



CAMPAGNE DE TOMOGRAPHIE ELECTRIQUE 2D A LA FOA : IDENTIFICATION DE L'INTRUSION DU BISEAU SALE

Nellie FALLEAU

Cécile SAVIN

Décembre 2009 - Janvier 2010



Expertise en Prospection Géophysique appliquée aux Ressources

Minières, à la Géotechnique et à l'Environnement

GEOPHYSICAL _ S.A.R.L. au Capital de 100.000 xpf - Ridet: 780890.001

Bureau : IRD - 101, promenade Roger Laroque – 98800 Nouméa – Nouvelle-Calédonie - Tel: 77.30.03 – Email: cecile.savin@geophysical.nc

SOMMAIRE

1	PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	6
2	ETUDE GEOPHYSIQUE	7
2.1	MISE EN EVIDENCE DU BISEAU SALE GRACE A LA TOMOGRAPHIE ELECTRIQUE BIDIMENSIONNELLE	7
2.2	DISPOSITIF UTILISE	7
3	TRAVAUX REALISES	8
4	RESULTATS ET INTERPRETATIONS	10
4.1	MESURES DE CONDUCTIVITE	10
4.2	QUALITE DES DONNEES ET VALIDATION DES MODELES OBTENUS	13
4.3	PRESENTATION ET INTERPRETATION DES PSEUDO-SECTIONS	13
4.3.1	LIGNE L2	18
4.3.2	LIGNE L2 BIS	18
4.3.3	LIGNE L2 TER	19
4.4	SYNTHESE : CARTOGRAPHIE DE L'INTRUSION DU BISEAU SALE	20
	CONCLUSION	22
	BIBLIOGRAPHIE	23

SYNTHESE

Cette étude de reconnaissance du biseau salé sur la rive gauche de la rivière La Foa a été effectuée par le bureau d'étude GEOPHYSICAL, à la demande de la DAVAR. Elle a pour but de localiser l'intrusion saline et d'établir le point zéro de sa position, afin de suivre sa progression dans l'avenir, si besoin est. La zone d'étude a été ciblée après examen des conductivités mesurées dans la rivière et dans un puits par le bureau d'étude MICA ENVIRONNEMENT : elle se situe le long de la rivière La Foa à moins d'un kilomètre du bord de mer (à vol d'oiseau) au niveau d'un barrage anti-sel dans la rivière et d'un puits, et à environ 2.5 Km du pont de la RT1.

Afin de localiser et cartographier la limite du biseau salé, une campagne de Tomographie Electrique de Résistivité 2D (ERT) a été réalisée par la société GEOPHYSICAL. Cette étude a permis d'identifier, de manière non intrusive, les lithologies et la structure du sous-sol aux abords de la rivière, ainsi que les milieux potentiellement contaminés par l'eau salé.

Les lignes de mesures initiales, localisées par MICA ENVIRONNEMENT, ont été modifiées au cours de l'étude, au vu des résultats obtenus jour après jour. Ainsi, trois lignes ont été mesurées sur la zone d'étude : L2, L2 bis et L2 ter. Pour chaque ligne, des mesures de tomographie électrique 2D (résistivités et chargeabilités) ont été réalisées, grâce à un dispositif Gradient à 64 électrodes, espacées de 10 m.

De plus, des mesures de conductivités ont été effectuées (par MICA ENVIRONNEMENT et GEOPHYSICAL) dans la rivière et au niveau du puits, situé à l'intersection des lignes L2 et L2 ter. Ces données nous ont permis, avec les mesures de tomographie, d'étudier l'impact du biseau sur les terrains selon la marée et la pluviométrie.

Les coupes géo-électriques obtenues imagent le biseau salé au niveau du profil L2 ter (le plus à l'Ouest) ; le biseau semble stoppé par une remontée de grès affleurante, empêchant l'infiltration d'eau vers l'Est (verrou géologique). En avançant vers l'Est, le grès s'enfonce plus profondément dans le sol et une couche de matériel fin (alluvions) saturée en eau douce à saumâtre apparaît en surface. Le biseau salé peut donc franchir sa limite (événements ponctuels : grandes marées, cyclones...), contaminant les niveaux fins argileux au-delà du verrou géologique : le sel est piégé par ces niveaux. L'ensemble de ces résultats nous a permis de cartographier l'intrusion du biseau salé.

Afin de mieux contraindre la géométrie du biseau salé, et d'établir un suivi continu de son évolution, il serait nécessaire de réaliser des mesures fréquentes de conductivité dans la rivière La Foa, en aval et en amont du barrage anti-sel, et au niveau du puits. De plus, une mesure future de tomographie électrique 2D permettrait d'imager l'évolution de la contamination des milieux par l'eau de mer, et la progression du biseau salé.

Introduction

Cette étude de reconnaissance du biseau salé sur la rive gauche de la rivière La Foa a été effectuée par le bureau d'étude GEOPHYSICAL, à la demande de la DAVAR. Elle a pour but de localiser le biseau salé ; cet « état zéro » du biseau permettra, si besoin est dans l'avenir, de suivre sa progression à l'intérieur des terres, et de prévenir la contamination de la nappe par l'eau salée.

Trois précédentes études nous ont permis d'identifier l'intrusion du biseau salé aux abords de la rivière Tontouta (SAVIN, 2007, MOTA et SAVIN, 2009) : les signatures géo-électriques des dépôts alluviaux, saturés en eau douce à salée, ont été identifiées à Tontouta. Ces données, couplées aux données géologiques de la région de La Foa, nous ont permis d'isoler les principales lithologies en présence au niveau de la rivière La Foa.

Une campagne de tomographie électrique bidimensionnelle a été réalisée sur la rive gauche de la rivière La Foa par la société GEOPHYSICAL, du 30 Novembre au 3 Décembre 2009, afin d'identifier et de localiser le biseau salé. Deux lignes L1 et L2 ont tout d'abord été repérées (d'après MICA ENVIRONNEMENT). Cependant, au regard des résultats obtenus sur la ligne L2, le profil L1 initial n'a pas été mesuré, et deux « nouvelles » lignes ont été implantées. Ainsi, au final, trois lignes d'étude ont été mesurées, selon un dispositif Gradient à 64 électrodes, espacées de 10 m. La profondeur d'investigation d'un tel dispositif est d'environ 90 mètres. Une première ligne L2, de 1410 m de long, a tout d'abord été mesurée. Sa topographie a également été levée au GPS (Trimble Pro XRS). Deux autres lignes, L2 bis (630 m) et L2 ter (790 m), ont ensuite été mesurées, afin d'obtenir une couverture de la zone la plus large possible (cf. Figure 5).

Après une brève description de la zone d'étude (chapitre 1), des propriétés hydrologiques et électriques d'un milieu contaminé par l'eau salée, et du dispositif utilisé lors de cette campagne (chapitre 2), ce rapport détaille l'ensemble des travaux réalisés sur la zone d'étude (chapitre 3). La quatrième partie présente les résultats obtenus et les interprétations issues des images géo-électriques.

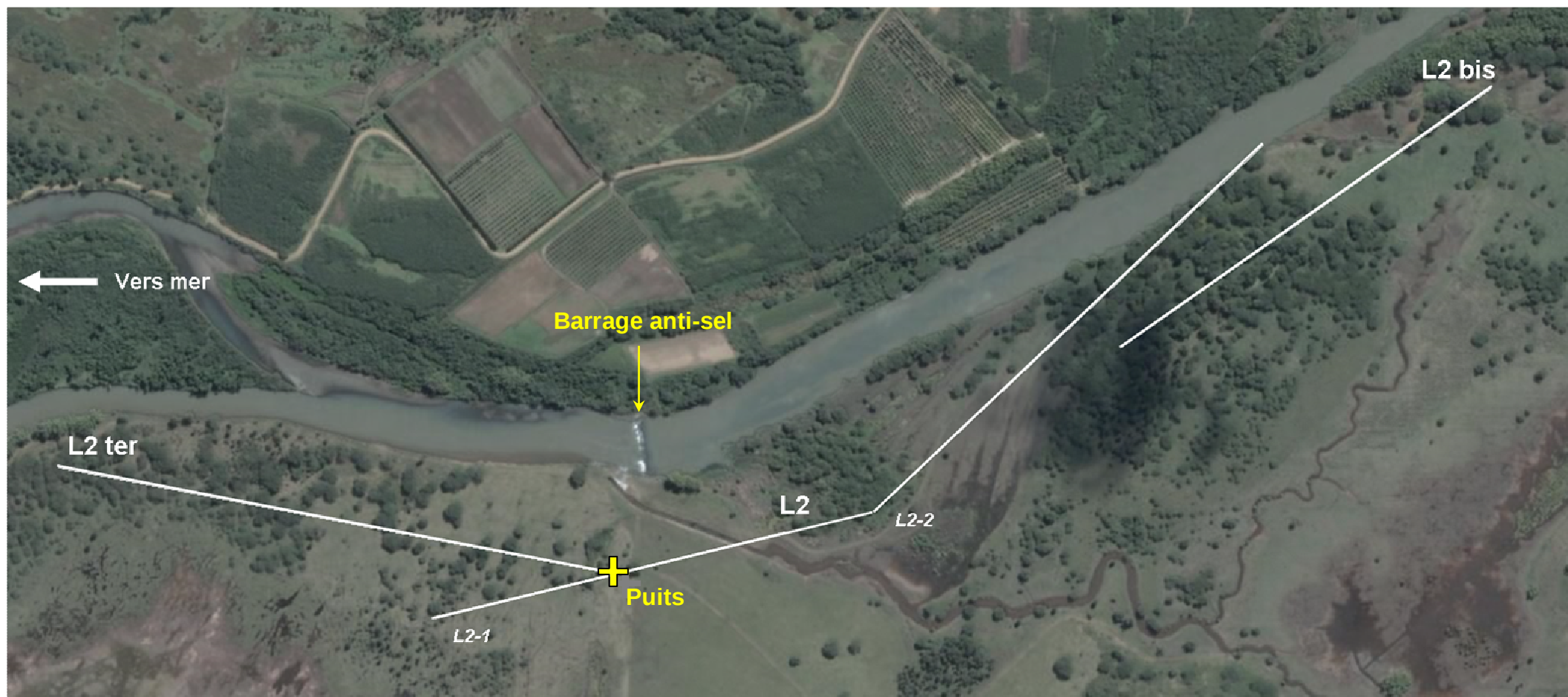


Figure 1 : Ensemble de la zone d'étude, et présentation des trois lignes mesurées

1 Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude se situe le long de la rivière La Foa à moins d'un kilomètre du bord de mer (à vol d'oiseau) et à 2.5 km du pont de la RT1, au niveau d'un barrage anti-sel dans la rivière et d'un puits.



Figure 2 : Vue d'ensemble de la région de La Foa (source : Google Earth)

Les faciès géologiques cartographiés dans cette région (Données DIMENC) indiquent une large formation de matériel sédimentaire volcanoclastique (grès), surmontée par des alluvions, aux abords de la rivière.

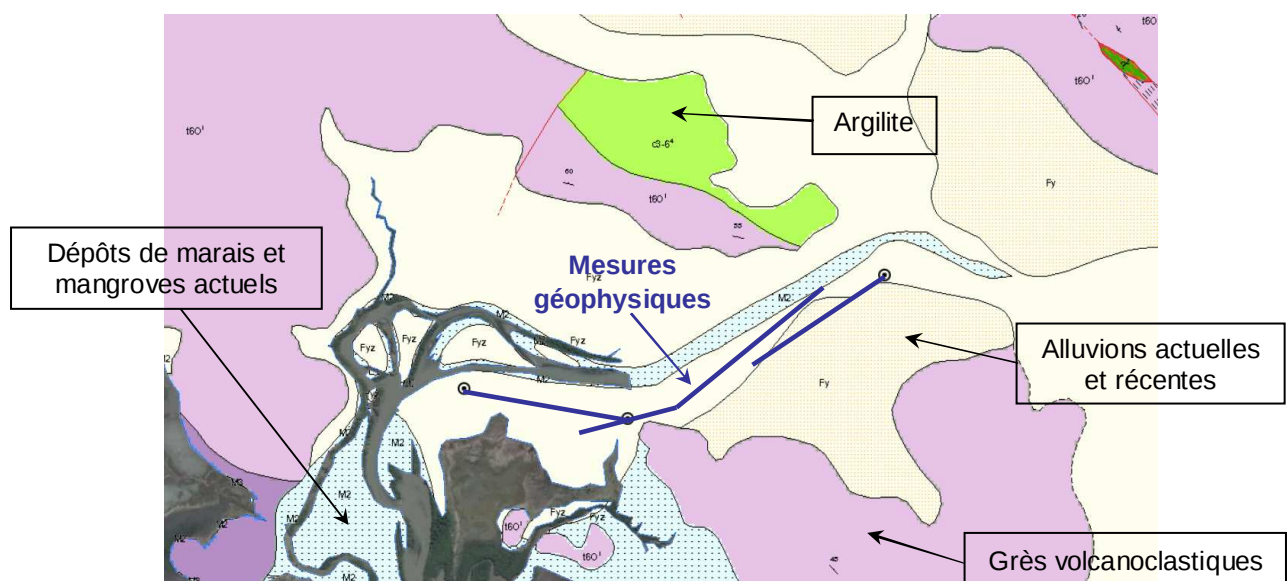


Figure 3 : Carte géologique au 1/50 000ème de la région de La Foa (source : DIMENC)

2 Etude géophysique

2.1 Mise en évidence du biseau salé grâce à la tomographie électrique bidimensionnelle

La tomographie électrique permet de déterminer la résistivité des matériaux du sous sol. Cette résistivité va dépendre de la lithologie de ces matériaux mais aussi, si la roche est perméable, de la conductivité de l'eau qu'elle contient. Ainsi, étant donné que l'eau salée présente une conductivité très élevée (c'est-à-dire une résistivité très faible), la tomographie électrique se révèle être un bon outil concernant la caractérisation du biseau salé (Figure 2). Le biseau salé présente les propriétés suivantes (1) une avancée en forme conique ; (2) des résistivités très faibles (inférieures à 5 Ohm.mètres) quelque soit la nature des terrains ; (3) des résistivités de sub-surface très faibles également (inférieures à 20 Ohm.mètres environ), quelque soit la nature des matériaux.

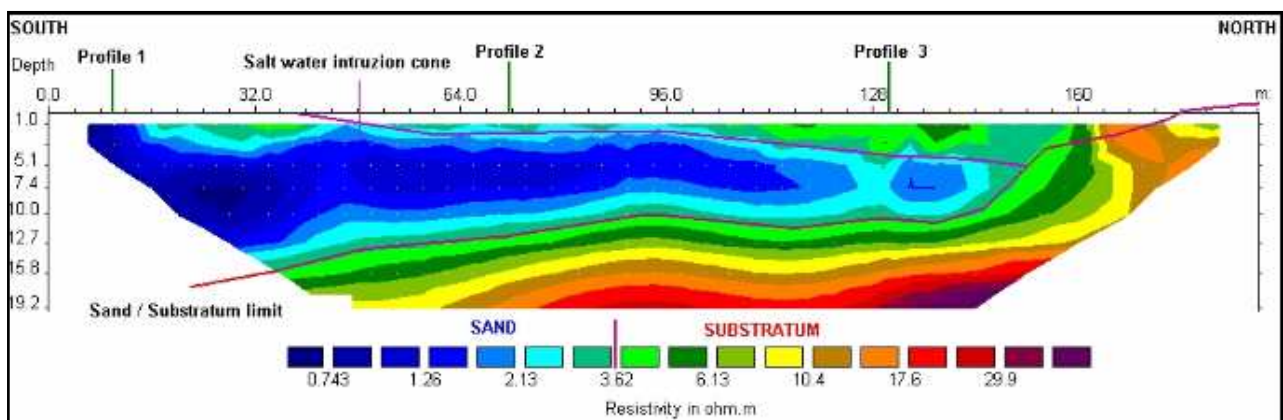


Figure 4 : Mise en évidence du biseau salé avec la TE2D

2.2 Dispositif utilisé

Lors des campagnes ERT 2D, plusieurs dispositifs de mesure peuvent être utilisés (Wenner, Gradient, Wenner-Schlumberger, Grad-Wen...). Le choix du dispositif à utiliser va ainsi dépendre de la problématique de l'étude. Pour plus de précisions théoriques sur les dispositifs de mesure, l'acquisition des mesures, et le traitement des données, se reporter aux précédents rapports (SAVIN, 2007, MOTA et SAVIN, 2009).

A La Foa, l'ensemble des profils à mesurer est situé proche de la rivière. Afin d'imager au mieux le biseau salé, en longueur et en profondeur, des profils de 630 m (.ORG) minimum ont été mesurés, grâce à un équipement de Tomographie de Résistivité Electrique 2D de marque ABEM : le "Lund Imaging System".

Un protocole de type Gradient (Grad 464) a été utilisé (1360 points pour 340 mesures, pour le profil .ORG, 624 points pour 156 mesures, pour le profil .UP), utilisant quatre câbles de 16 sorties chacun, espacées de 10 m (soit 64 électrodes par profil .ORG). La profondeur d'investigation de ce type de dispositif est d'environ 90 m. Pour chaque profil, les résistivités et les chargeabilités ont été mesurées.

3 Travaux réalisés

Les mesures ont été réalisées sur la rive gauche de la plaine alluviale de la rivière La Foa. Le 19 Octobre 2009, une visite de terrain en présence de Cécile SAVIN (Ingénieur GEOPHYSICAL - gérante), Christelle MOTA (Ingénieur GEOPHYSICAL), Anatole PUTAOHE (technicien GEOPHYSICAL) et Jean-Charles MONTAUFIER (MICA ENVIRONNEMENT) a permis de repérer l'ensemble des lignes de mesure (initialement deux profils L1 et L2, cf. Figure 5).

L'acquisition des mesures a été réalisée par Anatole PUTAOHE, Christelle MOTA (journée du 3 Décembre), et trois manœuvres de La Foa. Les lignes ont été mesurées selon un dispositif Gradient à 64 électrodes, espacées de 10m.

L'ouverture de la ligne L2 a débuté, le 30 Novembre 2009 (orientation : N 75°).

Le 1^{er} Décembre, la mesure de cette ligne a commencé : un profil ORG a tout d'abord été implanté et mesuré, le matin. La prolongation de ce profil ORG vers l'Est étant difficile, du fait d'un marécage, son orientation a été modifiée (nouvelle orientation : N 45°). Deux profils UP ont été mesurés dans la journée, suivant cette nouvelle orientation. Notons la présence d'un puits au niveau du centre du profil .ORG de L2, où des mesures de conductivités ont été effectuées durant environ 5 heures (voir chapitre 4).

Le 2 Décembre, trois UP ont été mesurés au niveau de la ligne L2. Les deux dernières électrodes du dernier UP n'ayant pas pu être implantées (limite de rivière), la longueur totale du profil L2 (1 ORG + 5 UP) est plus courte de 20 m, et s'étend sur 1410 m.

La seconde partie de la ligne L2 est plus proche de la rivière que la ligne théorique (cf. Figure 5) : les résistivités mesurées peuvent être influencées par la présence la rivière, quasiment sus-jacente. Afin de minimiser le bruitage des données, un second profil L2 bis (1 ORG, 630 m de long) a été repéré et mesuré plus loin de la rivière, le 2 Décembre 2009. Cette ligne est parallèle à la rivière et presque confondue avec le profil théorique initial.

Au regard des résultats obtenus, le biseau salé ne semble pas se situer en amont des profils déjà mesurés : **le profil L1 initial n'a pas donc pas été mesuré car il ne présente aucun intérêt en terme d'intrusion du biseau salé.**

Le biseau salé se trouve apparemment en aval du puits et du barrage anti-sel : une troisième ligne L2 ter a donc été repérée, ouverte et mesurée le 3 Décembre 2009. Son extrémité Sud-Est (première électrode) se situe au niveau du puits. Cette ligne a été prolongée de 160 m (1 UP) : son extrémité Nord-Ouest atteint la rivière La Foa. La longueur totale du profil L2 ter est de 790 m (1 ORG + 1 UP). Grâce à cette dernière ligne, la limite du biseau salé a pu être identifiée.

Notons que la topographie de la ligne L2 a été levée par Christelle MOTA le 3 Décembre, grâce à un GPS *Trimble Pro XRS*.

Remarque : la ligne L2 n'est pas rectiligne : son orientation change dès le premier UP. Afin d'obtenir une image fiable de cette mesure (les points mesurés aux abords du points d'inflexion ne caractérisent pas le sous-sol à l'aplomb de la ligne implantée), la ligne L2 a été scindée en deux profils distincts d'orientations différentes (un profil de 630 m, et un profil de 780 m). Cependant, les résultats obtenus (profil L2 complet, ou profil L2 divisé en deux profils distincts) sont similaires. Les caractéristiques des layons étudiés et inversés sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Lignes	Date de mesure	Dispositif	Longueur	Nombre de profils	Orientation plan	Equipe
L2	01/12/2009	Gradient 64 E-10m	1410 m	1 ORG + 5 UP	SW-NE	*AP, **4m
L2 - 1	01/12/2009	Gradient 64 E-10m	630 m	1 ORG	SW-NE - N 75°	AP, 4m
L2 - 2	01/12/2009	Gradient 64 E-10m	780 m	5 UP	SW-NE - N 45°	AP, 4m
L2 bis	02/12/2009	Gradient 64 E-10m	630 m	1 ORG	SW-NE - N 55°	AP, ***CM, 4m
L2 ter	03/12/2009	Gradient 64 E-10m	790 m	1 ORG + 1 UP	SE-NW - N 100°	AP, 4m

Tableau 1 : Caractéristiques des profils de mesures

La figure 5 ci-dessous présente l'ensemble des layons théoriques et mesurés. En violet, les lignes théoriques localisées par MICA ENVIRONNEMENT ; en blanc, les lignes mesurées par GEOPHYSICAL.

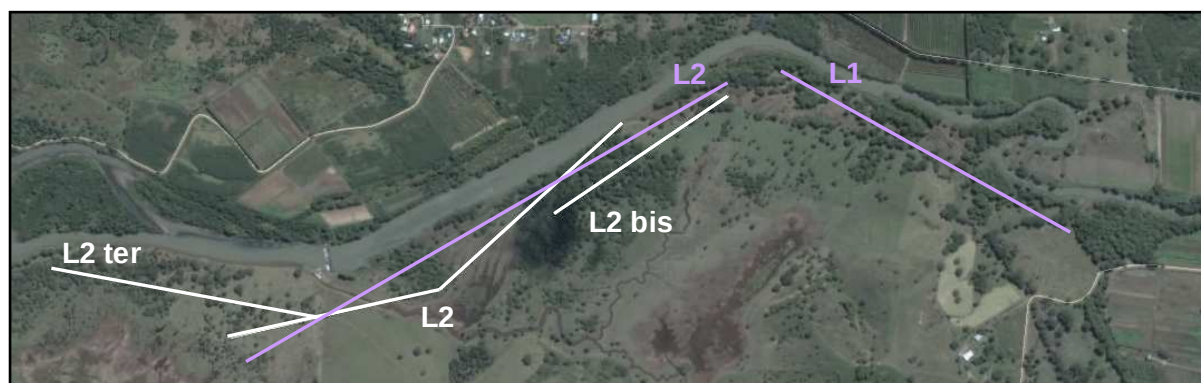
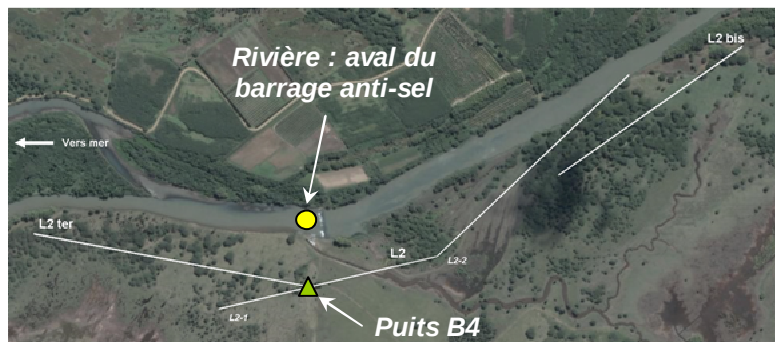


Figure 5 : lignes théoriques et mesurées à La Foa

4 Résultats et interprétations

4.1 Mesures de conductivité



Des mesures de conductivités ont été effectuées au niveau du puits durant environ 5 heures (mesures GEOPHYSICAL), en Décembre 2009. Des mesures de conductivités ont également été faites par le bureau d'étude MICA ENVIRONNEMENT, au niveau du puits et dans la rivière (en aval direct du barrage anti-sel et sous le pont de la RT1), en Novembre 2009 et Janvier 2010.

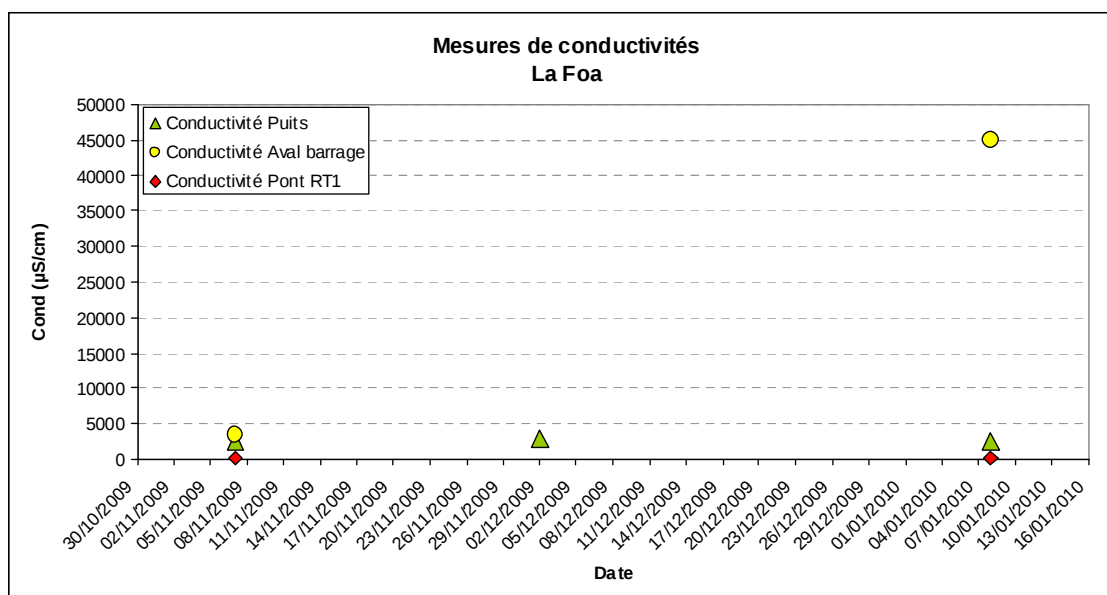
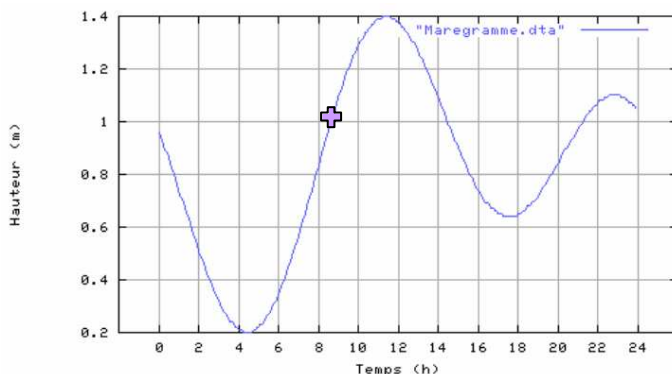


Figure 6 : mesures de conductivités dans le puits et la rivière

Tout d'abord, les conductivités mesurées au niveau du pont de la RT1 sont faibles, et caractéristiques d'une eau douce ($\sigma = 230 \mu\text{S/cm}$). Aucune intrusion d'eau salée n'atteint la ville de La Foa.

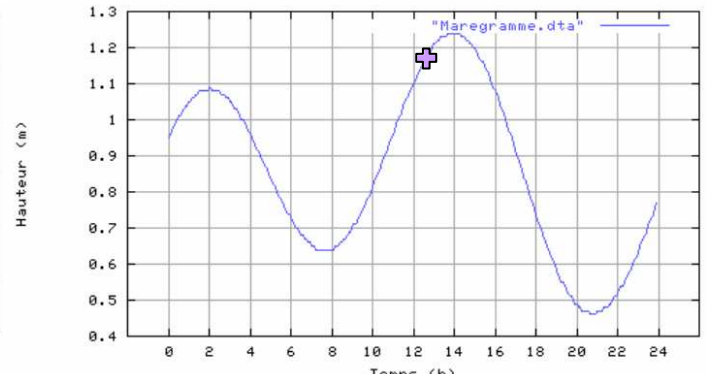
En revanche, les conductivités mesurées en aval du barrage anti-sel montrent des variations importantes. En Novembre, l'eau de la rivière était saumâtre ($\sigma = 3450 \mu\text{S/cm}$), alors qu'en Janvier, une importante concentration de sel était mesurée ($\sigma = 44\,900 \mu\text{S/cm}$).

En étudiant les marégrammes (cf. graphiques ci-dessous), on remarque que les mesures de conductivité du 7 Novembre 2009 et du 8 Janvier 2010 ont été levées dans des états de mer similaires : en marée montante (quasiment à marée haute le 8 Janvier), et pour des augmentations de niveau de la mer supérieures à 1 m. En revanche, les valeurs de conductivités obtenues en Novembre et en Janvier sont très différentes : la concentration en sel de la rivière ne semble donc pas directement liée au cycle marégraphique.



Marégramme : 07/11/2009

Données SHOM



Marégramme : 08/01/2010

Données SHOM

✚ Mesure de conductivité

La période de sécheresse observée entre Novembre et Janvier a probablement engendré un abaissement du toit de la nappe. En Janvier, celle-ci se trouvait plus basse qu'en Novembre : le débit de la rivière La Foa (et donc la hauteur et le volume d'eau) était donc plus faible en Janvier qu'en Novembre (cf. Figure 7). Cependant, le flux d'eau salée remontant la rivière à chaque cycle tidal est inchangé de Novembre à Janvier. La concentration en sel de la rivière était donc plus importante en Janvier qu'en Novembre, en aval du barrage anti-sel, engendrant des conductivités plus élevées.

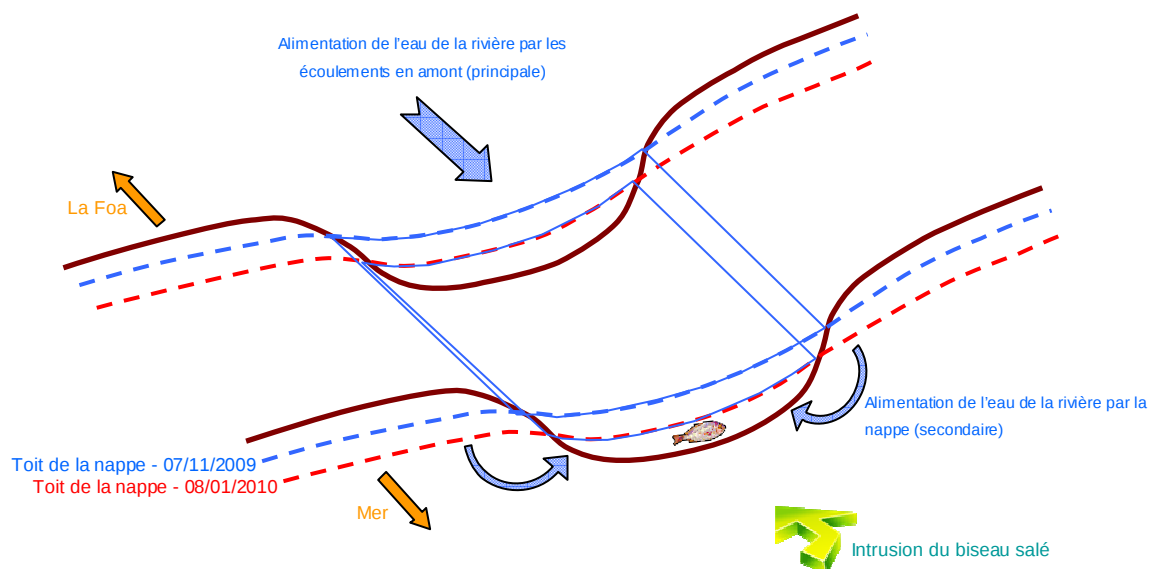
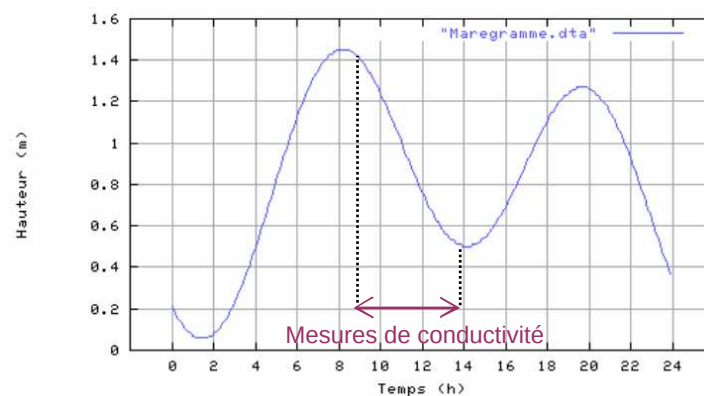


Figure 7 : Bilan hydrique qualitatif de la rivière La Foa

→ Ce phénomène de battement de la nappe est probablement seul responsable des variations de conductivités observées en aval du barrage, entre Novembre et Janvier. Des mesures de conductivités en amont du barrage anti-sel auraient permis d'éprouver son efficacité, et de confirmer l'hypothèse émise plus haut.

Les mesures du 2 Décembre 2009 ont été effectuées pendant 5 heures, durant la marée descendante. Ces données de conductivités sont constantes (cf. Figure 8), et semblent prouver que le cycle tidal n'engendre pas de variation de conductivité au niveau du puits : aucune flux d'eau salée dans le sol n'a été détectée, le 2 Décembre 2009.



Marégramme : 02/12/2009
Données SHOM

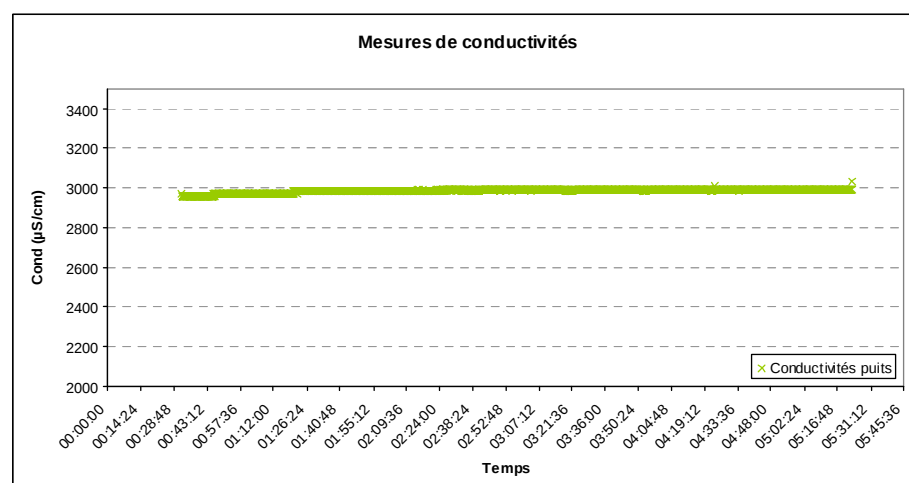


Figure 8 : Mesures de conductivité dans le puits, durant 5 heures

De plus, les mesures effectuées dans le puits, en Novembre, Décembre et Janvier, sont constantes (σ moyenne = 2693 $\mu\text{S/cm}$, cf. Figure 6) : on peut donc supposer que l'onde de marée n'affecte pas les terrains proche du puits.

4.2 Qualité des données et validation des modèles obtenus

Les valeurs obtenues sur le terrain sont des résistivités apparentes. Le logiciel d'inversion géophysique Res2DInv élabore un modèle à partir des résistivités apparentes mesurées, calcule les résistivités apparentes issues de ce modèle, et détermine l'erreur entre les données mesurées et les données calculées (notion de RMS).

Concernant l'inversion géophysique, le mode HC-RD a été utilisé. Il modélise des blocs dont la taille est égale à la moitié de l'espacement inter-électrodes (blocs de 5 mètres dans notre cas) induisant une bonne résolution latérale et verticale. De plus, il minimise les valeurs absolues des résistivités mesurées et calculées, et offre un meilleur contraste entre les zones de résistivités différentes.

Enfin, pour l'intégration de la topographie, l'inversion a été réalisée en utilisant une grille d'arrangement des blocs selon la transformation inverse de Schwartz-Christoffel, qui minimise les distorsions.

Les données obtenues sur l'ensemble des profils sont de très bonne qualité (cf. fiches techniques en ANNEXE 1 et le tableau ci-dessous), excepté pour le profil L2 ter, caractérisé par des résistivités extrêmement basses sur toute sa moitié Nord-Ouest (engendrant des écarts-types important entre certaines mesures).

Profil	Date de mesure	Nombre de profils ERT	Nombre de points théoriques	Nombres de points de mesure	Nombre de points utilisés pour l'inversion	% RMS des données	% RMS du modèle (HC-RD)
L2	01-02/11/2009	1 ORG + 5 UP	4400	4381	4275 (97 %)	< 50 %	6.35
L2-1	01/12/2009	1 ORG	Ø	1301			7.64
L2-2	01-02/11/2009	5 UP	Ø	1904			3.35
L2 bis	02/12/2009	1 ORG	1360	1359	1347 (99%)	< 30 %	1.89
L2 ter	03/12/2009	1 ORG + 1 UP	1984	1717	1622 (94 %)	< 120 %	20.45

Tableau 2 : Qualité des données, pour l'ensemble des profils

4.3 Présentation et interprétation des pseudo-sections

En l'absence de données lithologiques sur la zone d'étude, les principales interprétations se basent sur les précédentes campagnes de tomographie électrique 2D effectuées à Tontouta, et visant à identifier l'intrusion du biseau salé (SAVIN, 2007, MOTA et SAVIN, 2009).

Le couplage de ces résultats et de ceux obtenus au cours de cette campagne (mesures géophysiques et observations de terrain) ainsi que nos connaissances de la signature géo-électrique des différents faciès géologiques en Nouvelle-Calédonie nous a permis d'identifier la composition du sous-sol, aux abords de la rivière La Foa.

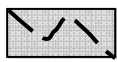
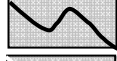
La **couche supérieure résistante**, de 25 à plus de 150 $\Omega.m$ (*rouge à noir*), se retrouve uniquement sur le profil L2-2. Son épaisseur est d'environ 10 m, et diminue jusqu'à disparaître en s'approchant de la rivière. Cette formation semble correspondre à une couche d'alluvions et de galets. Plus le milieu est résistant, plus la proportion en galets est importante. Cette couche est invisible en tomographie en présence d'eau salée : les alluvions sont alors noyées dans le sel ce qui abaisse la résistivité du milieu. **L'existence de cette couche est un bon indicateur de la présence du biseau salé et inversement** (MOTA et SAVIN, 2009).

La **couche conductrice**, de 1 à 20 $\Omega.m$, (*bleu à jaune*), est observée sur tous les profils. Son épaisseur est variable (de 10 à 30 m d'épaisseur selon les profils). Cette formation semble correspondre à des alluvions fins (riches en argile) et saturés en eau. La zone très conductrice (résistivités comprises entre 1 et 5 $\Omega.m$, *teintes bleues*), est probablement saturée en eau salée à saumâtre, alors que les milieux moins conducteurs (résistivités comprises entre 5 et 20 $\Omega.m$), semblent composés d'alluvions fins saturés en eau douce à saumâtre. Cette limite de 5 $\Omega.m$ est bien sûr approximative et dépend principalement de la nature des alluvions.

Enfin, **le substratum résistant**, de 25 à plus de 150 $\Omega.m$ (*rouge à noir*), semble correspondre à un niveau de grès volcanoclastique. Le toit de ce substratum se caractérise par l'isovaleur 25 $\Omega.m$. Notons que cette valeur de 25 $\Omega.m$ est approximative, et a été déterminée à partir de la géométrie du toit du substratum sur l'ensemble des coupes géo-électriques.

Les modèles de distribution des résistivités vraies en fonction de la profondeur des quatre lignes de tomographies sont présentés ci-après. Au regard de nos connaissances (études à Tontouta), de la bibliographie (chapitre 2), de la carte géologique, ainsi que des résultats obtenus à La Foa (valeur et géométrie des différents horizons électriques, conductivités mesurées au niveau du puits), les différentes signatures géo-électriques du sous-sol et leurs interprétations en terme de lithologie et de structure (détaillées ci-dessous) ont pu être mises en évidence à La Foa.

→ Légende des principales structures observées sur les profils géo-électriques :

	Base des galets
	Toit des grès
	Biseau salé

LA FOA - Ligne L2

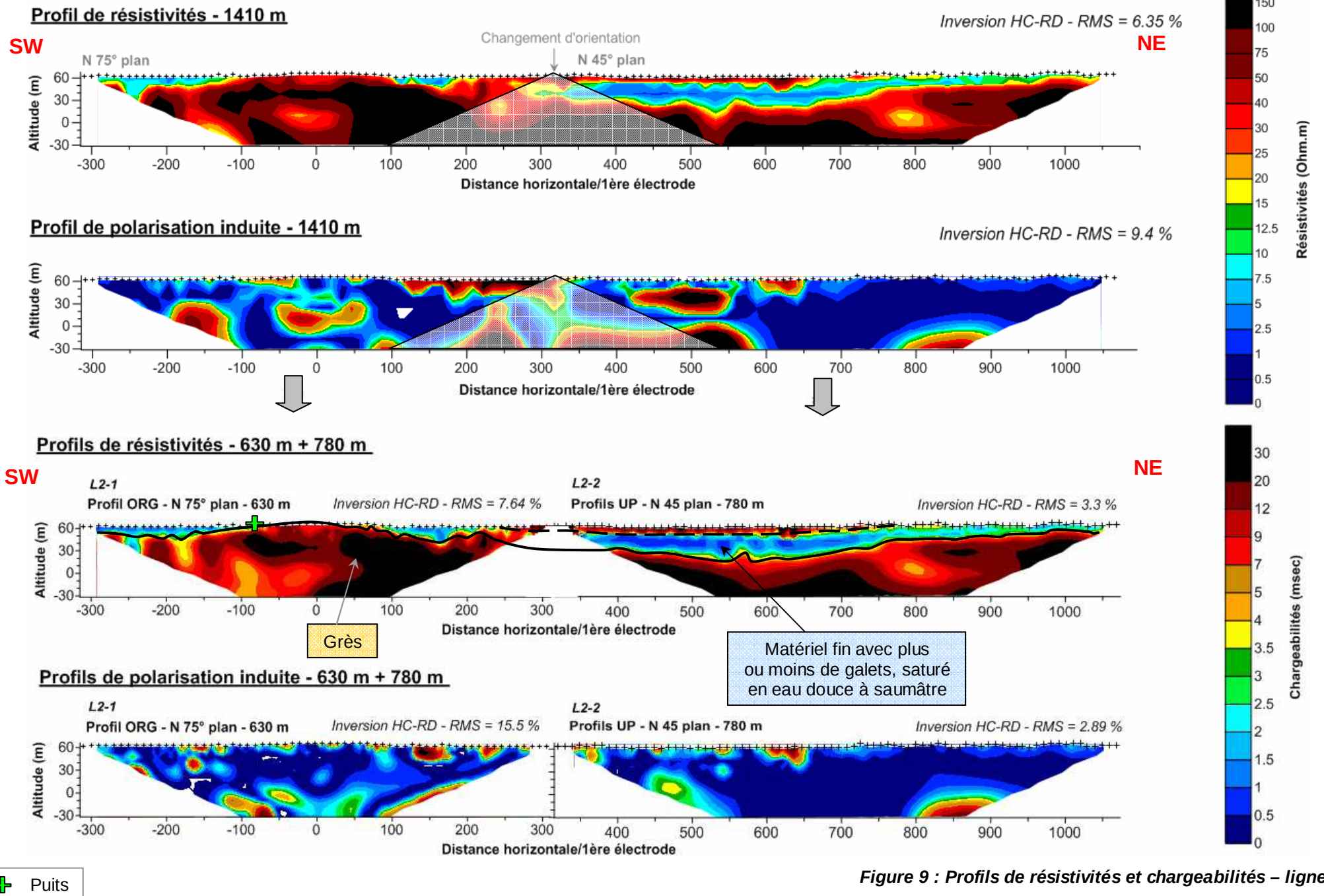
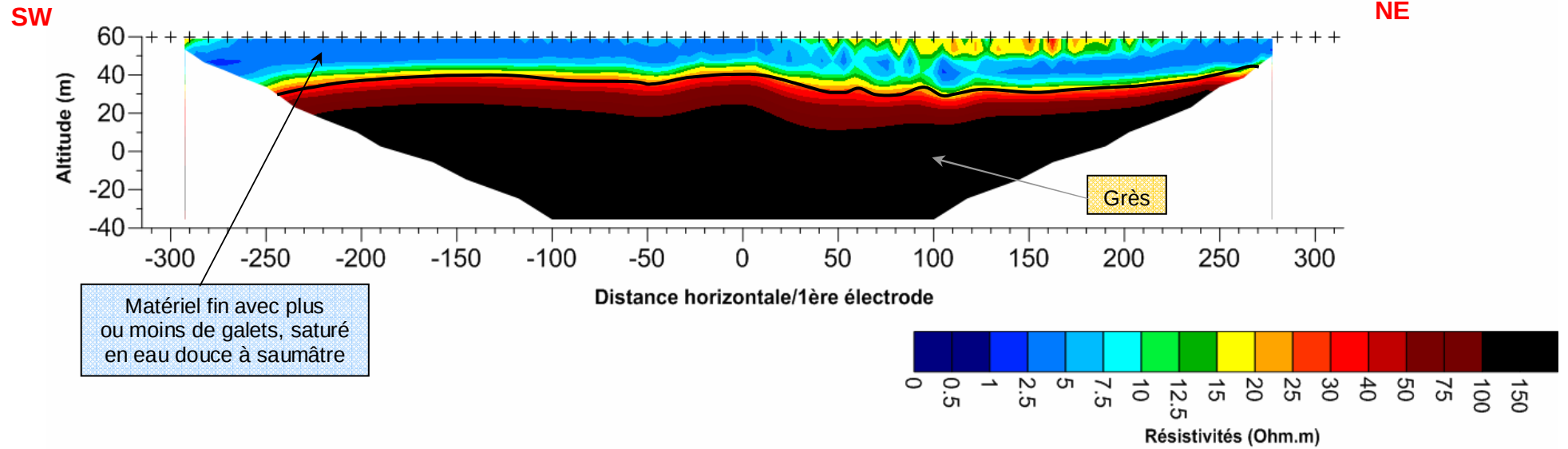


Figure 9 : Profils de résistivités et chargeabilités – ligne L2

LA FOA - Ligne L2 bis

Profil de résistivités - N 55° plan - 630 m

Inversion HC-RD - RMS = 1.89 %



Profil de polarisation induite - N 55° plan - 630 m

Inversion HC-RD - RMS = 1.64 %

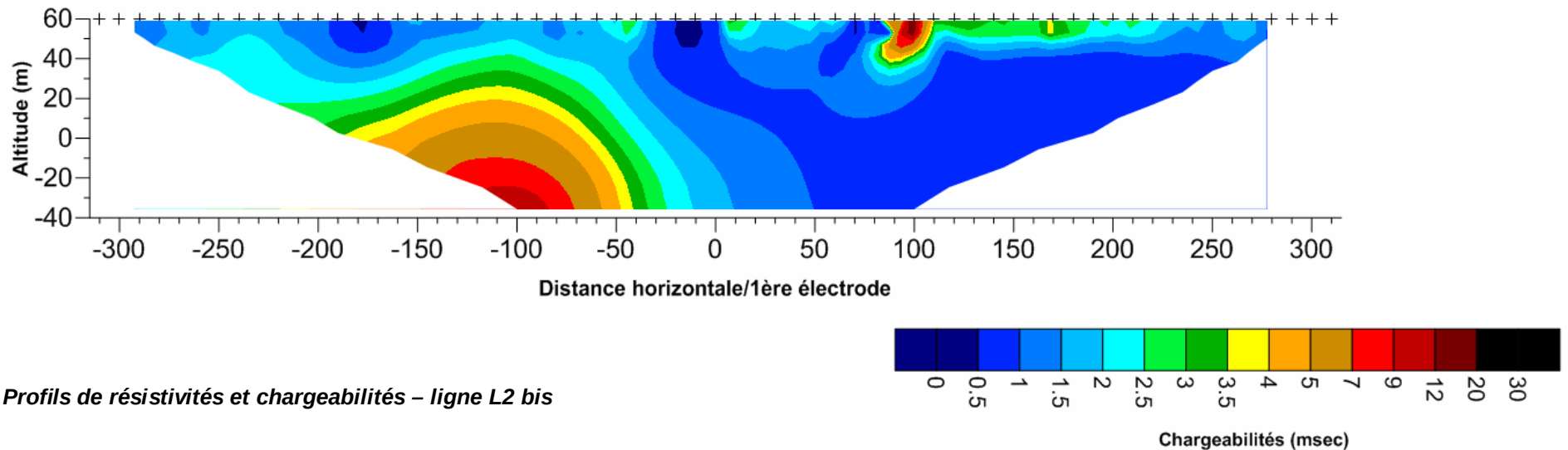


Figure 10 : Profils de résistivités et chargeabilités – ligne L2 bis

LA FOA - Ligne L2 ter

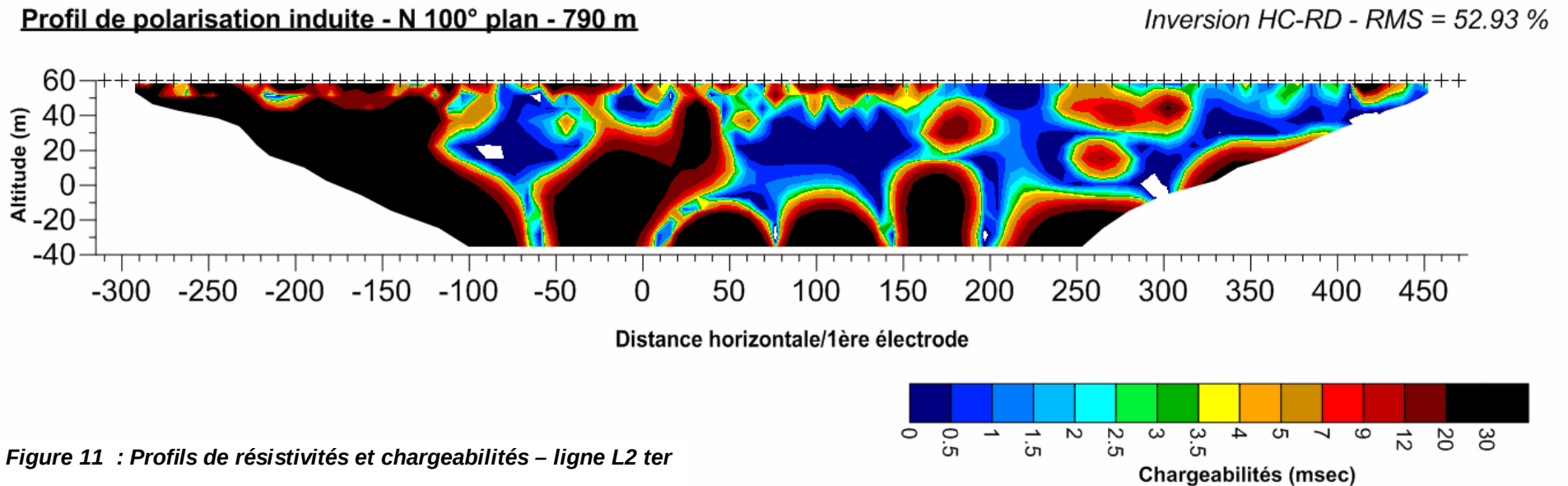
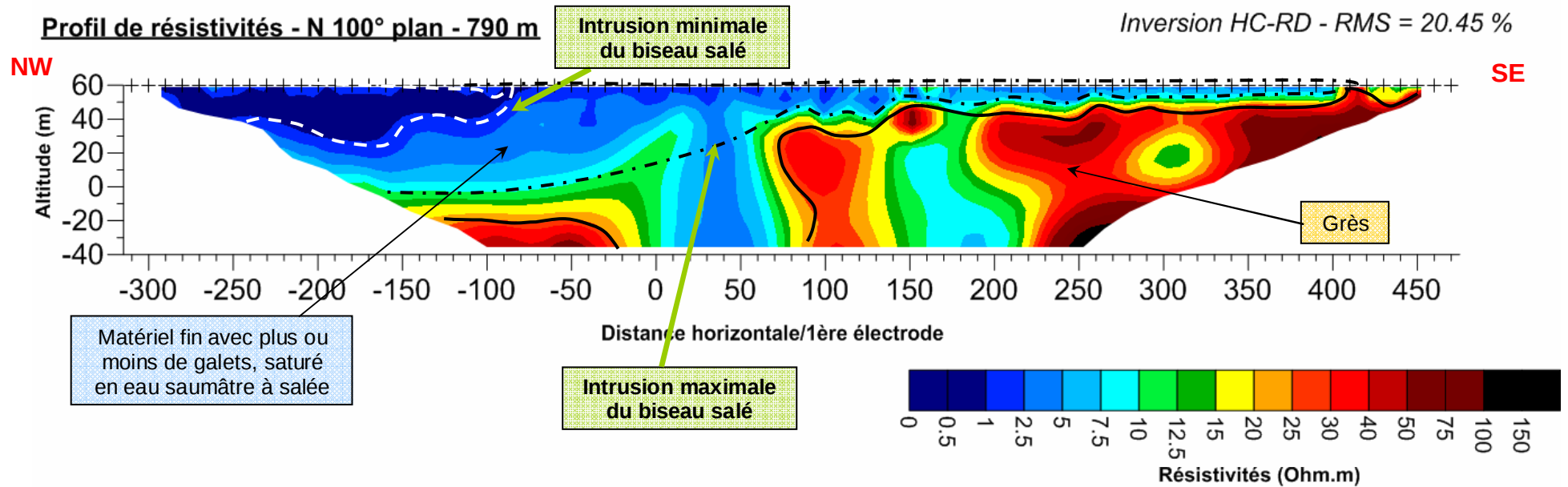


Figure 11 : Profils de résistivités et chargeabilités – ligne L2 ter

4.3.1 Ligne L2

Profil	Longueur profil (m)	Orientation/N (plan)
L2-1	630	75°
L2-2	780	45°

- Une couche de résistivités allant de 25 à plus de 150 Ω .m (*rouge à noir*) est imagée en partie supérieure de profil (au niveau des trois 1ers UP), sur 10 m d'épaisseur environ. Cette couche s'amincit vers le Nord-Est, et fini par disparaître.

- Une couche de résistivités allant de 0 à 15 Ohm.m (*bleu à jaune*) apparaît sur la quasi-totalité du profil ; au centre du profil ORG, cette couche disparaît. L'épaisseur de cette couche conductrice varie de 30 m (2^{ème} UP) à 10 m (extrémités Sud-Ouest et Nord-Est).

Les chargeabilités de ce milieu varient de 0 à plus de 20 msec.

- Une couche de résistivités allant de 25 à plus de 150 Ω .m (*rouge à noir*) est imagée sur la majeure partie du profil ORG, et affleure au centre. Cette couche s'approfondi vers le Nord-Est jusqu'à 30 m de profondeur (2^{ème} UP), et remonte pour atteindre 10 m de profondeur environ au niveau de l'extrémité Nord-Est du profil.

Ce milieu résistant a un signal IP très variable (de 0 à 20 msec).

→ En surface, un dépôt de galets de 10 m d'épaisseur est observé, au niveau des trois premiers UP, et traduit une non contamination du sol par l'eau salée. Cette couche recouvre un niveau de matériel fin composé d'argile, de limons, de sable avec plus ou moins de galets, dont l'épaisseur varie de 10 m (Extrémités SW et NE) à 30 m (second UP). Cette formation semble saturée en eau douce à saumâtre, au regard des conductivités mesurées dans le puits (de l'ordre de 2900 μ S/cm, cf. chapitre 4.1), et des valeurs de résistivités. En dessous, une épaisse couche de grès est imagée (cf. carte géologique en Figure 2), et affleure en milieu de profil ORG. Cette remontée de grès semble jouer le rôle de verrou géologique, et stoppe le flux d'eau salée vers l'Est.

4.3.2 Ligne L2 bis

Profil	Longueur profil (m)	Orientation/N (plan)
L2 bis	630	55°

- Une couche tabulaire de résistivités allant de 1 à 20 Ω .m (*bleu à jaune*) est imagée en partie supérieure de profil, sur une épaisseur d'environ 25 m.

Cette couche présente un signal IP plus ou moins élevé, par endroit.

- En dessous, une couche de résistivités allant de 25 à plus de 150 $\Omega.m$ (*rouge à noir*) s'étend jusqu'à la base du profil.

Les chargeabilités de ce milieu sont nulles sur la moitié Nord-Est du profil, et très élevées sur la moitié Sud-Ouest (de 1 à plus de 30 msec).

→ En surface, une couche de matériel fin de 25 m d'épaisseur saturée en eau douce à saumâtre, et composée d'argile, de limons, de sable contenant plus ou moins de galets, surplombe une épaisse couche de grès (cf. Figure 2).

4.3.3 Ligne L2 ter

Profil	Longueur profil (m)	Orientation/N (plan)
L2 ter	790	100°

- La moitié Sud-Est du profil L2 ter présente des résistivités allant de 25 à plus de 150 $\Omega.m$ (*rouge à noir*). Des zones plus conductrices sont visibles au sein du milieu résistant (de 2.5 à 15 $\Omega.m$ (*bleu à jaune*)).

- Sur cette couche résistante, une couche conductrice de résistivités variant de 1 à 2.5 $\Omega.m$ est observée, sur une épaisseur de 10 m environ

Les chargeabilités de cette moitié Sud-Est sont variables, et peuvent devenir très élevées par endroit (plus de 30 msec), indépendamment du milieu rencontré.

- La moitié Nord-Ouest du profil présente des résistivités allant de 0 à 15 $\Omega.m$ (*bleu à jaune*) sur presque toute l'épaisseur de la coupe.

- A la base du profil, un milieu plus résistant réapparaît (résistivités allant de 25 à plus de 150 $\Omega.m$ (*rouge à noir*)).

Les chargeabilités de cette moitié Nord-Ouest sont variables, mais globalement plus élevées que dans la moitié Sud-Est. Elles peuvent devenir très élevées par endroit (plus de 30 msec), indépendamment du milieu rencontré.

→ Au Nord-Ouest, le terrain est affecté par l'intrusion du biseau salé. Le milieu, composé probablement de matériel fin (argiles, limons, alluvions, sable, avec plus ou moins de galets) est saturé en eau salée. Plus on avance vers le Nord-Ouest (vers la mer), plus les résistivités sont basses, et plus la concentration en sel est grande. Au Sud-Est, une épaisse formation de grès apparaît (cf. Figure 2) ; elle joue le rôle de verrou géologique, et stoppe la progression du biseau.

Enfin, une fine couche de matériel fin surplombe le grès. Cette zone, directement connectée au milieu affecté par le biseau salé, est saturée en eau saumâtre ou salée, selon l'amplitude de la marée et l'infiltration d'eau salée associée.

4.4 Synthèse : cartographie de l'intrusion du biseau salé

Les coupes géo-électriques obtenues imagent la limite du biseau salé au niveau du profil L2 ter. D'après les coupes géo-électriques et la carte géologique (cf. Figure 12), une épaisse couche de grès joue le rôle de verrou géologique, et stoppe sa progression.

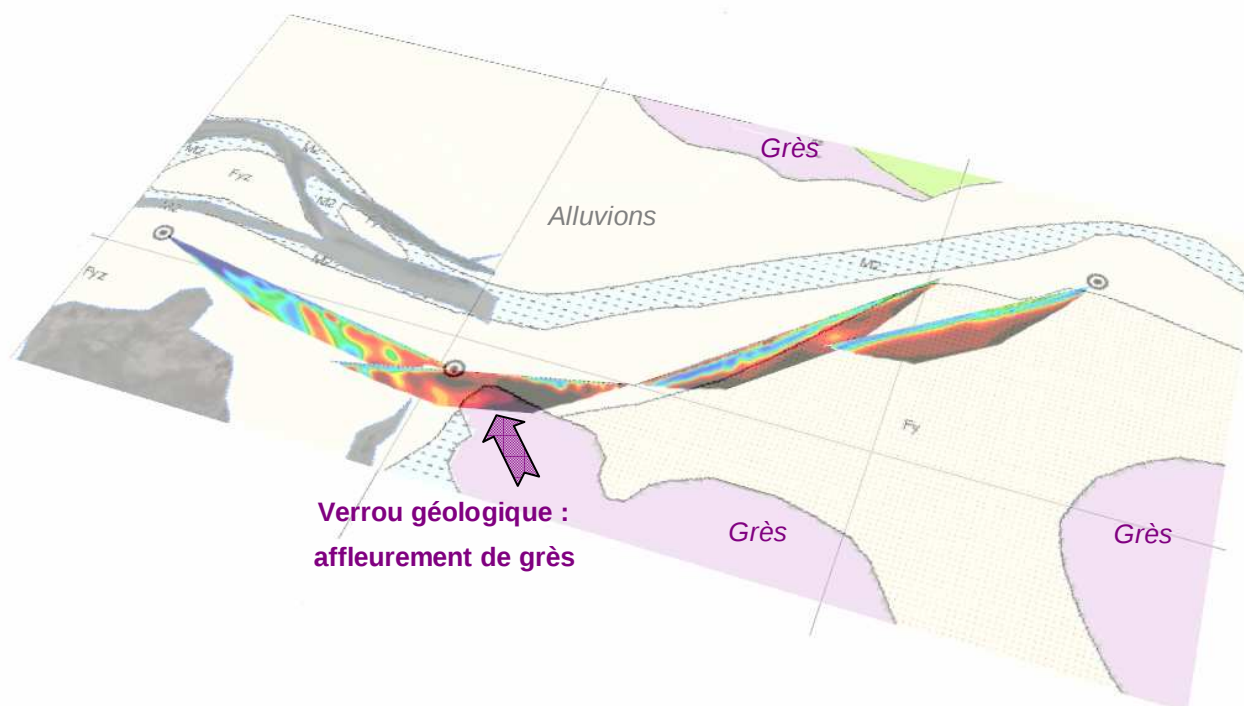


Figure 12 : Profils géo-électriques et carte géologique (DIMENC)

Selon l'amplitude des marées et des phénomènes météorologiques (tempêtes...), le biseau salé s'avance plus ou moins profondément vers l'intérieur des terres. Ses limites minimale et maximale ont été déterminées, et illustrées en figures 11 et 13.

Cependant, les niveaux de matériel fin plus en amont, saturés en eau douce à saumâtre, laissent supposer que le biseau peut dépasser sa limite maximale, et contaminer les milieux au-delà du verrou géologique.

Les coordonnées des profils de résistivités ont été déterminées : les coupes géo-électriques ont pu être visualisées grâce au logiciel Discover 3D, et calés avec la photo aérienne de la zone d'étude (Google Earth). La cartographie du biseau salé a ainsi été obtenue (cf. Figure 13).

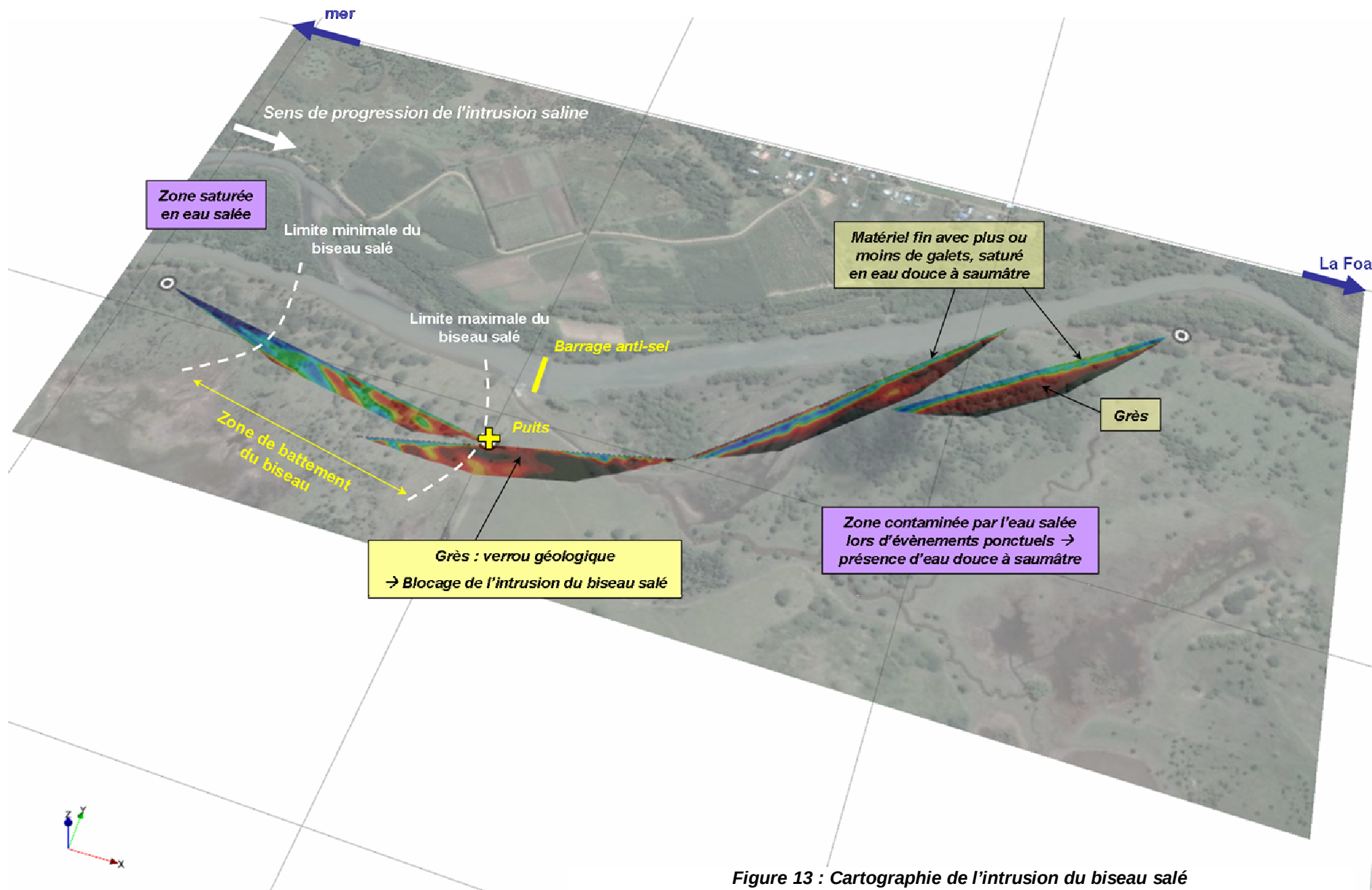


Figure 13 : Cartographie de l'intrusion du biseau salé

Conclusion

Cette étude de la rive gauche de la rivière La Foa a été effectuée à la demande de la DAVAR. Elle a pour but de localiser le biseau salé ; cet « état zéro » du biseau permettra, si besoin est dans l'avenir, de suivre sa progression à l'intérieur des terres, et de prévenir la contamination de la nappe par l'eau salée.

L'intrusion du biseau salé a été localisée en aval du puits et du barrage anti-sel (voir figure 12). Le biseau semble stoppé par une remontée de grès affleurante, jouant le rôle de verrou géologique. Cependant, les niveaux de matériel fin plus en amont, saturés en eau douce à saumâtre, laissent supposer que le biseau a pu, et donc peut, dépasser sa limite, et contaminer les milieux au-delà du verrou géologique.

Ces franchissements d'eau en amont des grès n'arrivent que lors d'évènements ponctuels (très grandes marées, cyclones...). L'installation de sondes de conductivité en aval et en amont du barrage anti-sel permettrait de mesurer ce paramètre en continu, et de préciser la périodicité et l'ampleur de ces évènements.

Maintenant que l'état zéro en terme d'intrusion saline existe à La Foa, nous pourrions réitérer la mesure d'une ligne L3 (ERT, cf. Figure 14), et ainsi suivre la progression du biseau salé.

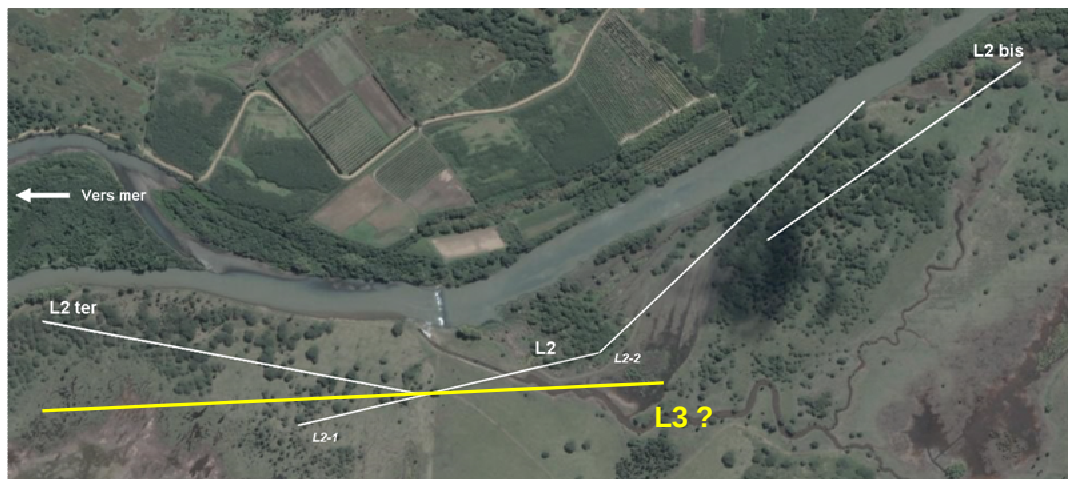


Figure 14 : Localisation d'une éventuelle ligne L3

Bibliographie

DAHLIN and ZHOU, *A numerical comparison of 2D imaging with 10 electrodes arrays*, Geophysical prospecting 52, (379-398), **2004**.

LOKE M.H., *Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies: practical guide to 2D and 3D survey*, **1997**.

SAVIN C., *Tomographie électrique 2D à Tontouta (lotissement beaurivage): identification de l'intrusion du biseau salé*, Rapport d'étude DENV, **Dec 2007**.

MOTA C., SAVIN C., *Deuxième campagne de tomographie électrique 2D à Tontouta : identification de l'intrusion du biseau salé*, Rapport d'étude DAVAR, **Dec 2008 – mars 2009**.

MOTA C., SAVIN C., *Troisième campagne de tomographie électrique 2D à Tontouta : identification de l'intrusion du biseau salé*, Rapport d'étude DAVAR, **Juin – Juillet 2009**.

ANNEXES

ANNEXE 1

Fiches techniques

Nom du layon TE2D: FOA-L2	Site: LA FOA		Operateur: AP	client: DAVAR
Nom du fichier .s4k: FOA-L2.S4K	Pas de mesure: 10m		Protocole utilisé: GRAD464	Orientation du profil: N° NW/SE
<u>Nom du profil (0, +160, ...)</u>	4e Profil .UP: +480	5e Profil .UP: +640	6e Profil .UP: +800	7e Profil .UP:
Configuration des cables	E113-E128: 3	E129-E144: 5	E145-E160: 1	E161-E176:
Date et heure:	02.12.09 08h33	10h00	11h00	
Temps (pluie ou sec?):	Pluie fine	Nuages	Nuages	
Test des electrodes:	OK	OK	OK	
Nombre de points mesurés:	156 mesures	156 mesures	156 mesures	
Valeurs négatives ou points aberrants: (noter les n°des points)	0	0	0	
Nbre de pts bruts utilisables:	156	156	156	
<u>Observations sur acquisition</u>	Moyenne d'injection de 200mA et de 2 stacks.	Moyenne d'injection de 200mA et de 2 stacks.	Moyenne d'injection de 200mA et de 2 stacks. L'elctrode n°63! Et n°64! Ne sont pas implantées du faite de la rivière.	
<u>TRAITEMENT RES2DINV</u>	Nombre de points pour l'inversion:	Avant inversion N: 4381 RMS data < %	Après inversion N: 4275 RMS data < 50 %	
	Type d'inversion:	N	HC-RD	
	(N, RD, HCN, HCRD,...)			
	Nombre de blocs		1472	
	RMS error:	28.4	6.35	
<u>Observations sur inversion</u>				

PROSPECTION TOMOGRAPHIE ELECTRIQUE 2D			
Nom du profil: L2BIS		Site: LA FOA	
Operateur: AP		client: DAVAR	
Nom du fichier .s4k: LIL2BIS.S4K		Date et heure: 02.12.09 17h00	
Temps (pluie ou sec?): Beau			
Pas de mesure: 10m		protocole utilisé: GRAD464	
Orientation du profil		E1: SW	E64: NE
Configuration des cables		E1-E16: 2	E17-E32: 3 E33-E48: 5 E49-E64: 4
Test des electrodes: OK			
Nombre de points mesurés: 340 mesures			
Valeurs négatives ou points aberrants: (noter les numeros des points)			
Nombre de points bruts utilisables:			
<u>Observations sur acquisition</u> Calage du dispositif à l'extrémité du E2L2, mais mesure SW au NE.			
<u>TRAITEMENT RES2DINV</u>			
Nombre de points pour l'inversion: 1347 (RMS data ~< 30%)			
Type d'inversion: HC-RD (N, RD, HCN, HCRD,...)			
RMS error: 1.89			
<u>bservations sur inversion</u>			

Nom du layon TE2D: L2 ter		Site: LA FOA		Operateur: AP		client: DAVAR
Nom du fichier .s4k: FOA-L2.S4K		Pas de mesure: 10m		Protocole utilisé: GRAD464		Orientation du profil: NE/SW
<u>Nom du profil (0, +160, ...)</u>	Profil . ORG : 0				2e Profil .UP : +160	3e Profil .UP :
Configuration des cables	E1-E16: 6	E17-E32: 5	E33-E48: 4	E49-E64: 1	E81-E96: 3	E97-E112:
Date et heure:	03/12/09 11h10				13h16	
Temps (pluie ou sec?):	Très sec. Beau et nuages				Beau et nuage	
Test des electrodes:	OK				OK	
Nombre de points mesurés:	340 mesures (1360 points)				156 mesures	
Valeurs négatives ou points aberrants: (noter les n°des points)	8(3), 12(3), 14(2, 3, 4), 19(1, 2, 3), 21(2), 22(1, 3, 4), 223(4), 227(4), 235(3), 239(3), 247(2, 3), 251(1, 2, 3, 4), 259(1, 2, 3), 263(1, 2, 3), 286(2, 3, 4), 302(1, 2, 3, 4), 304(1, 2, 3, 4), 306(1, 2, 3, 4), 318(1, 2, 3, 4), 319(1, 2, 3), 320(1, 2, 3, 4), 324(1, 2, 3, 4), 339(1, 2, 3)				341(1, 2, 3), 342(1, 2, 3, 4), 347(2, 3, 4), 373(2,3, 4), 374(1, 2, 3, 4), 378(1, 2, 3, 4), 384(1, 2, 3, 4), 392(1, 2, 3, 4), 395(1, 2, 3, 4), 396(1, 2, 3, 4), 405(1, 2, 3, 4), 417(2, 3, 4), 418(1, 2, 3, 4), 419(1, 2, 3, 4), 420(1, 2, 3, 4), 421(1, 2, 3, 4), 422(1, 2, 3, 4), 473(1, 2, 3, 4), 378(1, 2, 3, 4), 474(1, 2, 3, 4), 477(1, 2, 3), 488(1, 2, 3, 4),	
Nbre de pts bruts utilisables:	317				156	
<u>Observations sur acquisition</u>	Calage du dispositif, 1ère elèctrode implantée au puits. Skip l'elèctrode n°7!, take out en plein milieu d'une marre de bétail avec niveau d'eau d'environ 1,50m de profondeur. Error n°1 (skip elèctrode n°7)				Terrain très sec.	
-						
<u>TRAITEMENT RES2DINV</u>	Nombre de points pour l'inversion:	Avant inversion N: 1717 RMS data < %		Après inversion N: 1622 RMS data < 120 %		
	Type d'inversion: (N, RD, HCN, HCRD,...)	N		HC-RD		
	Nombre de blocs			703		
	RMS error:	48.9		20.45		
<u>Observations sur inversion</u>	-					