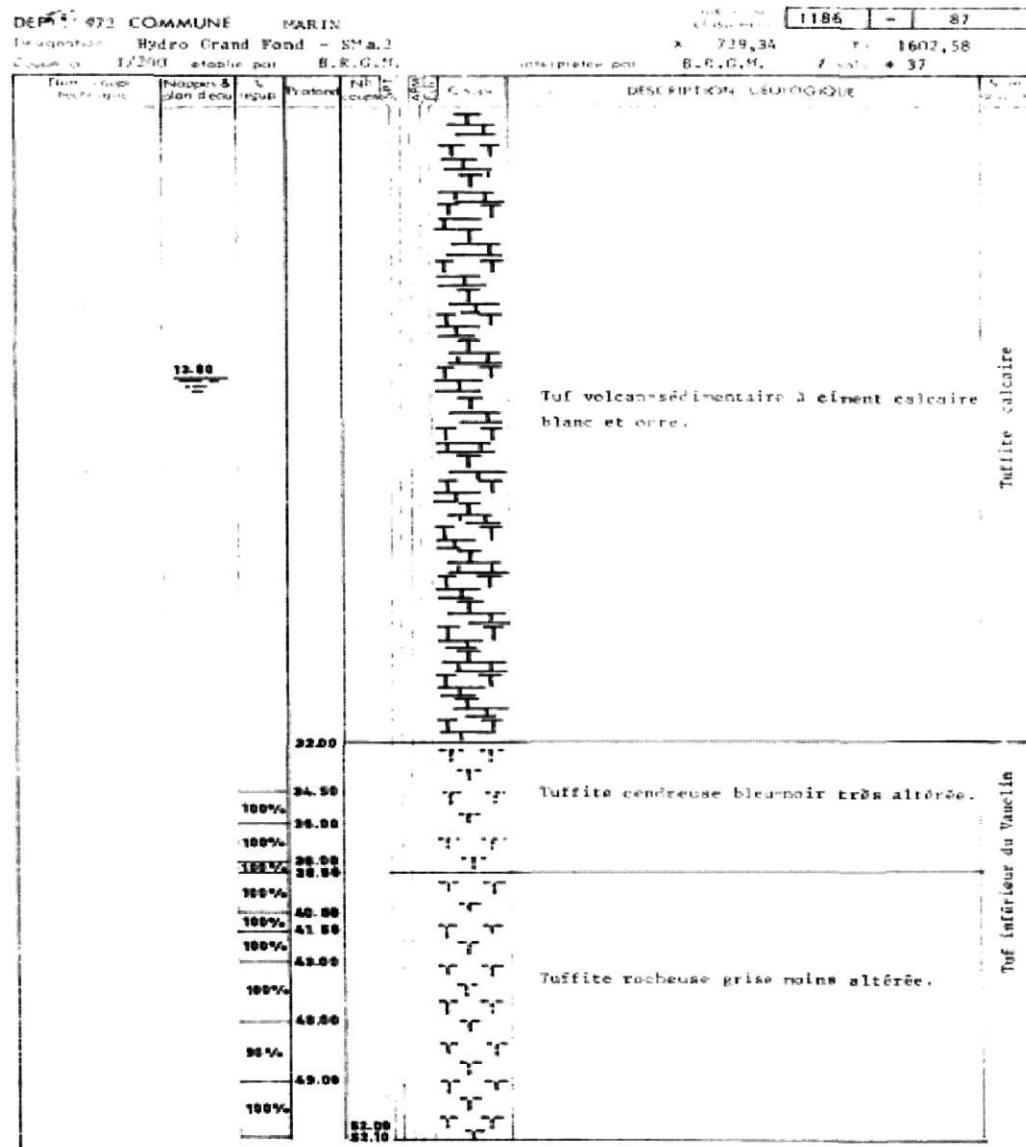
Annexe 1

Coupes géologiques des forages de reconnaissances et du forage d'exploitation réalisés en 1975 et 1978



DEPT 972 COMMUNE MARIN Désignation hydro Grand Fond S.M. I Coupé au 1/200 établie par B.R.G.M.					Indice de classement	1186	-	86
					x =	726,50	y =	1601,88
					z sol =	+ 20		
Densité eau température	Épaisseur à plan d'eau repéré	%	Profond coupeur	N° de coupeur	Couleur	DESCRIPTION GÉOLOGIQUE		Signe graphique
		80%	1.00			Terra végétale argileuse renfermant des cailloux andésitiques.		
		88%	1.00			Tuf volcano-sédimentaire argilisé passant à un tuf très altéré s'écrasant sous les doigts. Ciment calcaire.		
		80%	2.00			Très mauvaise récupération. Galets de la ve et sables (conglomérat).		
		20%	5.00			Sur blanchâtre très altéré mais compact A 9,30 m passeée argileuse.		
		7.50					Tuf supérieur du Waelin	
		88%	9.50					
			12.00			Tuf volcano-sédimentaire à ciment calcaire relativement sain. Carottes sous forme de rondelles de quelques centimètres à un décimètre de hauteur.		
		88%	15.00			De 18,5 à 20,0 m les carottes sont de plusieurs dm de hauteur puis de 20 à 25 on retrouve des tronçons de faible hauteur.		
		78%	18.00					
		88%	20.00					
		88%	22.50					
		88%	25.00					
		100%				Tuf blanc compact. Passées fracturées sur 0,4 m à 28,5 et 29,5 m.		Teffite calcaire
			30.50					
		78%				Tuf grossier. Récupération mauvaise à algues abondantes. Passage altéré à 32,5 m. Le tuf volcano-sédimentaire remonte sous forme de fragments anguleux.		
			35.00					
		88%				Calcaires à algues, gris, cendreux.		
			42.00					
		88%				Même calcaire, récupération médiocre. Tronçons de carotte de taille inférieure à 1 dm.		
		88%	44.50					
		88%	46.50					
		78%	50.00					

Prospections hydrogéologiques au Marin – Grand Fond



Prospections hydrogéologiques au Marin – Grand Fond

DÉP 972 COMMUNE : MARIN				indice de classement	1186	-	88
Désignation : Hydro Grand Fond - S ^e n° 3				x.	728,22	y.	1601,70
Coupe n° 1/200 établie par : B.R.G.M.				interprétée par	B.R.G.M.	Z. sol.	+ 19
Dessin coupe technique	Indications & plan d'écoulement	% pl. des couches	Profondeur coupe	Code Coupe	DESCRIPTION GÉOLOGIQUE	Méthode interprétation	
					Tuffite argilisée		
			5,00		Tuffite très altérée friable		
			6,00		Tuffite argilisée à 100 %		
		80%	7,00		Tuffite altérée à très altérée, passages rocheux.		
		80%	8,00		Brèche grossière à éléments volcaniques sous-marins.	Brèche de Rivière Pilote	
		80%	9,00		Tuffite grossière altérée plus ou moins friable - niveau argilisé.		
		80%	10,00		Tuffite terrigène à grains fins, altérée passant à une tuffite à lits de cendre notamment de 27,0 à 87,5.		
		80%	11,00		Tuffite à grains centimétriques, rocheuse, saine, quelques grosses enclaves d'élements volcaniques bréchiques.	Tuf supérieur du Vauzin	
		80%	12,00		Tuffite rocheuse avec lits de cendre trace d'algues à 33,8.		
		80%	13,00		Tuffite gris-bleu à grains grossiers.		
		80%	14,00		Tuffite grossière marron altérée.		
		80%	15,00		Tuffite grossière gris-bleu	Tuffite terrigène	
		80%	16,00		Dyke bulleux	Dyke	
		80%	17,00		Tuffite grise grossière, éléments grossiers vert gris et brique - éléments d'algues.		
		80%	18,00		Tuffite calcaire coquillière beige.		
		80%	19,00		idem mais grise.		
		70%	20,00		Tuffite calcaire à éléments volcaniques monogéniques.		
		60%	21,00				
		50%	22,00				
		40%	23,00				
		30%	24,00				
		20%	25,00				
		10%	26,00				
		0%	27,00				

DEPT: 972 COMMUNE: Le Marin
Désignation: Hydro. Marin SMA4

Indice de classement 1186 / 118

X = 728,91 Y = 1602,16

≡ 1602.1

Cours no : 1/250 stabilis no : BBGM

interprétée par : BRGM

- + 30

Demi coupe technique	Nappes & plan d'eau	Profon- deur	Nb coups	Perc. %	Perc. %	Coupes	DESCRIPTION GÉOLOGIQUE		Strati- graphie	
							Interprétation	Interprétation		
Fer. n° 165	4.70 11.9.78	100		6.00	70	2.00	Terraine végétale argileuse contenant des galets d'andésite.		alluvions	
						2.50	Argile à galets d'andésite			
						3.50	Argile avec de rares galets d'andésite			
						4.20	Argile à galets d'andésite			
						6.30	Galets d'andésite noire entourés d'une matrice argileuse.			
						8.30	Tuffite calcaire			
						9.00	Tuffite altérée			
						11.50	Tuffite avec de rares galets volcaniques (carottes très fragmentées)			
						14.40	Tuffite blanche riche en éléments volcaniques altérés			
						18.60	Tuffite grise à éléments volcaniques non altérés. Nombreuses algues (mélobésières ?)			
Fer. n° 145		100		42.00	50.00	T T			Tuffite calcaire du Marin (Miocene moyen)	
						T				
						T T				
						T				
						T T				
						T				
						T T				
						T				
						T T				
						T				
Fer. n° 116		64.00		42.00	50.00	T T			Tuffite calcaire du Marin (Miocene moyen)	
						T				
Fer. n° 116		64.00		50.00	58.00	T T			Tuffite calcaire du Marin (Miocene moyen)	
						T				
						T T				
						T				
						T T				
						T				
						T T				
						T				
						T T				
						T				
FIGURE 2						Commencé le 19/8/78				
						Achévé le 12/9/78				

FIGURE 2

DEPT: 972 COMMUNE: MARIN

Désignation: Grand Fond Marin - S.Ma.5

Coups au: 1/200 établis par: B.R.G.M.

Indice de classement 1186 22 143

$$X = 729,20 \quad Y = 1602,25$$

V = 1602,25

Z set = + 40,00

Prospections hydrogéologiques au Marin – Grand Fond

DEPT: 972 / COMMUNE: MARIN
Désignation: Grand Fond Marin - F.Ma.1
Coupe au: 1/200 établie par: B.R.G.M.

Indice de classement : 1186 22 142

$$X = 729,24 \quad Y = 1602,28$$

R.G.M. Z set = + 40,00

Interprétée par : B.R.G.M. Z net = + 40,00

Annexe 2

Synthèse des observations de terrain



MARK	DATE	HEURE	X	Y	Z	TEINTE	COULEUR	DURETE	Structure	PHENOCRISTAUX	DESCRIPTION	FISSURATION	DENOMINATION	Carte géologique	Code formation	PUISSEANCE	EXTENSION	TYPE AFFLEUREMENT	PHOTO	ECHANTILLON
226 8-Feb-11	10:08:26	729027	1602276	34	NA	NA	NA	NA	NA		Graviers roulés de taille pluri-centimétrique pris dans un matrice argileuse marron	NA	Alluvions	Coulées de basalte et d'andésite basique à olivine et clinopyroxène	Bm2c	1 m	3 m	Berge	oui	non
228 8-Feb-11	10:36:19	729083	1602650	48	sombre	noir	1	Peu porphyrique	Minéraux noirs brillants en baguette, rares minéraux blancs opaques, minéraux d'olivine altérés.		Lave constituée de fragments centimétriques et décimétriques emballées dans une matrice indurée. Lave à cassure conchoïdale. Quelques parties plus massives.	Très marquée	Lave saine fissurée	Coulées de basalte et d'andésite basique à olivine et clinopyroxène	Bm2c	1 à 2 m	Plusieurs centaines de mètres	Talus, bord de route		
229 8-Feb-11	10:50:32	729058	1602624	46	sombre	noir	1	Peu porphyrique	Idem 228.		Idem 228.	Très marquée	Lave saine fissurée	Coulées de basalte et d'andésite basique à olivine et clinopyroxène	Bm2c	1 à 2 m	Plusieurs centaines de mètres	Talus, bord de route	oui	oui
230 8-Feb-11	11:18:50	729057	1602702	59	sombre	noir	1	Peu porphyrique	Idem 228.		cf. point 228. Pas de frange d'altération particulière.	Très marquée	Lave saine fissurée	Coulées de basalte et d'andésite basique à olivine et clinopyroxène	Bm2c	16 à 17 m	40 m	Carrière. Front de taille	oui	non
231 8-Feb-11	11:30:24	729307	1602937	97	sombre	noir	1	Peu porphyrique	Idem 228.		Idem 228.	Très marquée	Lave saine fissurée	Coulées de basalte et d'andésite basique à olivine et clinopyroxène	Bm2c	1 à 2 m	Plusieurs centaines de mètres	Talus, bord de route. Fin de l'affleurement.	non	non
233 8-Feb-11	11:38:22	729193	1603305	152	sombre	gris-foncé	1	Porphyrique	Petits minéraux blanc brillants, rares pyroxènes (noirs métalliques), minéraux vert olive (olivine)		Lave massive fissurée. Cassures conchoïdales moins marquées. Pas de frange d'altération marquée. Dominance de l'andésite par rapport aux précédents points.	Marquée	Lave saine fissurée	Coulées de basalte et d'andésite basique à olivine et clinopyroxène	Bm2c	1 à 3 m	20 m	Talus, bord de route	oui	oui
235 8-Feb-11	11:59:47	729527	1602398	51	clair	gris-clair	1	NA	NA		Débris de coquille. Erosion par ruissellement (lappiaz). Francs et massifs par endroits.	non observée	Calcaire	Calcaire du Marin	m2bM	0,5 à 3 m	2 à 5 m	Blocs affleurants en milieu de champs	oui	oui
236 8-Feb-11	12:21:07	729540	1602462	41	clair	gris-clair	1	NA	NA		En place ?	non observée	Calcaire	Hyaloclastites	Hm2a	0,5 m	0,5 à 1 m		non	non
240 8-Feb-11	13:31:30	730082	1602352	93	sombre	ocre	3	Matrice sableuse (grès)	NA		Calcaires altérés. Formation très végétalisée, avec la présence de racine.	non observée	Calcaire altéré	Calcaire du Marin	m2bM	0,5 à 1 m		Talus, bord de piste	oui	oui
241 8-Feb-11	13:44:10	730190	1602553	71	sombre	ocre	3	Matrice sableuse (grès)	NA		A priori en place.	non observée	Calcaire altéré	Calcaire du Marin	m2bM			Blocs affleurants en milieu de champs	non	non
242 8-Feb-11	13:45:47	730205	1602552	70	sombre	ocre	3	Matrice sableuse (grès)	NA		cf. point 240.	non observée	Calcaire altéré	Calcaire du Marin	m2bM	1 à 2 m	15 m	Talus, bord de piste	oui	non
247 8-Feb-11	14:49:38	729784	1602498	52	clair	gris-clair	1	NA	NA		Station délocalisée. Cette structure est typique des formations calcaires avec la présence de dépressions (dolines) et de talwegs.	non observée	Calcaire	Calcaire du Marin	m2bM			Crête	oui	non
248 8-Feb-11	14:55:20	729633	1602639	47	clair	gris-clair	1	Matrice sableuse (grès)	NA		En place ?	non observée	Calcaire	Hyaloclastites	Hm2a				non	non
249 8-Feb-11	15:01:07	729632	1602459	54	sombre	ocre	3	Matrice sableuse (grès)	NA		cf. point 240.	non observée	Calcaire altéré	Hyaloclastites	Hm2a	0,5 à 1 m	20 m	Talus, bord de piste	oui	non
260 11-Feb-11	10:29:22	728437	1602464	34	sombre	gris-foncé	1	Très porphyrique	a) Quelques pyroxènes, minéraux blanc opaques. b) Très vacuolaires avec minéraux blancs et pyroxènes altérés, indurée ocre.		Brèche à blocs anguleux de tailles hétérogènes (centimétrique à pluridecamétriques). Matrice	non observée	Brèche	Hyaloclastites	Hm2b	3 m	5 m	Petite falaise	oui	oui
261 11-Feb-11	11:04:17	728523	1602311	30	clair	ocre	3		NA		Brèche altérée complètement argilisée. Quelques altérations en pelure d'oignon.	non observée	Brèche altérée	Hyaloclastites	Hm2b	1 à 2 m	20 m	Petit "front de taille"	oui	non
264 11-Feb-11	12:02:09	729525	1602867	47	sombre	gris-noir	1	Porphyrique	Rares pyroxènes, nombreux minéraux blancs, voire quelques minéraux verts		Blocs de hyaloclastite. Très anguleuses, de taille hétérogène (centi à pluri-centimétriques). Matrice indurée. A noter qu'il y a 3 types d'éléments différents, tous très durs. En place?	non observée	Brèche	Hyaloclastites	Hm2b	1,5 m	2 m	Blocs affleurants en milieu de champs	oui	oui
266 11-Feb-11	13:20:15	729838	1603127	66	clair	gris-clair	1	NA	NA		Erosion par ruissellement. En amont de ce point on ne trouve plus de calcaires (de l'andésite), contrairement à l'aval.	non observée	Calcaire	Calcaire du Marin	m2bM	2 m	2 m	Blocs affleurants en milieu de champs	oui	non
267 11-Feb-11	13:27:57	729895	1603289	88	sombre	gris-bleu	1	Porphyrique	Beaucoup de minéraux noirs en baguette, et quelques minéraux verts.		Bloc de lave saine de couleur gris-bleu. En place?	non observée	Bloc de lave saine	Hyaloclastites	Hm2b			Blocs affleurants en milieu de champs	oui	oui
268 11-Feb-11	13:48:25	729964	1602825	56	clair	gris-clair	1	NA	NA		cf. point 266	non observée	Calcaire	Calcaire du Marin	m2bM			Blocs affleurants en milieu de champs	non	non
269 11-Feb-11	13:53:31	730018	1602843	76	clair	gris-clair	1	NA	NA		cf. point 266	non observée	Calcaire	Calcaire du Marin	m2bM	1,5 m	10 m	Blocs affleurants	oui	non
270 11-Feb-11	14:03:28	730064	1602829	62	clair	gris-clair	1	NA	NA		cf. point 266	non observée	Calcaire	Calcaire du Marin	m2bM			Blocs affleurants en milieu de champs	oui	non
271 11-Feb-11	14:16:45	730119	1603258	108	clair	blanc	2	NA	NA		Calcaire	non observée	Calcaire	Hyaloclastites	Hm2b			Blocs affleurants en milieu de champs	non	oui

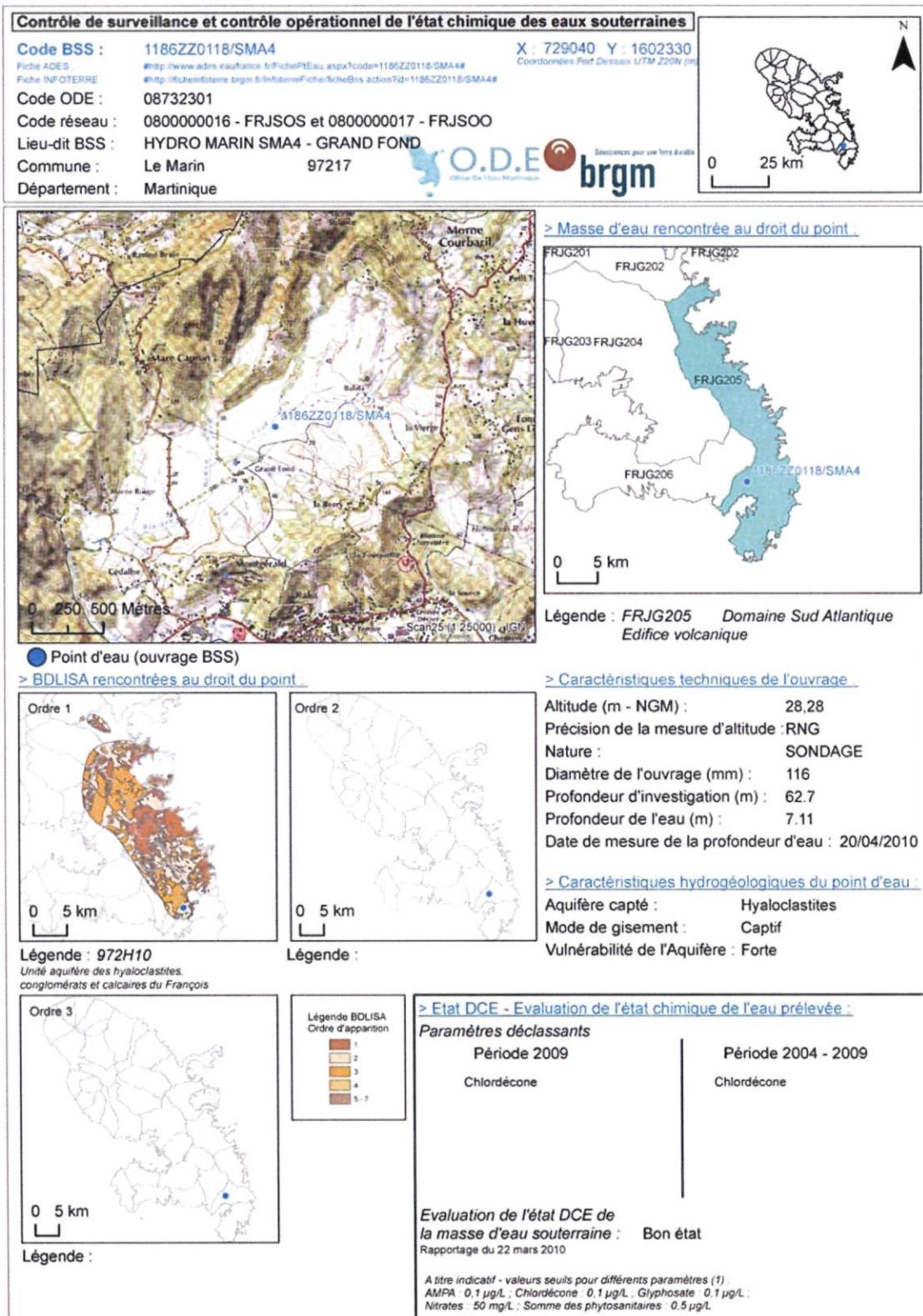
Observations hydrologiques

MARK	DATE	HEURE	X	Y	Z	TYPE	PH	COND	TEMP	OBSERVATIONS	PHOTO
226	8-Feb-11	10:08:26	729027	1602276	34	Ravine		35 400	24,6	Ravine Grand Fond, écoulement nul, quelques flaques stagnantes, eau en continu à partir du pont.	oui
244	8-Feb-11	14:09:48	730296	1602713	62	Ravine		677 000	24,6	Léger écoulement. Lit de la ravine composé d'éléments arrondis de lave.	oui
245	8-Feb-11	14:25:59	730366	1602778	52	Ravine				Ravine sèche mis à part quelques flaques résiduelles	non
246	8-Feb-11	14:43:31	730273	1602685	60	Ravine		852 000	24,8	Léger écoulement.	oui
251	8-Feb-11	15:38:34	729423	1602578	39	Ravine				Ravine sèche.	oui
252	8-Feb-11	15:49:26	728987	1602075	25	Ravine	7,3	132 100	27,4	Présence de poissons. Ecoulement faible.	oui
255	11-Feb-11	9:48:11	729016	1602109	23	Puits	7,28	155500	27,3	Lors du Carême est possible de pomper à 20 m ³ /h durant 8h. En période de pluie, ce serait possible en continu.	oui

Annexe 3

Fiche de synthèse du forage de surveillance qualitative du Marin – Grand Fond (1186ZZ0118)





Fiche de synthèse des données qualité des points d'eau du réseau DCE de la Martinique								
Mesures In-situ	Mesures* Totales	Mesures* DV	Saison sèche avril 2009	Saison humide novembre 2009	Minimum*	Maximum*	Valeur seuil DCE	Limite de qualité (1)
Température (°C)	9	9	28,20	28,50	27,70	28,50		
Conductivité ($\mu\text{S/cm}$) 20°C	4	4	-	-	1334	1419		
Potentiel hydrogène (pH)	11	11	7,10	6,86	6,33	7,45		
Potentiel REDOX (mV)	3	3			126,20	160,80		
Oxygène dissous (mg/L)	9	9	2,60	7	1,28	7		
Eléments majeurs & TAC							Annexe I (1)	Annexe II (1)
Calcium (mg/L)	12	12	126,50	131,10	115	134,60		
Magnésium (mg/L)	12	12	29,90	31,20	27	31,40		
Sodium (mg/L)	12	12	121	123,60	112,90	127,50	200	200
Potassium (mg/L)	12	12	6,10	6	5,40	6,50		
Bicarbonates (mg/L)	12	12	470	487	0,47	487		
Chlorures (mg/L)	12	12	229	236,70	172,80	282,80	250	200
Sulfates (mg/L)	12	12	20,70	22,20	19,80	22,30	250	250
Nitrates (mg/L)	12	12	11,10	11,80	9,80	12,70	50	50
TAC (°f)	3	3	38,51	39,92	38,51	39,92		
Eléments traces								
Arsenic ($\mu\text{g/L}$)	12	5	0,45	0,42	0,42	0,70	10	100
Aluminium ($\mu\text{g/L}$)	12	4	4,30	-	4,14	28	200	
Bore ($\mu\text{g/L}$)	12	12	67,20	66,60	60,80	78		1000
Cuivre ($\mu\text{g/L}$)	10	4	1,20	-	0,20	2		2000
Fer ($\mu\text{g/L}$) **	5	0	-	-	-	-	200	
Manganèse ($\mu\text{g/L}$) **	5	3	1,10	0,60	0,39	1,10	50	
Zinc ($\mu\text{g/L}$)	10	9	12,20	5,40	2,20	32		5000

> Evolution temporelle de la concentration (mg/L) en nitrates et en chlorures

Graphique 1

> Evolution temporelle de la concentration ($\mu\text{g/L}$) en fer et en manganèse

Graphique 2

Concentration en manganèse ($\mu\text{g/L}$)

> Evolution temporelle de la concentration ($\mu\text{g/L}$) pour différents phytosanitaires (graphiques 3 et 4)

Graphique 3

Légende Graphique 1

- nitrates
- chlorures

Légende Graphique 2

- fer
- manganèse

Légende Graphique 3

- chlordécone
- bromacil
- béta HCH

Légende Graphique 4

- glyphosate
- AMPA
- dieldrine
- heptachlore époxyde
- diuron

Graphique 4

Concentration en diuron ($\mu\text{g/L}$)

* depuis 2004 - les mesures utilisées pour les tableaux et les graphiques appartiennent au domaine de validité ("DV") ** Phase aqueuse de l'eau (filtrée, centrifugée, ...)

(1) Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique - ANNEXE I et ANNEXE II.

Annexe 4

Principe du panneau électrique

La tomographie électrique (ERT pour Electrical Resistivity Tomography) est une méthode géophysique permettant d'obtenir la distribution de la résistivité électrique des matériaux (roches ou structures) en profondeur (2D et 3D selon le dispositif d'acquisition mis en place) à partir de mesures de potentiel électrique en surface. Les termes «panneau électrique» ou «tomographie électrique» sont utilisés pour qualifier une prospection électrique (initialement basée sur quatre électrodes) automatisée le long d'un profil multi-électrodes (2D) ou sur une surface (3D). Ce type d'acquisition présente l'avantage de fournir des résultats fiables en 2D ou 3D, et d'être rapidement mis en œuvre.

Le principe de base de la prospection électrique est d'injecter dans le sol un courant électrique d'intensité I entre deux électrodes A et B et de mesurer la différence de potentiel ΔV induite entre une autre paire d'électrodes M et N (figure 1).

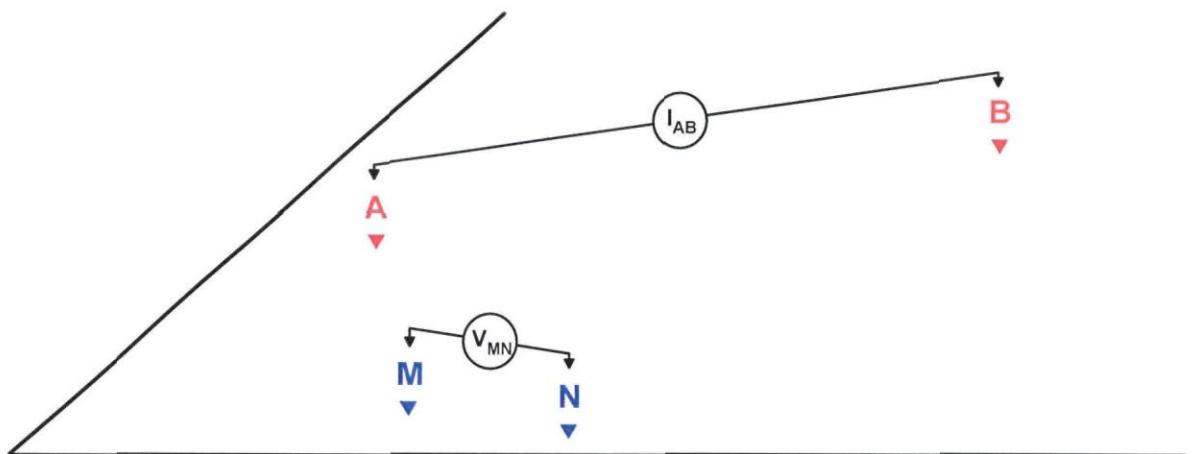


Figure 1 : Principe de la mesure en courant électrique continu

A partir de la valeur du courant injecté I , de la mesure de la différence de potentiel ΔV et de l'écartement entre les différentes électrodes, on peut déterminer la **résistivité électrique apparente** du sous-sol sur base de la loi d'Ohm :

$$\rho_{app} = K \times \frac{\Delta V}{I}$$

où K est un facteur dépendant de la géométrie du dispositif de mesure (figure 2) :

$$K = 2\pi \times \left[\frac{1}{r_{11}} - \frac{1}{r_{12}} - \frac{1}{r_{21}} + \frac{1}{r_{22}} \right]^{-1}$$

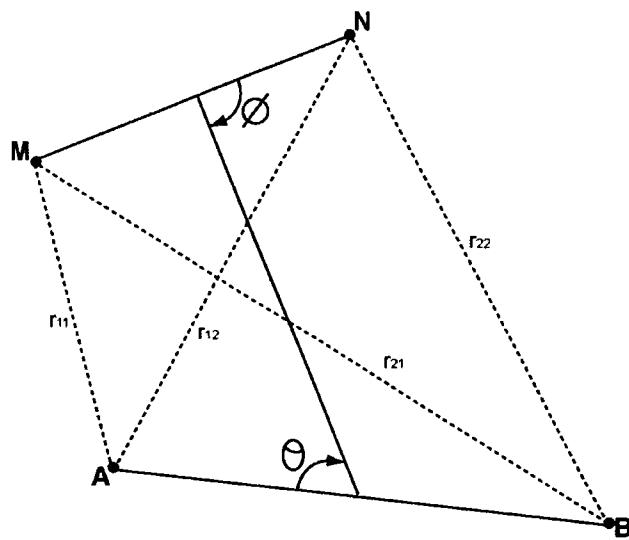


Figure 2 : Disposition générale d'électrodes où A et B sont les électrodes de courant, M et N , les électrodes de potentiel ($0 < \theta, \phi < \pi$)

La résistivité apparente d'un terrain hétérogène correspond à la résistivité d'un terrain homogène qui, pour une configuration identique des électrodes et un même courant injecté, donnerait la même mesure ΔV . Elle est fonction de la résistivité, de la géométrie des diverses couches et de la disposition des électrodes. Il existe plusieurs dispositifs d'électrodes utilisés en pratique : Schlumberger, Wenner, dipôle-dipôle, pôle-pôle , etc.

Dispositifs d'électrodes / configurations d'acquisition

Une configuration d'acquisition est une manière d'agencer géométriquement les électrodes de courant (AB) et de potentiel (MN) (soit les quadripôles ABMN) en surface. Il en existe plusieurs, chacune présentant avantages et inconvénients. Les différences majeures entre ces configurations sont la distribution des lignes de courant

électrique dans le sol et donc la forme des équipotentielles en surface ainsi que la valeur du coefficient géométrique K qui conditionnera les valeurs du courant minimal I à injecter pour mesurer un potentiel électrique minimal U fiable. Selon les équipements utilisés, certains dispositifs sont également plus rapides (dipôle-dipôle) à acquérir que d'autres (Schlumberger) grâce à des acquisitions multi-voies (plusieurs mesures de ΔV pour une injection de courant).

Pour la configuration Wenner, par exemple, la profondeur d'investigation est estimée égale à la moitié du plus grand écartement utilisé entre deux électrodes successives mais elle peut varier suivant la nature des terrains et leur résistivité. L'écartement entre électrodes détermine donc la profondeur d'investigation ainsi que les résolutions horizontale et verticale. Par rapport aux autres configurations, le dispositif Wenner rend les structures plus facilement reconnaissables sur la pseudo-section.

D'une manière générale, la mise en œuvre d'au moins deux configurations d'électrodes permet dans la plupart des contextes de mieux appréhender la géométrie des différents corps en présence. Ci-dessous sont présentées trois configurations souvent mises en œuvre avec les équipements automatisés actuels.

Le dispositif dipôle-dipôle donne une très bonne résolution des terrains de subsurface et pour les discontinuités verticales. Dans cette configuration, le rapport signal/bruit décroît rapidement et la profondeur d'investigation se réduit également (figure 3).

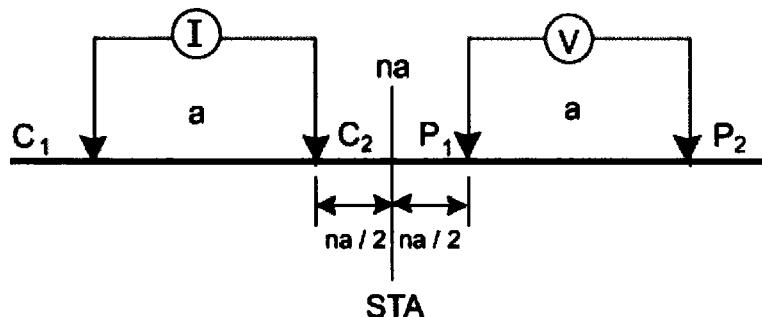


Figure 3 : Configuration dipôle-dipôle

Le dispositif Schlumberger est plus intégrant et, de ce fait, plus sensible aux effets latéraux. La résolution au niveau des horizons de sub-surface est moins bonne et celle des structures plus globale. Son intérêt majeur est la profondeur d'investigation atteinte (de l'ordre de 80m) grâce à un meilleur rapport signal/bruit (figure 4).

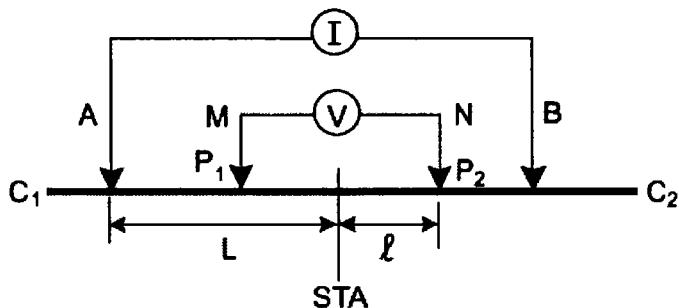


Figure 4 : Configuration de Schlumberger

Le dispositif Wenner est un dispositif présentant la particularité d'avoir trois espacements identiques entre les quatre électrodes. Avec ce dispositif, les résistivités apparentes sont moins affectées par les variations latérales superficielles (figure 5).

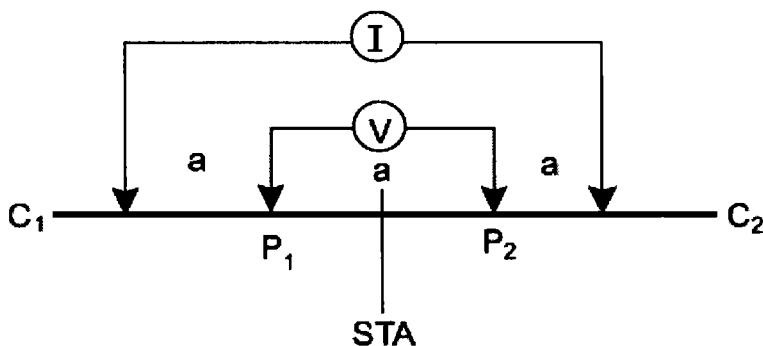


Figure 5 : Configuration de Wenner

Construction d'une pseudo-section de résistivité apparente

Après filtrage des données brutes de résistivité apparente (mesurées sur le terrain) sur la base de critère de qualité, de courant émis ou de potentiel mesuré (logiciels Iris Instruments et X2ipi), celles-ci sont agencées de manière à obtenir une coupe (pseudo-section) de résistivité apparente du sous-sol. Cette dernière est construite (automatiquement) en reportant la valeur de la résistivité apparente mesurée au centre du dispositif et à une profondeur dépendant de l'écartement entre les électrodes. Cette représentation conduit à une image pour laquelle les valeurs de résistivité (puisque apparentes) et celles de profondeur ne sont pas correctes (figure 6).

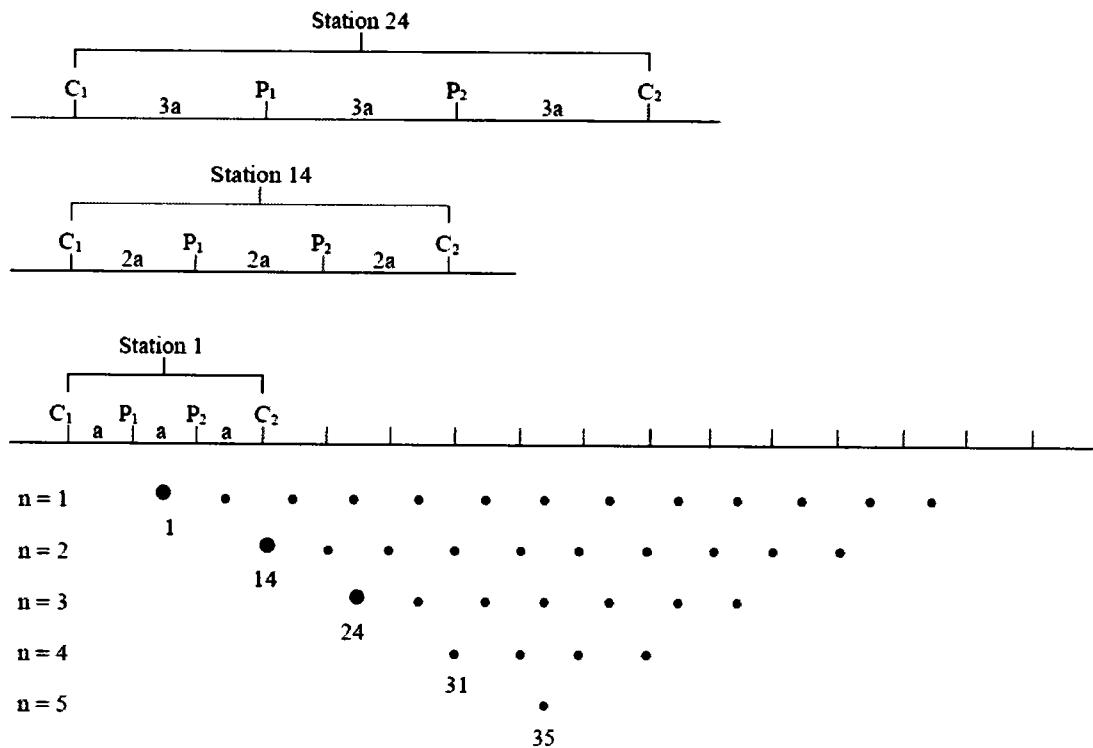


Figure 6 : Principe de construction d'une pseudo-section pour un dispositif Wenner

Traitements et inversion des données

Afin d'obtenir une image quantitative représentant les variations de résistivité réelle (et non apparente) en fonction de la vraie profondeur, il est nécessaire d'inverser la pseudo-section (figure 7). Cette étape est réalisée à l'aide du logiciel Res2DInv (Loke & Barker). Cette inversion des données est réalisée suivant un processus itératif qui tente de minimiser l'écart entre la pseudo-section de résistivités apparentes mesurées et une pseudo-section recalculée à partir d'un modèle de résistivité électrique. Ce modèle est modifié à chaque itération jusqu'à ce que les données mesurées et calculées atteignent une concordance acceptable ou jusqu'à ce qu'aucune nouvelle amélioration ne soit possible. Afin de prendre en compte les morphologies rencontrées, la topographie de chaque profil est incluse lors de l'inversion (figure 8).

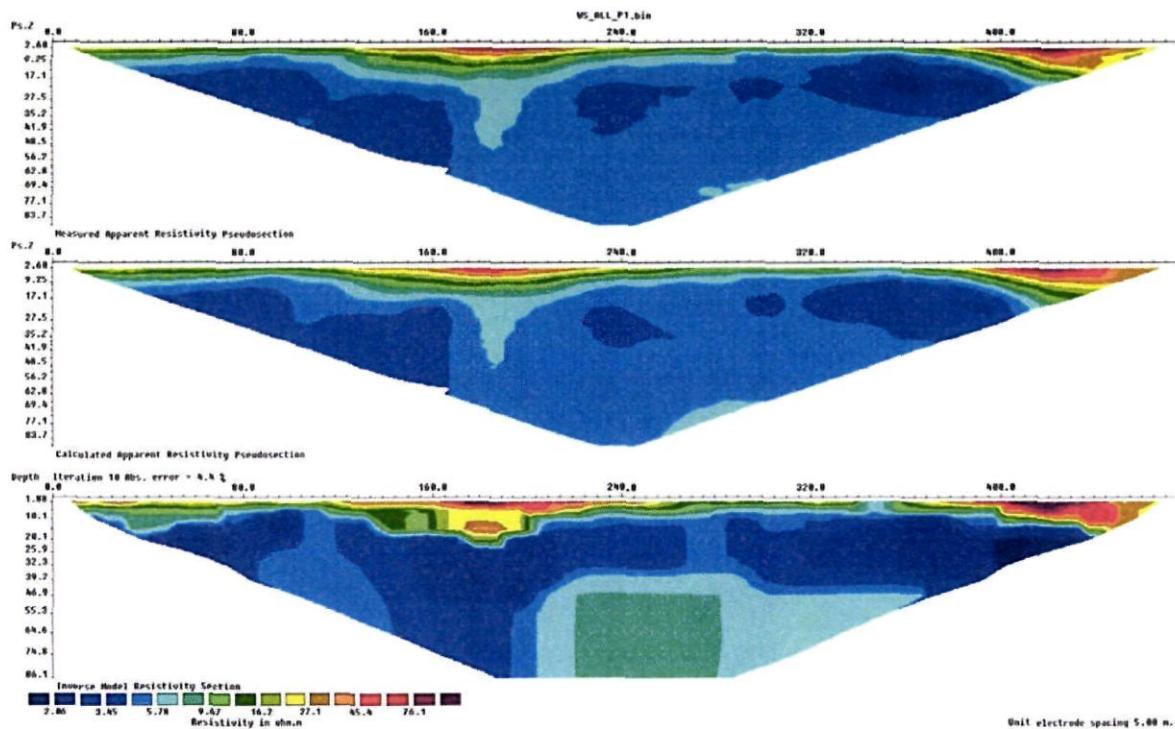


Figure 7 : Résultats complets (en images) d'une inversion. En haut la pseudo-section de résistivité apparente mesurées. En bas, le modèle de résistivité issu de l'inversion. Au centre, la pseudo-section de résistivité calculée sur la base du modèle de résistivité. L'erreur (RMS) constitue la différence entre les deux premières pseudo-sections (ici 4.4%).

La pseudosection de résistivité « vraie » (illustration du bas de la figure 7), résultat de l'inversion, sera ensuite utilisée pour l'interprétation. Elle fournit des informations quantitatives permettant de caractériser l'origine des différentes anomalies mises en évidence : résistivité, géométrie des horizons, profondeur, pendage. Les résultats de l'inversion sont présentés sous forme d'une coupe (pseudosection) semblable à celle de résistivité apparente présentant la distribution des résistivités calculées le long du profil en fonction de la profondeur. Cela pour les différentes configurations d'acquisition choisies.

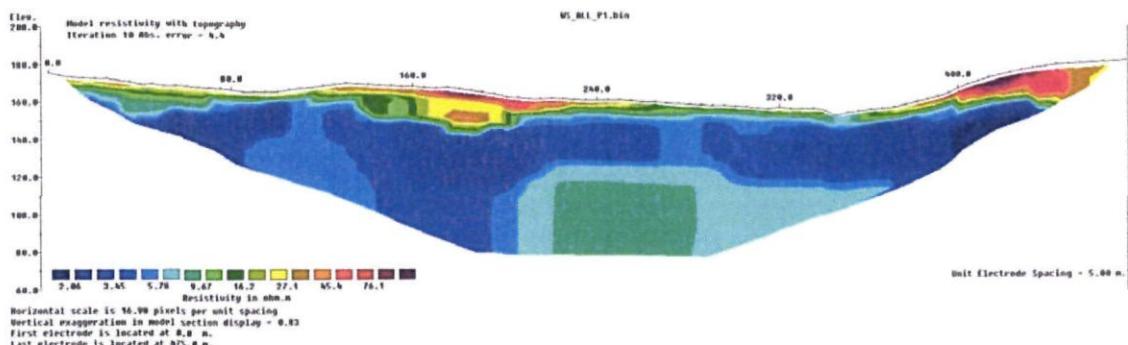


Figure 8 : Résultat de l'inversion de la figure 7 avec la topographie.

Pour chaque cas, des paramètres d'inversion sont choisis de manière à optimiser la réponse du modèle en incluant une information « à priori ».

Quelles que soient les performances des algorithmes de convergence, en l'absence d'étalonnage (résistivité étalonnée, profondeur des interfaces géoélectriques) les paramètres fournis par l'inversion ne sont pas définis de manière univoque (il y a plusieurs solutions satisfaisant au même jeu de données) et sont soumis à des principes d'équivalence. Cette indétermination ne peut être évaluée qu'en testant différentes solutions ou en contraintant l'inversion au moyen de paramètres (résistivités, épaisseurs, profondeurs) obtenus par d'autres moyens (autre méthode géophysique, diagraphies, forages, observations de terrain).

Annexe 5

Coordinnées géographiques des panneaux électriques

Nom du profil	WGS84 UTM zone 20N		Fort Desaix		Z (m)
	Abscisse (m)		X (m)	Y (m)	
MA4-0	729523	1602560	729137	1602391	39
MA4-80	729577	1602619	729191	1602450	
MA4-160	729634	1602672	729248	1602503	
MA4-240	729693	1602725	729307	1602556	
MA4-480	729852	1602905	729466	1602735	
MA4-640	729950	1603027	729564	1602858	
MA4-800	730044	1603155	729658	1602986	
MA4-950	730124	1603280	729738	1603111	98.8
MA5-0	728663	1602493	728277	1602324	60
MA5-240	728800	1602299	728418	1602130	
MA5-480	728924	1602095	728338	1601926	
MA5-710	729048	1601905	728662	1601736	
MA5-950	729179	1601708	728793	1601539	70.2
MA6-0	728743	1601892	728357	1601723	16.7
MA6-160	728877	1601976	728491	1601807	
MA6-480	729157	1602134	728771	1601965	
MA6-790	729417	1602294	729031	1602125	33.7

Nom du profil	WGS84 UTM zone 20N		Fort Desaix		Z (m)
	Abscisse (m)		X (m)	Y (m)	
MA1-0	729175	1602197	728789	1602028	30.2
MA1-80	729588	1602436	729202	1602267	
MA1-160	729852	1602588	729466	1602419	
MA1-240	729924	1602622	729538	1602453	
MA1-480	730000	1602644	729614	1602475	35.9
MA2-0	729164	1602663	728778	1602494	40
MA2-150	729265	1602552	728879	1602383	
MA2-470	729487	1602324	729101	1602155	
MA2-710	729655	1602151	729269	1601982	34.4
MA3-0	729536	1602959	729150	1602790	48.4
MA3-80	729582	1602894	729196	1602725	
MA3-160	729634	1602836	729248	1602667	
MA3-320	729734	1602716	729348	1602547	
MA3-480	729826	1602586	729440	1602417	
MA3-950	730105	1602220	729719	1602051	109



Annexe 6

Paramètres d'inversion utilisés dans Res2DInv



Pour les dispositifs dipôle-dipôle et Wenner-Schlumberger:

Inversion settings
Initial damping factor (0.01 to 1.00)
0.1500
Minimum damping factor (0.001 to 0.75)
0.03
Line search option (0=Never, 1=Sometimes, 2=Always)
2
Convergence limit for relative change in RMS error in percent (0.1 to 20)
1.0000
Minimum change in RMS error for line search in percent (0.5 to 100)
0.5000
Number of iterations (1 to 30)
10
Vertical to horizontal flatness filter ratio (0.25 to 4.0)
1.0000
Model for increase in thickness of layers(0=default 10, 1=default 25, 2=user defined)
2
Number of nodes between adjacent electrodes (2 or 4)
4
Flatness filter type, Include smoothing of model resistivity (0=model changes only,1=directly on model)
1
Reduce number of topographical datum points? (0=No,1=Yes. Recommend leave at 0)
0
Carry out topography modeling? (0=No,1=Yes)
1
Type of topography trend removal (0=Average,1=Least-squares,2=End to end)
1
Type of Jacobian matrix calculation (0=Quasi-Newton, 1=Gauss-Newton, 2=Mixed)
2
Increase of damping factor with depth (1.0 to 2.0)
1.0200
Type of topographical modeling (0=None, 1=No longer supported so do not use, 2=uniform distorted FEM,
3=underwater, 4=damped FEM, 5=FEM with inverse Swartz-Christoffel)
5
Robust data constrain? (0=No, 1=Yes)
0
Cutoff factor for data constrain (0.0001 to 0.1))
0.0100
Robust model constrain? (0=No, 1=Yes)
0
Cutoff factor for model constrain (0.0001 to 1.0)
0.0010
Allow number of model parameters to exceed datum points? (0=No, 1=Yes)
1
Use extended model? (0=No, 1=Yes)
0
Reduce effect of side blocks? (0=No, 1=Slight, 2=Severe, 3=Very Severe)
2
Type of mesh (0=Normal,1=Fine,2=Finest)
2
Optimise damping factor? (0=No, 1=Yes)
1
Time-lapse inversion constrain (0=None,1=Least-squares,2=Smooth,3=Robust)
0
Type of time-lapse inversion method (0=Simultaneous,1=Sequential)
0
Thickness of first layer (0.25 to 1.0)
0.7500
Factor to increase thickness layer with depth (1.0 to 1.25)
1.0500
USE FINITE ELEMENT METHOD (YES=1,NO=0)
1

WIDTH OF BLOCKS (1=NORMAL WIDTH, 2=DOUBLE, 3=TRIPLE, 4=QUADRUPLE, 5=QUINTUPLE)
1
MAKE SURE BLOCKS HAVE THE SAME WIDTH (YES=1,NO=0)
1
RMS CONVERGENCE LIMIT (IN PERCENT)
1.000
USE LOGARITHM OF APPARENT RESISTIVITY (0=USE LOG OF APPARENT RESISTIVITY, 1=USE RESISTANCE
VALUES, 2=USE APPARENT RESISTIVITY)
0
TYPE OF IP INVERSION METHOD (0=CONCURRENT,1=SEQUENTIAL)
0
PROCEED AUTOMATICALLY FOR SEQUENTIAL METHOD (1=YES,0=NO)
0
IP DAMPING FACTOR (0.01 to 1.0)
0.150
USE AUTOMATIC IP DAMPING FACTOR (YES=1,NO=0)
0
CUTOFF FACTOR FOR BOREHOLE DATA (0.0005 to 0.02)
0.00100
TYPE OF CROSS-BOREHOLE MODEL (0=normal,1=halfsize)
0
LIMIT RESISTIVITY VALUES(0=No,1=Yes)
1
Upper limit factor (10-50)
40.000
Lower limit factor (0.02 to 0.1)
0.025
Type of reference resistivity (0=average,1=first iteration)
0
Model refinement (1.0=Normal,0.5=Half-width cells)
1.00
Combined Combined Marquardt and Occam inversion (0=Not used,1=used)
0
Type of optimisation method (0=Gauss-Newton,2=Incomplete GN)
2
Convergence limit for Incomplete Gauss-Newton method (0.005 to 0.05)
0.010
Use data compression with Incomplete Gauss-Newton (0=No,1=Yes)
0
Use reference model in inversion (0=No,1=Yes)
0
Damping factor for reference model (0.0 to 0.3)
0.05000
Use fast method to calculate Jacobian matrix. (0=No,1=Yes)
1
Use higher damping for first layer? (0=No,1=Yes)
0
Extra damping factor for first layer (1.0 to 100.0)
2.50000
Type of finite-element method (0=Triangular,1=Trapezoidal elements)
0
Factor to increase model depth range (1.0 to 5.0)
1.000
Reduce model variations near borehole (0=No, 1=Yes)
0
Factor to control the degree variations near the boreholes are reduced (2 to 100)
5.0
Factor to control variation of borehole damping factor with distance (0.5 to 5.0)
1.0
Floating electrodes survey inversion method (0=use fixed water layer, 1=Incorporate water layer into the model)
0
Resistivity variation within water layer (0=allow resistivity to vary freely,1=minimise variation)
1
Use sparse inversion method for very long survey lines (0=No, 1=Yes)
0
Optimize Jacobian matrix calculation (0=No, 1=Yes)

0
Automatically switch electrodes for negative geometric factor (0=No, 1=Yes)
1
Force resistance value to be consistant with the geometric factor (0=No, 1=Yes)
0
Shift the electrodes to round up positions of electrodes (0=No, 1=Yes)
0
Use difference of measurements in time-lapse inversion (0=No, 1=Yes)
1
Use active constraint balancing (0=No, 1=Yes)
0
Type of active constraints (0=Normal, 1=Reverse)
0
Lower damping factor limit for active constraints
0.4000
Upper damping factor limit for active constraints
2.5000
Water resistivity variation damping factor
4.0000

Afin d'aider à l'interprétation des structures verticales les inversions ont aussi été menées avec les paramètres suivants

Inversion settings
Initial damping factor (0.01 to 1.00)
0.1500
Minimum damping factor (0.001 to 0.75)
0.03
Line search option (0=Never, 1=Sometimes, 2=Always)
2
Convergence limit for relative change in RMS error in percent (0.1 to 20)
1.0000
Minimum change in RMS error for line search in percent (0.5 to 100)
0.5000
Number of iterations (1 to 30)
10
Vertical to horizontal flatness filter ratio (0.25 to 4.0)
2.0000

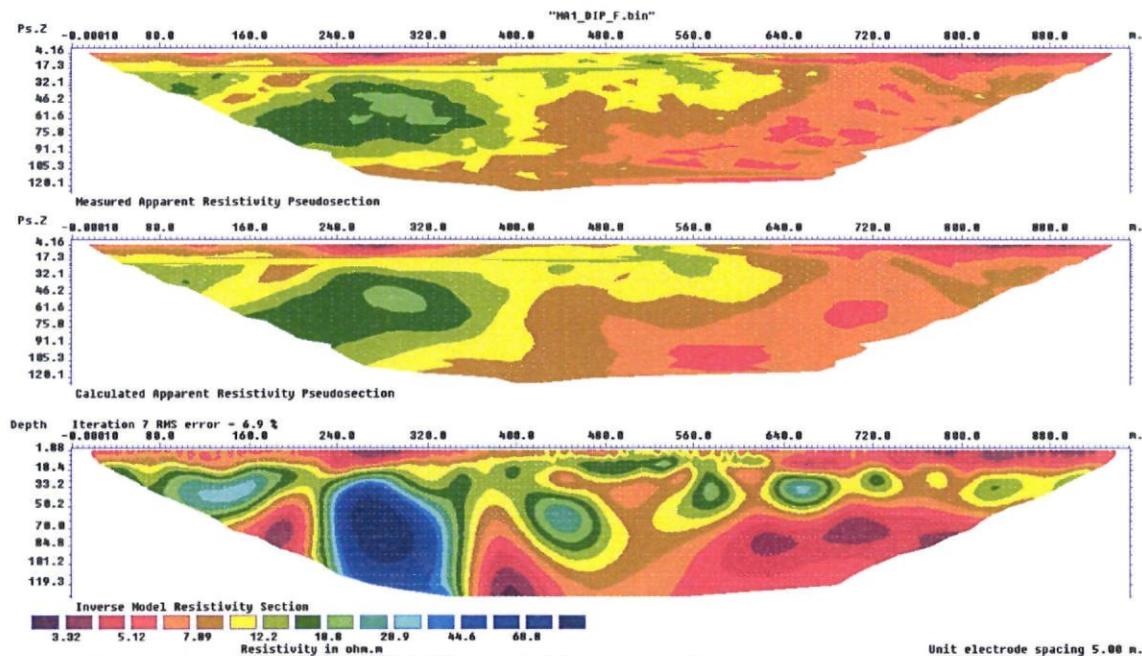


Annexe 7

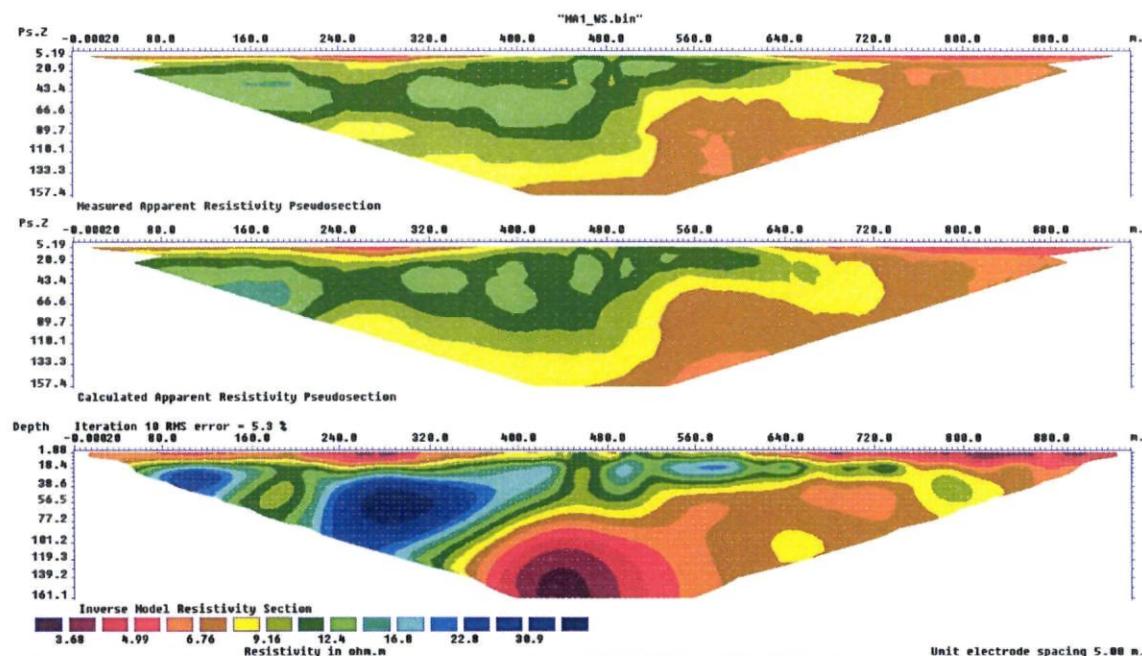
Résultats complets des inversions



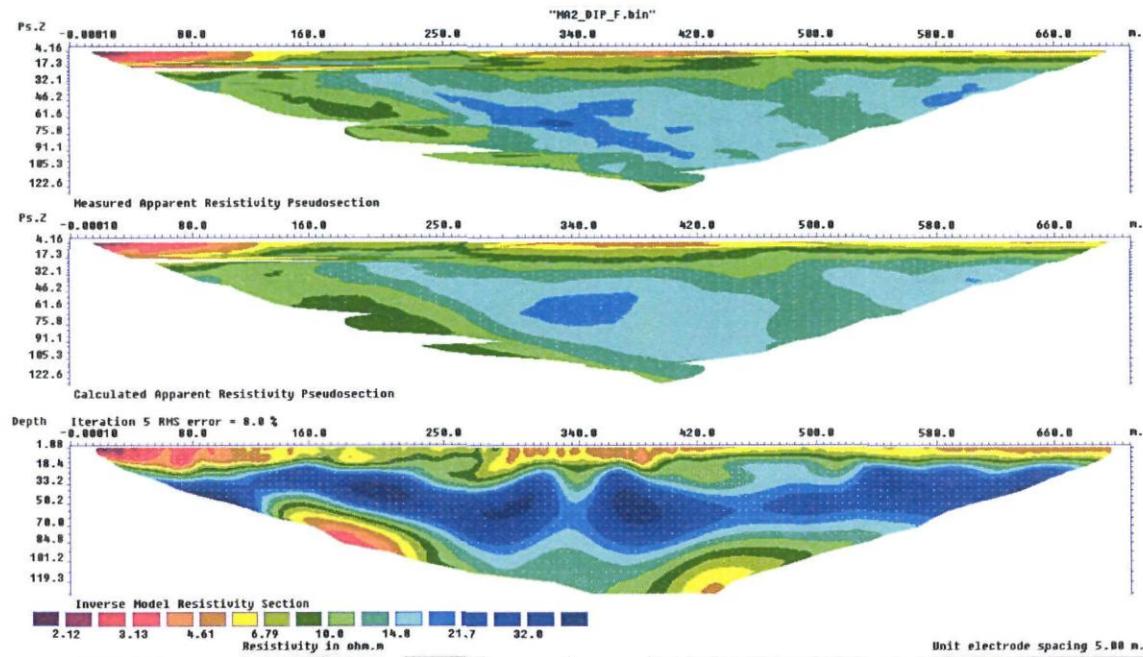
MA_P1 – Dipôle-dipôle



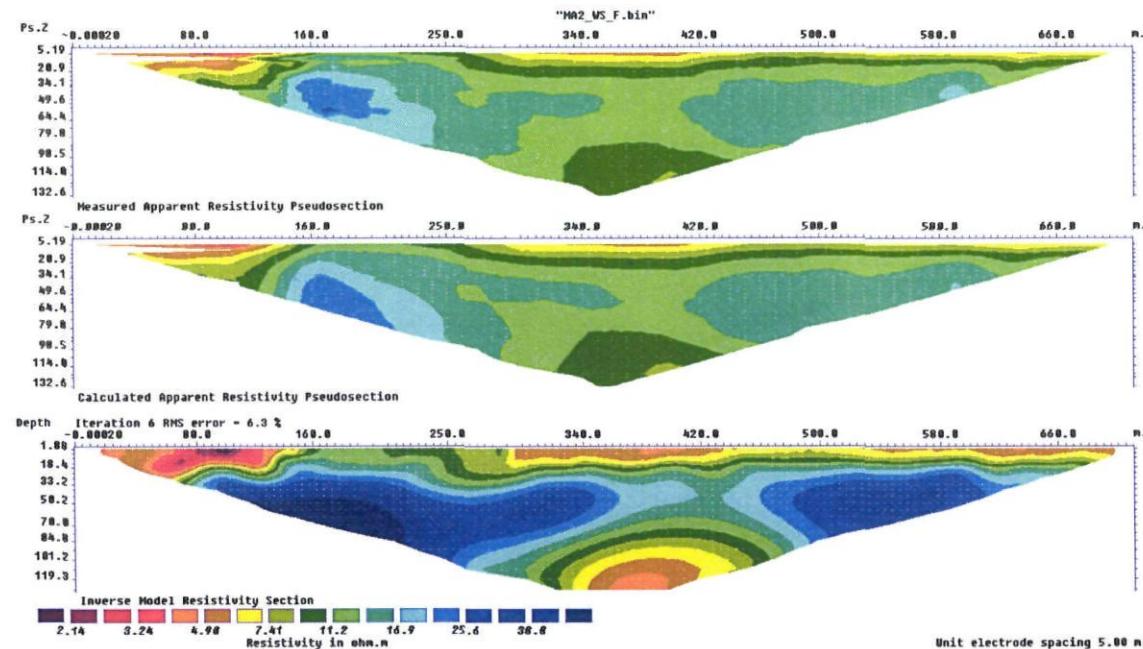
MA_P1 – Wenner-Schlumberger



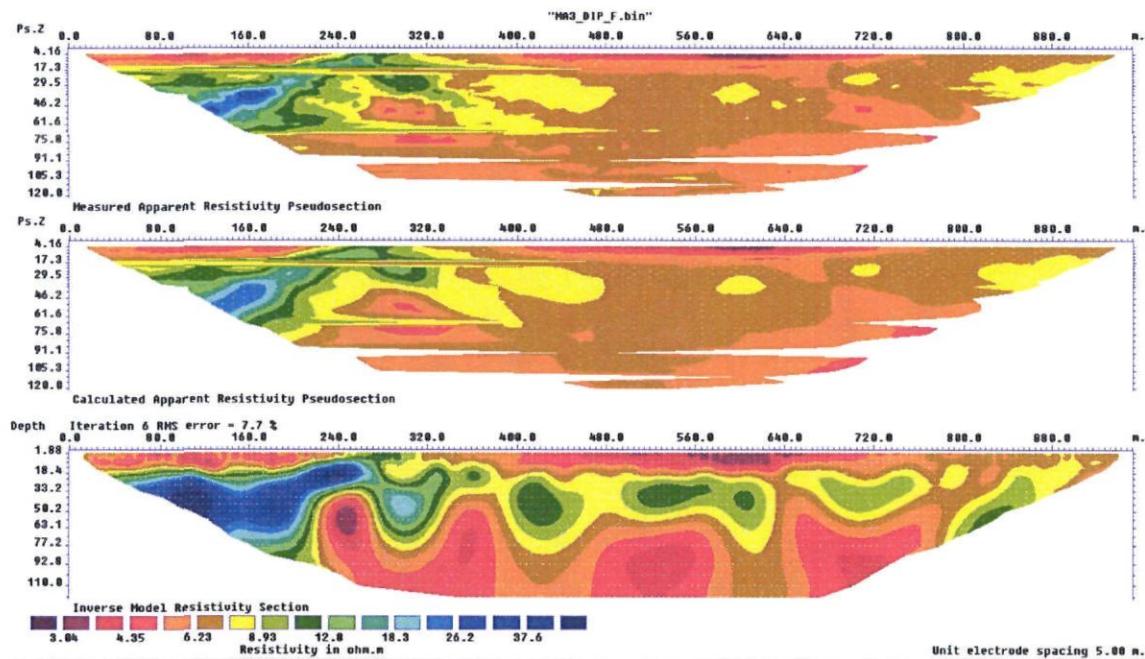
MA_P2 – Dipôle-dipôle



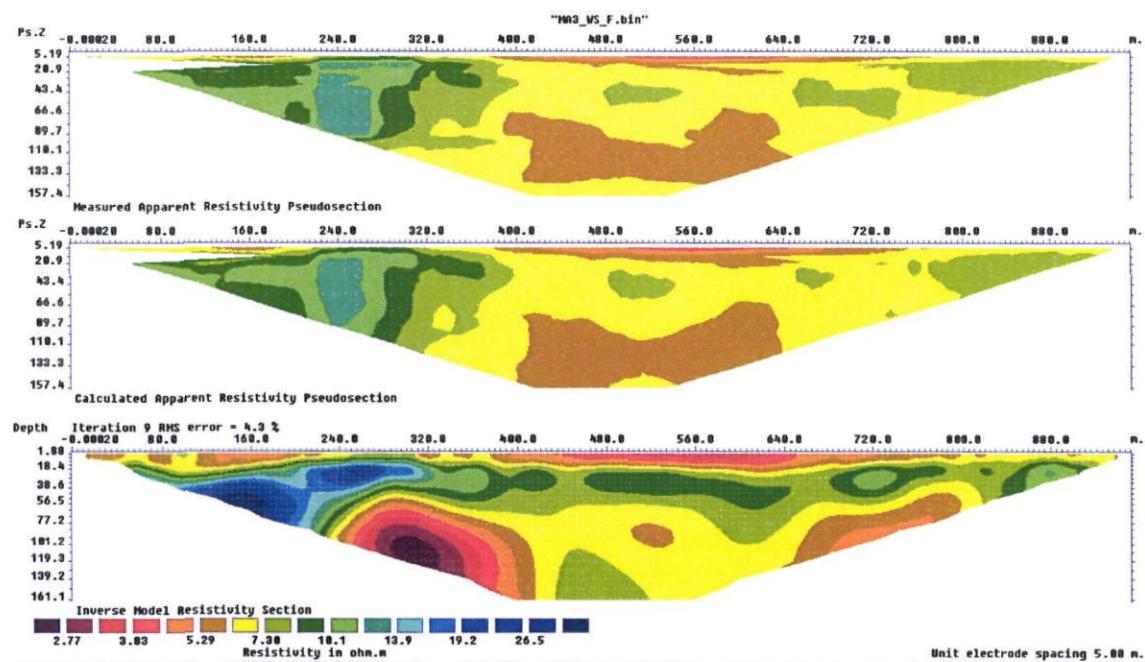
MA_P2 – Wenner-Schlumberger



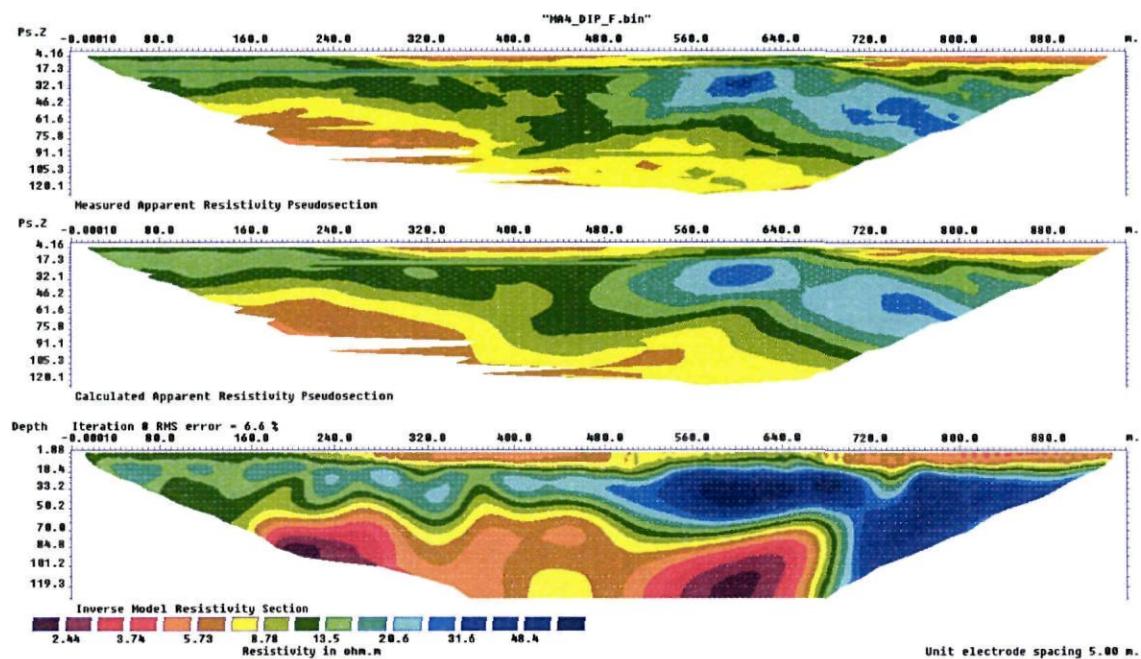
MA_P3 – Dipôle-dipôle



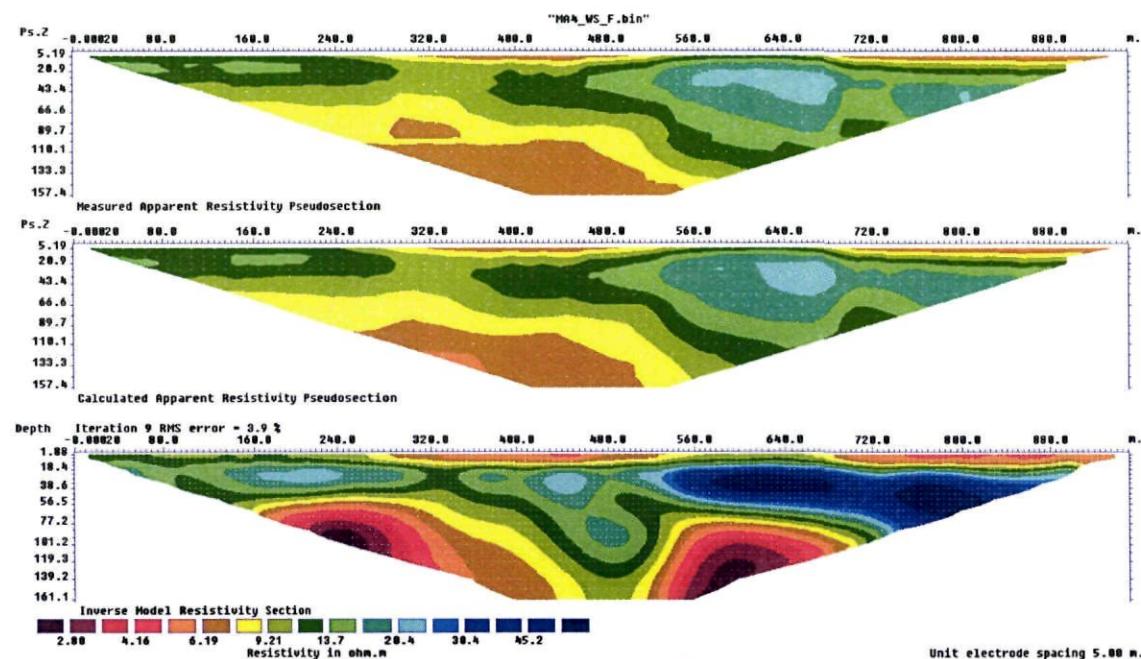
MA_P3 – Wenner-Schlumberger



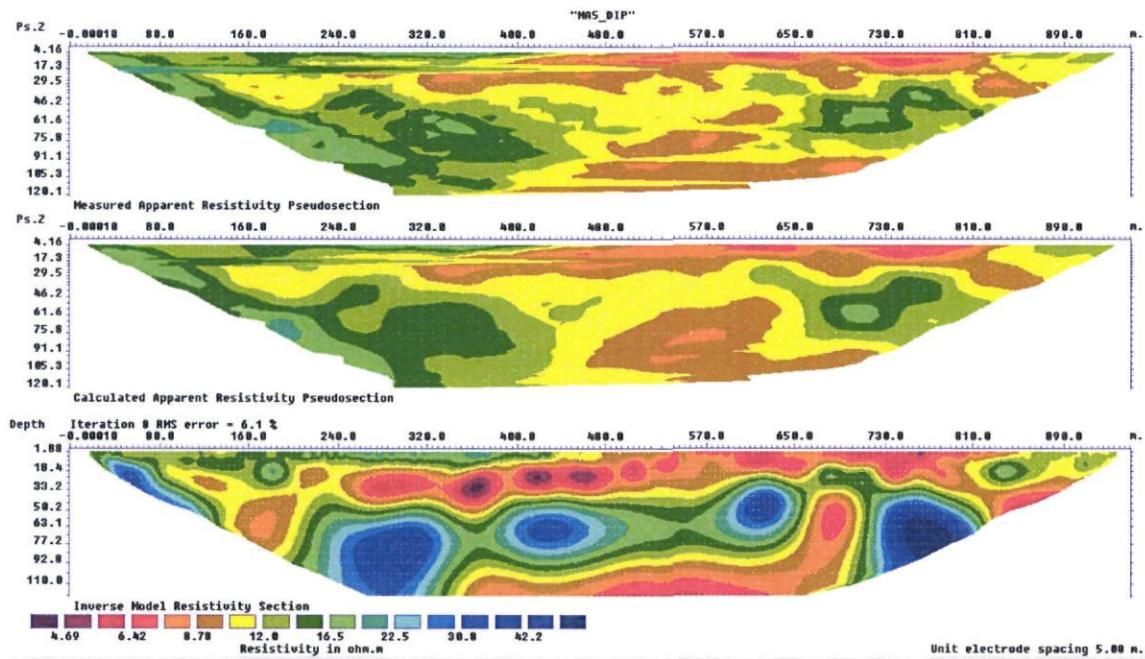
MA_P4 – Dipôle-dipôle



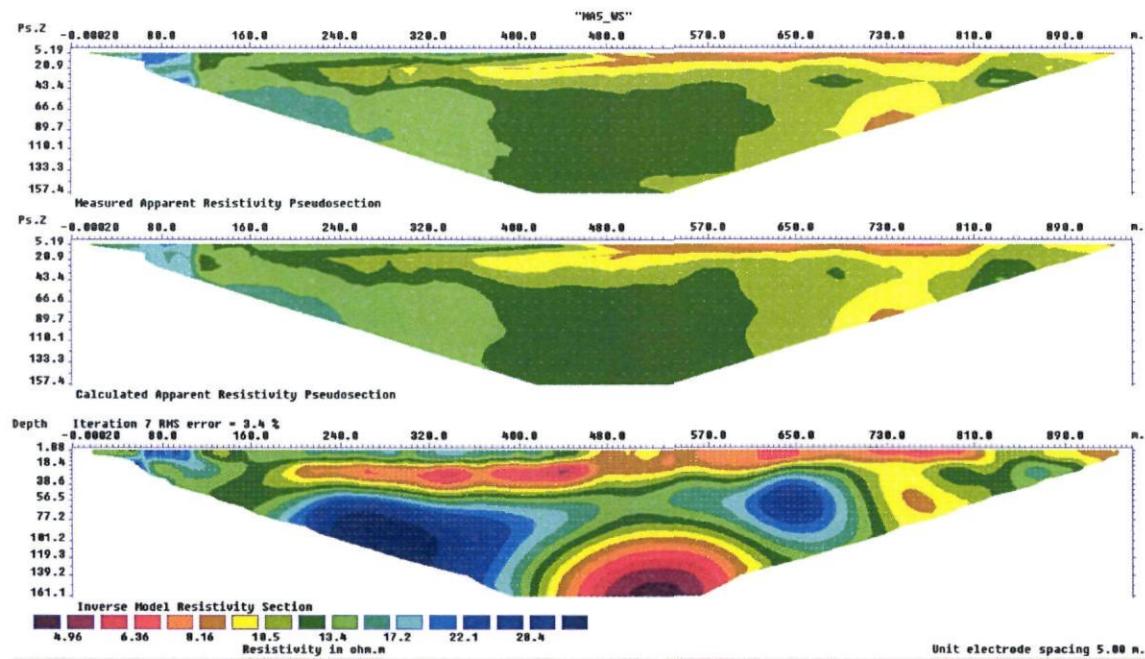
MA_P4 – Wenner-Schlumberger



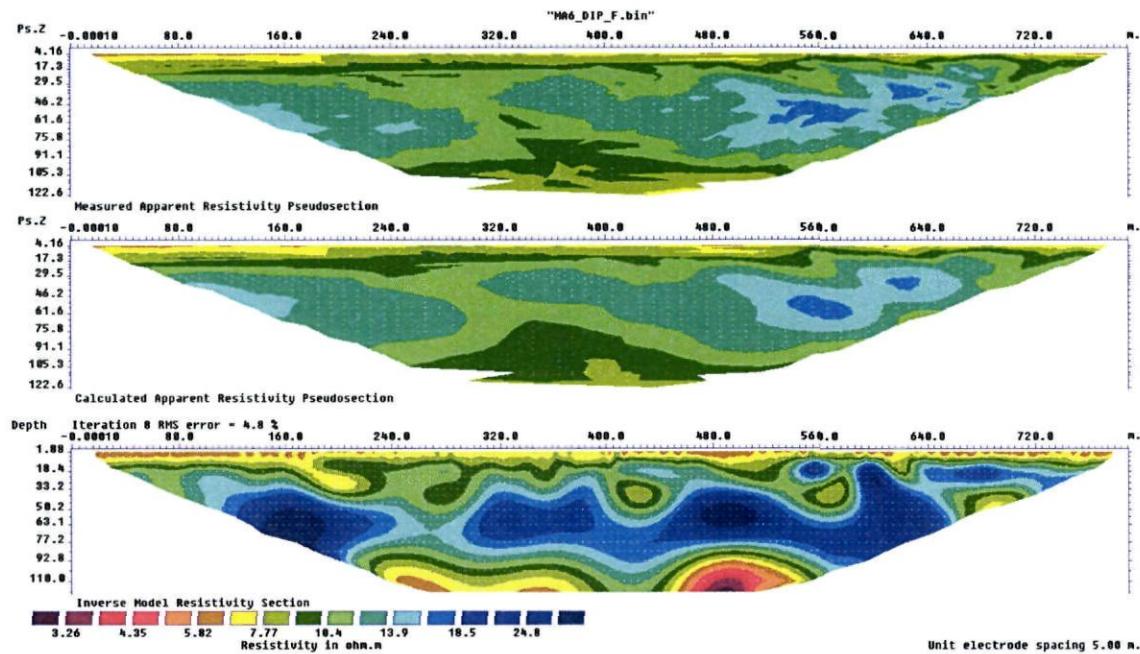
MA_P5 – Dipôle-dipôle



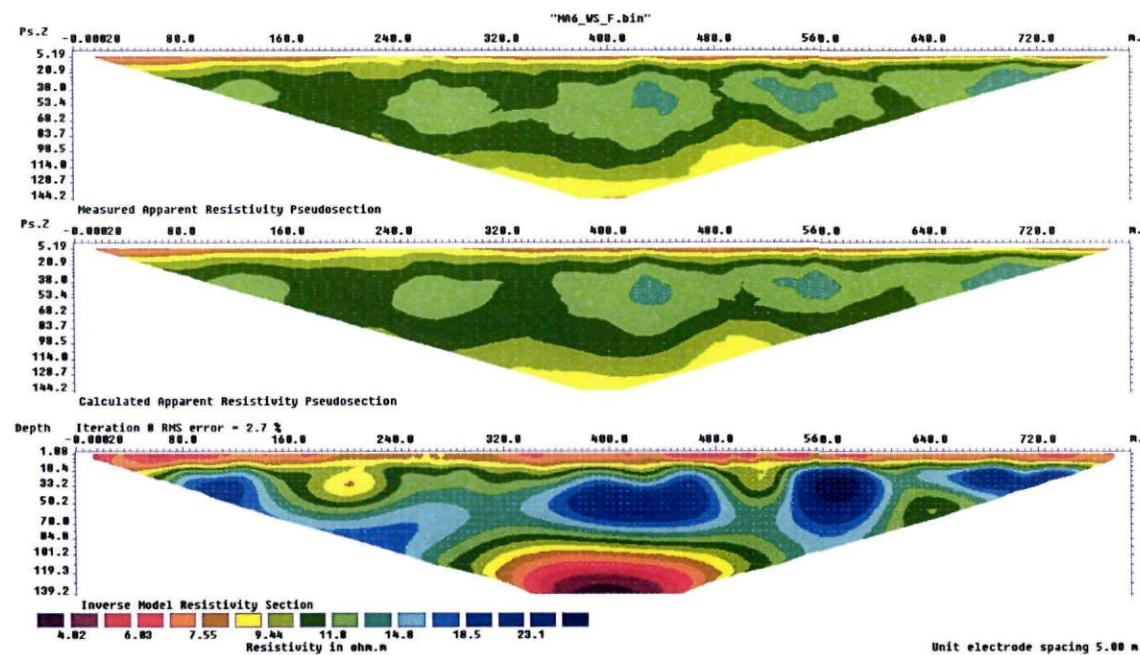
MA_P5 – Wenner-Schlumberger



MA_P6 – Dipôle-dipôle



MA_P6 – Wenner-Schlumberger





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

Service géologique régional de la Martinique
4, lot. Miramar
Pointe des Nègres
97200 Fort de France
Tél. : 05 96 71 17 70 – Fax : 05 96 63 21 15