

RECHERCHE DE STRUCTURES
ACTIVES ASSOCIEES A LA
ZONE FAILLEE DE HOCKAI

CHAPITRE 5. IDENTIFICATION DE FAILLES SUR LE TERRAIN

L'aléa sismique d'une région est directement lié à la présence de failles actives dans une région et à la détermination de son activité, en tout cas de l'activité Quaternaire.

L'analyse de données sismiques (Chapitre 3) nous indique que des séismes se produisent le long de structures particulières en Ardenne, à des profondeurs variées. Les questions suivantes sont donc : "Les concentrations de tremblements de terre observées en Ardenne sont-elles liées à des failles à la surface du sol?" ; "Ces failles sont-elles identifiables sur le terrain ?" ; "Sont-elles actives ?" et enfin : "Peut-on estimer leur taux d'activité ?".

Avant de déterminer si elle est "active", le géologue doit d'abord trouver une faille en surface. La recherche de failles dans l'Ardenne est compliquée en raison du faible taux de déformation qu'elle subit par rapport aux taux d'altération et d'érosion. Si, lors d'un séisme, une faille provoque une rupture en surface, cette rupture sera rapidement diffusée, effacée. La recherche de ces failles demande donc l'utilisation de méthodes d'investigations de la subsurface pour tenter d'y mettre en évidence des discontinuités dans les paramètres physiques.

Dans ce chapitre, nous présentons et discutons les méthodologies de prospection géophysiques existantes, par exemple ayant déjà prouvé leur utilité sur des failles actives bordant le Graben de la Roer (T. Camelbeeck et Meghraoui 1998; Vanneste et al. 2001). Nous présentons également les développements réalisés dans le cadre de cette thèse et, ensuite, une analyse combinée de données géophysiques permettant d'en contraindre l'interprétation telle que nous la réaliserons au Chapitre 1. Cette analyse combinée est compliquée par le fait que les profils de résistivité (ou conductivité) électrique, les mesures H/V et les mesures de gravimétrie intègrent les paramètres sur le volume, mais sont interprétées en 2D.

5.1. Bases cartographiques

5.1.1. CARTE TOPOGRAPHIQUE ET MODÈLE NUMÉRIQUE DE TERRAIN

Les cartes topographiques, lorsqu'elles sont disponibles, sont la base des études de géomorphologie. Dans la plupart des cas, la meilleure résolution disponible sont les cartes au 1 :10.000 dressées par l'IGN. En 2000, la NASA a lancé une mission de cartographie qui a fourni aux scientifiques le SRTM (Shuttle Radar Topography Mission, Farr et al. 2000). Depuis 2010, les données DEM (Digital Elevation Model) du satellite ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer, <http://www.ersdac.or.jp/GDEM/E/>) sont également disponibles gratuitement par Internet. La résolution des données satellitaires est évidemment largement inférieure au modèle fourni par le levé de terrain ou les nouveaux levés laser. Ces données de topographie sont la base des études de géomorphologie. Les indices

géomorphologiques de l'activité tectonique sont plus ou moins visibles selon les régions du globe. Dans nos régions, les indices liés aux failles actives sont bien montrés dans le Graben de la Roer où l'activité sismique Quaternaire est également bien démontrée. En Ardenne, par contre, le lien entre l'activité sismique récente et la géomorphologie n'est pas net, bien que des éléments laissent à penser que certaines structures géomorphologiques alignées puissent avoir une origine tectonique. Ces points seront soulevés dans le Chapitre 6 consacré à la recherche de failles dans la Zone Faillée de Hockai.

5.1.2. CARTE GÉOLOGIQUE

Les cartes géologiques, lorsqu'elles sont disponibles, permettent parfois d'expliquer la géomorphologie. Par exemple : le cours d'une rivière qui se détourne soudainement de 90° peut être expliquée par un changement lithologique ou une zone de faille. Une carte géologique est basée sur l'ensemble des données de forages et de levés de surface, ce qui implique que ces derniers soient présents en nombre suffisant dans une région donnée pour en établir une carte fiable. Les cartes géologiques présentent parfois une brève esquisse structurale.

Une carte géologique permet également de mieux appréhender la réponse d'un terrain aux mesures que l'on pourra y réaliser. Les dispositifs de mesure peuvent également être réglés pour augmenter leur efficacité selon les terrains rencontrés.

Souvent, les données ayant servi à réaliser la carte sont plus utiles que la carte elle-même. Cela permet d'évaluer le degré d'interprétation de son auteur. Le retour aux données de bases est possible grâce à la compilation archivée du Service Géologique du Belgique.

5.2. Méthodes de prospection utilisées et développements méthodologiques

5.2.1. TOMOGRAPHIE DE RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE

5.2.1.1. INTRODUCTION ET MÉTHODE

Le principe des sondages électriques est de déterminer la distribution de la résistivité électrique en profondeur à partir de mesures au niveau de la surface du sol. La résistivité du sol est liée à divers paramètres géologiques tels que la minéralogie, le contenu en fluide, la porosité, etc.

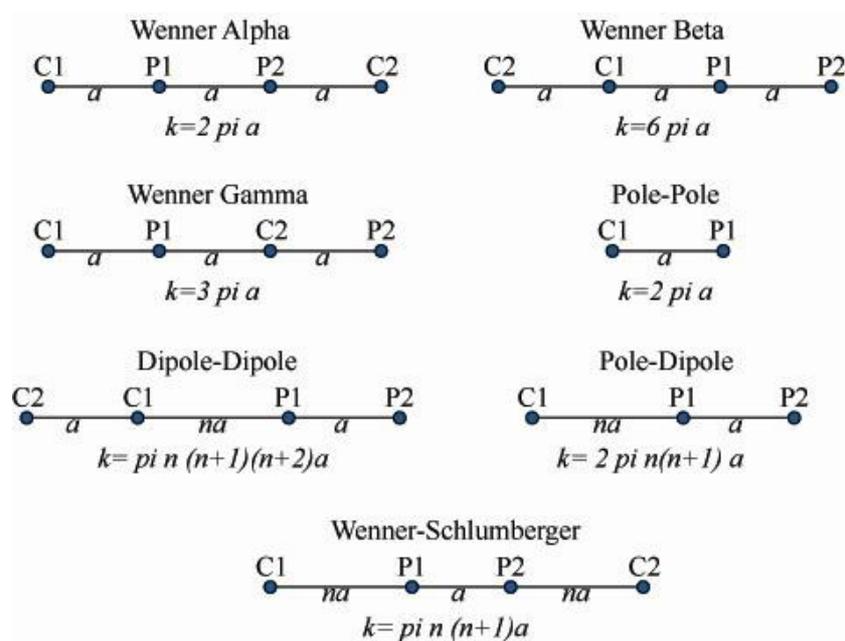


FIGURE 5-1: DIFFÉRENTES CONFIGURATIONS D'ÉLECTRODES UTILISÉES DANS LES SONDEGES ÉLECTRIQUES (REDESSINÉE D'APRÈS LOKE, 2004)

Traditionnellement, le système de mesure comporte quatre électrodes : deux électrodes de courant et deux électrodes de potentiel. La Figure 5-1 illustre les différentes configurations (position des électrodes de courant et de potentiel) couramment utilisées (M.H Loke 1997). Un courant I est injecté entre les deux électrodes C1 et C2 et un potentiel V est mesuré aux bornes P1 et P2.

La résistivité (ρ) est liée à la résistance via un facteur géométrique, ce facteur variant selon le type de configuration employé (tel que montré à la Figure 5-1)

$$\rho = kR$$

et donc :

$$\rho = kV/I$$

La Figure 5-2 illustre les gammes de résistivité des matériels géologiques les plus courants. Notons que l'eau douce couvre une gamme comprise entre 100 $\Omega.m$ et 1000 $\Omega.m$. Cette figure mentionne également des résistivités précises pour des solutions chimiques telles que le KCl et le NaCl. Ces données sont utiles dans l'étude de la dispersion d'un polluant (le sel d'épandage) en hydrogéologie par exemple.

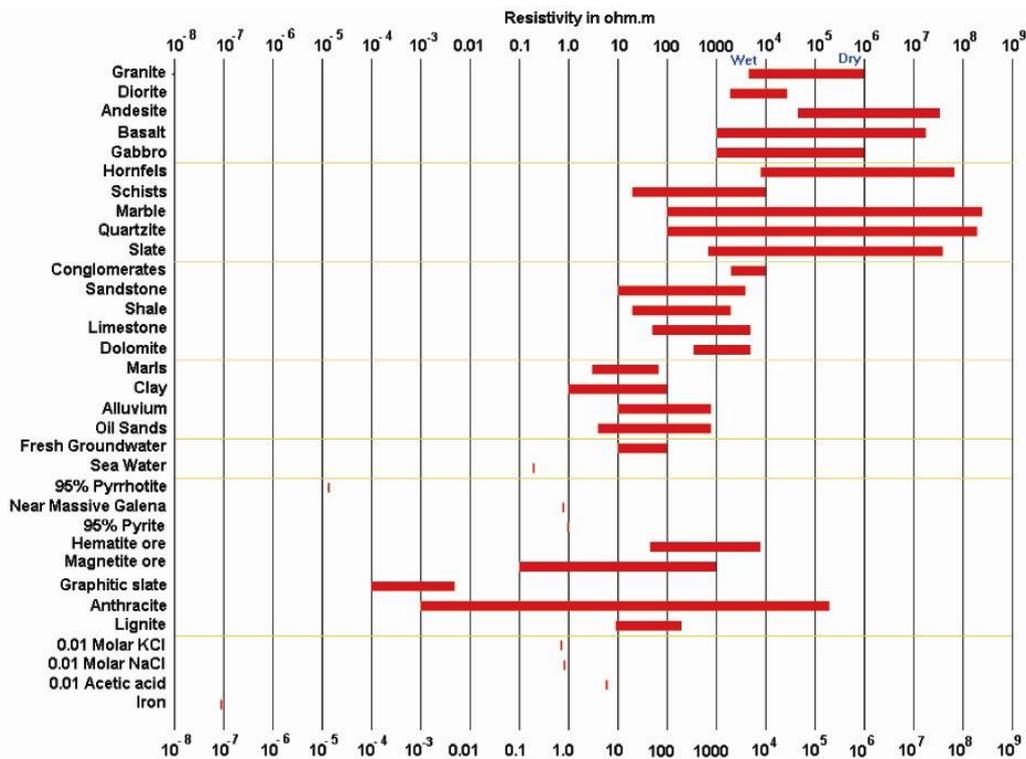


FIGURE 5-2 : GAMME DE RÉSISTIVITÉ DES ROCHES, MINÉRAUX ET DE DIVERS POLLUANTS. (D'APRÈS LOKE, M. H. 2004)

La technique, née dans les années 1920 et principalement dévolue au "sondage vertical" à l'aide de 4 électrodes a connu un développement important dès la fin des années 1980 avec l'arrivée des mesures en 2D et ensuite, plus récemment, en 3D (M.H Loke et Barker 1996a; Dahlin, Bernstone, et M.H Loke 2002). Le principe de la 2D est d'obtenir une image de la sub-surface en utilisant un grand nombre d'électrodes commandées par un système contrôlé par ordinateur (Griffiths, Turnbull, et Olayinka 1990; Griffiths et Turnbull 1985). Les méthodes de 2D (et 3D) sont de plus en plus utilisées en hydrogéologie (Sumanovac et Weisser 2001), géologie minière (Beauvais et al. 1999), études géotechniques (Steeple 2001; Perrone et al. 2004) et également en environnement (Dahlin, Bernstone, et M.H Loke 2002).

Une fois toutes les mesures terminées, nous pouvons déjà construire une pseudo section en plaçant sur un graphe les valeurs mesurées de résistivité à leur profondeur déterminée (la profondeur médiane d'investigation, fonction de l'écartement des électrodes) (Barker 1989). Cette image ne donne ni une vraie valeur de la résistivité ni de la profondeur car le sous-sol que l'on investigate

n'est ni isotrope ni homogène, mais elle donne une bonne première idée de la distribution des résistivités en profondeur. Les lignes de courant ne sont donc pas des lignes simples, le courant traverse un volume qui influence la mesure. On parle alors de "résistivité apparente" et de "pseudo profondeur". Afin d'obtenir des valeurs plus proches de la réalité, il est nécessaire d'effectuer une inversion de la section.

Les techniques d'inversion évoluent rapidement depuis la fin des années 1990 (Tripp, Hohmann, et Swift 1984; Sasaki 1994; Beard, Hohmann, et Tripp 1996; Dahlin 2001; M.H Loke 2002; Binley et Kemna 2005). L'inversion consiste à calculer des résistivités et profondeurs réelles à partir des résistivités apparentes mesurées et de leur pseudo-profondeur déterminée. Le principe de l'inversion est simple sur papier : c'est un processus qui avance par itération en tentant de minimiser l'écart quadratique moyen (RMS) entre le modèle calculé et le modèle des résistivités apparentes (ou "modèle mesuré"). En général, les calculs d'inversion se font à l'aide de l'outil matriciel, en considérant le profil 2D comme une série de boîtes de dimensions équivalentes (M.H Loke 1997). Notons que si les dimensions horizontales sont constantes, les dimensions verticales sont, elles, augmentées d'un facteur afin de tenir compte de l'effet de perte de signal avec la profondeur ("Damping Factor").

Ces calculs d'inversion sont devenus de plus en plus précis et accessibles grâce à la disponibilité croissante de micro-ordinateurs puissants. Les algorithmes d'inversion les plus communément utilisés ont été définis par Loke, Barker et Dahlin (M.H Loke et Barker 1995; 1996b; M H Loke et Dahlin 2002). Ces deux algorithmes appelés "robust" et "smoothness-least-constrained" sont communément nommés L_1 et L_2 . La différence entre L_1 et L_2 est une contrainte imposée à L_1 : l'algorithme tente de trouver des limites verticales et horizontales entre des zones homogènes dans le modèle calculé, cela donne donc un résultat en 'blocs'. *A contrario*, la norme L_2 procède de manière tout à fait libre et donne donc des modèles calculés de forme quelconque. Ces deux algorithmes ont été intégrés dans différents programmes commerciaux, nous avons utilisé le programme Res2Dinv (© Geotomo Software) et R2 (Binley et Kemna 2005).

5.2.1.2. ÉQUIPEMENT, PROTOCOLE ET PROGRAMME D'ANALYSE



FIGURE 5-3 : APPAREILS DE MESURE ABEM (SAS1000 ET ES464)

L'appareillage est constitué d'un mesureur ABEM-SAS1000 et d'un sélecteur d'électrodes automatique ABEM-ES464. Le choix du protocole Wenner-Schlumberger pour son bon compromis entre la mise en évidence de structures horizontales et verticales. Le protocole de mesure a été déterminé en intégrant des niveaux de mesures se superposant. En effet, différentes combinaisons d'électrodes conduisent à une profondeur médiane d'investigation similaire. Cette information est alors particulièrement utile aux programmes d'inversion qui peuvent alors mieux contraindre les modèles proposés. Chaque profil de base réalisé utilise 64 électrodes et correspond à 909 points de mesure. Il est possible de continuer un profil en déplaçant les 32 premières électrodes à la fin du profil (technique du roll-along). Les mesures sont enregistrées dans la mémoire du microordinateur.

En parallèle au profil, il est impératif de lever correctement l'altitude de chaque électrode. En effet, les lignes de courant ont tendance naturellement à se concentrer dans les synformes et se disperser dans les antiformes. Si la topographie n'était pas prise en considération, cela résulterait en des erreurs dans les valeurs calculées. La position relative de chaque électrode a été mesurée à l'aide d'une Station Totale Leica (TS1100).

En laboratoire, les profils seront transférés sur PC. La topographie est ensuite jointe aux données et l'analyse est réalisée par Res2DINV ou R2.

5.2.1.3. REMARQUES SUR L'ORIENTATION D'UN PROFIL PAR RAPPORT À LA STRATIFICATION ET AUX PENDAGES

La tomographie de résistivité électrique fonctionne sur base du postulat que le profil réalisé recoupe des structures 3D infiniment étendues perpendiculairement. J'ai montré, dans mon mémoire de licence (Lecocq 2006) qu'une précision importante sur la localisation d'une faille peut être obtenue en réalisant des profils perpendiculaires à celle-ci, mais que même en étant parallèle, des profils répétés permettent une caractérisation des structures du substratum.

Notons à ce sujet que le pendage apparent d'une couche géologique donnée sera évidemment fonction de l'angle d'intersection entre le profil et sa direction. C'est ce que nous illustrons à la Figure 5-4 pour une gamme de pendages réels entre 40 et 90° et pour des intersections à 0, 20, 40, 60 et 80 degrés.

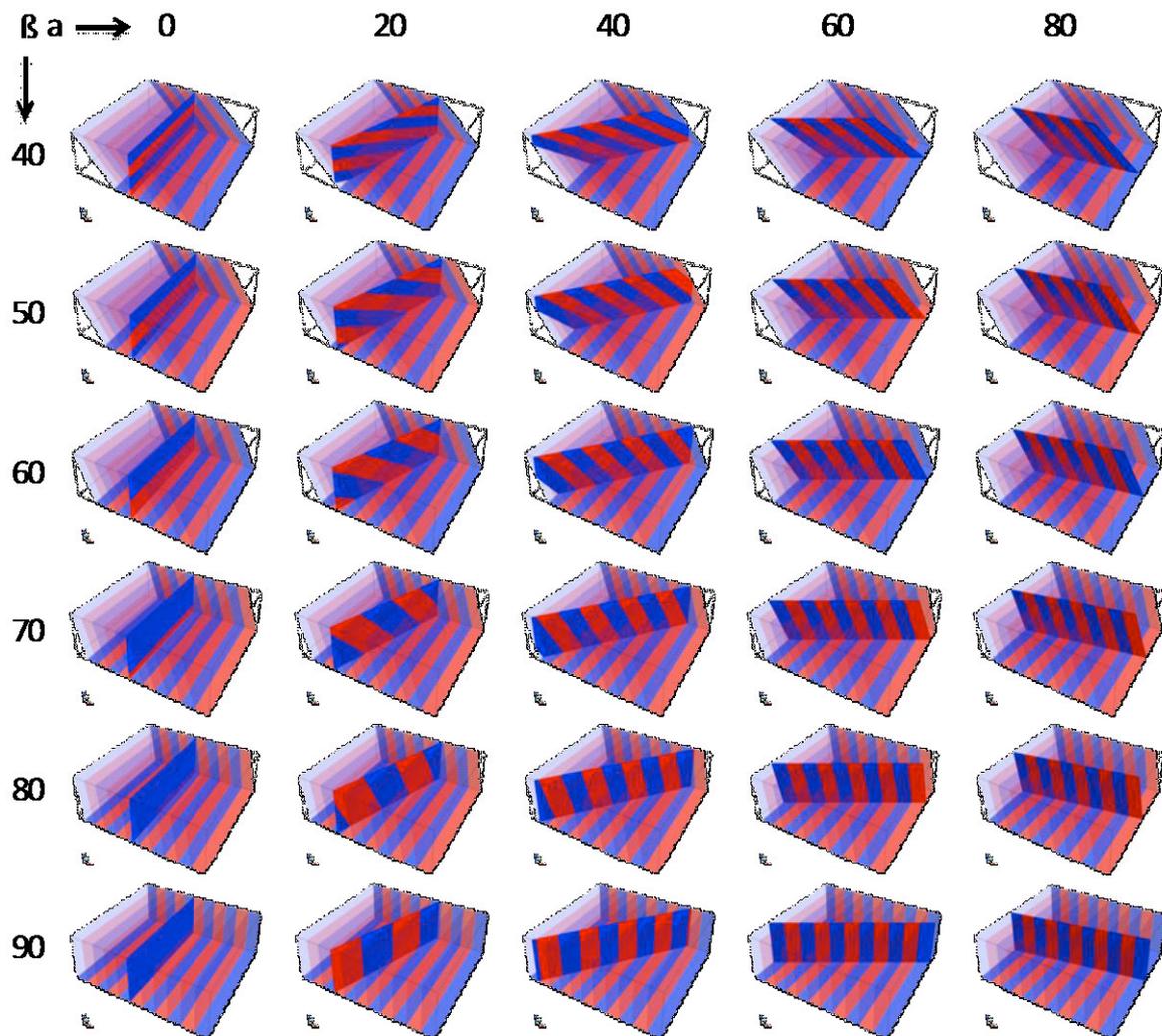


FIGURE 5-4 : ILLUSTRATION DE LA VARIATION DU PENDAGE APPARENT DES COUCHES EN FONCTION DE L'ANGLE D'INTERSECTION ENTRE LE PROFIL 2D ET LA STRATIFICATION (ALPHA) ET DU PENDAGE RÉEL (BETA). LES ANGLES SONT EN DEGRÉS.

5.2.2. MESURE DE BRUIT AMBIANT : "MÉTHODE H/V"

5.2.2.1. INTRODUCTION ET MÉTHODE

Le rapport spectral H/V (le rapport entre les spectres d'amplitude de Fourier horizontaux et vertical du microséisme) a été introduit par Nogoshi et Igarashi (Nogoshi et Igarashi 1970; 1971) et popularisé par Nakamura (Nakamura 1989; 2000). Différent auteurs ont montré la correspondance entre le pic du spectre H/V et la fréquence de résonance du sol (Field et Jacob 1993; Fäh et Giardini 2001). Ces études ont montré que si un fort contraste d'impédance existe entre des sédiments et le bedrock, alors le pic du H/V peut être utilisé pour estimer la fréquence de résonance fondamentale d'un site (mais pas des harmoniques plus hautes).

Les mesures, réalisées par un sismomètre à trois composantes, sont analysées et le spectre H/V est produit. Ce spectre est calculé pour des fenêtres se superposant. Par exemple, un set de données de 10 minutes peut être analysé selon 19 fenêtres de 60 secondes, avec une superposition de 30 secondes.

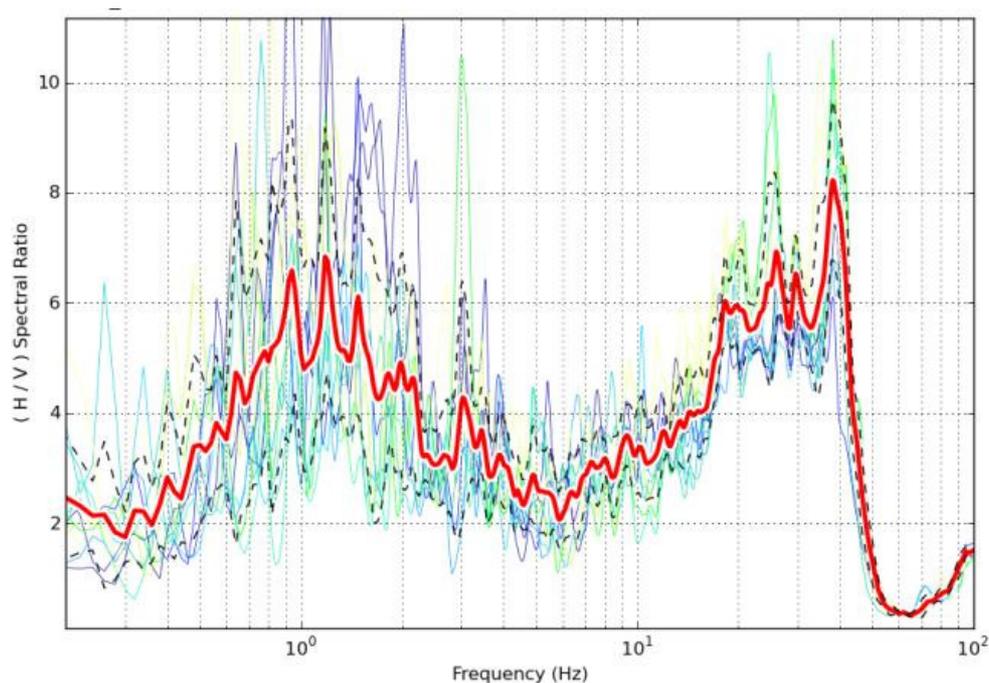


FIGURE 5-5 : SPECTRES H/V POUR CHAQUE FENÊTRE (COULEURS) ET SPECTRE MOYEN (ROUGE) \pm 1 SIGMA (TIRETÉS NOIRS).

Le pic du spectre obtenu peut être interprété en relation avec l'épaisseur de la couche limitée par l'interface qui lui correspond. Cette relation est :

$$F_0 = \frac{C_s}{4h}$$

pour F_0 étant la fréquence du pic, C_s la vitesse des ondes de cisaillement dans une couche de hauteur h .

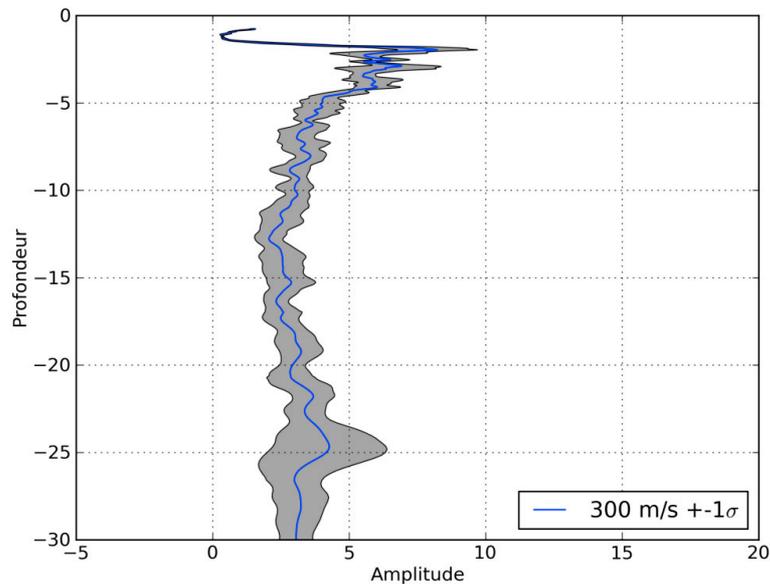


FIGURE 5-6 : "PROFIL" H/V EN PROFONDEUR.

Plus la fréquence est haute, plus la profondeur de l'interface qui provoque ce pic est faible.

5.2.2.2. ÉQUIPEMENT, PROTOCOLE ET PROGRAMME D'ANALYSE



FIGURE 5-7 : MATÉRIEL POUR LES MESURES H/V : LEAS CITYSHARK.

Le matériel utilisé dans le cadre de ce mémoire sont deux stations Leas Cityshark, chacune munie d'un sismomètre et d'un microordinateur pour l'enregistrement. A moins d'être sur une surface dure et plane (une route, le bedrock), nous veillons toujours à éliminer la première couche de sol, sur une profondeur d'environ 15 cm. Cette couche, étant généralement la moins consolidée, pourrait provoquer des nuisances. Chaque session de mesure dure 10 minutes en échantillonnant la position des masses du sismomètre 125 fois par seconde. Le gain (l'amplification) est déterminé au cas par cas, en regardant l'amplitude du bruit sur le petit vumètre numérique de la station

d'enregistrement. La localisation de chaque station est mesurée soit au théodolite (si les mesures sont réalisées en parallèle à d'autres), ou par GPS classique. Dans la majorité des cas, la position du profil est connue à plus ou moins 5 mètres.

L'analyse est réalisée en laboratoire sur PySpectratio (Rosset et Petermans 2007). Chaque fichier ASCII extrait de la carte mémoire correspond à une session de mesure de 10 minutes. Les sismogrammes sont d'abord visualisés 'bruts' afin de décider si certaines portions sont clippées (saturées) ou présentent du bruit d'amplitude inhabituelle (présence des opérateurs à proximité en début de session, etc.). Les données sont ensuite analysées par fenêtre coulissante et les spectres H/V sont produits.

5.2.3. MESURES DE GRAVIMÉTRIE RELATIVE

5.2.3.1. MÉTHODE

Le gravimètre est une sorte de balance de très haute précision, fonctionnant avec un ressort et une masse. Plus le champ de gravité est fort, plus la masse est attirée vers le centre de la terre, plus le ressort est étiré. Le gravimètre Scintrex CG-5 fonctionne selon ce principe (Scintrex 2007). Les données acquises sur le terrain doivent ensuite être corrigées d'effets globaux (latitude, marées, dérive) et locaux (topographie, densité) pour être comparables.

Une différence d'altitude de 1 mm correspond à une différence de 2 µgal. Il est donc essentiel de connaître l'altitude du point de mesure le plus précisément possible. A cette fin, l'utilisation d'un levé topographique ou d'un GPS différentiel est impérative. Le choix peut se faire selon la longueur du profil voulu. Si la distance entre deux points de mesure dépasse quelques centaines de mètres et que la longueur totale du profil est grande, le DGPS sera préféré, dans le cas contraire, le levé topographique (au laser) sera préféré pour sa plus grande précision.

5.2.3.2. ÉQUIPEMENT, PROTOCOLE ET PROGRAMME D'ANALYSE

Nous avons utilisé le gravimètre Scintrex CG-5 (Scintrex 2007) propriété de l'Observatoire royal de Belgique et un GPS différentiel prêté par l'INSU (#INSU 11: antenne Trimble Zephyr et datalogger Z-Xtrem). Ce système DGPS n'est pas temps réel, il enregistre toutes les informations relatives à la constellation de satellites toutes les 5 secondes et la position précise du point mesuré est calculée en laboratoire, par réduction des données sur base des corrections fournies par les stations du réseau GPS permanent belge.

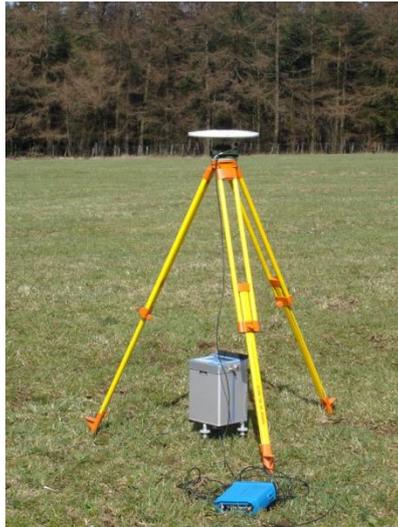


FIGURE 5-8 : GRAVIMÈTRE SCINTREX CG-5 ET DGPS TRIMBLE.

A l'instar d'une station H/V, si le site n'est pas un sol dur (route ou bedrock), nous enfonçons solidement le trépied du gravimètre dans le sol. Nous avons réalisé plusieurs essais d'élimination de la couche de sol et de pose du gravimètre sur une dalle de rue (comme pour le H/V), mais cette opération n'améliorait pas visiblement le niveau de bruit. Chaque session de mesure dure 10 minutes, ce qui est largement suffisant pour la mesure de gravimétrie, mais est requise par le GPS différentiel pour avoir une quantité de données suffisantes pour le post-traitement.

Les données GPS ont été réduites sur un programme prêté par l'INSU. Pour les données gravimétriques, nous utilisons TSOFT, un programme d'analyse graphique développé à l'Observatoire royal de Belgique et disponible pour le public sur son site (Van Camp et Vauterin 2005).

5.2.4. PROFILAGE ÉLECTROMAGNÉTIQUE

5.2.4.1. MÉTHODE

Cette méthode permet de déterminer la conductivité du sous-sol à une profondeur donnée le long de profils. Cette profondeur est définie en fonction du type de dipôle (vertical ou horizontal) utilisé et de leur espacement. Les espacements généralement utilisés sont 10, 20 et 40 mètres. La conductivité est mesurée et les valeurs sont données en millisiemens par mètre (mS/m). Tel que

$$1mSm^{-1} = 1000 \text{ ohm.m}$$

Cette méthode a prouvé son efficacité pour mettre en évidence des terrains conducteurs couvrant un substratum plus résistant (Borne 1990).

5.2.4.2. ÉQUIPEMENT & PROGRAMME D'ANALYSE



FIGURE 5-9 : EM-34 EN OPÉRATION. PHOTO DE GEONICS LTD.

Nous avons loué un Geonics EM34-3 chez ABEM France. Il se compose d'une bobine émettrice, d'une bobine réceptrice et de deux boîtiers de commande. L'acquisition a été faite en temps réel sur un datalogger et la position déterminée par un GPS. Les données brutes sont ensuite extraites de l'appareil et dessinées dans un SIG. L'utilisation de cet appareil qui peut paraître aisée, ne l'est pas. De plus, le matériel est livré sans réel mode d'emploi, juste une procédure de calibration et quelques commentaires. Nous n'avons pas eu l'occasion d'utiliser cet appareil systématiquement lors de la campagne de terrain d'août 2009. Cependant, les quelques résultats obtenus confirment la très haute résistivité des terrains, et donc tombent sous les 1 mS/m ($> 1000 \text{ ohm.m}$).

Nous avons également loué un EM31 pendant une semaine en août 2010. Cet instrument fonctionne sur le même principe que l'EM34, mais les bobines sont maintenues à une distance fixe. L'opérateur porte l'instrument à l'épaule. L'utilisation de cet instrument est donc plus aisée. La profondeur d'investigation de l'instrument est fixée à environ 6 mètres, étant donné que l'écartement inter-bobine est fixé et la hauteur par rapport au sol est similaire selon les opérateurs. La position est déterminée par GPS et une mesure est enregistrée par seconde.

5.2.5. SONDAGES À LA TARIÈRE MANUELLE

5.2.5.1. MÉTHODE

Ces sondages permettent d'obtenir une information sur les quelques premiers mètres de la couche de sol. En général les profondeurs atteintes sont de l'ordre de 2 à 3 mètres. Une détermination de la composition, de la granulométrie et de la couleur est effectuée tous les 10 cm environ. La profondeur de la nappe, la présence de niveaux indurés ou de bedrock altéré peuvent également être mise en évidence. Les couleurs sont déterminées par comparaison avec une charte de couleur référencée (Munsell 1975).

5.3. Evaluation de la sensibilité de la méthode de résistivité électrique

Nous voulions déterminer l'influence de chaque électrode sur le profil donné comme résultat de l'inversion. Nous avons établi une nouvelle méthodologie (Lecocq et Vanneste 2009), basée sur le principe du Jackknife (Walsh 2000). Le Jackknife consiste en l'exécution d'un protocole d'analyse (en général statistique, mais d'inversion dans notre cas) en incluant toutes les données, sauf une. Nous enlevons, pour un profil donné, toutes les mesures relatives à une électrode, qu'elle ait été utilisée en tant qu'électrode de courant ou de potentiel. Chacun des N profils (N étant le nombre d'électrodes) est ensuite analysé par Res2DINV et les N résultats sont comparés au profil "complet" un à un.

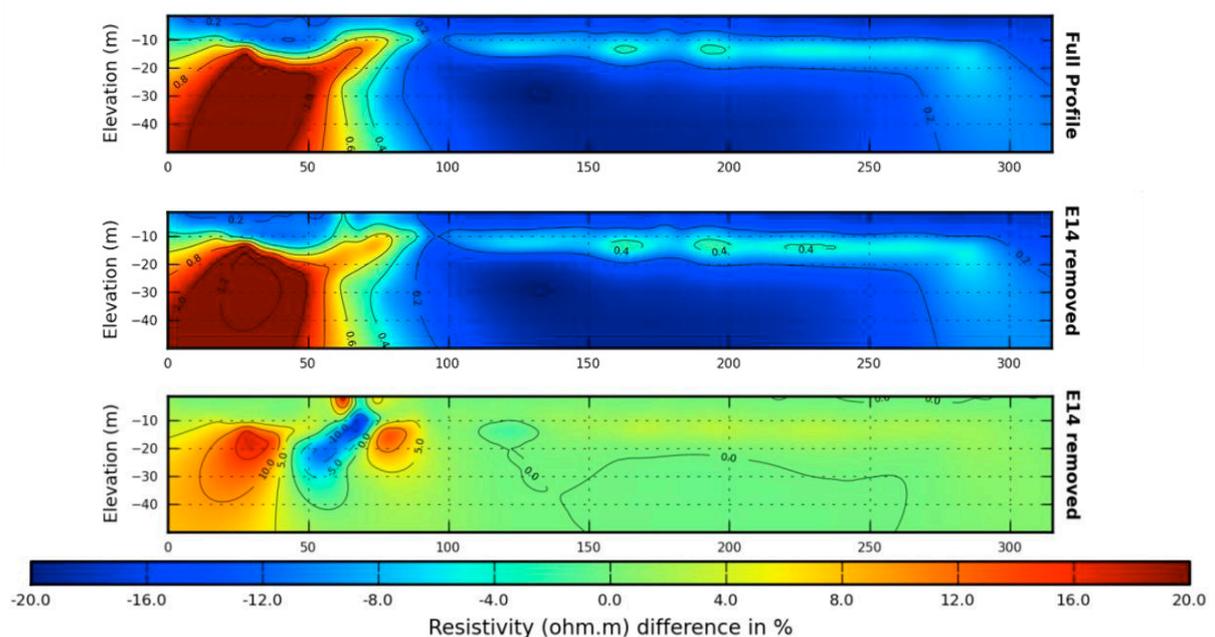


FIGURE 5-10 : EXEMPLE DE COMPARAISON ENTRE UN PROFIL DE TOMOGRAPHIE ÉLECTRIQUE COMPLET (PREMIER PROFIL) ET UN PROFIL OÙ LES DONNÉES RELATIVES À L'ÉLECTRODE 14 SONT ENLEVÉES (DEUXIÈME PROFIL). LES DIFFÉRENCES EN % SONT ILLUSTRÉES SUR LE 3IÈME PROFIL.

La conclusion de cette analyse montre que, pour un profil donné (Figure 5-10), l'élimination d'une électrode, quelle que soit sa position le long du profil, a une influence sur l'ensemble des mesures. Il devient alors très difficile d'estimer l'influence qu'une électrode défaillante (ou éliminée sur le terrain pour des raisons techniques) peut avoir sur le profil complet. De même, dans le cas de sondages répétés, pour étudier la diffusion d'un polluant par exemple, la défaillance d'une électrode au cours de la série temporelle fait que, selon nous, il faut l'éliminer de tous les profils, même s'ils ont été mesurés avant cette défaillance. En effet, les variations induites par l'absence de l'électrode défaillante peuvent être importantes (10% de la gamme de résistivité), les profils réalisés ne seraient alors pas comparables.

5.4. Analyse combinée des différents types de données géophysiques

L'image donnée par la tomographie de résistivité électrique est une approximation 2D d'une structure 3D. Les mesures H/V sont des mesures ponctuelles à la surface et la conversion de la fréquence en une profondeur suppose des interfaces approximativement planes. Les mesures H/V sont dès lors des mesures 1D. Enfin, les mesures de gravimétrie sont ponctuelles à la surface, mais dont la réponse instrumentale dépend d'un volume sous la station de mesure. Ces mesures sont donc des mesures 3D.

La difficulté est dès lors de tirer des conclusions de méthodes fournissant des informations dans des dimensions différentes.

Dans ce paragraphe, nous traitons les mesures H/V et de gravimétrie par rapport aux mesures de résistivité. Nous présentons aussi une estimation de la variation en saturation en eau au sein d'une même lithologie et son influence sur les mesures de résistivité.

5.4.1. RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE ET MESURE H/V

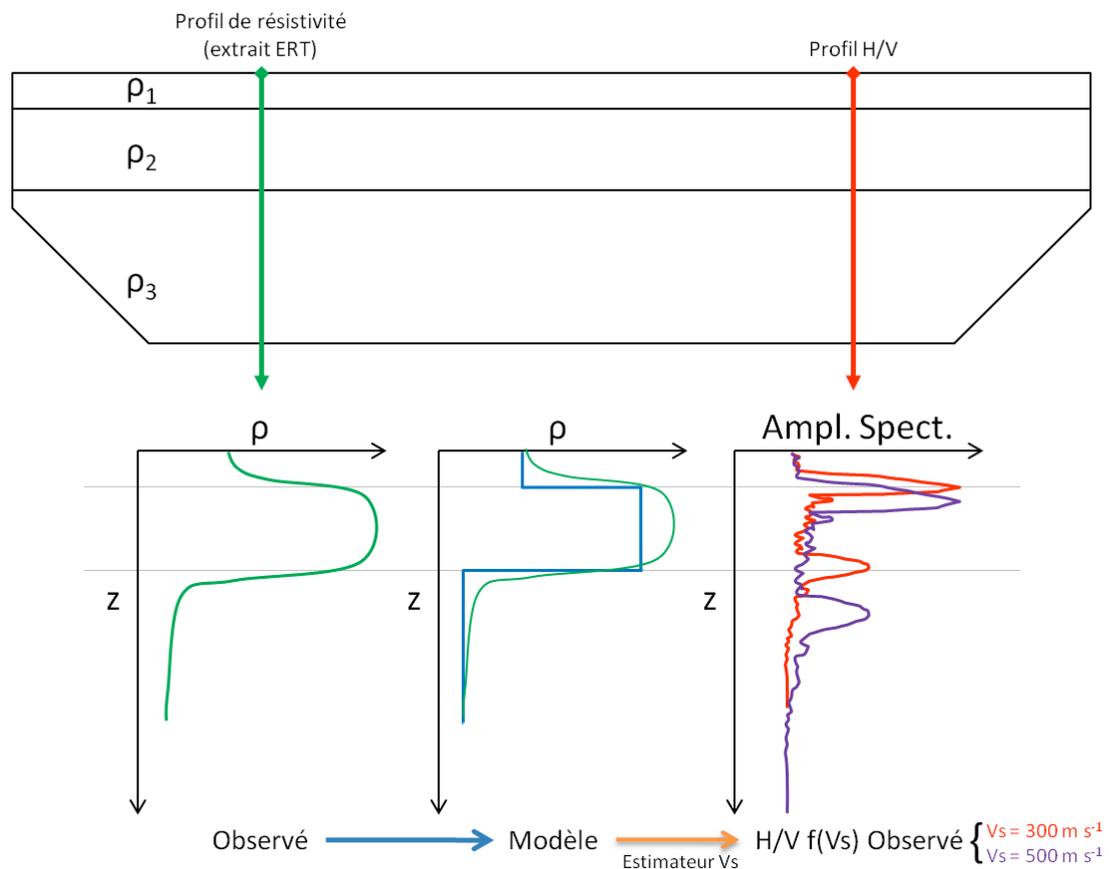


FIGURE 5-11 : ILLUSTRATION DE LA COMPARAISON DES DONNÉES ERT ET H/V POUR UN PROFIL DONNÉ.

Pour chaque site de mesure H/V, on peut extraire un profil vertical de la résistivité obtenue par la tomographie électrique (Figure 5-11). Ce profil est une courbe montrant des variations de résistivités plus ou moins importantes. La valeur absolue de la dérivée de cette courbe met en évidence les gradients et un modèle peut en être déduit.

La courbe d'amplitude spectrale en fonction de la fréquence a été transformée pour être en fonction de la profondeur. Cette transformation requiert une valeur, inconnue, de V_s . En effet, comme nous l'avons vu plus haut,

$$F_0 = \frac{V_s}{4h}$$

La profondeur déterminée pour le modèle de résistivité nous permet d'ajuster V_s pour leur faire correspondre le premier pic (la courbe rouge présente le premier pic bien aligné, alors que la courbe mauve non). La vitesse V_s dans le premier niveau sera donc égale à 300 m s-1. Le pic suivant ne correspond pas à la seconde interface de résistivité. Il est donc probable que la vitesse dans le deuxième niveau soit supérieure à celle du premier.

Si le contraste de vitesse entre les couches n'est pas assez grand, l'amplitude du signal H/V ne permettra pas de le mettre en évidence.

5.4.2. RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE ET SATURATION EN EAU

La loi d'Archie dit que, pour une roche donnée, sans argiles et minéraux conducteurs, la résistivité est telle que :

$$\rho_e = a \rho_w S_w^{-n} \phi^{-m}$$

où ρ_e est la résistivité de la roche, ρ_w celle de l'eau, S_w la fraction de saturation en eau de ϕ la fraction de porosité. Couramment, les valeurs de n et m sont proches (égales) à 2 (Monteiro Santos et al. 2006).

Si la même roche compose l'ensemble du profil, mais que le premier niveau correspond à la roche altérée, le deuxième à la roche insaturée et le troisième à la roche saturée en eau par la nappe profonde, alors leur résistivité pourrait être telle que :

$$\rho_2 > \rho_1 \geq \rho_3$$

S'il s'agit de la même roche, alors la porosité est identique, en tout cas dans les deux niveaux inférieurs présents sur la coupe de tomographie, jusqu'à des profondeurs raisonnables de l'ordre de 30 ou 40 mètres.

$$\phi_2 = \phi_3$$

Donc, si :

$$\rho_2 = a \rho_w S_{w2}^{-n} \phi^{-m} \text{ et } \rho_3 = a \rho_w S_{w3}^{-n} \phi^{-m}$$

Alors, le rapport ρ_3/ρ_2 est tel que :

$$\frac{\rho_3}{\rho_2} = \frac{S_{w3}^{-n}}{S_{w2}^{-n}} = \left(\frac{S_{w2}}{S_{w3}} \right)^n$$

Et donc, le rapport de saturation en eau entre les deux niveaux de résistivité est

$$\frac{S_{w2}}{S_{w3}} = \sqrt[n]{\frac{\rho_3}{\rho_2}}$$

Dans notre exemple, si S_{w3} est proche de 1 (=100 %), alors S_{w2} est égal à la racine carrée (n généralement égal à 2) du rapport des résistivités ρ_3/ρ_2 .

Si $\rho_2 = 4000 \text{ ohm.m}$ et $\rho_3 = 200 \text{ ohm.m}$, alors :

$$S_{w2} = \sqrt[2]{\frac{200}{4000}} S_{w3} = 0.22 S_{w3}$$

Si S_{w3} est proche de 1, S_{w2} sera proche de 0.22, soit 22 % de saturation.

La porosité peut alors être estimée, telle que :

$$\phi = \sqrt{\frac{a \rho_w}{S_w \rho_i}}$$

Dans le cas précédent, avec la résistivité de l'eau généralement comprise entre 1 et 200 ohm.m,

$$\phi = \sqrt{\frac{a \cdot \rho_w}{S_w \cdot \rho_i}} = \sqrt{\frac{a \cdot [1 - 200]}{0.22^2 \cdot 4000}} = \sqrt{\frac{a \cdot [1 - 200]}{1^2 \cdot 200}} = \sqrt{a} \cdot [0.07 - 1]$$

si $a = 1$ alors, la porosité sera comprise entre 7 % et 100 % selon les valeurs choisies pour la résistivité de l'eau.

Si le premier niveau est constitué de la même roche que les deux sous-jacents, mais altérée, sa composition et sa porosité peuvent varier fortement. La présence d'une nappe d'eau superficielle

et donc d'une relativement importante saturation ne facilite pas l'évaluation de ces variations. Ceci dit, si on considère la résistivité mesurée de ce niveau, par exemple $\rho_2 = 500 \text{ ohm.m}$ et qu'il est saturé en eau, on peut estimer la porosité du matériel comme :

$$\phi = \sqrt{\frac{a \cdot \rho_w}{S_w \cdot \rho_i}} = \sqrt{\frac{a \cdot [1 - 200]}{1^2 \cdot 500}} = \sqrt{a} \cdot [0.04 - 0.63]$$

si $a = 1$ alors, la porosité serait comprise entre 4 % et 63 % selon les valeurs choisies pour la résistivité de l'eau.

5.4.3. RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE ET GRAVIMÉTRIE

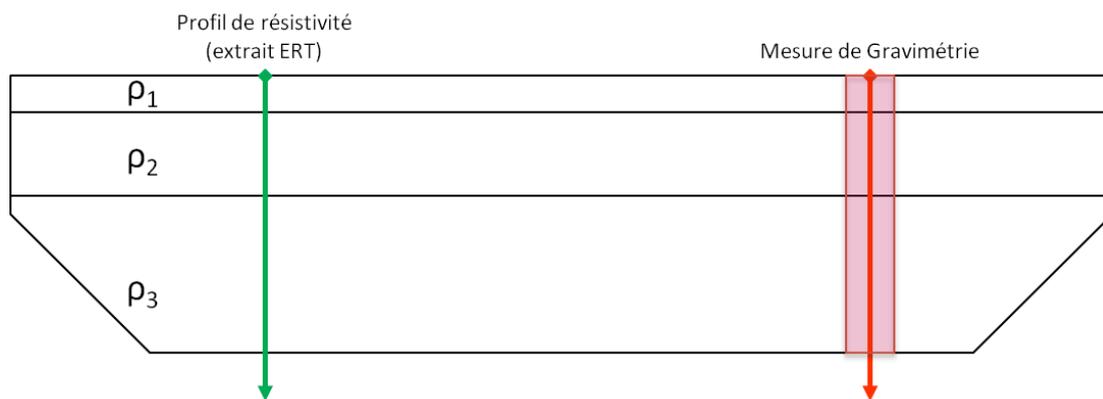


FIGURE 5-12 : ILLUSTRATION DE LA COMPARAISON DES DONNÉES DE RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE AVEC LES MESURES DE GRAVIMÉTRIE.

La densité d'une roche est donnée, telle que (Monteiro Santos et al. 2006) :

$$\sigma_e = (1 - \phi)\sigma_m + S_w \phi \sigma_w$$

où σ_m est la densité de la roche, ϕ la porosité [0-1], S_w la saturation en eau [0-1] et σ_w la densité de l'eau.

Si on considère un prisme de 1 mètre de côté (Figure 5-12), si les niveaux 2 et 3 sont composés de la même roche (comme dans l'exemple précédent) et que la couche 1 est d'épaisseur négligeable, alors la différence de densité entre les deux niveaux sera uniquement fonction de la différence de leur saturation en eau.

Le long d'un profil vertical entre 0 et Z_{max} (la profondeur maximale), la somme de la masse des terrains rencontrés est alors :

$$m = \int_0^{Z_{max}} \sigma_z dz = \int_0^{Z_{max}} ((1 - \phi)\sigma_m + S_{wz} \phi \sigma_w) dz$$

$$= (1 - \phi) \sigma_m \cdot Z_{max} + \int_0^{Z_{max}} (S_{wz} \phi \sigma_w) dz$$

Ou, pour un modèle de n couches :

$$m \cong (1 - \phi) \sigma_m \cdot Z_{max} + \sum_{i=1}^n (S_{wi} \phi \sigma_w h_i)$$

Pour le modèle en niveaux homogènes, si les épaisseurs sont $h_1 = 0 \text{ m}$, $h_2 = 10 \text{ m}$, $h_3 = 20 \text{ m}$, la porosité ϕ est de 7% et la saturation en eau $S_{w2} = 0.22$ et $S_{w3} = 1.0$, alors

$$m = 0.93 \sigma_m * 30 + (0.22 * 0.07 * 10) + (1.0 * 0.07 * 20) = 27.9 \sigma_m + 1.554$$

Si $\sigma_m = 2.67$, alors $m = 74.49 + 1.55 = 76.04$ Tonnes

Si la saturation en eau du niveau 2 varie, par exemple si $S_{w2} = 0.50$, alors la contribution de cette couche à la masse sous la station passe de 0.154 T à 0.350 T.

100 kg d'eau ont une signature de 4 μGal , donc un supplément de 200 kilogrammes représente seulement 8 μGal . Si on considère uniquement le prisme de 1 m^2 de section situé sous la station, la réponse d'un changement de saturation en eau dans les 10 premiers mètres de profil vertical ne sera donc pas détectable par rapport à l'erreur sur la mesure effectuée en surface.

Un calcul plus réaliste peut être appliqué en sommant les contributions des terrains localisés à l'intérieur d'un cône dont le sommet est la station de mesure.

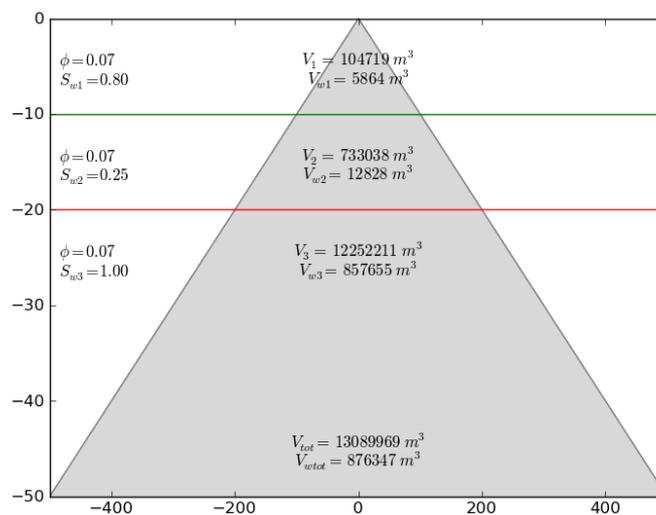


FIGURE 5-13 : COUPE 2D DANS LE CÔNE CONSIDÉRÉ COMME LE VOLUME AYANT UNE INFLUENCE SUR LA MESURE DE GRAVIMÉTRIE EN SURFACE. ILLUSTRATION DU VOLUME D'EAU PRÉSENT DANS TROIS COUCHES DONT LA POROSITÉ ET LA SATURATION SONT FIXÉES.

Pour le modèle de cône à 3 niveaux (Figure 5-13), on calcule le volume inclus dans le cône dont les paramètres sont tels qu'à 50 mètres de profondeur le rayon d'influence (l'intersection entre le cône et le plan $z = -50 \text{ m}$ est un cercle) soit de 500 mètres. On calcule le volume d'eau V_{wi} contenu dans chaque niveau i connaissant le volume V_i , la porosité \emptyset et la saturation S_{wi} .

Les volumes ayant une influence sur la mesure gravimétrique en surface sont si grands qu'une variation de 10 % de la saturation dans le premier niveau suffirait à produire une augmentation d'environ 23 mGal, une quantité **détectable** par le gravimètre Scintrex CG5. Notons, pour information, que la saturation double quand la résistivité est divisée par quatre :

$$S_w \propto \sqrt{\rho^{-1}}$$

5.5. Conclusions du chapitre

La base de nos recherches de failles sur le terrain est le profil de tomographie de résistivité électrique. Ce profil 2D est complété, à espacement régulier à la surface, de mesures de H/V et de gravimétrie. La combinaison des données permet la mise en évidence de discontinuités dans le sous-sol. Une connaissance, même approximative, de la géologie locale permettra alors de d'émettre des hypothèses valables sur le lien entre ces discontinuités et des variations de lithologies (pendages, plis, etc.), ou la présence d'autres structures (failles, karsts, etc.).

Sur base des comparaisons que nous avons effectuées, nous pouvons établir une clé de détermination générale. Pour chaque ligne du tableau suivant, nous partons d'une observation sur une tomographie de résistivité électrique et donnons ensuite l'interprétation liée au signal observé sur le H/V ou la gravimétrie.

Tomographie de résistivité électrique	Mesure H/V	Mesure de Gravimétrie	Interprétation
Contraste de résistivité le long d'un profil vertical	Présence d'un pic		Présence d'un contraste d'impédance suffisamment net, par exemple à une variation de lithologie ou au passage d'un bedrock altéré au bedrock sain
Contraste de résistivité le long d'un profil vertical	Pas de pic net		La différence de résistivité n'est pas due à un contraste d'impédance fort, elle est alors par exemple liée à une variation de la saturation en eau
Variation horizontale de la résistivité moyenne dans une "niveau" donné * AVEC variation du rapport de résistivité entre les niveaux superposés		Variation significative de la valeur mesurée	Augmentation/Diminution de la saturation en eau
* SANS variation du rapport de résistivité entre les niveaux superposés		Variation significative de la valeur mesurée	Changement probable de lithologie (variation de densité).

CHAPITRE 6. LA ZONE FAILLÉE DE HOCKAI

La Zone Faillée de Hockai est une structure visible dans la géomorphologie régionale et décrite pour la première fois par Ahorner (1975) et ensuite par Demoulin (1988). C'est une structure d'orientation générale SSE-NNO située dans l'Est de la Belgique, entre le Pays de Herve (Graben de La Minerie) au nord, et l'Amblève au sud. Elle traverse le Massif de Stavelot, à peu près perpendiculairement à la Crête de la Vecquée, arrête sommitale des Hautes-Fagnes.

Cette Zone est particulièrement intéressante pour son importance dans l'évaluation de l'aléa sismique dans nos régions. En effet, le séisme du 18 septembre 1692 a été localisé dans le nord de la Zone, dans la région de Verviers. La localisation de ce séisme n'est évidemment pas précise, mais la zone épiscopale est tout de même bien contrainte, à plus ou moins 10 km. L'occurrence et l'étude minutieuse d'une séquence sismique en 1989-1990 a permis la détermination d'un plan de faille en profondeur et montrent que l'activité sismique dans cette zone est encore actuelle. Les questions qui se posent sont donc "Peut-on y trouver des failles susceptibles d'être la source du séisme de 1692?", "Les concentrations de tremblements de terre observées en Ardenne sont-elles liées à des failles à la surface du sol?" ; "Ces failles sont-elles identifiables sur le terrain ?" ; "Sont-elles actives ?" et enfin : "Peut-on estimer leur taux d'activité ?".

Dans la première partie de ce chapitre, nous présentons les données existantes relatives aux études réalisées depuis une quinzaine d'années dans la Zone. Nous expliquons ensuite le choix de la Crête de la Vecquée comme laboratoire naturel et nous présentons les nouvelles données géophysiques acquises depuis 2006 le long d'un profil perpendiculaire à la ZFH. Nous présentons enfin une nouvelle interprétation de l'histoire de la Crête de la Vecquée et donc de la Hoëgne et discutons les questions posées ci-dessus.

6.1. Données existantes

6.1.1. L'ACTIVITÉ SISMIQUE

L'activité sismique dans la Zone Faillée de Hockai se produit à des profondeurs inférieures à 9 km. Cette zone marque une différence structurale majeure entre deux autres zones où l'activité sismique se produit plus en profondeur (voir Chapitres 3 et 4).

Le séisme du 18 septembre 1692 de magnitude $6 \frac{1}{4}$ a été localisé dans la région de Verviers par inversion des données macrosismiques (Alexandre et al. 2008). Ce séisme est le plus important ayant eu lieu au Nord des Alpes depuis le Moyen Âge. L'application du logiciel BOXER (Gasperini et al. 1999) a permis de calculer une source possible orientée à N172°.

Entre novembre 1989 et mai 1990 environ 500 séismes se sont produits au nord-ouest de Malmedy, dont 92 ont pu être localisés avec précision par Camelbeeck (1993). Une coupe N45° dans le nuage de points représentant la séquence lui a permis d'identifier une faille orientée N330° et de pendage moyen de 70°. Notre analyse en 3D (voir Chapitre 3, paragraphe 3.4) montre qu'en sous-échantillonnant le nuage de point pour obtenir un groupe dense, l'orientation est N320°±15° et le pendage d'environ 86°.

La Figure 6-1 illustre l'intersection avec la surface des plans de faille déterminés en 3D en utilisant les données issues des différentes méthodes de relocalisation (voir Chapitre 1, 1.4 et 1.7.1 pour la méthodologie et Chapitre 3, 3.4 pour les résultats). Les quatre traces sont relativement proches les unes des autres.

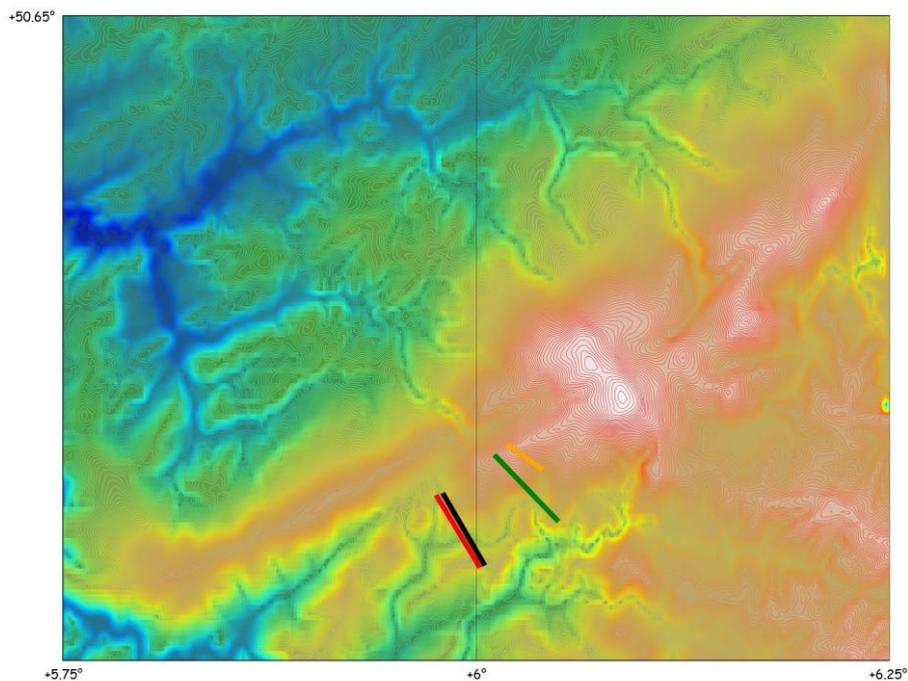


FIGURE 6-1 : MODÈLE NUMÉRIQUE DE TERRAIN SUR LEQUEL SONT REPRÉSENTÉES LES PROJECTIONS EN SURFACE DU PLAN DE FAILLE DÉTERMINÉ PAR MÉTHODE 3D POUR COMPLIC(VERT), HYPODD(ORANGE), LOTOS(ROUGE) ET PAR CAMELBECK EN 1993 (NOIR).

6.1.2. LA CARTOGRAPHIE DES LINÉAMENTS

La zone Faillée de Hockai est également mise en évidence par les alignements ou linéaments identifiés sur photo satellite ERTS-1 (Vandenvén 1977). Les principaux éléments de la géologie régionale apparaissent : la discordance des terrains secondaires sur le Paléozoïque ardennais, la forme et l'allure de la Nappe de Dinant, l'axe du Condroz, les directions axiales au sein des structures Eifeliennes et le périmètre du Massif de Stavelot. Le linéament "Trois-Vierge – Malsbenden" est mis en évidence au sud-est. A l'intérieur du Massif de Stavelot, les linéaments sont

soit de direction SSE-NNO ou alors SSO-NNE. Les linéaments SSE-NNO (approximativement N330°) mettent en évidence la Zone Faillée de Hockai.

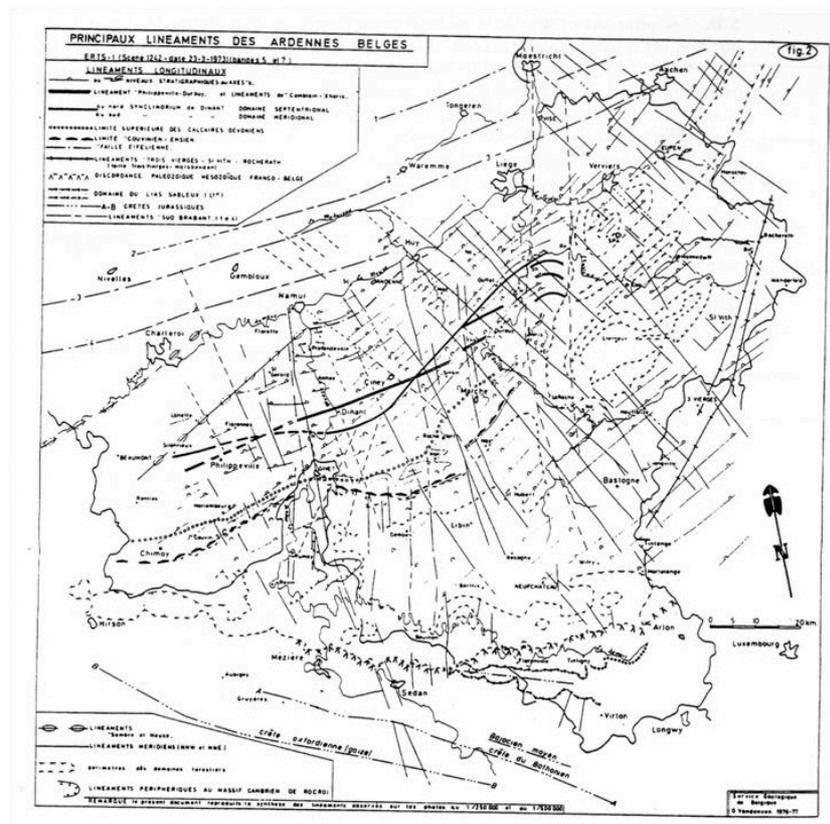


FIGURE 6-2 : LINÉAMENTS EN ARDENNE. FIGURE DE VANDENVEN (1977).

6.1.3. LA GÉOMORPHOLOGIE

La Zone Faillée de Hockai (HFZ) est identifiée dans la géomorphologie depuis environ 30 ans. Les arguments géomorphologiques attestant de sa présence ont été résumés récemment par Demoulin (2006). Il mentionne, entre autres, que la Crête de la Vecquée présente un décalage altitudinal d'environ 30 m de part et d'autre de la trace de la faille avec un affaissement du bloc ouest et que ce ressaut topographique est acquis au Néogène et/ou au Quaternaire. La HFZ a déterminé l'installation de rivières dans des tronçons rectilignes et alignés. C'est le cas de la Warche, du Trô Maret, de la Hoëgne ou du ruisseau des Paires (au SE de Verviers). Elle a facilité une capture de la Hoëgne à Hockai, vraisemblablement au Pliocène ou au début du Quaternaire. Un col de capture débouchant sur la vallée surdimensionnée du ruisseau de Hockai, ainsi que les dépôts fluviaux exposés dans cette vallée témoignent de la capture (Demoulin 1986). Il dit qu'à l'exception de la Vesdre, toutes les rivières à écoulement est-ouest sont défléchies vers le NO à leur intersection avec la HFZ et suggère qu'elle aurait pu connaître un épisode de décrochement dextre d'ampleur kilométrique, cependant aucun paléo champ de contrainte identifié dans la région n'est capable de rendre compte de ce type de mouvement (Vandycke 2002). Il note la

présence de plusieurs crêtes subverticales de quartzite cambrien, orientées à l'OSO, montrant une composante de décrochement sénestre de ~10 m dans la vallée de la Hoëgne à l'aval de Hockai. Enfin, dans la région de Verviers, quelques vallons subissent également un décrochement sénestre de quelques dizaines de mètres au passage de la zone faillée.

6.1.4. LA GÉOLOGIE

Le massif de Stavelot est composé de roches Primaires, principalement Cambriennes, qui ont subi les orogénèses Calédonienne et Varisque. Les roches rencontrées sont principalement acides : grès, grès quartzitiques, quartzites, phyllades, quartzophyllades etc. Malmedy est affecté par un graben ouvert au Permien et comblé du fameux "poudingue de Malmedy", sorte de formation de blocs hétérogènes liés par un ciment généralement calcaire. Les affleurements rocheux dans le massif de Stavelot sont relativement peu nombreux (surtout dans certaines zones de fagnes, par exemple). Les roches ayant subi deux orogénèses sont souvent fortement plissées et inclinées, présentant parfois une schistosité ou des diaclases importantes. L'orientation générale des couches est SO-NE à OSO-ENE, avec des variations locales possibles. Ces couches ont des pendages NO/SE ou NNO/SSE.

Les seules cartes géologiques dressées du Massif de Stavelot l'ont été par F. Geukens (1986 et 1999). Elles ne prennent pas en considération les arguments géomorphologiques importants identifiés sur photos aériennes et satellite comme sur le terrain (Vandenven 1977; Ahorner 1983; Demoulin 1988) et ne mentionnent donc aucune faille, même "supposée", sud-est nord-ouest au cœur du Massif.

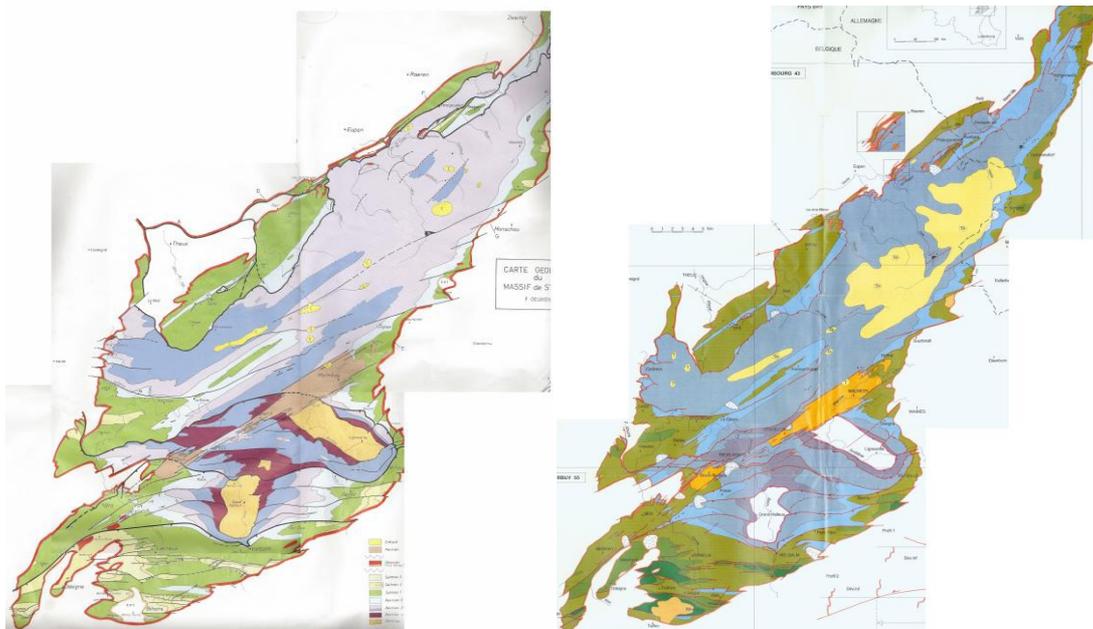


FIGURE 6-3 : CARTES GÉOLOGIQUES DU MASSIF DE STAVELOT, PAR GEUKENS (GAUCHE : 1986 ; DROITE : 1999).

Une coupe schématique du Massif a récemment été présentée (Figure 6-4) et illustre l'importance du linéament "Trèves-Verviers" dans la structure du socle (Hance et al. 1999). Les auteurs présentent ce linéament comme l'expression d'une faille normale séparant le bloc oriental plus bas (le toit) du bloc occidental plus haut (le mur). Ils ne discutent cependant pas le fait que les altitudes les plus importantes du rencontrées en Belgique soient rencontrées sur le toit, donc plus bas. Geukens (1995) note que l'extension du Graben de Malmedy pourrait être une forme de "pull-apart" lié à un mouvement de décrochement le long de failles NNW-SSE présentes dans le socle.

Dejonghe (2008) présente, dans le sud de la "Zone de l'Ourthe" (identifiée sur photo satellite par Vandenven (1977)), un couloir faillé de décrochement dextre, résultant de l'action en buttoir du Massif de Stavelot lors de l'orogénèse Varisque (trait gris sur la Figure 6-4). Notons également que les auteurs de la Figure 6-4 ne placent pas Verviers dans la Zone Faillée de Hockai (liée au linéament Trèves-Verviers), alors qu'ils représentent le décrochement sénestre d'axes de plis entre la fenêtre de Theux et Verviers.

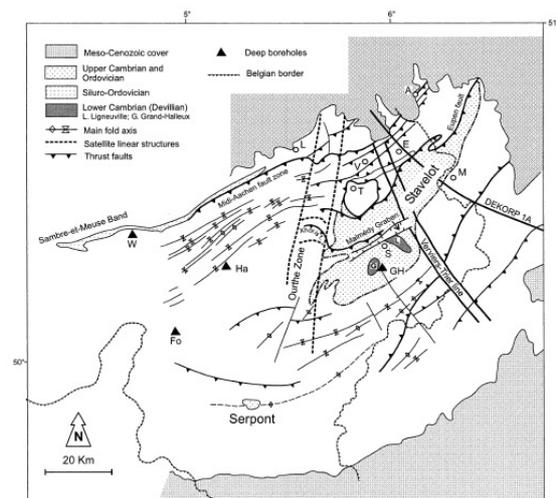


Fig. 4 Main structural elements of eastern Belgium including linear structures inferred from satellite imagery (Vandenven, 1977). A = Aachen, E = Eupen, Fo = Focant, GH = Grand-Halleux, Ha = Havelange, L = Liège, M = Monschau, S = Stavelot, T = Theux, V = Verviers, W = Wépion.

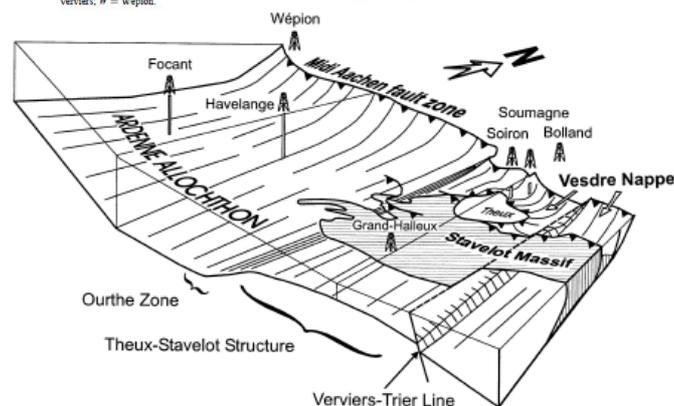


Fig. 3 3D schematic model of the Ardennes Allochthon between central Belgium (Meuse profile) and western Germany (modified after Bless et al., 1980; not to scale). The Theux-Stavelot structure is responsible for the particular character of the allochthon in this zone (see discussion in text).

FIGURE 6-4 : SCHÉMA DES STRUCTURES PRINCIPALES DANS ET AUTOUR DU MASSIF DE STAVELOT (GAUCHE) ET MODÈLE 3D (DROITE). FIGURES DE HANCE ET AL (1999).

6.1.5. LES DONNÉES GÉOPHYSIQUES

Des reconnaissances en géophysique appliquée ont été réalisées à proximité de Verviers : à Wesny, Ottomont et Houlteau (Petermans et al. 2004; Demoulin 2006). D'autres l'ont été à proximité de Hockai : à Belle-Hé et à Solwaster (Wallemacq 2000; Petermans et al. 2004).

Nous présentons brièvement les conclusions des différentes reconnaissances ci-dessous.

6.1.5.1. BELLE HÉ

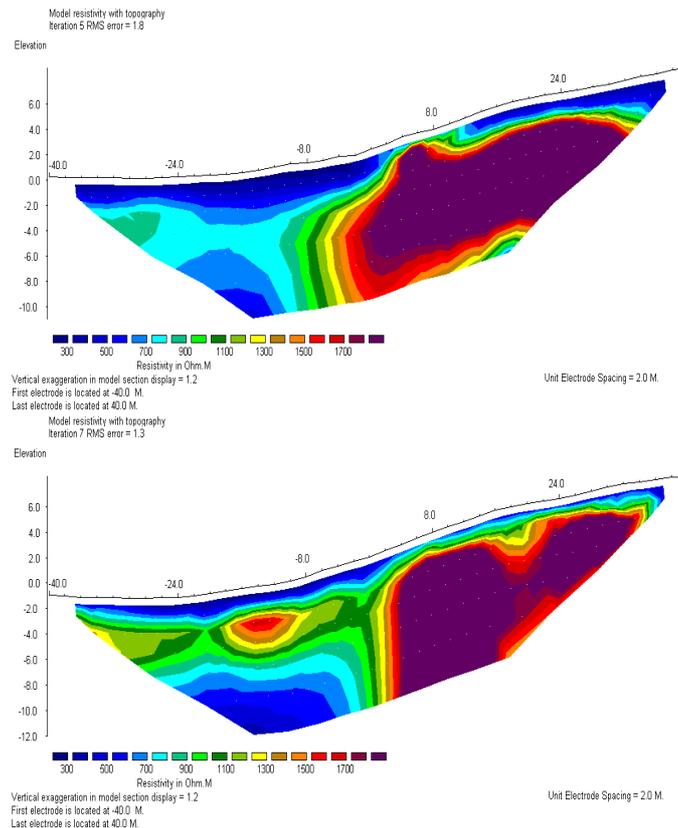


FIGURE 6-5 : PROFILS DE TOMOGRAPHIE DE RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE RÉALISÉS À BELLE HÉ, ORIENTÉES EST (GAUCHE) – OUEST (DROITE). FIGURES DE CAMELBECK ET AL (2008).

Deux tomographies de résistivité (Figure 6-5) ont été réalisées à Belle Hé par l'Observatoire Royal de Belgique (T. Camelbeeck, Jongmans, et Vanneste 1998), de même que des profils radar et de sismique réfraction et des sondages électriques et électromagnétiques. L'analyse de la sismique réfraction donne un modèle en 3 couches, de 3m d'épaisseur à 700-770 m/s, sur 6-10m d'épaisseur à 1700 à 2150 m/s et enfin de 8.5 à 13m d'épaisseur à 4600 m/s. Malheureusement, ces données de vitesses ne sont pas localisées sur carte, nous ne savons donc pas si elles sont parallèles aux tomographies ou non. Les tomographies électriques montrent des résistivités faibles en surface (~300 ohm.m) avec un épaissement du niveau du milieu du profil vers le bas de la pente. En profondeur, le contraste de résistivité est nettement plus important,

entre plus de 2000 ohm.m et 300 ohm.m. Deux profils subparallèles espacés de 30 mètres donnent une image cohérente de l'origine de cet escarpement, vraisemblablement lié à une faille.

Demoulin (2006) dit que les profils réalisés par l'Observatoire (Figure 6-5) "ne permettent pas d'écarter l'éventualité très probable qu'il s'agisse simplement d'un talus séparant une terrasse de rivière de sa plaine alluviale actuelle". Cette affirmation suppose donc que le bedrock identifié sur la partie haute du profil ait été érodé par la rivière lors de sa dernière phase d'incision, et que les alluvions comblent aujourd'hui ce vide, provoquant le très grand contraste de résistivité présent en profondeur. Cette incision devrait alors être supérieure à 12 mètres, en effet le bedrock est absent de la partie basse du profil.

6.1.5.2. SOLWASTER

Wallemacq (2000) a réalisé 4 profils de tomographie de résistivité électrique doublés de profils de radar à proximité de Solwaster, en rive droite de la Hoëgne (Figure 6-6). La conclusion qu'il en tire est qu'il est possible qu'un niveau de graviers fluviaux épais de 2 ou 3 mètres soit décalé de part et d'autre du petit escarpement de 1 m de haut. Demoulin (2006) n'exclut pas la possibilité qu'il ne s'agisse que de terrasses de la Hoëgne. Le profil radar 1 (Figure 6-6) nous semble le plus concluant en faveur d'une faille. En effet, une limite nette apparaît au droit du pied de l'escarpement à partir de quelques mètres de profondeur. Cela dit, si une faille était orientée dans l'orientation générale de HFZ, une telle observation devrait être faite sur les profils 2 à 4, ce qui ne semble pas être le cas. Ces profils montrent par contre un contraste latéral en profondeur, chaque fois vers le milieu du profil. Ces variations pourraient être associées à une faille. Nous avons calculé, sur base des localisations des profils fournies par Wallemacq, que cette structure a une orientation N 337°, ce qui est tout à fait cohérent avec l'orientation générale de la ZFH.

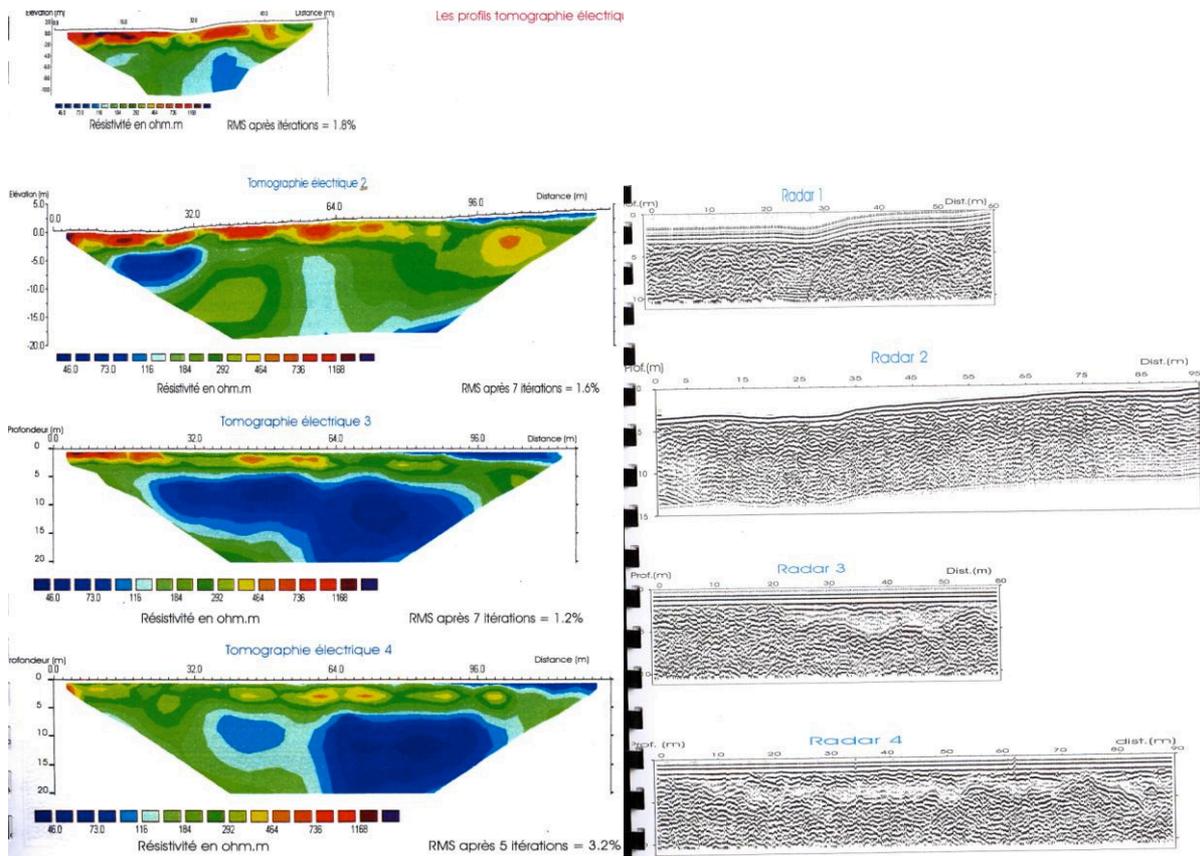


FIGURE 6-6 : TOMOGRAPHIES DE RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE RÉALISÉS PAR WALLEMACQ (2000) À PROXIMITÉ DE SOLWASTER. FIGURES DE WALLEMACQ (2000).

Il a également réalisé un profil de sismique réfraction et a calculé une tomographie sismique réfraction. Les vitesses rencontrées sont très importantes, entre 700 m/s à proximité de la surface et déjà près de 2700 m/s à 2m de profondeur.

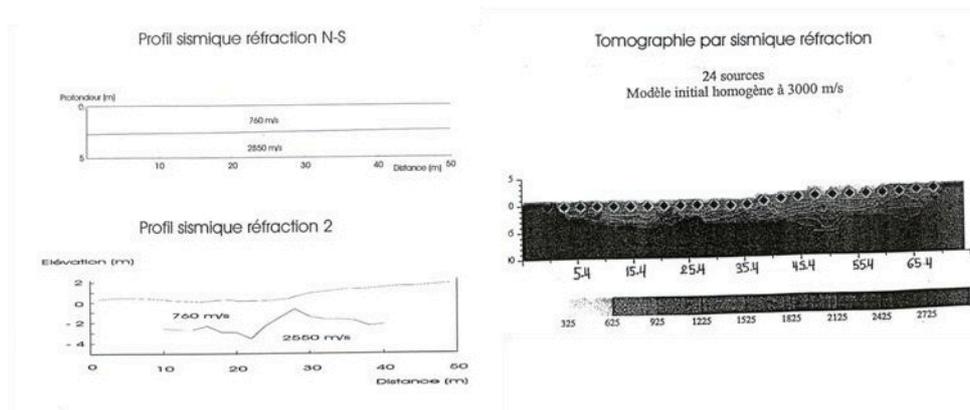


FIGURE 6-7 : PROFILS DE SISMIQUE RÉFRACTION, FIGURE DE WALLEMACQ (2000).

6.1.5.3. HOULTEAU

Petermans et al (2004) ont réalisé une tomographie de résistivité électrique à Houlteau. Cette tomographie met en évidence une forte variation latérale de résistivité à l'emplacement supposé d'une faille liée à la ZFH (vers la cote 100 m sur la Figure 6-8). Ce contraste met même en évidence un pendage apparent du plan de faille de l'ordre de 70° vers l'ouest. Notons également l'inflexion du niveau de plus haute résistivité vers l'est du profil, vers la cote 165 m.

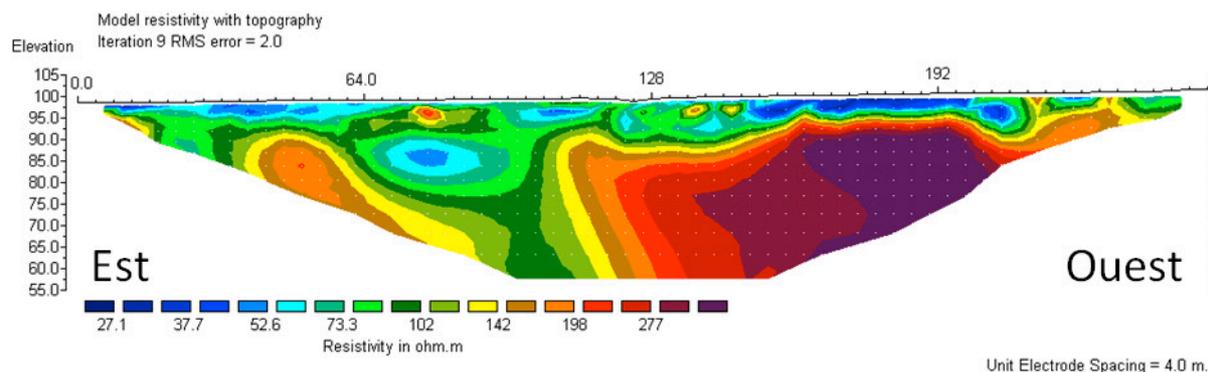


FIGURE 6-8 : PROFIL DE TOMOGRAPHIE DE RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE RÉALISÉ À HOULTEAU. FIGURE DE PETERMANS ET AL (2008).

Concernant les tomographies électriques réalisées à Houlteau (Figure 6-9) par Demoulin (2006), nous notons qu'il suppose, sur base des profils "tomo 4 et tomo 5", qu'un niveau de base serait verticalement à la base de la couche de basse résistivité. Si l'hypothèse peut être soutenue pour la "tomo 5", elle ne peut être basée, selon nous, sur la "tomo 4". En effet, (1°) l'image montrée est le résultat d'une inversion par itération, arrivée à la 10^{ième} itération et dont l'erreur RMS est encore de 16.3 %. Nous savons que RES2DINV, le programme utilisé par Demoulin, produit en général des solutions à faible RMS très rapidement. Le fait de devoir pousser le programme jusqu'à la 10^{ième} itération et n'obtenir que 16.3% de RMS est très peu fréquent et même généralement le témoin d'un problème dans les données de base. (2°) Ce profil est différent des deux autres présentés par la présence d'un niveau de très basse résistivité dans le bas du profil, ce qui est en désaccord avec la description en 3 couches développée dans le texte, dont la plus profonde dépasse les 300 ohm.m. Ceci dit, les valeurs de résistivité électrique présentées pour la "tomo 4" semblent cohérentes avec les vitesses obtenues par sismique réfraction. La "tomo 5" montre en effet une inclinaison de niveaux de résistivités moyenne dans sa partie ESE, bien que le niveau de haute résistivité (interprété comme le bedrock schisteux) ne semble pas décalé vers le haut. Enfin, la "tomo 2" semble la plus convaincante pour montrer l'image d'une faille. Le bedrock (haute résistivité) est seulement présent sur la moitié ONO du profil, ce qui laisse supposer qu'il est décalé vers le bas à l'ESE. Ici, notons que la valeur RMS du profil est de 9.4%, une erreur haute par rapport à la configuration du terrain, peut-être liée à la présence du niveau de haute résistivité dans le "chenal" centré sur la marque "32.0 m" le long du profil.

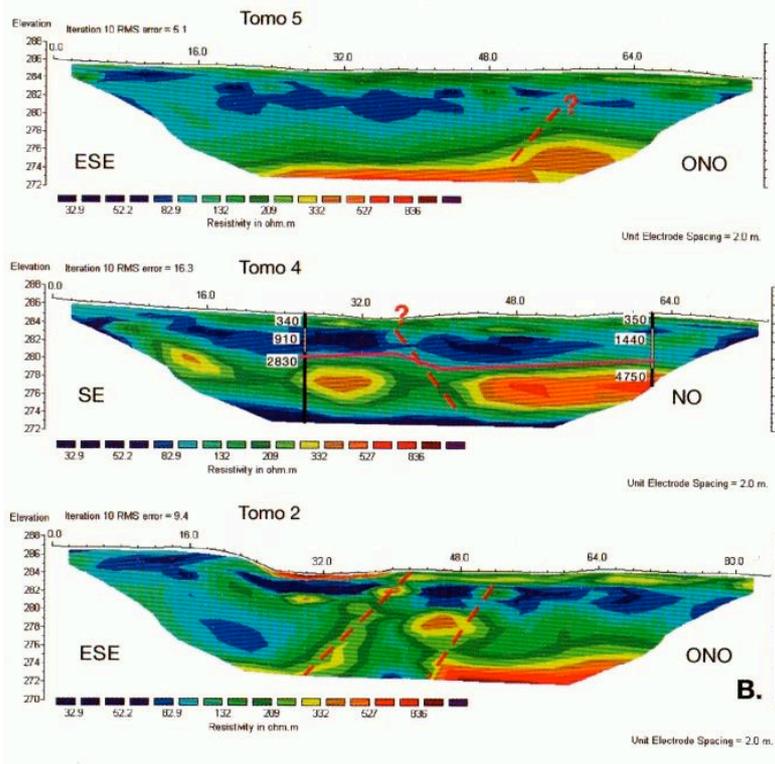


FIGURE 6-9 : TOMOGRAPHIES DE RÉSIDIVITÉ ÉLECTRIQUE RÉALISÉES À HOULTEAU PAR DEMOULIN (2006). LES FAILLES POSSIBLES SONT INDIQUÉES PAR DES TRAITES ROUGES ET LES VITESSES OBTENUES EN DEUX SONDAGES DE SISMIQUE RÉFRACTION SONT INDIQUÉES. FIGURE DE DEMOULIN, 2006.

6.1.5.4. WESNY

Petermans et al (2004) a réalisé une tomographie de résistivité électrique de 252 mètres (Figure 6-10) dans le fond du vallon parcouru par le Ruisseau des Prés du Mont. Il interprète l'apparition de la basse résistivité vers 80 mètres et jusqu'à 120 mètres comme un possible petit bassin sédimentaire incliné en direction d'une faille proche de la borne 80 mètres. Le décalage du niveau de haute résistivité (5 m de profondeur à 64 m, 15 m de profondeur à 90 m) serait l'expression d'une faille normale ou oblique à vergence ouest. Les basses résistivités à la fin du profil vers le SSO pourraient également être associées à une faille, mais les arguments manquent pour être catégorique.

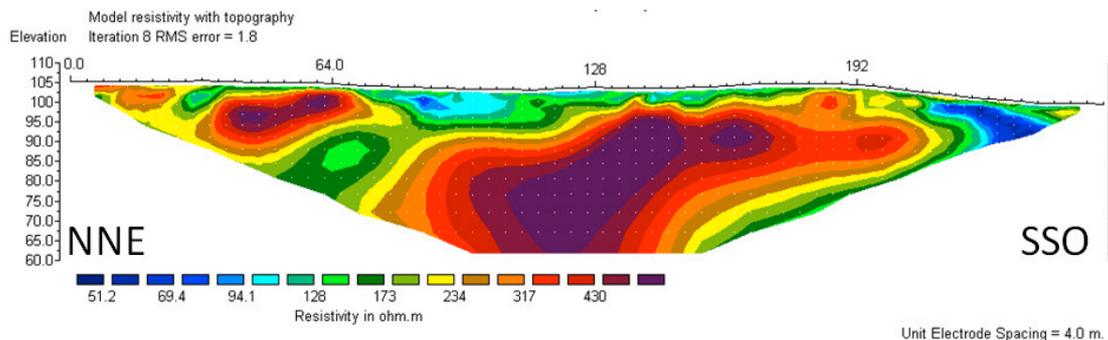


FIGURE 6-10 : TOMOGRAPHIE DE RÉSIDIVITÉ ÉLECTRIQUE RÉALISÉE À WESNY. FIGURE DE PETERMANS ET AL (2008).

Demoulin (2006) a également réalisé deux tomographies électriques à proximité du profil précédent, un peu en altitude (+5 mètres) sur le versant sud du vallon. Il a montré un décalage du bedrock d'environ 2m au SSO par rapport au NNE, qui correspondrait à une faille normale pendant vers le SSO. La résolution de ce profil est supérieure, mais la profondeur d'investigation est nettement diminuée. Le profil mesure 100 m et fourni de l'information jusqu'à 11.4 m maximum, là où le profil de Petermans *et al* donne une image jusqu'à 40 mètres de profondeur.

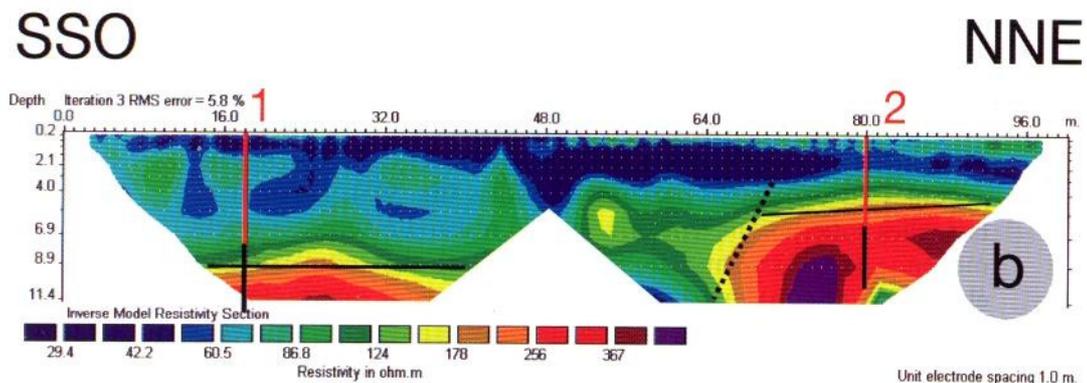


Fig. 9.6. – Tomographie électrique effectuée en travers de la position supposée de la HFZ à Wesny. **a.** Disposition des lieux (extrait de la fig. 9.3). **b.** Tomographie à haute résolution sur le remplissage du fond du vallon. En 1 et 2, sondages en sismique réfraction localisant le contact entre des couches à $V_p = \sim 450$ m/s (en surface) et ~ 3000 m/s (en profondeur). Le trait pointillé indique la position d'une faille possible.

FIGURE 6-11 : TOMOGRAPHIE DE RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE RÉALISÉE À WESNY PAR DEMOULIN (2006). FIGURE ET LÉGENDE DE DEMOULIN 2006.

6.1.5.5. OTTOMONT

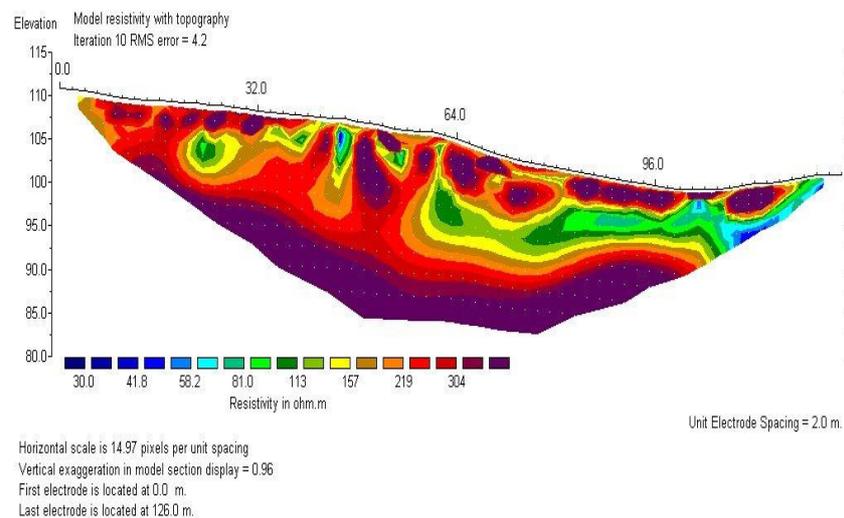


FIGURE 6-12 : PROFIL DE TOMOGRAPHIE DE RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE RÉALISÉ À OTTOMONT. FIGURE DE PETERMANS ET AL (2008).

Petermans *et al* (2004) ont réalisé une tomographie de résistivité électrique à proximité d'Ottomont. Le profil (Figure 6-12) montre des noyaux de haute résistivité à proximité de la

surface (0 – 5 m). Sous ce niveau, un niveau de résistivité moyenne est présent sur toute la tomographie, mais la résistivité décroît vers le bas du profil, à partir du milieu. Ce contraste latéral pourrait être l'expression d'une faille.

6.2. Synthèse de l'orientation probable de le ZFH

Année	Source	Zone	Type d'Analyse	Orientation	Pendage
1977	Vandenvén	Complète	Linéaments	330 °	
1993	Camelbeeck	Hockai	Sismicité actuelle	330 °	70 °
1988, 1995, 2006	Demoulin	Complète	Rivières et Linéaments	310 à 330 °	
2008	Petermans	Verviers	Sismicité historique	172 °	
2010	Cette étude	Hockai	Sismicité actuelle	320 ° ±15°	86 °

6.3. Nouvelles données géophysiques sur la Crête de la Vecquée

Demoulin (2006) conclut que les résultats issus des données morphotectoniques et géophysiques obtenues pour les sites localisés dans la vallée de la Hoëgne sont moins favorables que ceux collectés dans la région de Verviers et décide donc de poursuivre ses recherches de sites potentiellement paléosismiques dans cette dernière.

De notre point de vue, la crête de la Vecquée, élément majeur du paysage depuis le Tertiaire, est un site exceptionnel pour l'identification de failles en surface. Sa nature géologique différenciée, des quartzites et des phyllades d'un côté et des terrains meubles ou d'altération de l'autre, lui confère des propriétés intéressantes pour la prospection géophysique. D'un point de vue géomorphologique, des éléments mentionnés par Demoulin permettent de comprendre que cette crête est un candidat privilégié pour l'étude des failles. La capture de la Hoëgne en angle droit au niveau de la Passerelle du Centenaire et son enfoncement dans la crête et la forme surdimensionnée de la vallée du ruisseau Hockai sont les arguments les plus marquants. De plus, la proximité avec la projection en surface de la séquence sismique en 1989-1990 (Figure 6-13) nous permet d'étudier le lien possible entre elles et des failles identifiées sur le terrain.

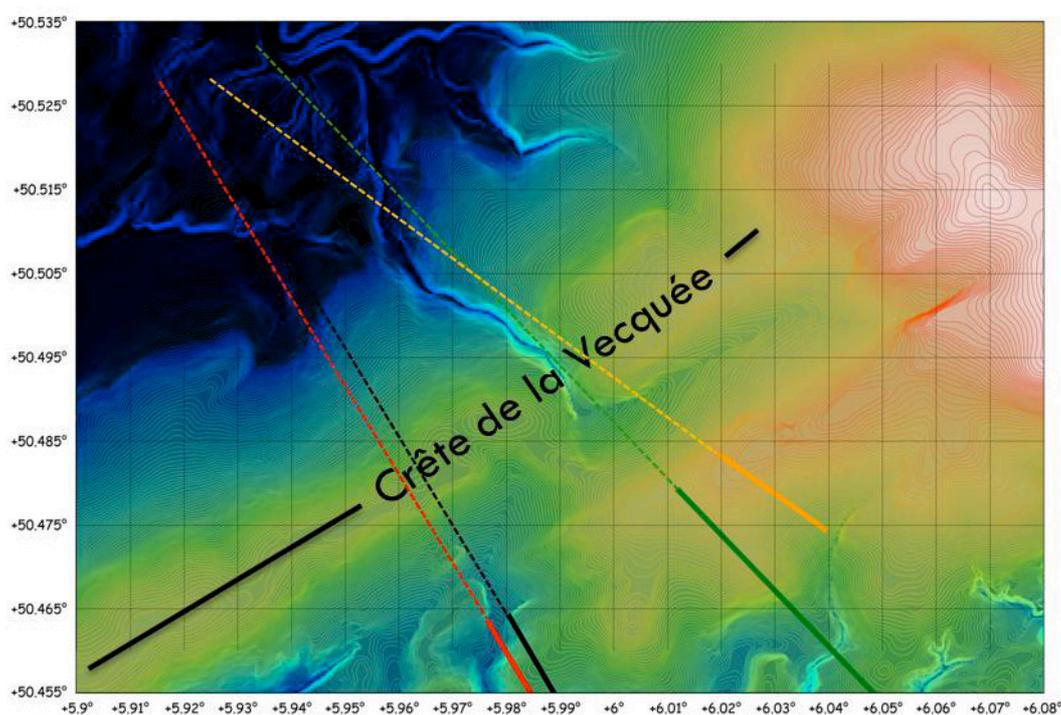


FIGURE 6-13 : MODÈLE NUMÉRIQUE DE TERRAIN DE LA CRÊTE DE LA VECQUÉE. L'INCISION DE LA HOËGNE Y EST PARTICULIÈREMENT BIEN VISIBLE. L'INTERSECTION AVEC LA SURFACE DES PLANS DE FAILLES DÉTERMINÉS EN 3D (VERT : COMPLC, ORANGE : HYPODD, ROUGE : LOTOS ET NOIR : CAM93) SONT ÉGALEMENT REPRÉSENTÉS, DE MÊME QUE LEUR PROLONGATION VERS LE NORD (POINTILLÉS).

En nous intéressant à la Crête de la Vecquée, nous voulons répondre à 4 questions :

1. Est-il possible d'y identifier des failles par des méthodes de prospection géophysique ?
2. Quel est leur mouvement relatif ?
3. Sont-elles reliées géométriquement à la séquence de 1989-1990 ?
4. Et enfin, sont-elles "actives" ?

Pour répondre à ces questions, notre méthode de prospection a été effectuée "À l'Aveugle", n'ayant comme a priori que la position approximative de la zone faillée de Hockai, quelque part entre Francorchamps et l'est de Hockai. Nous voulons réaliser la première coupe géophysique de grande ampleur à travers l'ensemble de cette zone, de préférence en installant les extrémités à l'extérieur de la zone.

6.3.1. CAMPAGNES DE TERRAIN 2008-2010

Nous avons réalisé un grand nombre de mesures sur le terrain, le long d'un profil sur la crête de la Vecquée, entre la "Ferme Malchamps" à proximité de Francorchamps et la zone frontalière historique Prusse-Belgique, à l'est d'Hockai. A vol d'oiseau, ce profil a une longueur de 5.7 km.

Entre 2008 et 2010 nous avons réalisé, pour un total d'environ 65 jours de terrain (hors repérages) :

- 31 profils 2D de tomographie de résistivité électrique (pour un total combiné de 2333 électrodes sur 10679 mètres)
- 125 points de mesures de gravimétrie
- 168 points de mesures H/V
- 39 sondages à la tarière manuelle

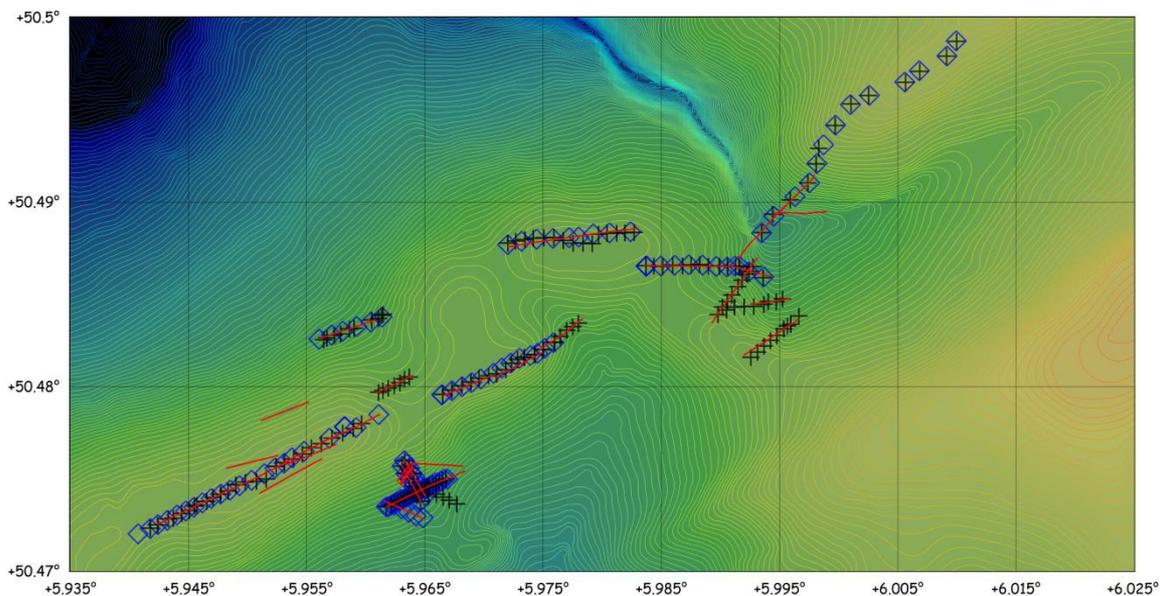


FIGURE 6-14 : MODÈLE NUMÉRIQUE DE TERRAIN DE LA CRÊTE DE LA VECQUÉE ET PRÉSENTATION DES MESURES GÉOPHYSIQUES RÉALISÉES SUR LE TERRAIN ENTRE 2006 ET 2010. PROFILS ERT (ROUGE), SONDAGES H/V (NOIR) ET MESURES DE GRAVIMÉTRIE (BLEU).

6.3.1.1. TOMOGRAPHIES DE RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE

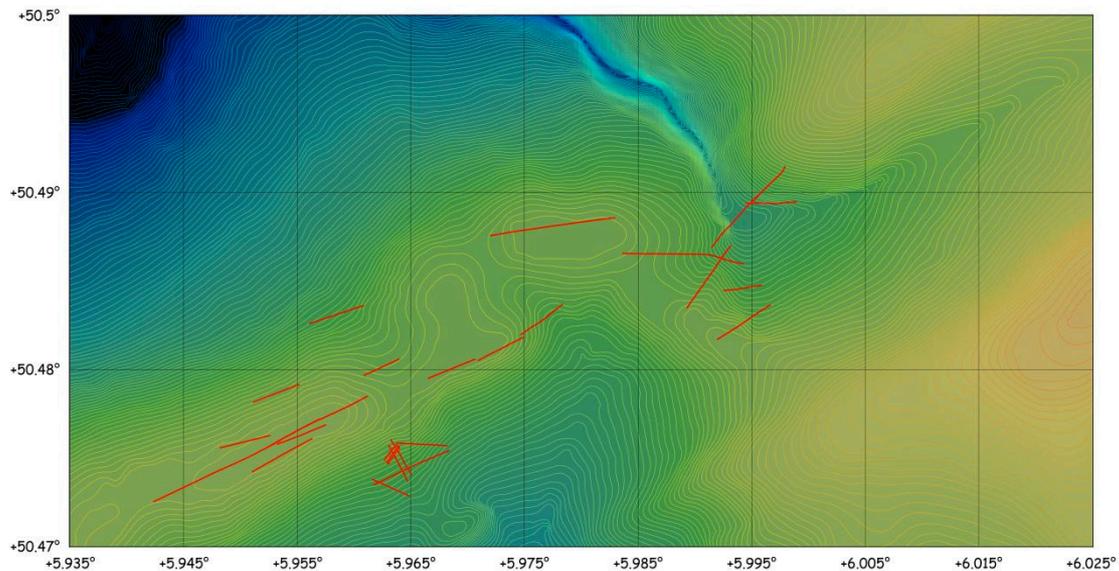


FIGURE 6-15: LOCALISATION DES TOMOGRAPHIES DE RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE (ROUGE) SUR LE MODÈLE NUMÉRIQUE DE TERRAIN DE LA CRÊTE DE LA VECQUÉE

D'une manière générale, tous les profils réalisés rencontrent trois types de terrains :

- Type 1. Terrain de résistivité importante (supérieure à 1000 ohm.m) : généralement proche de la surface [0-20 m], correspondant probablement à la roche dure, faiblement ou pas altérée.
- Type 2. Terrain de résistivité faible (inférieure à 500 ohm.m) : généralement sous les niveaux de résistivité importante ou très proche de la surface, correspondant probablement soit à des zones saturées en eau soit à des roches plus conductrices à cause d'un contenu en pyrite ou minéraux similaires favorisant la conduction électronique dans la roche.
- Type 3. Terrain de résistivité intermédiaire (entre 500 et 1000 ohm.m) : généralement présent au même niveau que le Type 1 lorsqu'il est absent, il correspond probablement à des roches plus saturées en eau, plus perméables, altérées ou fracturées.

Tous les profils ont été acquis sur le même matériel et en utilisant le même protocole de mesure, c'est-à-dire un ABEM Terrameter SAS1000 et un protocole hybride Wenner-Schlumberger de 909 points par profil de 64 électrodes.

Les profils représentés ci-dessous partagent tous la même échelle de couleurs en fonction de la résistivité des terrains rencontrés :

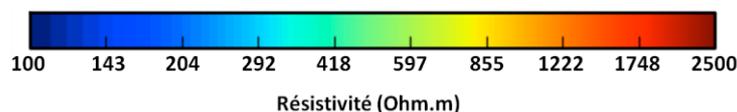


FIGURE 6-16 : ECHELLE DE COULEUR PARTAGÉE PAR L'ENSEMBLE DES TOMOGRAPHIES DE RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE PRÉSENTÉES DANS CE CHAPITRE

6.3.1.2. MESURES H/V

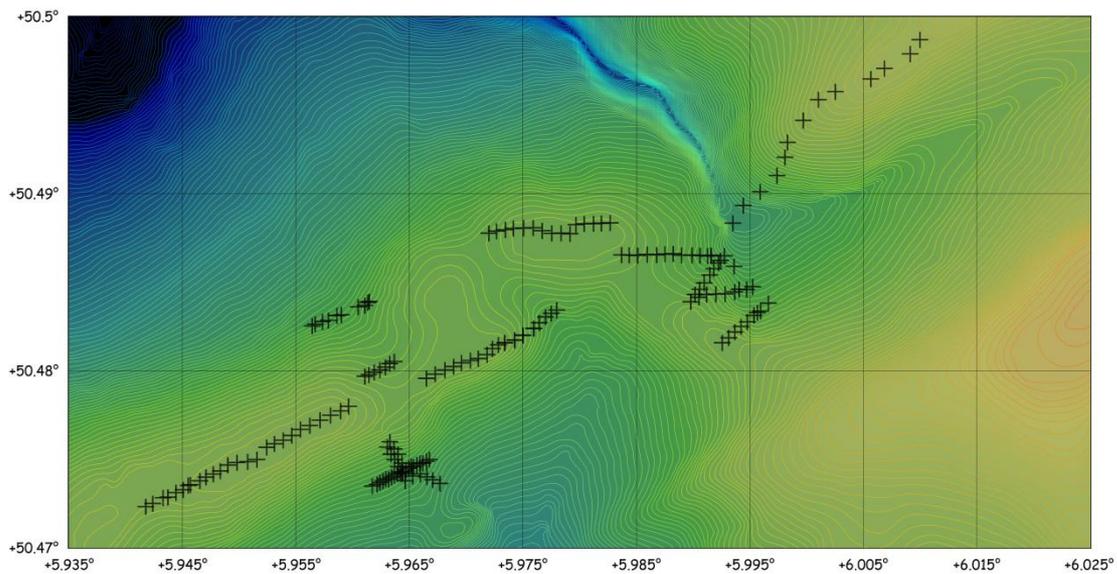


FIGURE 6-17 : LOCALISATION DES MESURES H/V (NOIR) SUR LE MNT DE LA CRÊTE DE LA VECQUÉE.

Les mesures H/V ont été réalisées le long des profils de tomographie électrique, avec un espacement moyen d'environ 50 m. Les conditions de mesures n'ont pas toujours été parfaites et bien que la méthode soit basée sur l'enregistrement du bruit ambiant, une source de bruit parasite (vent, pluie, mesure le long d'un chemin de randonnée ou d'une route, etc.) peut altérer l'ensemble du signal.

Les mesures H/V donnent comme résultat un spectre d'amplitude en fonction de fréquences. Nous transformons cette information en un profil en profondeur pour les comparer aux informations fournies par les autres méthodes (voir 5.2.2 Mesure de bruit ambiant : "Méthode H/V" pour la méthodologie).

Les seules mesures de vitesses de propagations des ondes disponibles à proximité de nos sites ont été effectuées près du village de Solwaster par Wallemacq (2000). Il obtient 700 m/s pour les deux premiers mètres du sous-sol et ensuite directement 2700 m/s. Les vitesses des ondes de cisaillement seront donc de l'ordre de 300 à 500 pour les terrains proches de la surface, et supérieures à 1500 plus profondément. Ce contraste de vitesse est normalement suffisant pour induire un pic net dans les profils H/V.

6.3.1.3. GRAVIMÉTRIE

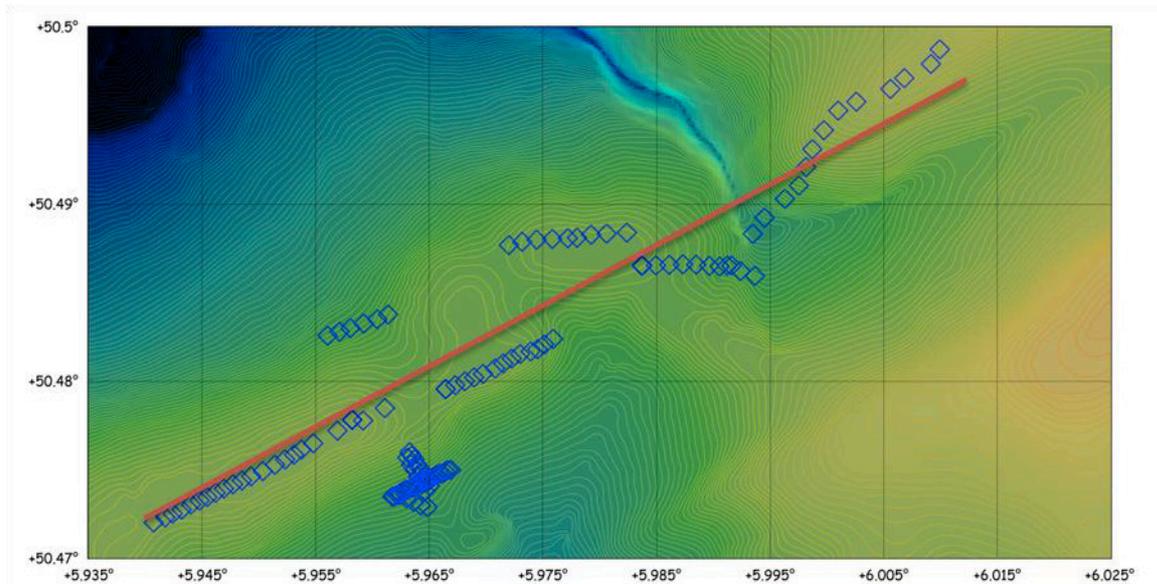


FIGURE 6-18 : LOCALISATION DES MESURES DE GRAVIMÉTRIE (BLEU) SUR LE MNT DE LA CRÊTE DE LA VECQUÉE. LE "PROFIL RECTILIGNE MOYEN" EST ÉGALEMENT ILLUSTRÉ (ROUGE).

Les mesures de gravimétrie de 2008 (sites "Ster") ont été réalisées au mois de Mars, sous des giboulées de neige et un vent relativement faible. Les altitudes relatives ont été levées à l'aide d'une station totale (Laser), mais ces altitudes n'ont pas été reliées au réseau de référence belge, les données de cette première campagne seront donc présentées de manière relative.

Les mesures de gravimétrie de 2010 ont été réalisées au mois d'avril, dans des conditions météo constantes. Dans les pâtures les plus exposées, le vent pouvait souffler assez fort et éventuellement augmenter le niveau de bruit. Les altitudes ont été obtenues par mesures de GPS différentiel (DGPS) post-traitées. L'exactitude de mesure d'altitude DGPS est généralement de l'ordre du centimètre.

Pour déterminer la quantité de variation régionale de l'anomalie de Bouguer le long de notre profil 2010, les mesures sont projetées sur un profil idéalisé (profil rouge sur la Figure 6-18) et nous déterminons le gradient régional comme la valeur de la pente moyenne de la série de mesures de terrain que nous avons effectuées. Cette pente est de $425 \mu\text{Gal}/\text{km}$ (Figure 6-19). Pour les zones orientées dans la direction du profil, nous devons donc enlever cette tendance des séries de données pour étudier les variations locales.

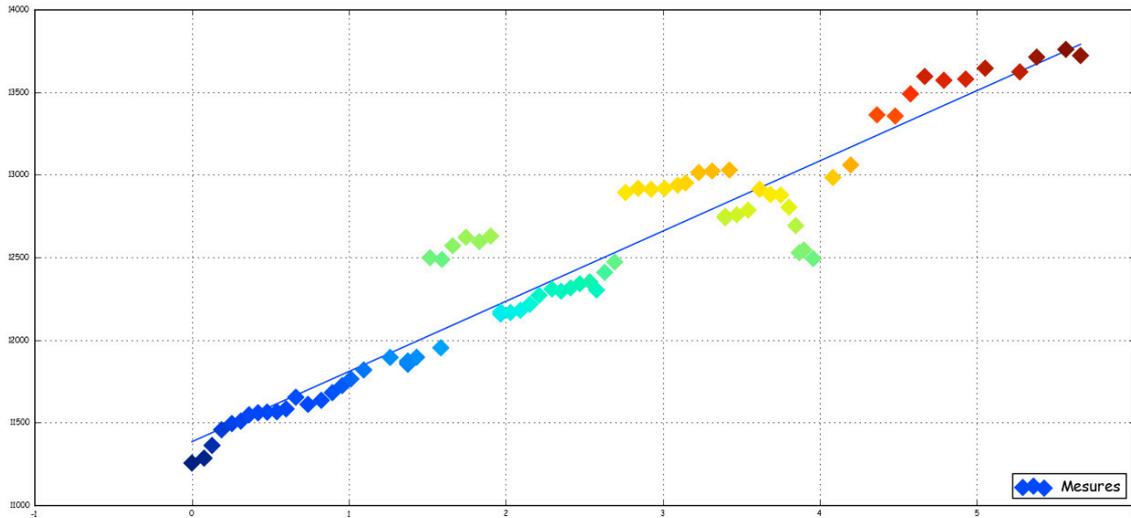


FIGURE 6-19 : DÉTERMINATION DE LA TENDANCE RÉGIONALE DANS LES MESURES GRAVIMÉTRIQUES DE TERRAIN.

6.3.2. DESCRIPTION ET INTERPRÉTATION DES DONNÉES

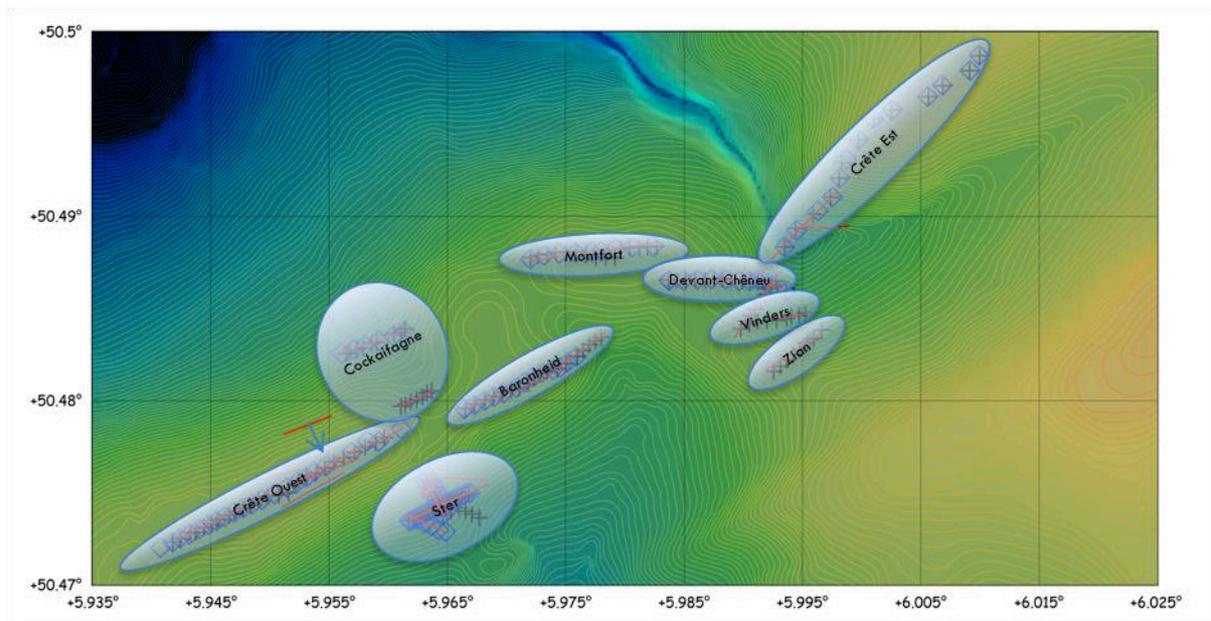


FIGURE 6-20 : MODÈLE NUMÉRIQUE DE TERRAIN DE LA CRÊTE DE LA VECQUÉE ET PRÉSENTATION DES MESURES GÉOPHYSIQUES RÉALISÉES SUR LE TERRAIN ENTRE 2008 ET 2010. PROFILS ERT (ROUGE), SONDAGES H/V (NOIR) ET MESURES DE GRAVIMÉTRIE (BLEU). CHAQUE SOUS-RÉGION EST NOMMÉE DANS L'ELLIPSE BLEUÉE.

Nous allons interpréter ces nouvelles données en séparant la zone d'analyse en sous-régions plus petites, afin d'en permettre une description détaillée et un rendu de meilleure qualité.

Chaque zone regroupe un certain nombre de mesures géophysiques, leur nom respectif est mentionné sur la Figure 6-20.

6.3.2.1. STER

Ce site est situé sur le versant sud de la crête, au nord nord-est du village de Ster. Il regroupe 10 tomographies électriques, 20 mesures H/V, 21 mesures de gravimétrie et 22 sondages à la tarière manuelle. Nous avons également réalisé plusieurs profils électromagnétiques (EM31) sur la partie est.

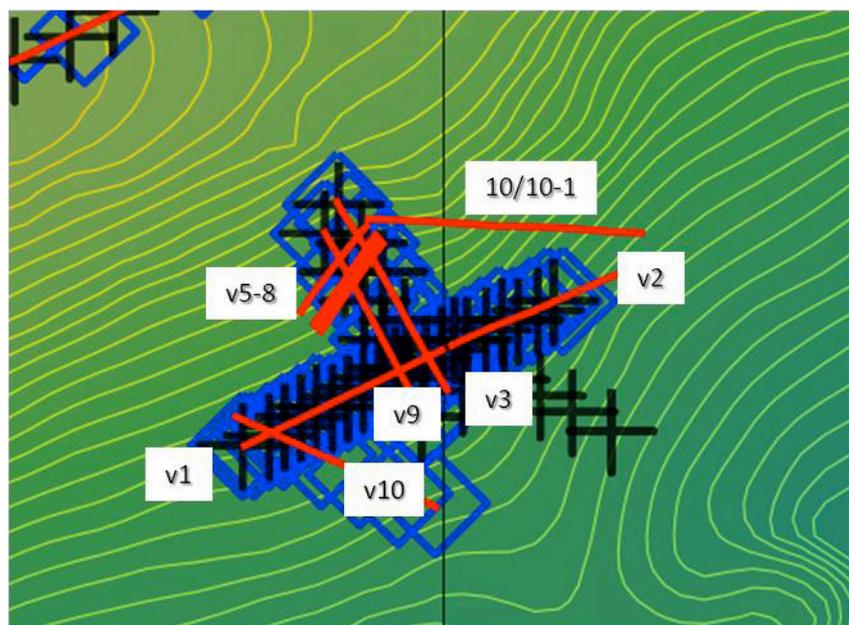


FIGURE 6-21 : LOCALISATION DES PROFILS ET MESURES GÉOPHYSIQUES RÉALISÉS SUR LE SITE DE STER.

6.3.2.1.1. Profils de tomographie électrique

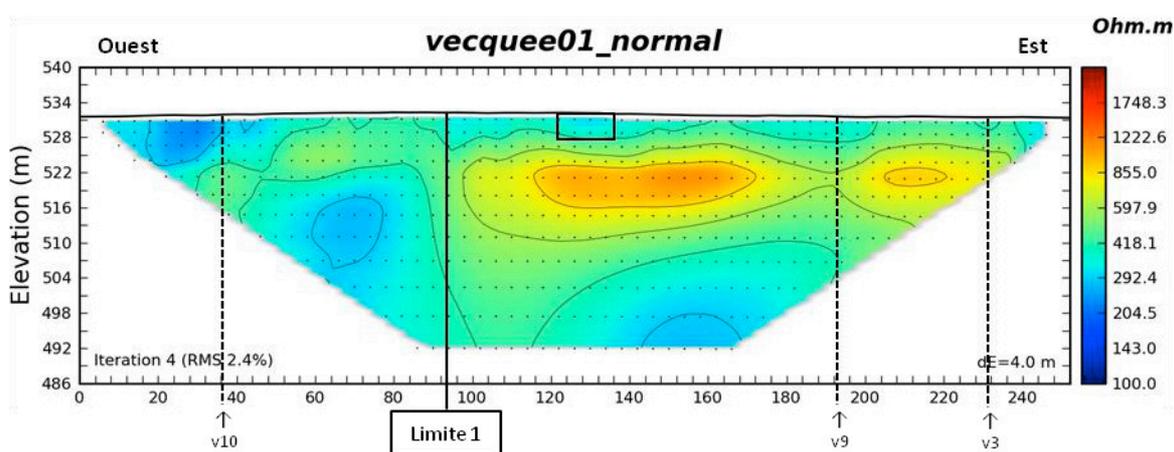


FIGURE 6-22 : PROFIL V1 - L'INTERSECTION AVEC D'AUTRES PROFILS DU SITE SONT NOTÉES. LA POSITION DE LA TRANCHEE DU PIPELINE DE L'OTAN EST ÉGALEMENT INDIQUÉE PAR UN PETIT RECTANGLE.

Le premier profil, v1, est orienté N63°. Il met en évidence des variations latérales de résistivité. La principale se situe au niveau de la cote 90 m et sépare un niveau de moyenne résistivité proche de la surface d'un niveau de plus haute résistivité, mais plus profond. Cette limite semble même

avoir un pendage apparent assez fort vers l'est. Le niveau de plus haute résistivité semble diminuer en épaisseur au niveau du croisement avec le profil v9, puis épaissir jusqu'à la fin du profil. Des sondages à la tarière manuelle ont été effectués à 50 m d'intervalle le long du profil. Les 4 premiers sondages (0, 50, 100 et 150 m) ont été bloqués en fond de trou par des petits blocs de roche, respectivement à 125, 120, 45 et 100 cm. La nappe d'eau est rencontrée dans les sondages à 0 m (à 118 cm), 50 m (à 56 cm), 200 (à 31 cm) et 250 m (à 30 cm) et elle n'est pas rencontrée à 100 et 150 m.

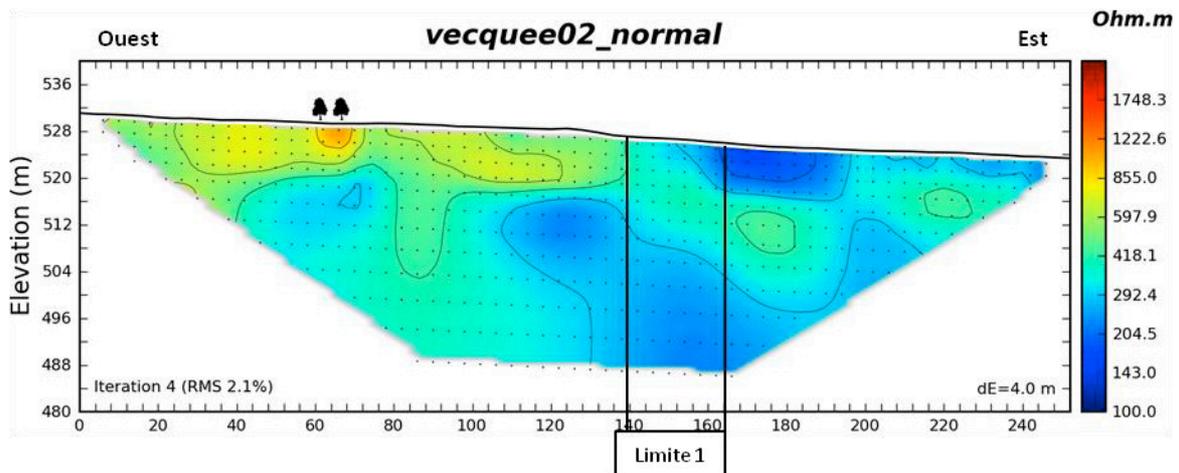


FIGURE 6-23 : PROFIL V2 - LOCALISÉ DANS LA PROLOGATION DU PROFIL V1. LES PETITS ARBRES INDIQUENT LE CROISEMENT D'UN CHEMIN D'EXPLOITATION.

Le profil v2 est situé à l'est de v1 et est également orienté N63°. Il se situe déjà dans la "vallée" du Hockai, qui coule plus loin au sud-est. Ce profil met en évidence un contraste de résistivité entre les cotes 140 et 165 m. A l'ouest les terrains sont composés de résistivités moyennes qui descendent à des valeurs basses une fois passée la Limite 1. Lors de notre première campagne de terrain sur ce site en mars 2008, cette Limite se marquait par l'apparition de terrains sursaturés en eau. Les sondages à la tarière manuelle y étaient presque impossibles car le forage se refermait plastiquement entre deux descentes. Le niveau de résistivité moyenne semble décalé verticalement vers le bas dans le bloc situé à l'est de la zone Limite. Notons également que 15 m à l'ouest de la Limite 1 se trouve un petit escarpement de quelques dizaines de centimètres.

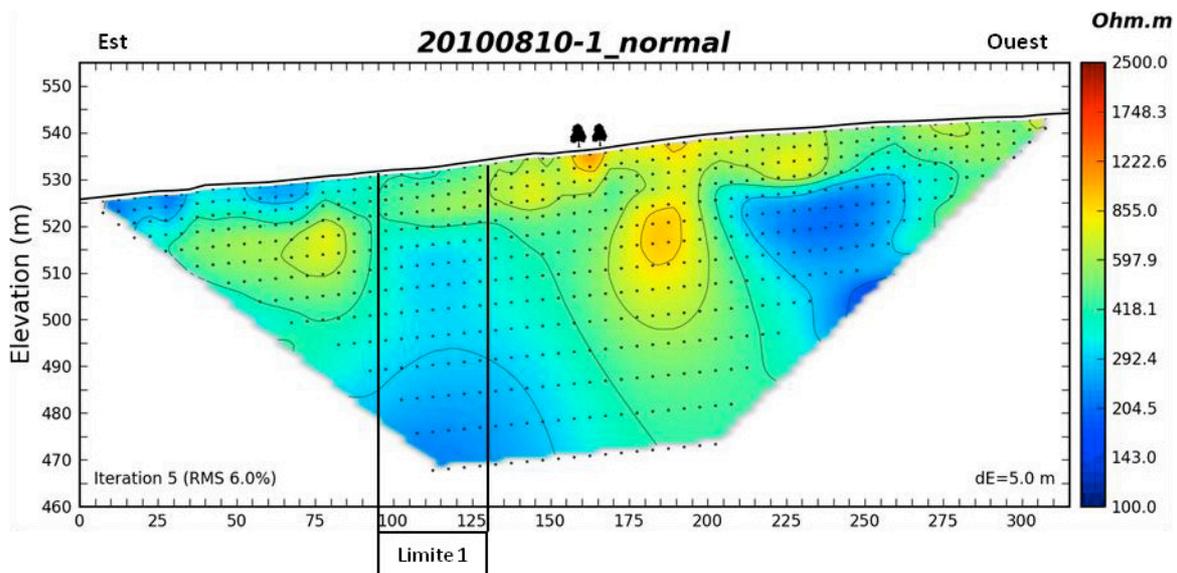


FIGURE 6-24 : PROFIL 10/10-1 - SITUÉ AU NORD DU PROFIL V2. LES PETITS ARBRES INDIQUENT LA POSITION D'UNE HAIE (PROLONGATION DU CHEMIN VISIBLE SUR V2)

Le profil 10/10-1 est situé environ 90 mètres au nord de v2 et montre des variations analogues à celles observées sur v2 (Figure 6-24). L'influence du chemin agricole visible sur v2 et qui ici n'est qu'une petite haie montre l'importance qu'a du avoir ce chemin dans l'histoire de la région. Il est en effet aligné avec le chemin agricole situé au nord-est de l'échangeur autoroutier de Hockai. La zone Limite 1 est également similaire à celle observée sur v2. Le niveau de moyenne résistivité semble décalé verticalement vers le bas à l'est de la Limite.

Nous avons tenté de déterminer le lien entre les deux zones de Limites sur v2 et 10/10-1 en cartographiant la résistivité à une profondeur donnée d'environ 6 mètres sous la surface en utilisant un conductivimètre EM31 (Figure 6-25). La résistivité des terrains localisés entre les deux profils de tomographie correspond très bien à celle imagée en profondeur. En effet, sur une coupe ouest-est, la partie centrale présente des résistivités plus hautes que les parties extérieures. Les limites approximatives de ces zones sont illustrées en tirets sur la Figure 6-25. Le X blanc indique la position de drains installés par le propriétaire à une cinquantaine de centimètres sous la surface du sol en 2008. L'influence de ces drains pourrait se marquer par une plus faible quantité d'eau dans les premiers mètres du sous-sol (l'eau libre étant drainée loin des terrains). Certaines mesures, situées entre le X et la droite en tirets noirs semblent confirmer cette hypothèse. Les résistivités plus faibles observées sur la gauche (ouest) de la zone sont peut-être liées à une interférence entre le conductivimètre et les clôtures barbelées à proximité. Le résultat serait une grande conductivité apparente, mais théoriquement beaucoup plus grande que celle observée. L'orientation de la Limite 1 est d'environ N335°.

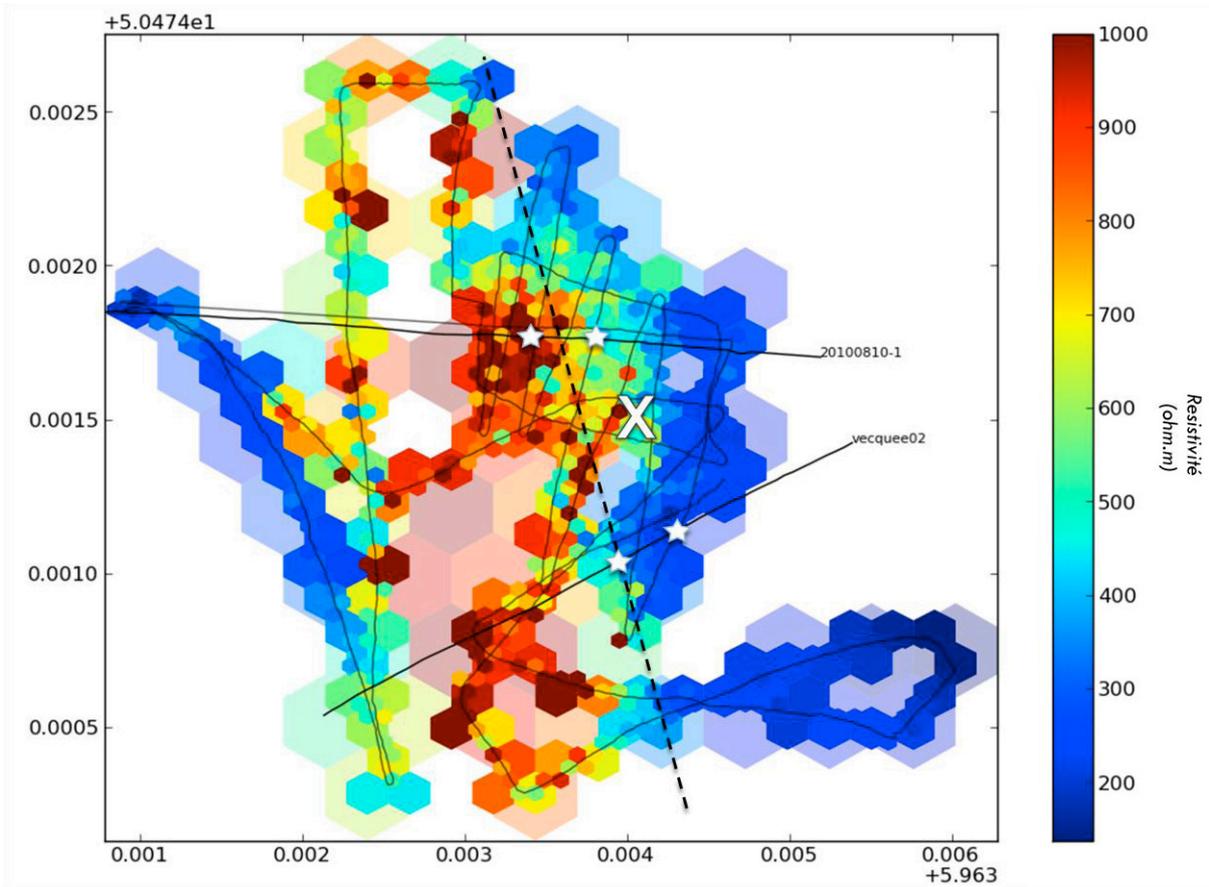


FIGURE 6-25 : CARTOGRAPHIE DE RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE RÉALISÉE À STER. LES POSITIONS DES DEUX TOMOGRAPHIES SONT INDIQUÉES EN NOIR. LA RÉSISTIVITÉ DE CHAQUE POINT DE EST COLORÉE EN FONCTION DE LA MOYENNE DES POINTS LES PLUS PROCHES (BINNING HEXAGONAL). LES LIMITES MISES EN ÉVIDENCE SUR LES PROFILS V2 ET 10/10-1 SONT REPRÉSENTÉES SOUS FORME DE PETITES ÉTOILES BLANCHES. LA CROIX BLANCHE INDIQUE LA LOCALISATION APPROXIMATIVE D'UN RÉSEAU DE DRAINS INSTALLÉS EN AVRIL 2008.

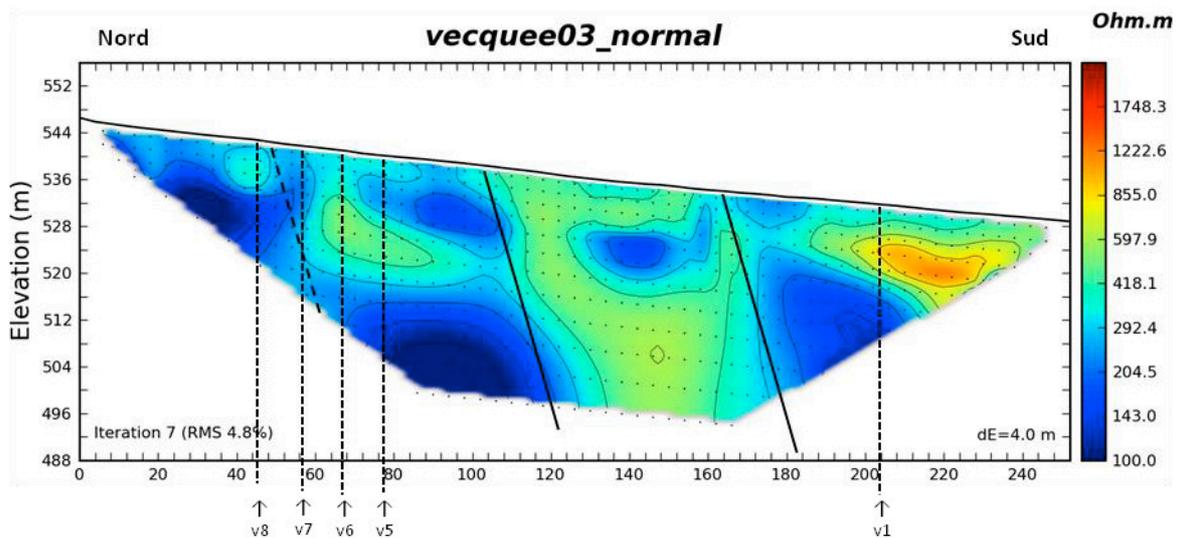


FIGURE 6-26 : PROFIL V3 - PROFIL NORD-SUD RECOUPANT LE PROFIL V1 AU SUD ET 4 PROFILS DANS LA MOITIÉ NORD. TROIS LIMITES SONT REPRÉSENTÉES (DEUX ÉVIDENTES EN TRAITS PLEINS ET UNE MOINS EN TIRETÉ).

Le profil v3 (Figure 6-26) montre des variations orientées de la résistivité en profondeur. Le pendage apparent est de l'ordre de 70° S. Le profil est orienté $N147^{\circ}$. La stratification telle qu'elle est connue plus à l'est dans la tranchée du chemin de fer de Hockai ou le long du cours incisé de la Hoëgne présente des valeurs entre $N40$ et $N60^{\circ}$. Si elle a une telle orientation sous ce site, alors le pendage apparent est très proche du pendage réel, il est donc de l'ordre de 70° SSE. Les sondages à la tarière manuelle ont montré la présence de la nappe d'eau en 3 points : 148 m (à -79 cm), 196 m (à -55 cm) et 244 m (à -35 cm). Elle n'est pas rencontrée aux autres sondages qui ont été bloqués par des petits blocs ou graviers à des profondeurs similaires : 4m (à -88 cm), 52 m (à -94 cm) et 100 m (à -87 cm).

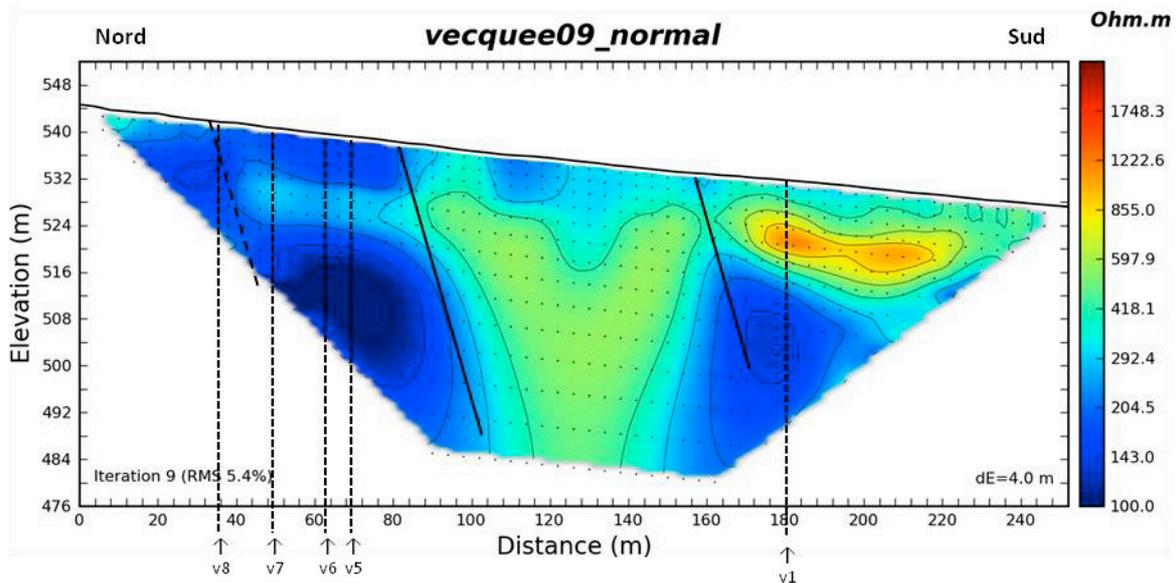


FIGURE 6-27 : PROFILE V9, PARALLÈLE AU PROFIL V3 À 35M AU SUD-OUEST. IL RECOUPE ÉGALEMENT DIFFÉRENTS PROFILS. TROIS LIMITES SONT ÉGALEMENT REPRÉSENTÉES.

Le profil v9 (Figure 6-27) est très similaire au profil v3. Les limites identifiées sur v3 semblent être identifiables ici également. Les deux limites les plus nettes, à 112 m à la surface de v3 et 84 m sur v9 sont joignables par un segment de droite orienté $N55^{\circ}$, ce qui est cohérent avec les stratifications connues. La stratification serait donc $N55^{\circ}70^{\circ}$ SSE. Les sondages à la tarière manuelle ont montré la présence de la nappe d'eau en 2 points : 156 m (à -102 cm) et 252 m (à -40 cm). Elle n'est pas rencontrée aux autres sondages qui ont été bloqués par des petits blocs ou graviers à des profondeurs similaires : 15m (à -68 cm), 60 m (à -51 cm), 108 m (à -87 cm) et 208 m (à -57 cm).

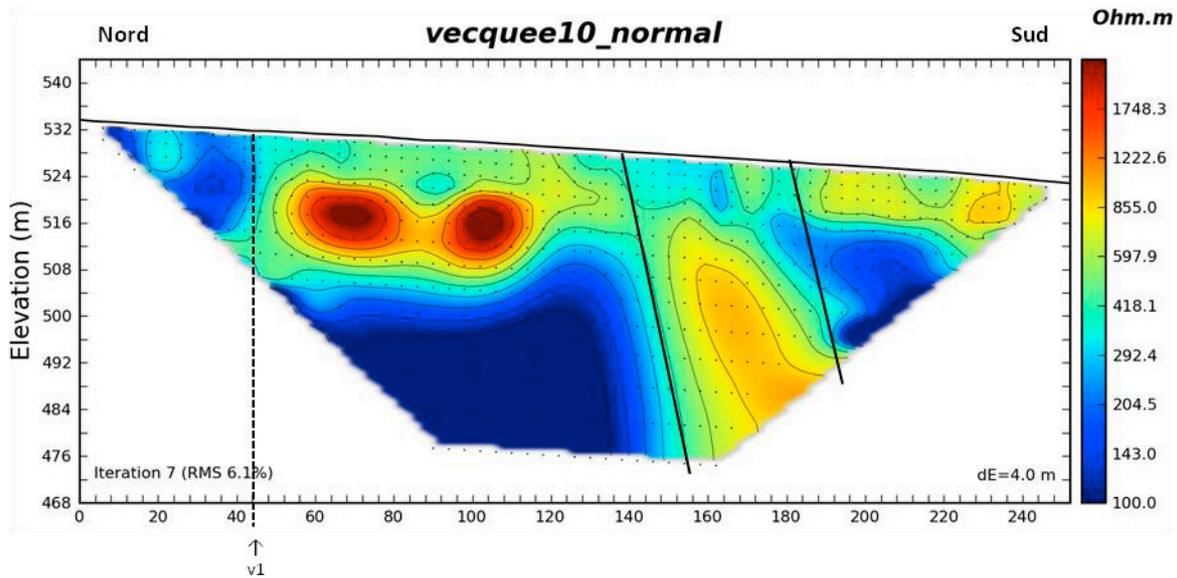


FIGURE 6-28 : PROFIL V10, SITUÉ À UNE CENTAINE DE MÈTRES EN MOYENNE À L'OUEST DE V9. IL RECOUPE UNIQUEMENT LE PROFIL V1. DEUX LIMITES NETTES SONT REPRÉSENTÉES.

Le profil v10 est le profil le plus à l'Ouest du site Ster. Il est orienté N115°. L'allure des deux limites représentées sur le profil (Figure 6-28) est fort similaire à celles identifiables sur v3 et v9. Le pendage apparent est de 72°S. Si la stratification est orientée comme entre v9 et v3, l'angle d'intersection du profil et de la stratification sera de 61° et le pendage réel 74°SSE.

6.3.2.1.2. Mesures complémentaires

Les mesures H/V et de gravimétrie montrent des variations intéressantes le long des profils de tomographie de résistivité électrique. La comparaison entre les profils v1-v2 et ces mesures (Figure 6-29) montre la présence d'un pic H/V, converti avec une vitesse de propagation des ondes de cisaillement de 500 m/s, à une profondeur comprise entre 5 et 7 mètres. Les mesures H/V aux stations 1 à 12 sont cohérentes, à l'exception des points de mesure 1 et 8. Selon l'interprétation 3D (Figure 6-33), les points 2 à 12 seraient au dessus d'une même couche, alors que le point 1 est localisé à la limite du plan qui a été défini, donc peut-être au dessus d'une autre couche. Le point 8 est très différent des autres par l'importance de l'amplitude du pic mais la profondeur de celui-ci n'est que de 8 m, soit 1 à 2 mètres de plus que les autres pics. Un sondage à la tarière sous la station 8 a été bloqué par des petits blocs à 1m de profondeur. Notons également que les sondages aux points 1, 3, 6 et 12 rencontrent la nappe d'eau à 118 cm, 56 cm, 30 cm et 31 cm respectivement, tandis qu'aux points 8, 10, la nappe n'est pas atteinte à 96 et 42 cm respectivement. La signature gravimétrique au dessus des points 10 à 12 est cohérente avec la présence de la nappe à 30 cm de profondeur, provoquant un signal plus important. Notons toutefois qu'alors la nappe d'eau devrait être trouvée à 42 cm dans le sondage sous le point 10. Le profil H/V sous la station 10 est moins net que les 9 et 11. La résistivité γ est également plus

basse que directement autour. Il se pourrait alors que cette zone corresponde à une zone fracturée.

La mesure 13 ne montre aucun pic significatif, cette station est située sur la route et si l'hypothèse que le pic H/V correspond à la limite entre le bedrock altéré et sain, alors il est probable que les fondations de la route n'aient pas un contraste d'impédance suffisamment fort avec le bedrock pour provoquer un pic.

Au dessus du profil v2, les H/V montrent toujours un pic peu profond et, surtout sous 18 et 19, montre un double pic. Sous la station 17, le signal ne présente pas de pic. La mesure a été faite sur un chemin agricole, il est probable que l'interprétation faite pour la route sous la station 13 soit également applicable ici. La signature de résistivité du chemin est d'ailleurs forte, peut-être liée à des "fondations" anciennes, ou l'ajout de pierrailles pour le renforcer. Le dernier sondage à la tarière, 30 m à l'est de la station 20 met en évidence des terrains plastiques, saturés en eau, à partir de 33 cm de profondeur.

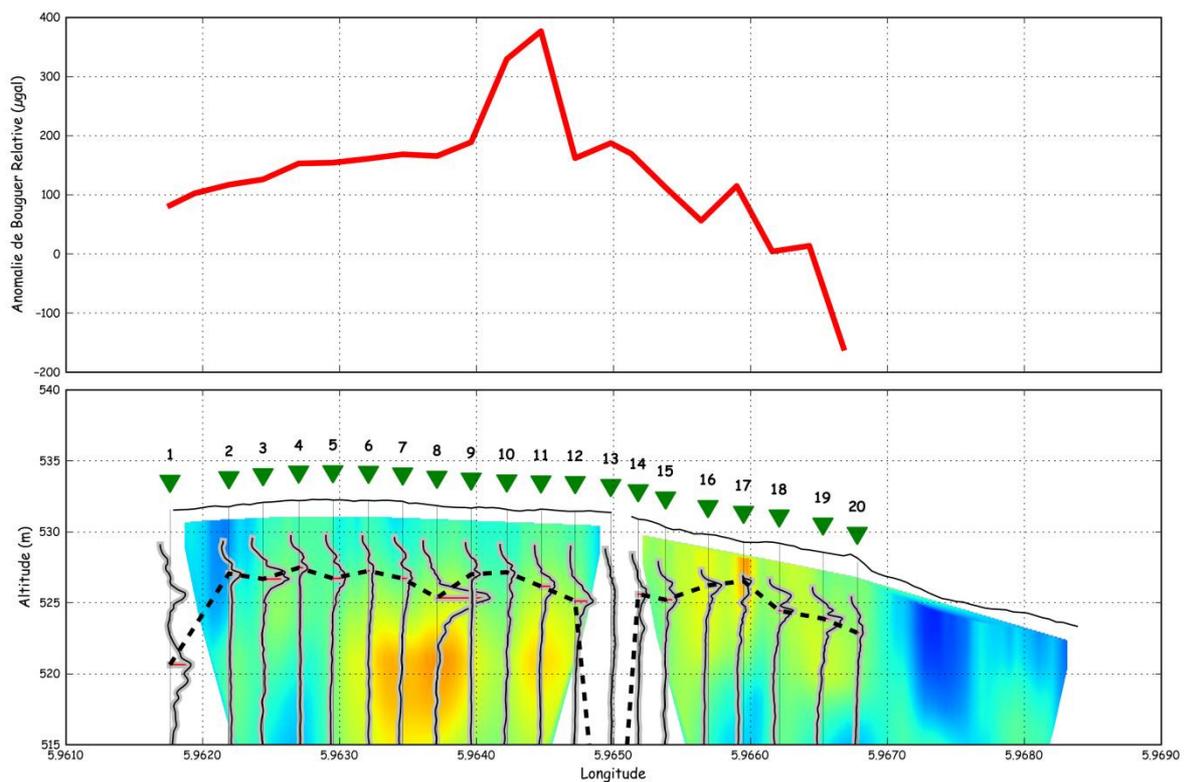


FIGURE 6-29 : SITE "STER" - COMPARAISON ENTRE LES MESURES DE GRAVIMÉTRIE (DESSUS) ET H/V (DESSOUS) ET LES PROFILS DE RÉSISTIVITÉ V1 ET V2.

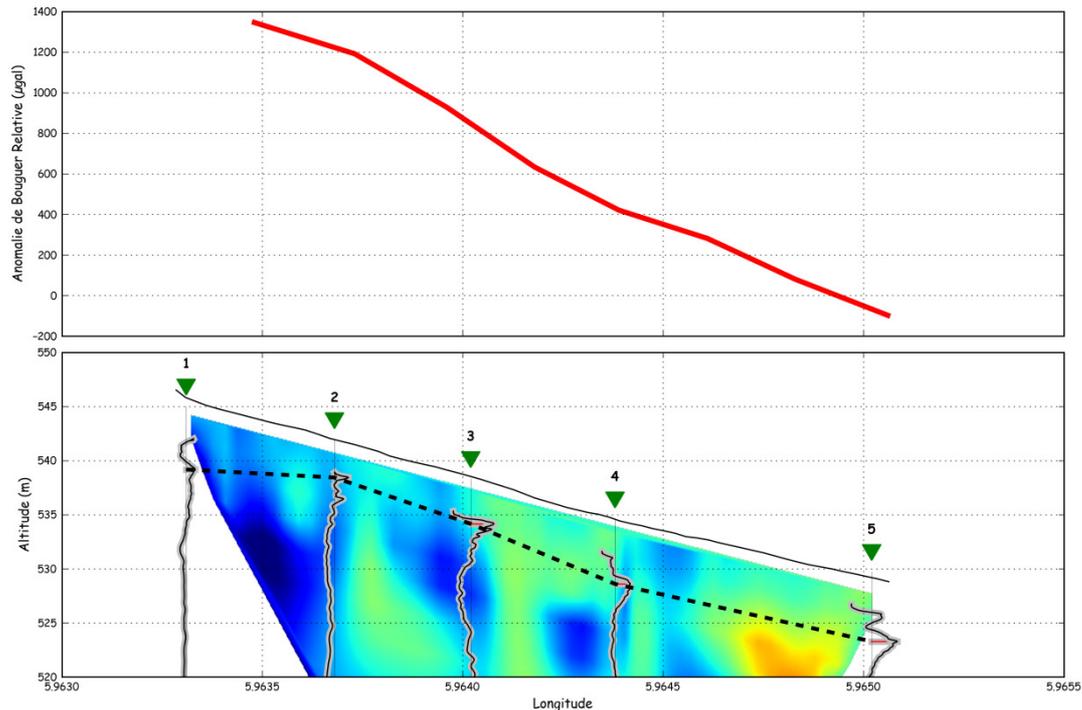


FIGURE 6-30 : SITE "STER" - COMPARAISON ENTRE LES MESURES DE GRAVIMÉTRIE (DESSUS) ET H/V (DESSOUS) ET LE PROFIL DE RÉSISTIVITÉ V3

Les données complémentaires du profil v3 (Figure 6-30) sont 5 mesures H/V et 8 mesures de gravimétrie. Les profils H/V (convertis avec $V_s=500\text{m/s}$) montrent des pics à des profondeurs différentes et ont généralement des allures différentes d'un profil à l'autre. La profondeur correspondante au plus grand pic de chaque profil semble augmenter de gauche à droite. La mesure H/V numéro 3 montre un pic net et se situe au droit de ce que nous avons interprété comme la limite est d'une couche à pendage fort.

L'allure de l'anomalie de Bouguer est similaire à la topographie du profil, suggérant une mauvaise évaluation de la densité des roches sous le gravimètre lors du calcul de l'anomalie. Ceci dit, la pente de l'anomalie est plus forte sur la moitié gauche du profil, ce qui pourrait être expliqué par la présence d'un niveau de basse résistivité en profondeur et donc de la présence possible d'eau en plus grande quantité, augmentant la densité. Cette hypothèse est confirmée le long du profil v9 (Figure 6-31), parallèle à celui-ci. L'anomalie de Bouguer, entre le début et la fin du profil, montre une variation de 1400 μGal .

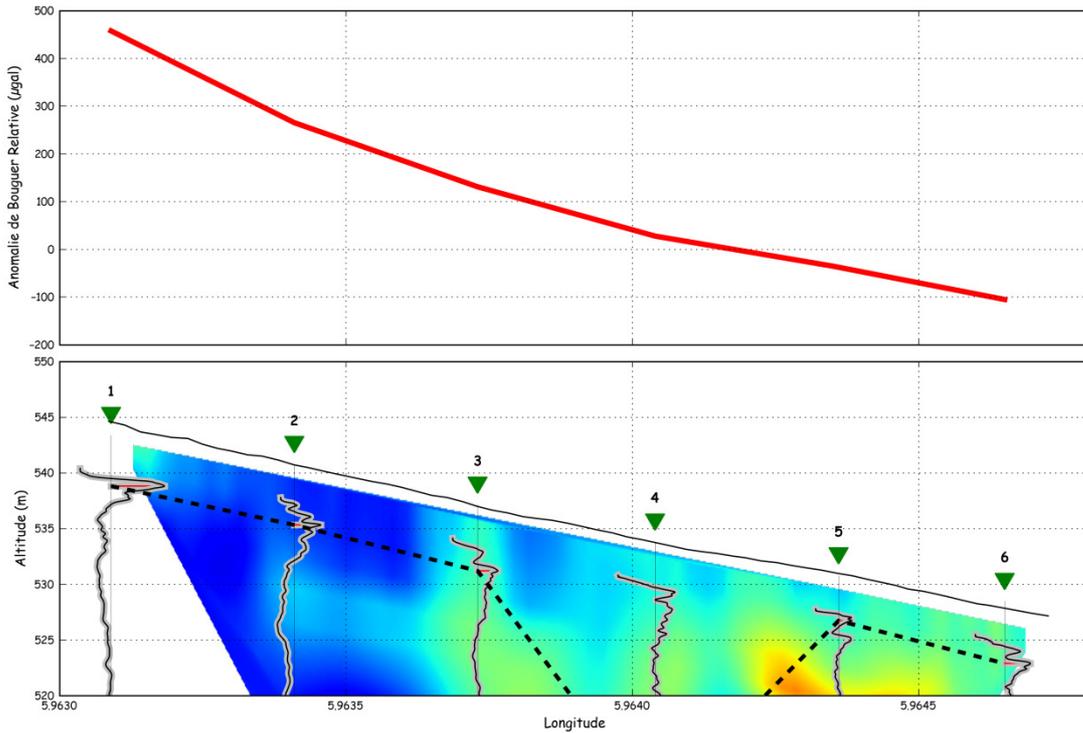


FIGURE 6-31 : SITE "STER" - COMPARAISON ENTRE LES MESURES DE GRAVIMÉTRIE (DESSUS) ET H/V (DESSOUS) ET LE PROFIL DE RÉSISTIVITÉ V9

Les données complémentaires du profil v9 montrent des profils H/V (Figure 6-31) bruités mais dont l'allure générale est plus similaire que le long du profil v3. Le profil H/V numéro 4 montre des petits pics à proximité de la surface, mais la sélection automatique a choisi un autre pic plus profond. Il semble toutefois plus juste de prolonger la ligne pointillée depuis le numéro 3 en restant à peu près parallèle à la surface. Cette interface mise en évidence à environ 5m de profondeur dans le haut du profil et environ 3 m dans le bas correspondrait alors à la profondeur du bedrock altéré. Le profil 2 est celui montrant le pic le moins net, il est aussi celui situé au dessus d'une zone de basse résistivité.

Les données gravimétriques sont comparables à celles du profil v3 (Figure 6-30). L'allure de la courbe au dessus des niveaux de plus faible résistivité va donc dans le sens de l'hypothèse suggérée au point précédent, liant la réponse gravimétrique à une densité plus forte. La variation de l'anomalie de bas en haut du profil est nettement moins forte qu'au profil v3, seulement 550 μGal . La résistivité moyenne de ce profil étant plus haute que sous le profil v3, il est possible qu'une plus faible quantité d'eau soit présente, ce qui impliquerait une signature gravimétrique moins forte.

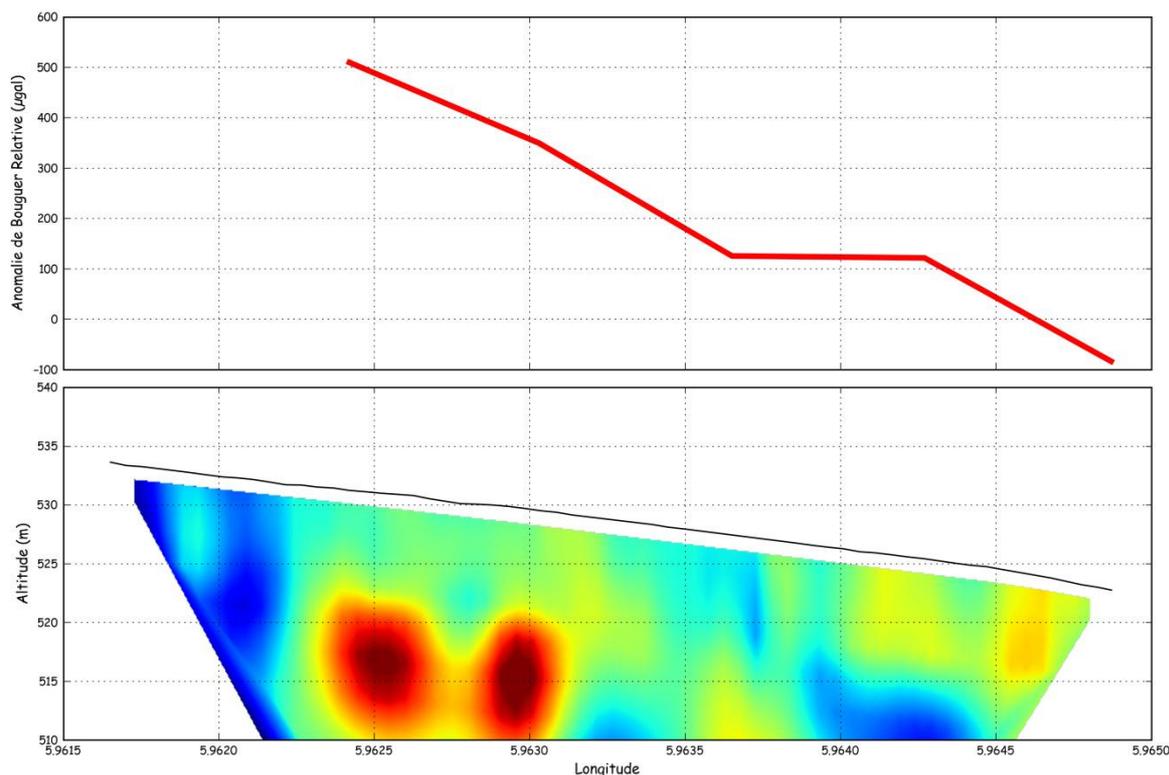


FIGURE 6-32 : SITE "STER" - COMPARAISON ENTRE LES MESURES DE GRAVIMÉTRIE (DESSUS) ET H/V (DESSOUS) ET LE PROFIL DE RÉSISTIVITÉ V10

Le profil v10 a été doublé de 5 mesures de gravimétrie (Figure 6-32). L'allure de la courbe montre une relation avec la topographie, mais présente également des variations au dessus de la moitié droite du profil, au dessus d'un niveau de plus basse résistivité à 10 m de profondeur. Malheureusement, les mesures gravimétriques ne vont pas jusqu'au sommet du profil, il aurait été intéressant de voir les valeurs obtenues au dessus de la zone de faible résistivité. L'amplitude de la variation de l'anomalie de Bouguer est d'environ 600 μGal , ce qui est analogue à celle rencontrée pour le profil précédent, bien qu'ils ne recoupent pas, a priori, exactement les mêmes unités.

6.3.2.1.3. Synthèse 3D

La représentation 3D des différents profils réalisés à Ster (Figure 6-33) regroupe les interprétations faites sur les profils précédents. Trois plans sont dessinés, orientés N54°-70°SSE. La vue alignée N54° (Figure 6-33) met en évidence l'incohérence des profils à l'est par rapport à la bonne corrélation entre les profils à l'ouest.

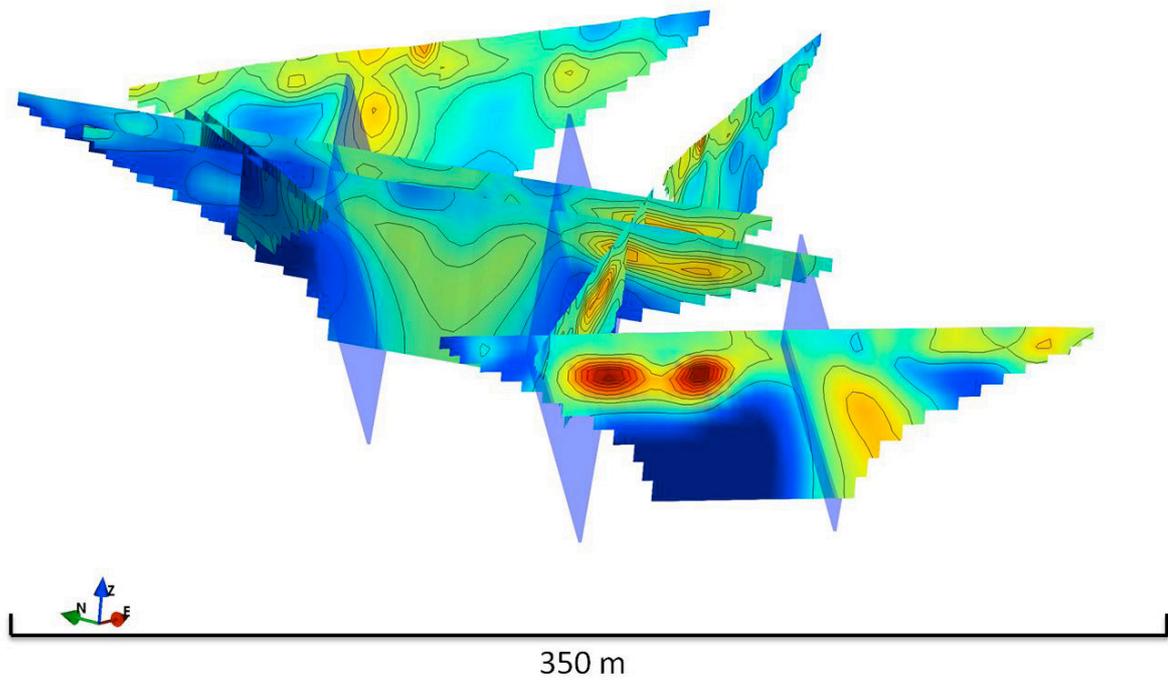
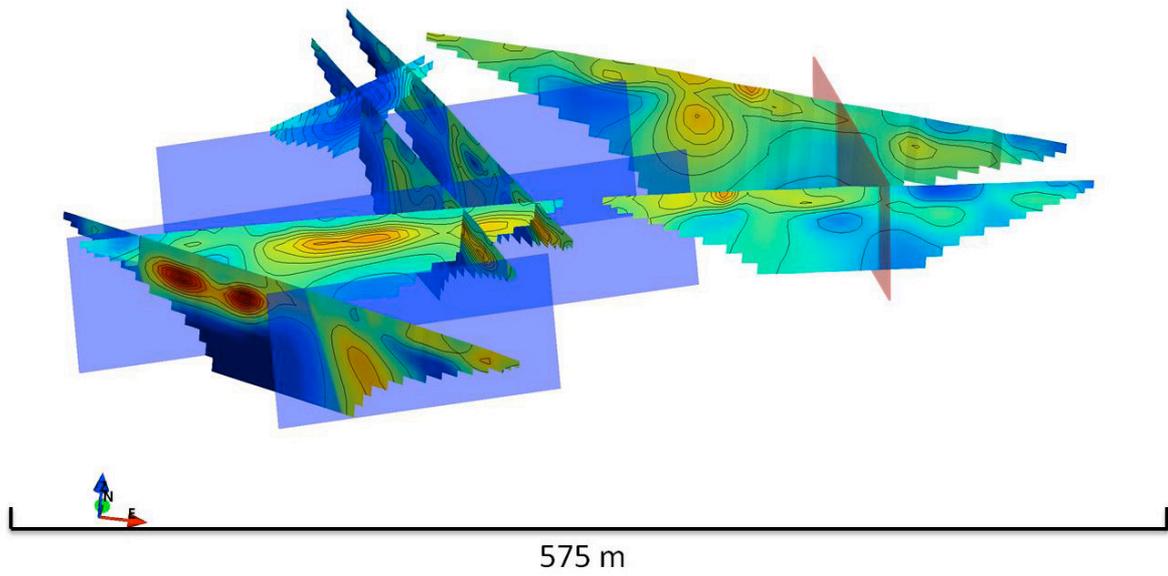


FIGURE 6-33 : SITE "STER" - VUES 3D DES PROFILS DE TOMOGRAPHIE DE RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE ET ILLUSTRATION DE L'INTERPRÉTATION DES PLANS LIÉS À LA STRATIGRAPHIE (BLEU) ET DE ZONE FAILLÉE (ROUGE)

6.3.2.2. CRÊTE OUEST

Située sur la gauche de la Figure 6-20, cette zone contient 4 tomographies de résistivité électrique alignées (ERT) alignées (6-1, 7-1, 18-2 et 27-2), 26 points de mesure H/V et 23 mesures de gravimétrie. 4 autres ERT (12-1, 12-2, 17-1 et 18-1) ont été réalisées de manière subparallèle afin de tenter de contraindre les observations en 3D (Figure 6-34).

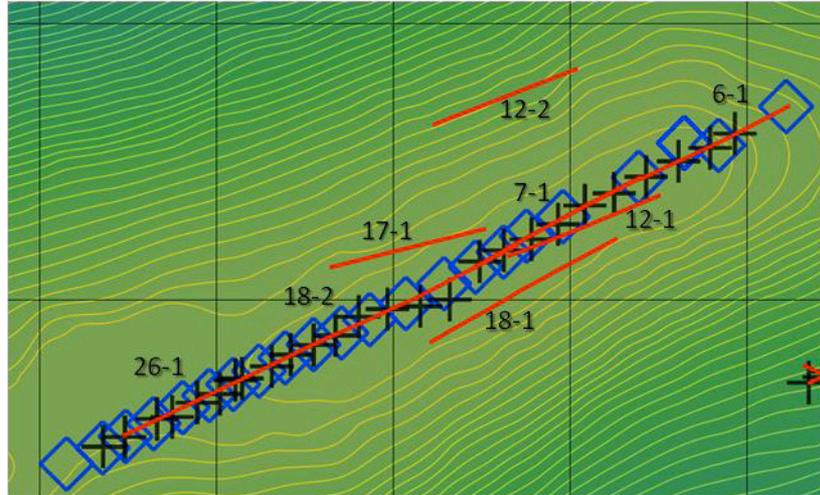


FIGURE 6-34 : SITUATION DES PROFILS ET DES MESURES GÉOPHYSIQUES SUR LE SITE "CRÊTE OUEST"

L'orientation moyenne des profils est $N63^\circ$ soit à peu près parallèle à la stratification connue (entre $N40^\circ$ et $N60^\circ$) plus à l'est, dans la tranchée du chemin de fer ou le long de la Hoëgne. Sur le site de Ster (voir paragraphe précédent), les couches avaient une stratification d'environ $N54^\circ 70^\circ SSE$. Les profils de tomographie électrique recoupent la stratification selon un angle très faible, probablement inférieur à 20° . La géologie connue dit que cette crête est le sommet d'un anticlinal et que les couches ont donc probablement un pendage compris entre 70° et 90° (Notes de planchette de Sart 149W, Service Géologique de Belgique).

6.3.2.2.1. Profils de tomographie électrique

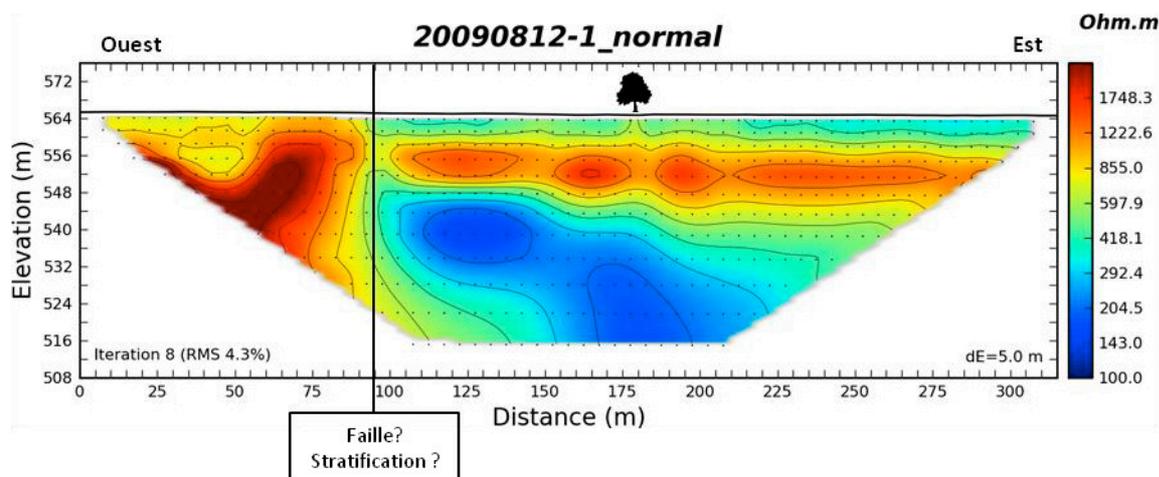


FIGURE 6-35 : PROFIL 12-1 ILLUSTRANT UN CONTRASTE LATÉRAL NET À ENVIRON 90 M. LA PRÉSENCE D'UNE LIGNE D'ARBRES ENTRE DEUX CHAMPS EST ILLUSTRÉE PAR UN SYMBOLE.

Le profil 12-1 (Figure 6-35) est celui qui montre le contraste le plus net. Cette variation latérale visible à partir d'environ 90 m du début du profil pourrait être l'expression d'une faille, mais également la signature d'un contraste lithologique subvertical. La partie orientale du profil montre trois types (voir 6.3.1.1) de résistivités, le niveau plus superficiel correspond probablement au bedrock altéré, le niveau résistif sous-jacent au bedrock sain non saturé et le niveau faiblement résistif en profondeur serait le bedrock saturé. Notons également la variation de l'épaisseur de la couche de haute résistivité, d'ouest en est entre 100 m et 315 m. Pour tenter de décider si le contraste fort correspond à une faille ou à un contact stratigraphique, il faut chercher dans les profils alentours une signature similaire, orientée soit dans la direction supposée de couches (N40° à N60°), soit ailleurs. Le profil le plus proche est le profil 7-1, qui lui-même est un profil à plus haute résolution doublant le profil 6-1 sur une partie de son parcours.

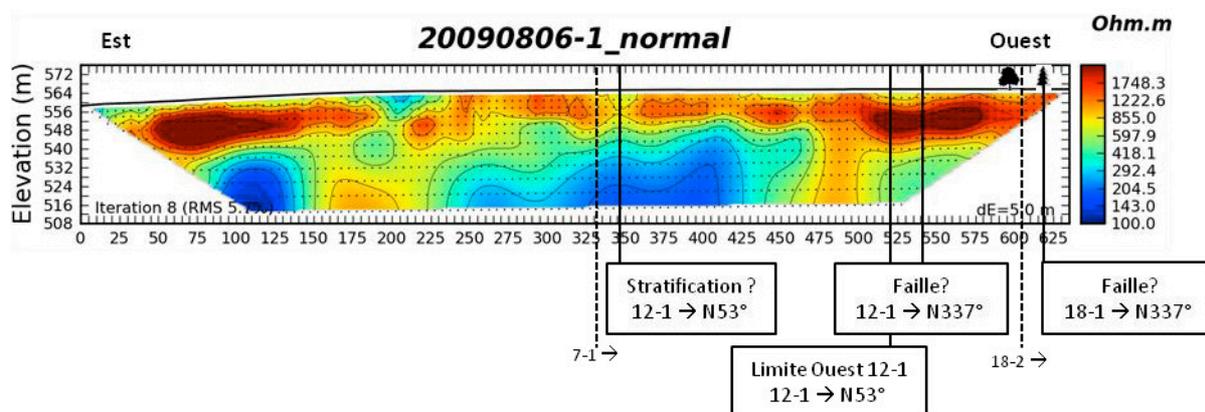


FIGURE 6-36 : PROFIL 6-1 - LA POSITION DES ARBRES REPRÉSENTE LA PARTIE DU PROFIL QUI SE SITUE À LA LISIÈRE DU BOIS

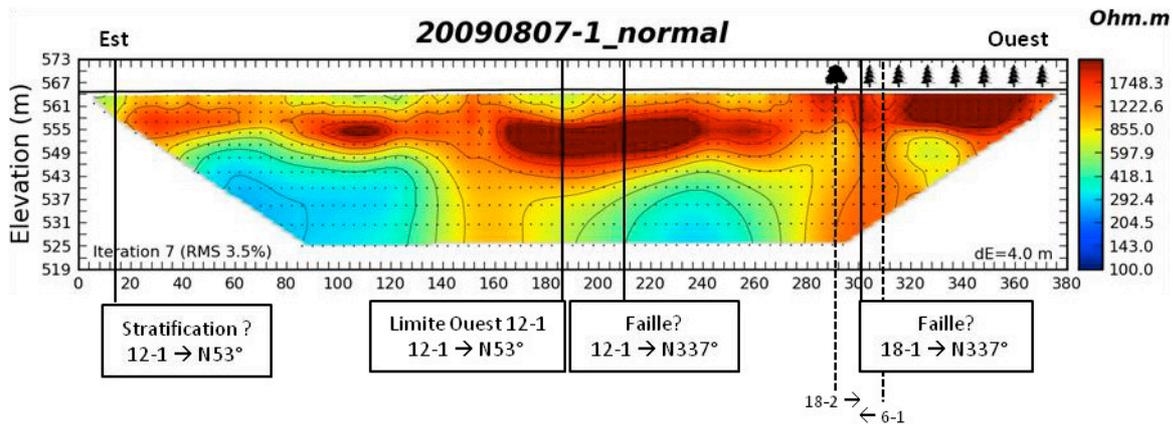


FIGURE 6-37 : PROFIL 7-1 - LA POSITION DES ARBRES REPRÉSENTE LA PARTIE DU PROFIL QUI SE SITUE À LA LISIÈRE DU BOIS.

Le profil 6-1 (Figure 6-36) montre des variations latérales importantes de résistivité. En particulier, un niveau de haute résistivité ondule sous la surface d'est en ouest. Il est parfois plus superficiel (à l'est et à l'ouest). L'intersection d'une ligne "de stratification" à N53° depuis le profil 12-1 met en évidence un contraste de résistivité surtout marqué en surface sur le profil 6-1. La limite ouest du profil 12-1 est mentionnée sur le profil 7-1 (Figure 6-37), pour permettre de comparer l'information fournie par les deux profils. Il semble que la structure mise en évidence sur le profil 12-1 puisse correspondre à la stratigraphie. Si les contrastes visibles sur les profils 12-1 (Figure 6-35) et 18-1 (Figure 6-38, voir ci-après) correspondent à des failles, alors l'intersection de segments de droite N337° avec les profils 6-1 et 7-1 est dessinée. L'intersection d'une faille hypothétique avec le profil 7-1 (18-1 → N337° sur la Figure 6-37) met en évidence une différence importante dans la profondeur du niveau de très haute résistivité. Les profils 6-1 et 7-1 sont, sur leur partie commune, situés à une altitude quasiment constante. S'il s'agit d'une faille, alors son rejet vertical doit être faible. Il est possible qu'il s'agisse d'une faille décrochante, provoquant l'enfouissement apparent d'un niveau. Il faut également noter que cette limite correspond à la limite des bois. S'agit-il d'une cause ou d'une conséquence de la proximité du niveau de très haute résistivité et de la surface ?

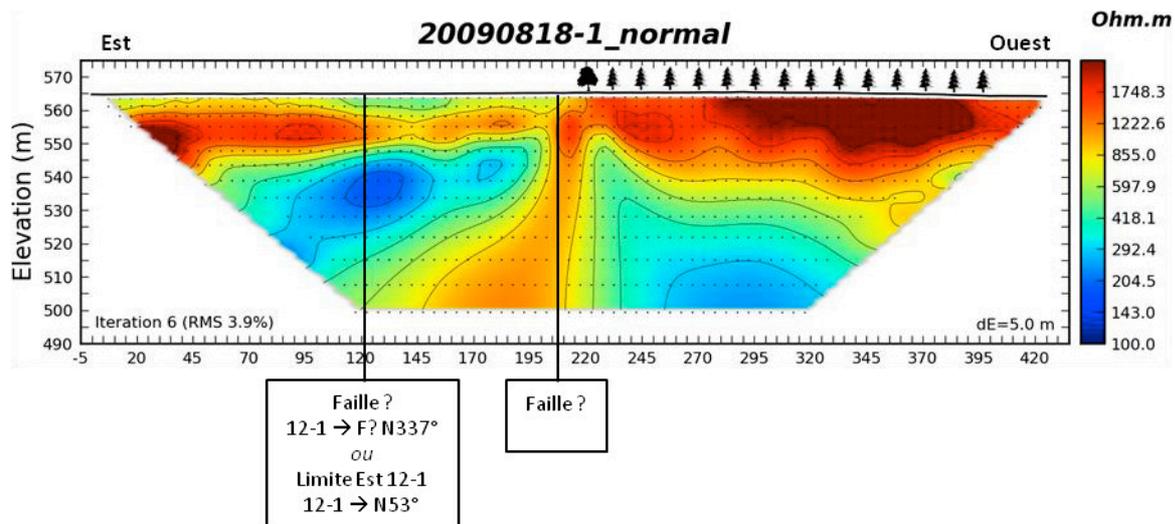


FIGURE 6-38 : PROFIL 18-1 - LE PROFIL EST A CHEVAL SUR UNE PATURE ET DANS UN COUPE FEU, LES ARBRES ILLUSTRENT CETTE TRANSITION. LES INTERPOLATIONS N53° ET N337° DEPUIS LE PROFIL 12-1 SONT ILLUSTRÉES. LA POSITION D'UNE FAILLE POSSIBLE EST PRÉSENTÉE.

Le profil 18-1 (Figure 6-38) est situé environ 70 m au sud du profil 12-1. Il montre des variations latérales de résistivités importantes. Le passage de la pâture au coupe-feu est marqué par l'apparition de hautes résistivités plus proches de la surface.

L'intersection d'un segment de droite orienté à N53° depuis l'extrémité est du profil 12-1 montre que la partie droite du profil (à partir de la cote 120) devrait être la même lithologie que celle investiguée au par le profil 12-1 si cette orientation est celle de la stratigraphie. Si la première partie, entre 120 m et 205 m, montre en effet une bonne correspondance dans l'allure des terrains étudiés, l'image est totalement différente à partir de 205 m. Il est possible que cette cote marque la position d'une faille séparant en deux le profil.

L'intersection d'un segment N337° depuis le profil 12-1 marque le changement d'épaisseur d'un niveau de haute résistivité qui passe d'environ 15 m d'épaisseur à l'est à 8 m à l'ouest. L'intersection entre un segment de droite N337° issu de la cote 205 m recoupe les profils 12-1 et 6-1 à leur extrémité et aucune information ne peut être déduite de ces intersections. Par contre, l'intersection avec le profil 7-1 met en évidence une variation de résistivité sur toute la profondeur du profil (voir ci-avant).

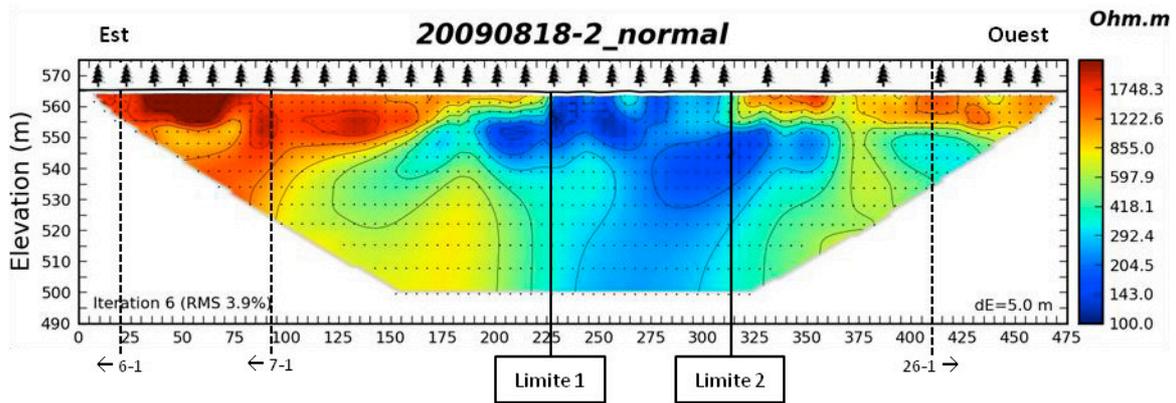


FIGURE 6-39 : PROFIL 18-2. INDICATION DE LA POSITION DES PROFILS 6-1, 7-1 ET 26-1. LES SAPINS PLUS ÉPARS INDIQUENT UNE ZONE PLUS OUVERTE AU NORD DU PROFIL.

Le profil 18-2 recouvre les extrémités et prolonge les profils 6-1 et 7-1 vers l'ouest. Il montre des variations importantes de la résistivité, surtout proche de la surface. Entre les cotes 225 et 325m, le niveau de haute résistivité disparaît même au profit de valeurs nettement plus basses. D'ouest en est, à partir de la cote 225, la couche de haute résistivité s'épaissit de 5 m à plus de 30 mètres. Cette observation est cohérente avec la présence de hautes résistivités sur l'extrémité ouest des profils 6-1 et 7-1.

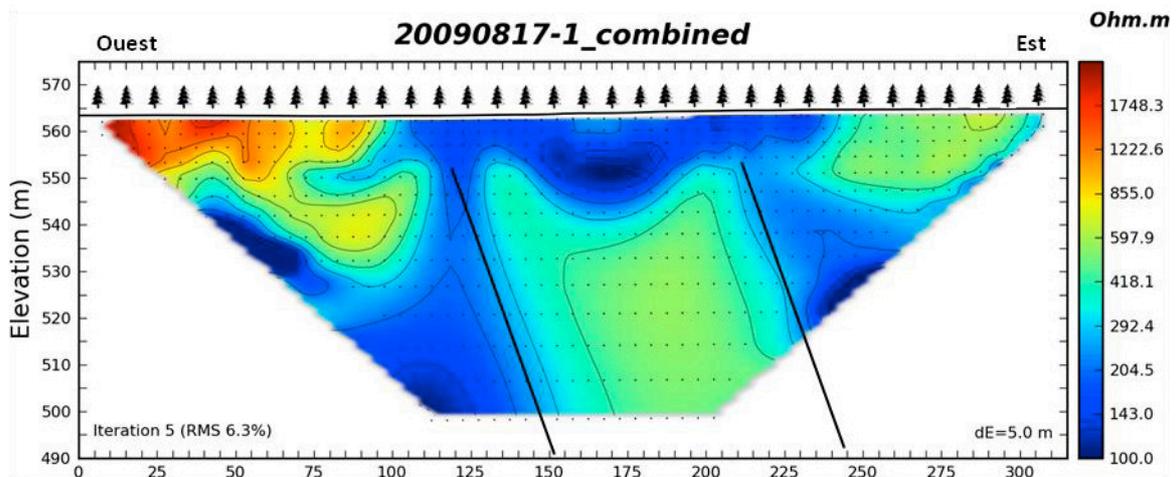


FIGURE 6-40 : PROFIL 17-1 ET MISE EN ÉVIDENCE DE DEUX CONTRASTES ALIGNÉS.

Le profil 17-1 est situé environ 90m au nord du 18-2, dans un coupe feu. Sur ce profil, deux limites nettes sont dessinées, avec un pendage apparent de 62° vers l'est. Le profil est orienté $N76^\circ$, donc il recoupe probablement la stratification avec un angle faible (une vingtaine de degrés maximum). Si ces limites correspondent à la stratigraphie, le pendage réel sera donc de l'ordre de 75° et 85° SE. Si ces limites sont des plans de failles liés à la ZFH, alors le profil leur est à peu près perpendiculaire et elles ont un pendage de 62° E.

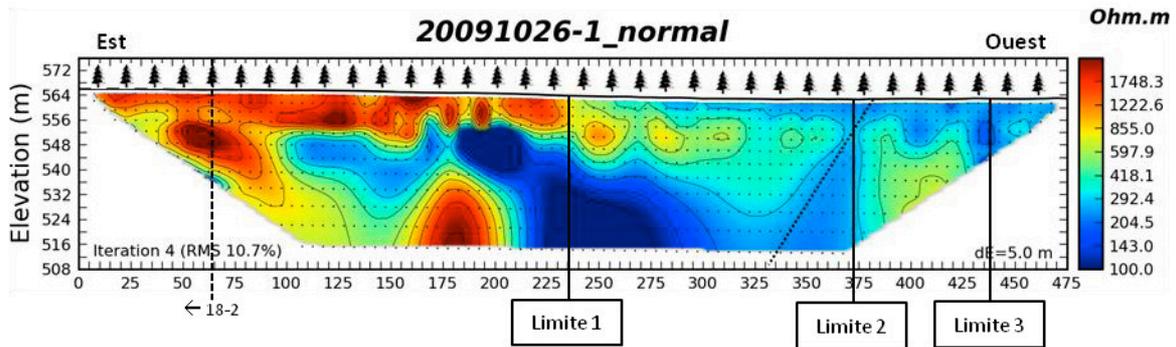


FIGURE 6-41 : PROFIL 26-1 - LA FIN DU PROFIL 18-2 EST INDIQUÉE. DEUX LIMITES SONT MISES EN ÉVIDENCE.

Le profil 26-1 prolonge le 18-2 vers l'Ouest et le chevauche sur 60 mètres (Figure 6-41). La comparaison de la zone commune aux deux profils laisse penser que l'erreur plus élevée (10.7 %) déterminée sur la solution présentée est due à la présence d'un niveau de haute résistivité à proximité immédiate de l'extrémité est du profil. Ce profil montre également des petits noyaux de haute résistivité proches de la surface (entre les cotes 100 et 200 m). Il met toutefois en évidence trois variations nettes de résistivité. L'une (Limite 1) illustre le passage d'un niveau de haute résistivité proche de la surface à un niveau moins résistif en profondeur. Les deux autres (Limites 2 et 3) sont plus ténues et correspondent à une diminution de la résistivité le long d'une verticale. La Limite 2 pourrait aussi être orientée vers l'est, avec un pendage apparent de l'ordre de 40° E. Le profil est orienté $N64^\circ$ et s'il intercepte une stratification $N53^\circ$, alors le pendage réel de cette stratification serait d'environ 80° SE.

6.3.2.2.2. Mesures complémentaires

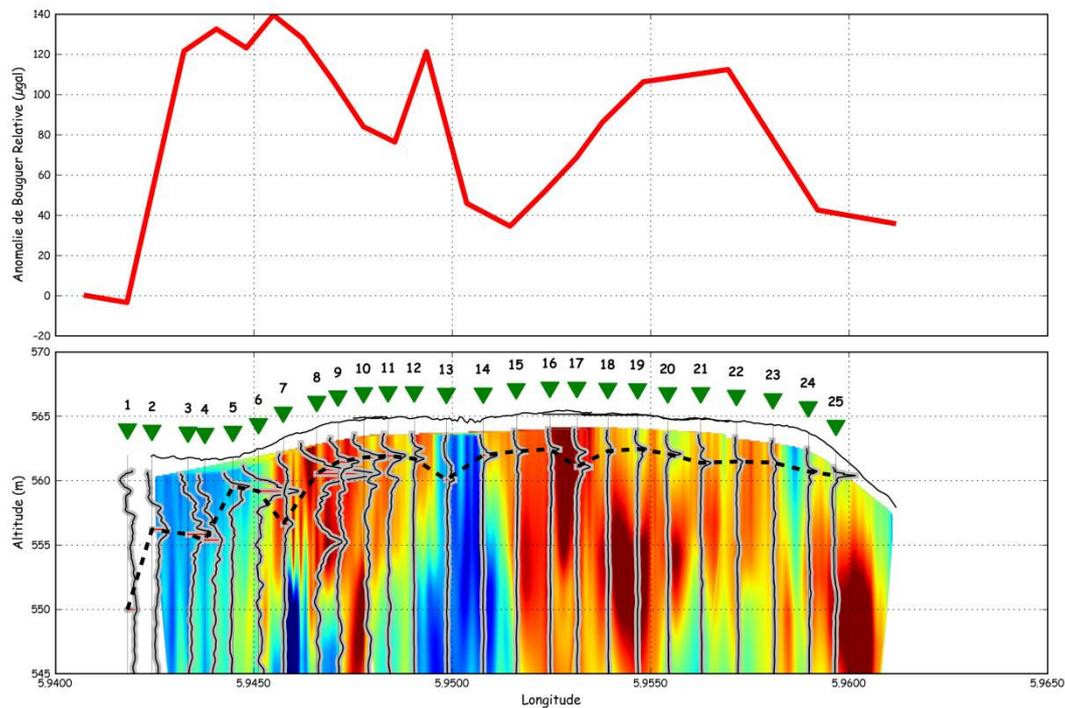


FIGURE 6-42 : SITE "CRÊTE OUEST". ANALYSE COMBINÉE DES DIFFÉRENTES MÉTHODES DE PROSPECTION GÉOPHYSIQUES UTILISÉES. TOMOGRAPHIES ÉLECTRIQUES (IMAGE DE BLEU (≤ 100 OHM.M) À ROUGE (≥ 2500 OHM.M)), MESURES H/V (ICÔNES VERTES ET PROFILS NOIRS) ET MESURES DE GRAVIMÉTRIE (PROFIL ROUGE AU DESSUS DE LA SURFACE).

La Figure 6-42 montre toutes les mesures H/V et de gravimétrie effectuées ainsi les 4 tomographies électriques alignées projetées sur un profil Ouest-Est. Les mesures H/V sont numérotées de 1 à 25.

Les profils H/V (calculés avec une vitesse $V_s = 500 \text{ m.s}^{-1}$) montrent des variations importantes dans l'allure (présence ou non de pic) et dans la position du pic éventuel. Les H/V 1 à 4 ne montrent pas de pics net. Ils se situent au dessus d'une zone de basse résistivité sans contrastes ni horizontaux, ni verticaux. Les 5 et 6 montrent des pics larges et mal définis au dessus d'une zone de transition dans la résistivité. Entre 7 et 12, les profils montrent généralement 1 pic bien défini à faible profondeur et un second moins net plus profond. Le profil 13 est très différent des précédents, montrant un pic ténu à plus grande profondeur. Les profils 14 à 16 sont très similaires, exhibant 1 seul pic bien défini. Le profil 17 montre deux pics, dont le premier est à la même profondeur que les précédents. Les profils 18 à 22 montrent également 1 pic, mais sa profondeur augmente progressivement. Le profil 23 ressemble aux précédents, mais le pic est moins net. Le profil 24 est similaire, avec un pic net. Le profil 25 montre un pic très proche de la surface, c'est le seul point de mesure réalisé sur un chemin carrossable et sa structure influence visiblement la mesure.

Les variations de l'anomalie de Bouguer (corrigées de la dérive régionale mesurée) au dessus du profil montrent des variations importantes, de l'ordre de 140 μGal . Les deux premières valeurs semblent extraordinairement basses par rapport aux autres. Un changement de lithologie pourrait expliquer cette variation, mais il n'est pas évident de l'identifier étant donné que les profils de résistivité s'arrêtent avant les deux points de mesure. Un argument en faveur de cette hypothèse est que l'allure de la mesure H/V numéro 1 est très différente des suivantes. La variation la plus importante entre deux points de mesures se situe au dessus du profil de H/V 13, la présence d'eau justifierait l'augmentation de densité de même que l'abaissement de la résistivité. Les points suivants présentent une anomalie plus faible au dessus de terrains de résistivité plus haute, ce qui est cohérent si ces roches sont peu saturées. A partir du point H/V 18, la résistivité en surface diminue et les valeurs de l'anomalie de Bouguer sont plus élevées. La présence d'eau dans les terrains superficiels (≤ 3 m) est dès lors une bonne explication. Les deux derniers points de mesures sont situés au dessus de terrains à nouveau plus résistifs.

6.3.2.2.3. Synthèse 3D

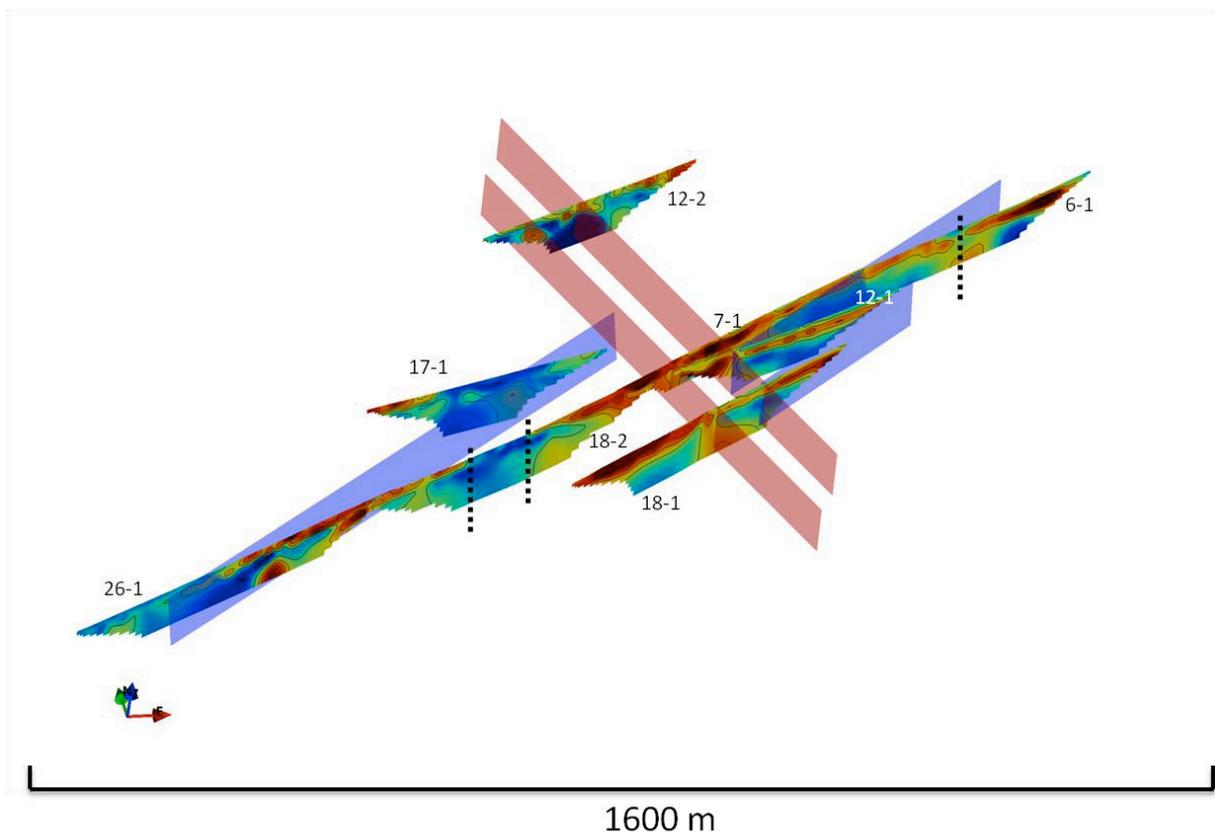


FIGURE 6-43 : VUE 3D DES PROFILS DU SITE "CRETE OUEST" ET ILLUSTRATION DES PLANS DE STRATIFICATION (BLEU) ET DE FAILLE (ROUGE) SUPPOSÉS.

La présentation en 3D des profils de tomographie électrique permet de bien illustrer les hypothèses présentées dans le texte. La figure 3D (Figure 6-43) présente une vue en plongée (de haut) vers le NNE. Les liens supposés entre les différents profils sont illustrés en bleu pour les stratifications et rouge pour les failles. Les stratifications représentées sont orientées N53° avec un pendage fort (75 à 80° SSE). Les deux failles dessinées montrent les liens suggérés entre les profils, elles ont une orientation d'environ N337°. L'observation de l'allure et des valeurs des résistivités sur le profil 7-1 à l'est de la faille qui recoupe également le profil 12-1 suggère qu'elle pourrait avoir un mouvement sénestre, décalant les bancs de plus haute résistivité vers le nord.

La présence des limites nettes sur le profil 18-2 pourrait suggérer la présence de failles à cet endroit également. Si elles sont parallèles aux autres, alors l'une d'elle pourrait être identifiée également sur le profil 17-1, mais son pendage réel serait alors de l'ordre de 60°. De même, la différence d'allure des niveaux de résistivité à la fin du profil 6-1 suggèrent la présence d'une limite.

Ces profils permettent de dresser une première image du site et seuls quelques nouveaux profils bien localisés pourraient confirmer nos hypothèses. En particulier, une tomographie de résistivité électrique au NNO du profil 7-1 serait utile pour étudier la prolongation des failles suspectées. Une tomographie de résistivité électrique 3D pourrait permettre d'étudier plus en détail la variation très nette de la résistivité le long du profil 12-1. Enfin, deux profils perpendiculaires à la stratification supposée permettraient de la mettre en évidence et, peut-être, d'y identifier des décalages horizontaux.

6.3.2.3. COCKAIFAGNE

Cette zone est située au nord-est de la zone "Crête Ouest", dans une zone boisée située au nord du nœud autoroutier de Hockai, bordée à l'ouest par l'autoroute A27 et à l'est par l'ancienne route Verviers-Stavelot.

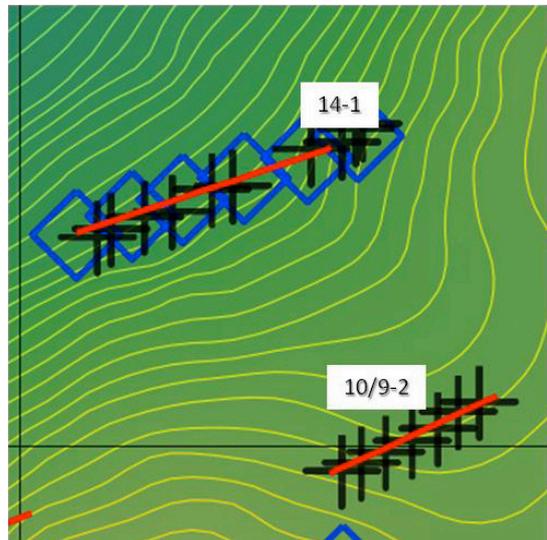


FIGURE 6-44 : LOCALISATION DES PROFILS ET MESURES GÉOPHYSIQUES RÉALISÉS SUR LE SITE DE COCKAIFAGNE

Elle regroupe 2 profil de tomographie électrique (14-1 et 10/9-2), 23 mesures H/V, 6 mesures de gravimétrie et 4 sondages à la tarière manuelle. Ces derniers correspondent aux stations H/V 1 à 4 sur le profil 14-1. Ce site est situé entre l'autoroute A27 à l'ouest et l'ancienne route de Verviers à Stavelot à l'est. Depuis l'échangeur autoroutier de Hockai, au sud, elle se situe à cheval sur une ligne où les courbes de niveau s'infléchissent légèrement d'ouest en est, vers le nord. Cette "ligne" est visible sur les anciennes cartes topographiques au 1:10000 de l'IGN (Carte 50-1).

6.3.2.3.1. Profils de tomographie électrique

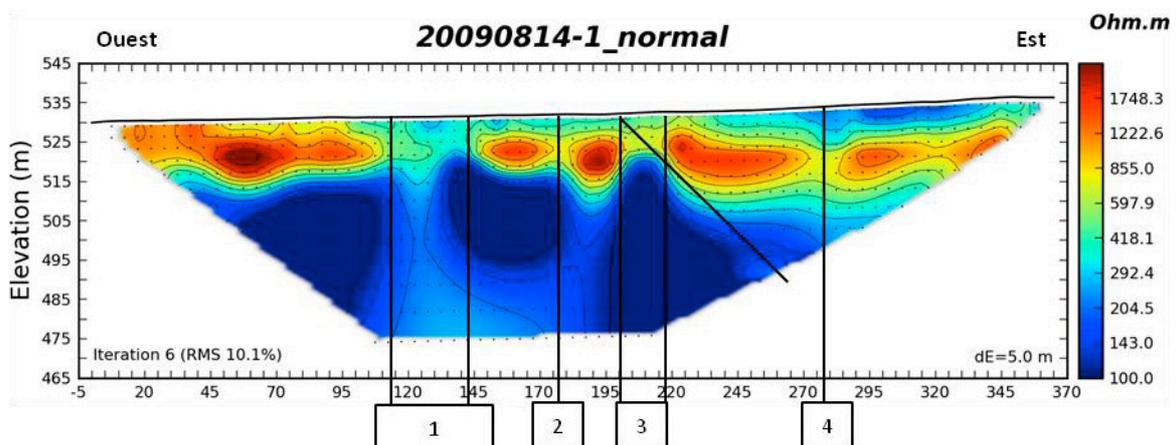


FIGURE 6-45 : PROFIL 14-1 – MISE EN ÉVIDENCE DE DISCONTINUITÉS.

Le profil 14-1 (Figure 6-45) est orienté $N71^\circ$, soit probablement légèrement sécant à la stratigraphie connue loin de là, à proximité du cours de la Hoëgne ($N40^\circ$ à $N60^\circ$, à l'est) ou supposée sur les sites précédents ($N52$ à $N55^\circ$). Stratigraphiquement, c'est le profil le plus au nord réalisé lors de cette campagne. Il est situé sur le flan nord de la Crête. Il est réalisé dans un coupe-feu, entre l'autoroute A27 et l'ancienne route de Verviers à Stavelot. La baisse de résistivité à la cote 120 m (limite 1 sur la Figure 6-45) est localisée à l'endroit où un petit ru arrive presque perpendiculairement au coupe-feu depuis le sud. Pour une partie en tout cas, il coule vers l'ouest et enfin vers le nord, dans une petite tranchée de 50 cm de profondeur, au niveau du début du profil (soit à l'extrémité ouest du coupe-feu). A l'est, au-delà de l'extrémité du profil, la SWDE a installé plusieurs drains et un réservoir pour capter la nappe d'eau superficielle (Archives SWDE : Jalhay) c'est l'un des plus importants de la zone. Sur les anciennes cartes topographiques au 1:10000 (IGN) un ru coulait perpendiculairement au profil, approximativement au niveau de la cote 220 m (limite 3 sur la Figure 6-45). Ce ru semble aujourd'hui être moins important que le premier. L'orientation de ce ru est $N314^\circ$, proche des valeurs connues aujourd'hui pour la Zone Faillée de Hockai. En suivant le cours du ru sur la carte au 1:10000 on remarque qu'il croise la ligne de l'ancien chemin de fer Sart-Stavelot au niveau du changement de profil, de remblais à l'ouest en déblais à l'est.

Si la limite 3 correspond à une stratification, alors son pendage apparent est de $48^\circ E$. Cela représenterait, pour une orientation réelle $N55^\circ$ un pendage de $77^\circ SE$, ce qui n'est pas impossible. La limite 4 marque une l'apparition de basses résistivités en surface et une coupure dans le niveau de haute résistivité à 10 m de profondeur.

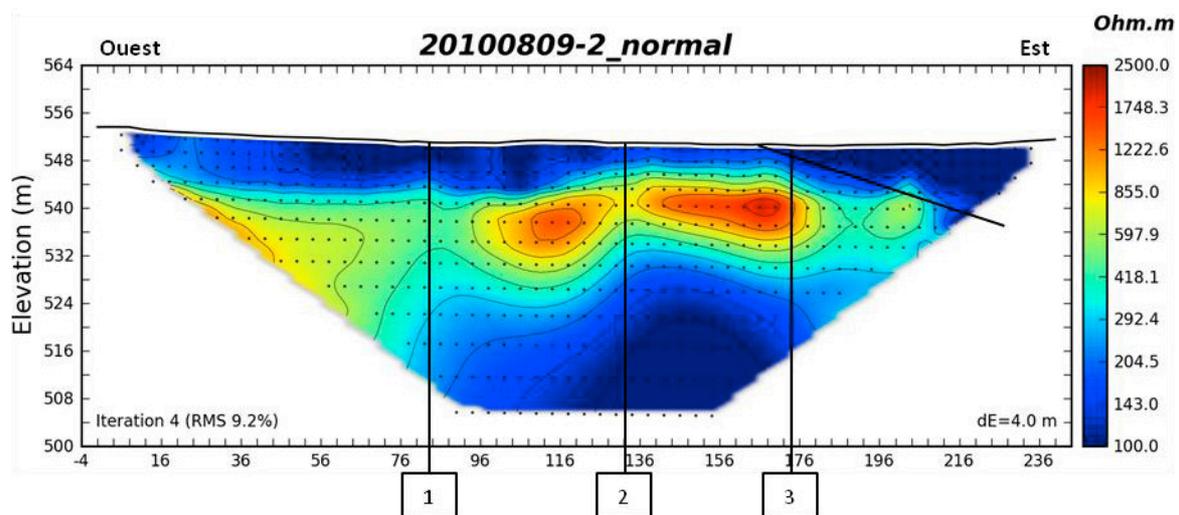


FIGURE 6-46 : PROFIL 10/9-2

Le profil 10/9-2 (Figure 6-46) est situé à 400m au sud-ouest du profil 14-1. Il est orienté $N65^\circ$. Il montre des variations de résistivité similaires à celles rencontrées sur le profil 14-1. Une différence

majeure est la présence d'un niveau de basse résistivité relativement épaisse immédiatement sous la surface. L'épaisseur de ce niveau varie entre 8 m à l'ouest, environ 4 m entre les cotes 116 et 176 m (limites 1 et 2 sur la Figure 6-46) et puis semble s'épaissir fortement à l'extrémité est (à partir de la limite 3) du profil. Le profil à proximité du "col" de la Crête de la Vecquée, les dépôts superficiels sont plus importants ici que sur le profil 14-1, ils pourraient être des dépôts de pente dont l'origine serait la crête à l'ouest, de l'autre côté de l'autoroute. Latéralement, ce profil est dans la continuation du profil 6-1 (voir Figure 6-36, ci-dessus). L'allure des couches sur le 6-1 et sur la partie ouest du 10/9-2 sont cohérentes, avec l'apparition d'un niveau de plus basse résistivité proche de la surface et la persistance de la haute à moyenne résistivité en profondeur. Latéralement sur le profil 10/9-2, cette résistivité en profondeur disparaît au profit de niveaux beaucoup moins résistifs. La zone à l'est est sensée, sur la carte 1:10000, être la zone source du ru qui recoupe le profil 14-1 à l'est. Si la Limite 3 (Figure 6-46) est un pendage apparent d'une stratification ($15^{\circ}E$) alors le pendage réel pour une stratification $N55^{\circ}$ serait $55^{\circ}SSE$, ce qui semble peu par rapport aux valeurs connues à proximité.

Notons que c'est au niveau du col, sous l'échangeur autoroutier, que se situe le forage de la SWDE le plus productif de la zone. Les données des forages de repérages effectués par le SGB montrent des variations latérales importantes à proximité de l'échangeur.

6.3.2.3.2. Mesures complémentaires

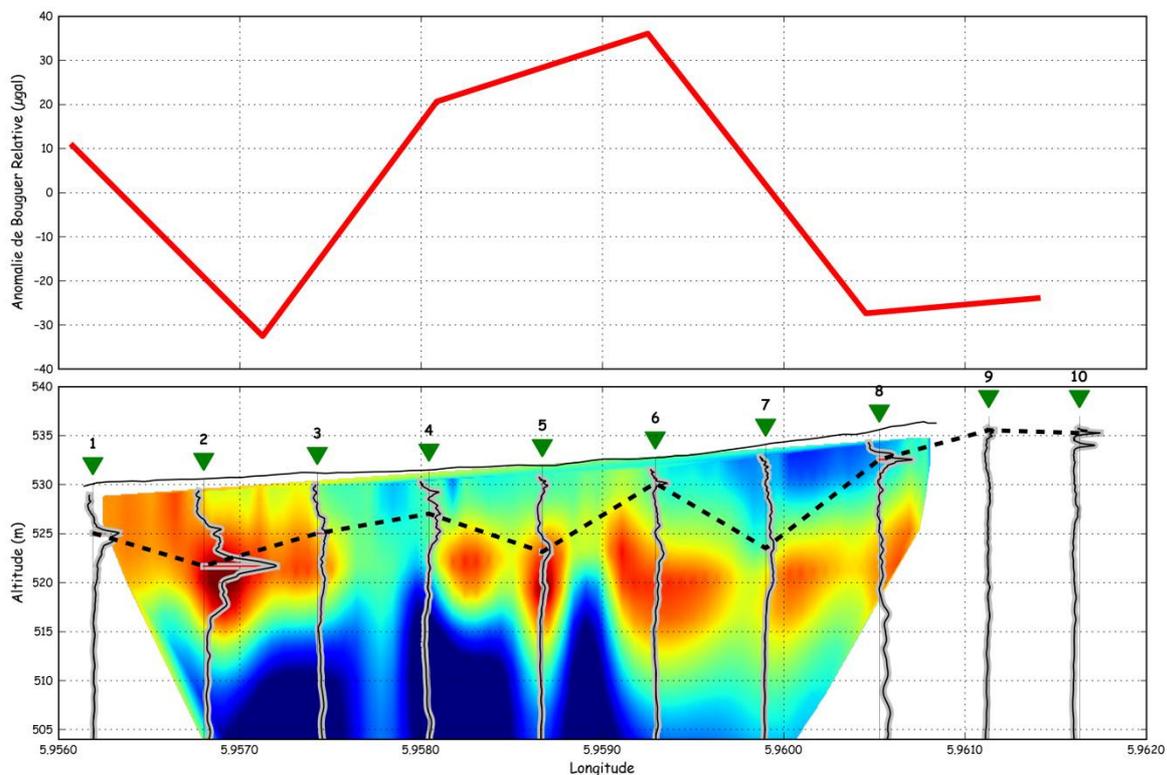


FIGURE 6-47 : SITE "CRÊTE OUEST". ANALYSE COMBINÉE DES DIFFÉRENTES MÉTHODES DE PROSPECTION GÉOPHYSIQUES UTILISÉES. PROFIL 14-1.

Les mesures complémentaires au profil 14-1 sont 10 mesures H/V et 6 mesures de gravimétrie (Figure 6-47). La première mesure H/V exhibe un pic à environ 5 m de profondeur. La mesure 2 montre également ce pic, mais en présente également un second beaucoup plus net. Les profils 3 et 4 sont bruités et ne présentent pas de pic net, ils correspondent aux limites de la zone de plus faible résistivité. Le H/V 5 présente un pic similaire au 2, mais d'amplitude nettement moindre. Le 6 montre un pic proche de la surface, et également un pic plus large en profondeur au niveau de l'apparition de la haute résistivité. Le 7 est similaire au 6, bien que plus bruité, il montre également un pic étalé au niveau du passage aux hautes résistivités en profondeur. Le 8 montre un pic très net proche de la surface, correspondant visuellement à des résistivités intermédiaires (bleu clair). Le 9 est bruité et ne montre qu'un petit pic proche de la surface, c'est le premier point au dessus d'un chemin carrossable qui vient de la route à l'est. Le 10 montre également un pic très proche de la surface et un second un peu plus profond. Le second ne peut pas être expliqué, la tomographie électrique n'arrive pas aussi loin.

Les mesures de gravimétrie montrent des variations locales importantes une fois la tendance régionale soustraite. Le premier point à l'ouest est localisé au bout du profil de tomographie, à proximité de là où coule le petit ru. L'influence de cette eau en surface à proximité immédiate du gravimètre semble importante. Le point suivant est localisé au dessus des terrains de haute résistivité, sa valeur est la plus basse rencontrée, ce qui semble cohérent avec une faible saturation d'eau. Les deux points suivants sont situés au dessus des niveaux de faible résistivité proches de la surface, l'influence d'une nappe d'eau à faible profondeur se traduit par une augmentation de l'anomalie de Bouguer mesurée. Enfin, les deux derniers points montrent des valeurs plus basses, ils sont situés au dessus de terrains de résistivité intermédiaire et probablement déjà dans le rayon d'influence des drains installés par la SWDE. Cette installation provoque la diminution de la saturation dans les faibles profondeurs, induisant une densité plus faible des terrains.

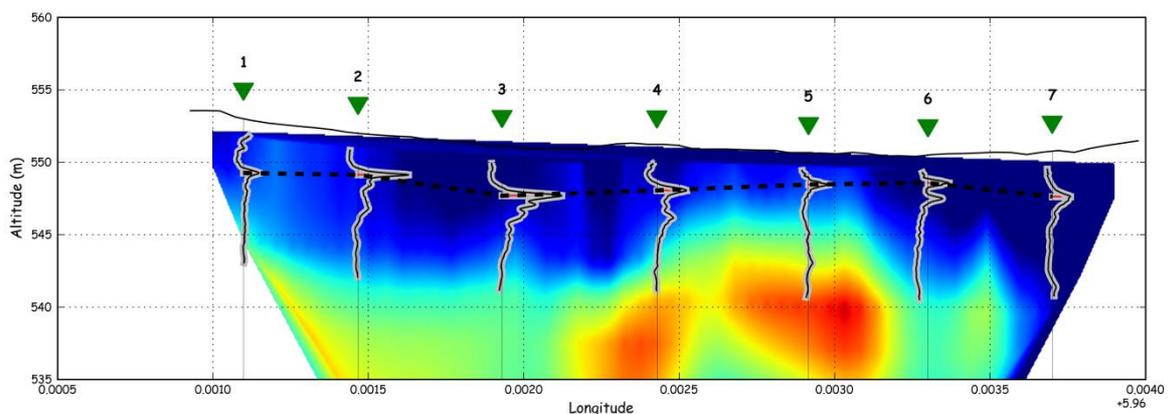


FIGURE 6-48 : SECOND SITE À COCKAIFAGNE, AU SUD DU PREMIER. PROFIL 10/9-2

Le second profil réalisé sur ce site a été doublé de 7 mesures H/V (Figure 6-48). Les H/V exhibent en général un pic net. Leur profondeur varie ; elle est moins importante aux points 1 et 2, devient plus grande en 3, puis plus superficielle en 4, 5 et 6 pour redevenir plus grande en 7. La remontée vers la surface correspond à l'endroit où une remontée analogue est observable sur les niveaux de résistivités intermédiaires à fortes. L'allure générale des signaux H/V tend à montrer que ce site est moins perturbé en surface que le précédent. Une explication pourrait être liée à la présence de la couche de basse résistivité épaisse d'environ 5 m couvrant l'ensemble du profil, et qui est absente sur le 14-1. Cette couche, peut-être des dépôts de pente dans le "col", semblent homogènes et ont probablement un contraste d'impédance net avec les terrains qu'ils recouvrent.

6.3.2.4. **BARONHEID**

Cette zone est située à l'est de la zone "Crête Ouest", dans son prolongement direct. Elle regroupe 3 profils de tomographie électrique (13-1,13-2 et 10/9-1), 18 mesures H/V et 13 mesures de gravimétrie.

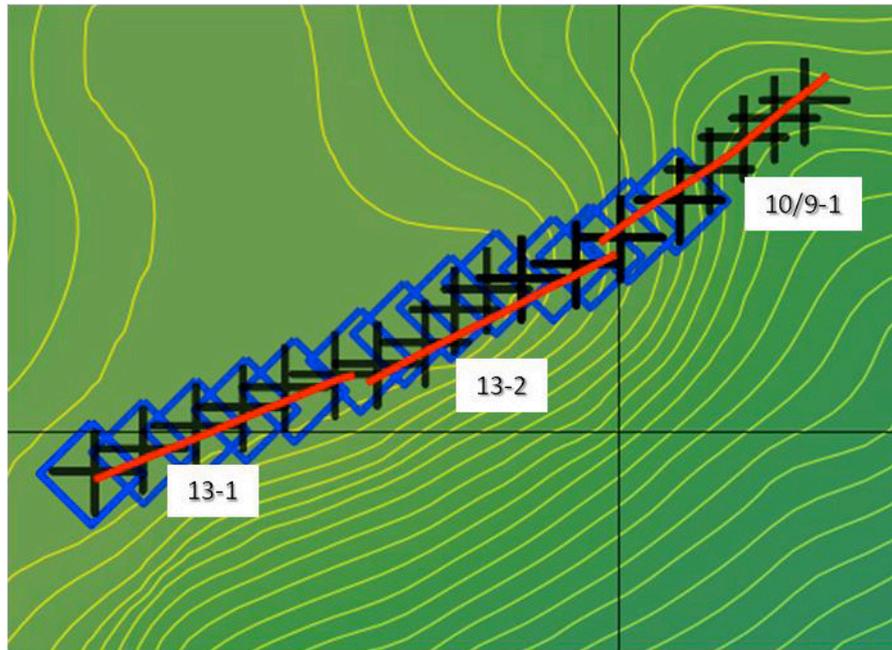


FIGURE 6-49 : LOCALISATION DES PROFILS ET MESURES GÉOPHYSIQUES RÉALISÉS SUR LE SITE DE BARONHEID

Les profils se situent immédiatement à l'est de l'échangeur autoroutier de Hockai. Le premier (profil 13-1, Figure 6-50) est dans une pâture à altitude approximativement constante, le deuxième (profil 13-2, Figure 6-51) entame doucement la descente dans la petite baie au cœur de laquelle coule un ruisseau appelé "Hockai". Le troisième profil (10/9-1) termine la descente, recoupe ce ruisseau et continue vers l'ouest, en regagnant de l'altitude.

6.3.2.4.1. Profils de tomographie électrique

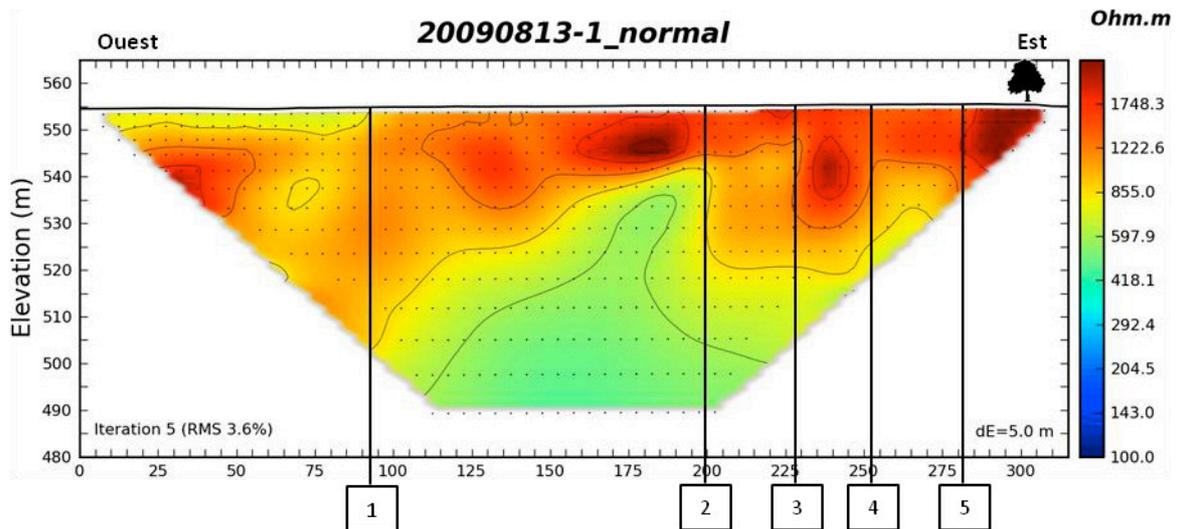


FIGURE 6-50 : PROFIL 13-1 – 5 LIMITES "SUBVERTICALES" SONT MISES EN ÉVIDENCE.

Le profil 13-1 (Figure 6-50) montre des résistivités moyennes à haute sur l'ensemble du profil. Un niveau de moyenne résistivité d'environ 5 m d'épaisseur est présent en surface jusqu'à la cote 100 m et puis disparaît au profit de résistivités plus importantes. Cette transition se remarque aussi en profondeur, la résistivité moyenne devient plus faible à partir de la même zone de transition. Le profil est orienté N67°, soit sécant d'une dizaine de degrés de la stratigraphie connue. Les pendages connus (dans la tranchée du chemin de fer, ou le long de la Hoëgne, à l'est), ou supposés (sur les sites de "Ster" et "Crête Ouest") sont compris entre 60 et 80°SE. Si le profil 13-1 recoupe des limites orientées N40 à N60°, leur pendage apparent sera orienté vers l'est. Le profil ne montre pas d'arguments en faveur d'un pendage particulier. Seules des limites verticales peuvent être dessinées (1 à 5 sur la Figure 6-50). Si ces limites correspondent à la stratification, alors elle devrait être subverticale. Notons la grande différence de résistivité entre la partie ouest de ce profil et la partie est du profil 10/9-2 (Cockaifagne, Figure 6-46), alors qu'ils sont géographiquement proches. Le profil 13-1 est "sur" la crête, alors que le profil 10/9-2 est déjà sur son versant nord, au nord du "col".

La prolongation vers le sud d'une faille hypothétique localisée en 2 sur la Figure 6-50 et orientée N330° recoupe l'autoroute A27 approximativement au niveau de son croisement avec le ruisseau "Hockai". A cet endroit, les forages réalisés en préparation de l'autoroute A27 mentionnent des "terrains fortement tectonisés" jusqu'à plus de 15 m de profondeur, alors que tous les autres forages rencontrent de la roche saine à moins de 5 à 10 m de profondeur. Cette observation est cohérente avec notre hypothèse.

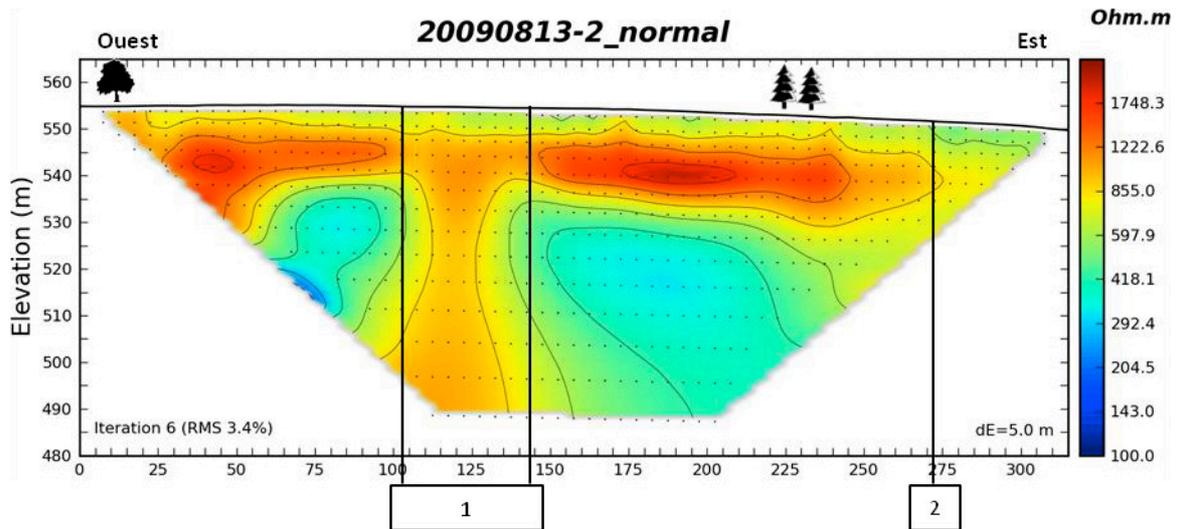


FIGURE 6-51 : PROFIL 13-2 – MISE EN ÉVIDENCE D'UNE ZONE VERTICALE DE VARIATION (1) ET D'UNE LIMITE (2) DE RÉSISTIVITÉ

Le profil 13-2 (Figure 6-51) est situé dans la prolongation du profil 13-1, 15 mètres plus au sud. Il présente des résistivités moins hautes que le 13-1 et, comme au début du 13-1, présente un niveau de résistivité moyenne immédiatement sous la surface. Il présente une zone verticale de résistivité moyenne au niveau de la cote 125 m. La résistivité en profondeur sur le premier tiers du profil est fort différente de celle rencontrée à l'est du 13-1. De l'autre côté de la zone verticale, la résistivité est à nouveau plus faible. A l'est, au niveau de la cote 275 m, le niveau de haute résistivité présent entre 5 et 20 m de profondeur disparaît complètement au profil de résistivités moyennes. A cet endroit apparaît également un niveau de résistivité faible immédiatement sous la surface. A l'instar du profil précédent, il n'est pas évident de déterminer des pendages apparents de couches sur ce profil.

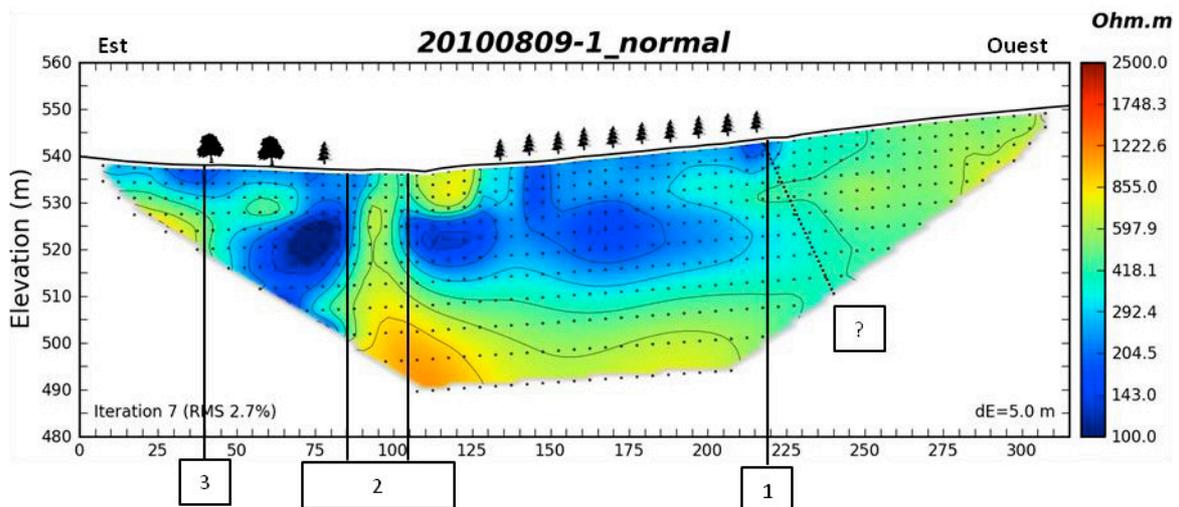


FIGURE 6-52 : PROFIL 10/9-1 – 3 LIMITES SONT INDiquÉES. ! CE PROFIL EST INVERSÉ PAR RAPPORT AUX DEUX PROFILS PRÉCÉDENTS !

Le profil 10/9-1 (Figure 6-52) a été réalisé un an après les deux autres profils, dans leur prolongation vers l'est. La résistivité y est, en moyenne, nettement inférieure. On remarque que le niveau de résistivité intermédiaire présent sur les 50 derniers mètres du profil 13-2 continue sous le 10/9-1. Le niveau est visible jusqu'à une limite verticale au niveau de la cote 220 m. A l'ouest de cette limite, les résistivités sont plus hautes qu'à l'est. Cette limite correspond en surface à la position d'un petit chemin carrossable.

Un noyau de basse résistivité est visible au droit de la cote 75 m et, à la cote 85 m, une limite verticale de moyenne résistivité marque un changement latéral de résistivité à toutes les profondeurs. A l'est de la limite, toutes les résistivités sont plus faibles qu'à l'ouest. Les résistivités sont ensuite relativement constantes entre les cotes 105 et 225 m. Le ruisseau de Hockai croise le profil au niveau de la cote 110 m. La zone à l'ouest est une zone marécageuse. Enfin, des résistivités intermédiaires apparaissent sous la zone marécageuse à l'ouest de la cote 40 m (3 sur la Figure 6-52).

6.3.2.4.2. Mesures complémentaires

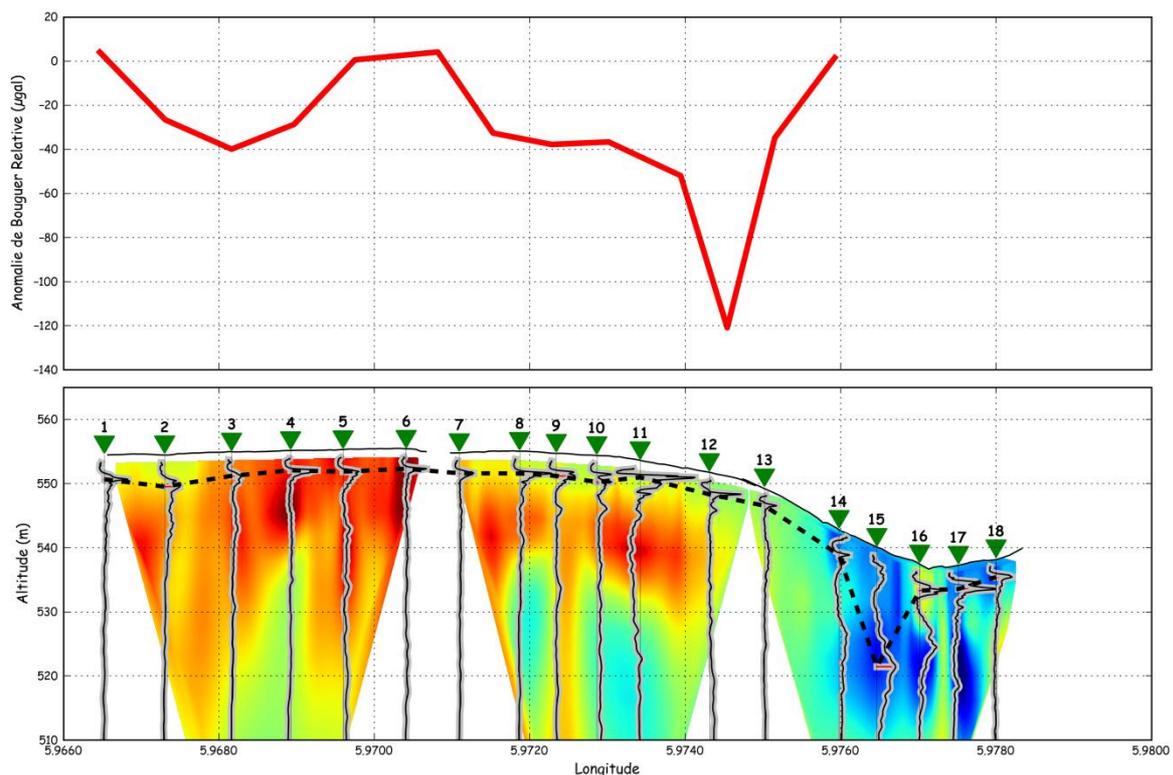


FIGURE 6-53 : SITE "BARONHEID". ANALYSE COMBINÉE DES DIFFÉRENTES MÉTHODES DE PROSPECTION GÉOPHYSIQUES UTILISÉES. MÊME LÉGENDE QUE POUR LA FIGURE 6-42.

18 mesures H/V et 13 mesures de gravimétrie complètent ces trois profils de résistivité électrique (Figure 6-53). Les mesures H/V de 1 à 13 montrent en général un pic bien défini. Sa profondeur est un peu plus importante sous 1 et 2, remonte entre 3 et 6. Le passage dans la 2^{ie} pâture est marquée par une profondeur un peu plus grande sous 7. Cette observation est cohérente avec l'apparition d'un niveau de moyenne résistivité à la surface sur le deuxième profil de tomographie. Les profils 8 à 11 montrent toujours un pic proche de la surface, mais ils sont plus larges. Les points 9 à 11 montrent également un second pic plus profond. Le H/V 12 montre un double pic net, le second semble correspondre au début de la plus haute résistivité. Le 13 ne montre qu'un seul pic proche de la surface. Le 14 est fortement bruité et montre encore ce pic, mais déjà moins superficiel. Cette variation entre 13 et 14 montre que la limite visible sur la tomographie électrique en profondeur est réelle et que l'influence du chemin carrossable sur la résistivité n'est pas en cause. Le 15 est le profil le plus bruité, il ne montre pas de pic net, il se situe dans la zone de basse résistivité au milieu du profil 10/9-1. Les points 16 à 18 montrent à nouveau 1 pic (ou double pic) net, proche de la surface. Sous 17 et 18 le pic correspond au niveau de moyenne résistivité vers 3 m de profondeur.

Les variations des mesures de gravimétrie, auxquelles a été soustrait le gradient régional, montrent des variations relativement faibles le long des profils (20 μ Gal d'un point à l'autre), à l'exception d'un pic de plus de 60 μ Gal de différence en un point par rapport à ses 2 voisins. La décroissance de la courbe au début du profil pourrait être liée à la disparition du niveau de moyenne résistivité en surface. La remontée au dessus de la fin de la première tomographie n'est pas explicable par la présence d'eau sous le profil. Il s'agit peut-être ici d'un changement de lithologie à partir de la "Limite 2" visible sur le profil 13-1 (Figure 6-50) mettant en évidence une variation verticale de résistivité. Le creux dans le signal de l'anomalie entre les stations 12 et 13 ne peut pas être expliqué par l'absence d'eau à cet endroit, car les terrains investigués par les tomographies sont de résistivité moyenne et en tout cas plus faible que sous 11 à 12. Le signal remonte ensuite très fortement probablement en lien avec l'apparition des terrains de faible résistivité vers l'est, témoins de la présence d'une plus grande quantité d'eau.

6.3.2.5. MONTFORT

Cette zone est située au nord-est de Baronheid, elle regroupe 1 tomographie électrique, 14 mesures H/V et 9 mesures de gravimétrie.

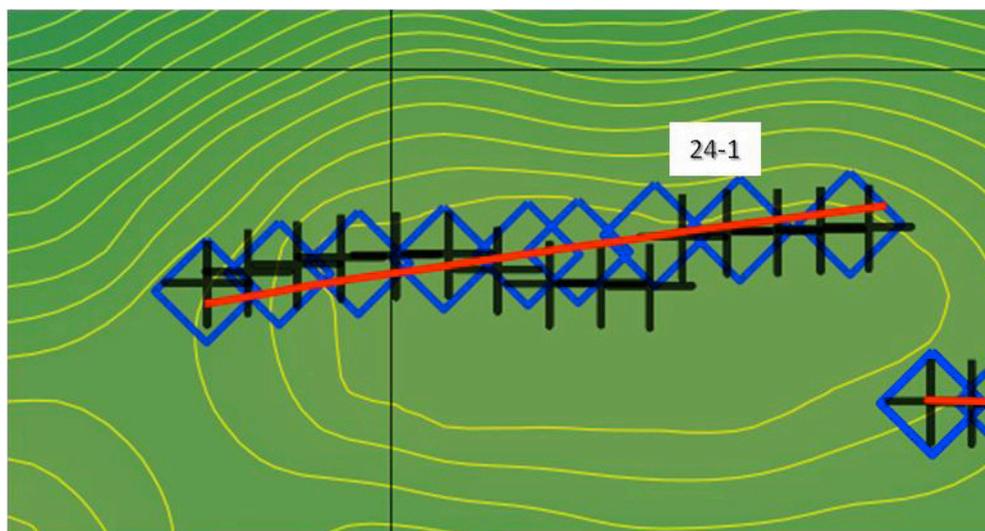


FIGURE 6-54 : LOCALISATION DU PROFIL ET DES MESURES GÉOPHYSIQUES RÉALISÉS SUR LE SITE DE MONTFORT

6.3.2.5.1. Profils de tomographie électrique

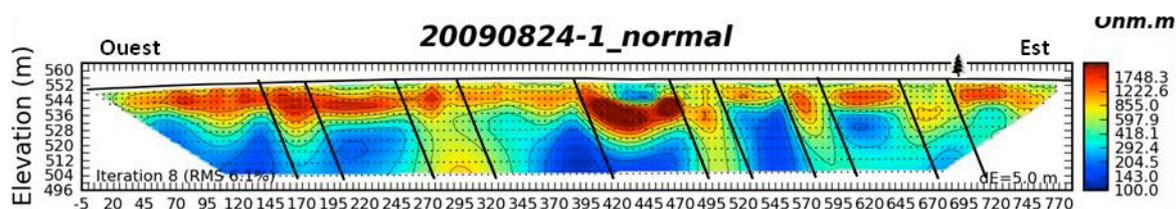


FIGURE 6-55 : PROFIL 24-1. DES PENDAGES APPARENTS SONT MIS EN ÉVIDENCE SUR LE PROFIL (EN NOIR).

Le profil 24-1 (Figure 6-55) est situé sur la crête, au nord est du site Baronheid. Il est orienté $N81^\circ$ et la topographie du profil est faible. Il met en évidence des variations importantes de résistivités en profondeur et latéralement. L'allure des variations de résistivité suggère des pendages apparents, particulièrement bien représentés sur l'ensemble du profil, d'environ $58^\circ E$. Prenant $N50$ à $N55^\circ$ pour l'orientation de la stratigraphie sous le profil (identifiée dans la tranchée du chemin de fer au NNE du profil), cela représente un pendage réel d'environ $75^\circ SE$. Le milieu du profil présente une variation intéressante de la résistivité en profondeur, avec une forme de chenal surmontée d'un niveau de basse résistivité. Cette zone est une zone humide en surface, mais d'extension relativement restreinte. Son orientation, visible sur photo aérienne, est d'environ $N53^\circ$. En prolongeant cette possible stratification $N53^\circ$ vers le sud ouest, on rencontre un captage et un réservoir SWDE. Ce captage est un forage tubé, probablement d'au moins 12 m de profondeur (profondeur de la pompe). La tomographie électrique montre une basse résistivité au moins sur 8m

d'épaisseur. Cette couche pourrait, peut-être, être une forme de chenal pour la nappe superficielle. Une autre zone humide est présente à 75 m au nord de l'extrémité ouest du profil 24-1, son orientation visible sur photo aérienne est N56°.

En dessinant une droite depuis la zone humide au centre du profil vers N53°, donc en suivant ce que nous suspectons être la stratification, la droite intercepte le tracé de l'ancien chemin de fer à l'endroit où sa courbe jusque là si régulière s'infléchit pour suivre la topographie. Cette topographie est marquée par un léger renforcement dans les courbes de niveau. Si une même couche est responsable de la zone humide et de l'inflexion des courbes de niveau, alors il est peu probable qu'une faille ne déforme les terrains entre les deux.

Il ne semble pas évident, sur base du profil 24-1, d'affirmer la présence d'une faille sur ce site. Nous avons tenté de cartographier la résistivité du sous-sol à une profondeur constante avec un EM31, mais les mesures n'ont pas été possibles à cause du mauvais fonctionnement de l'instrument. Les seules mesures fiables que nous avons montrent une variation similaire à la zone humide au centre du profil, au sud de la pâture à proximité de la route asphaltée. Cette zone est localisée dans une petite dépression. Les deux zones sont joignables par un segment de droite orienté N340°. Nous n'avons malheureusement pas de données entre les deux pour confirmer cette hypothèse.

6.3.2.5.2. Mesures complémentaires

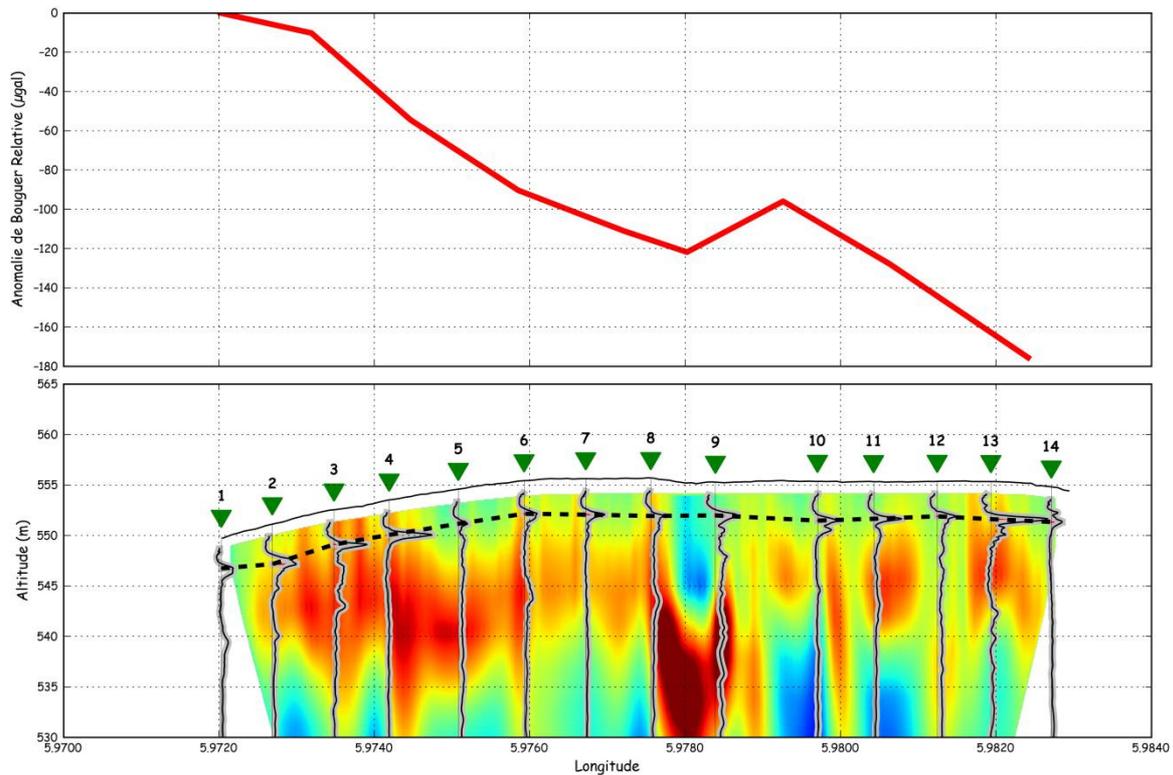


FIGURE 6-56 : SITE "MONTFORT". ANALYSE COMBINÉE DES DIFFÉRENTES MÉTHODES DE PROSPECTION GÉOPHYSIQUES UTILISÉES. MÊME LÉGENGE QUE POUR LA FIGURE 6-42.

Les mesures H/V donnent globalement toutes la même information, avec un pic bien défini à faible profondeur, illustrant un niveau à peu près parallèle à la surface. Les points 13 et 14 sont ceux présentant le profil le plus bruité, ce sont les deux mesures réalisées dans une friche récente et non pas dans la pâture, comme le reste des mesures. Le couplage avec le sol n'y était probablement pas aussi bon.

Les mesures de gravimétrie ont été corrigées de la dérive régionale, mais une dérive exponentielle est encore présente. Elle est liée à un mauvais fonctionnement du Scintrex (une coupure de courant a provoqué le refroidissement de l'appareil avant la mission). Malgré cela, la variation de l'anomalie de Bouguer entre les stations 9 et 10 du H/V pourrait être significative. La présence d'un niveau de plus faible résistivité en profondeur pourrait suggérer la présence d'eau en légèrement plus grande quantité, induisant une plus grande densité.

Il est également intéressant de remarquer que la topographie, très peu accidentée, présente un changement net à la verticale de la structure (entre les stations H/V 8 et 9).

6.3.2.6. CRÊTE EST

Ce site regroupe 7 tomographies électriques (19-1,20-1,25-1,27-1,27-2,28-2 et 10/10-2), 52 mesures H/V et 24 mesures de gravimétrie.

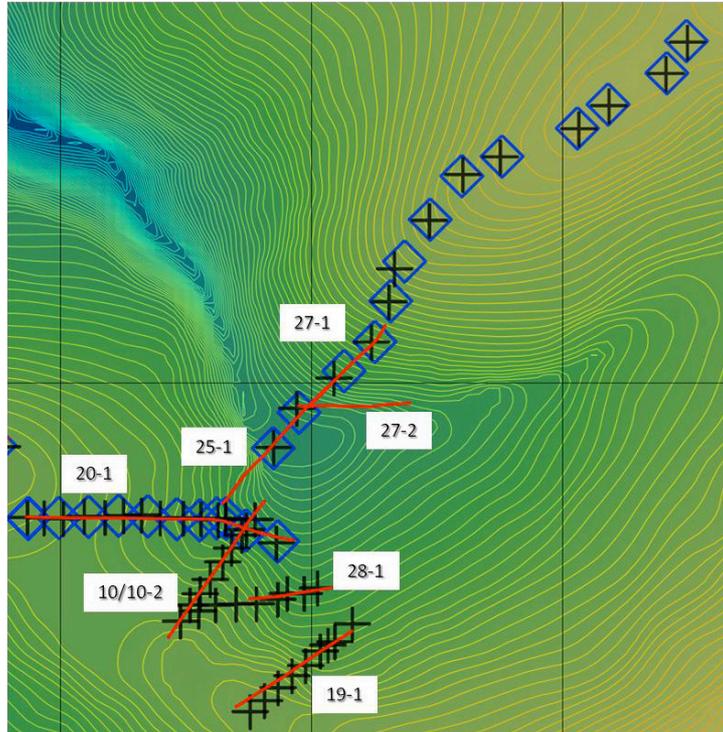


FIGURE 6-57 : LOCALISATION DU PROFIL ET DES MESURES GÉOPHYSIQUES RÉALISÉS SUR LE SITE "CRÊTE EST"

Les profils de cette zone sont regroupés en un "site" car leur faible distance permet d'en tirer des interprétations communes. Le site (Figure 6-57) se situe de part et d'autre de la Hoëgne. Le profil 25-1 passe d'ailleurs à travers la rivière. L'ancien chemin de fer reliant Verviers à Stavelot a été réhabilité en chemin de promenade Ravel, à partir de son intersection avec la petite route "Devant Chêne", sous le pont.

6.3.2.6.1. Devant-Chêne

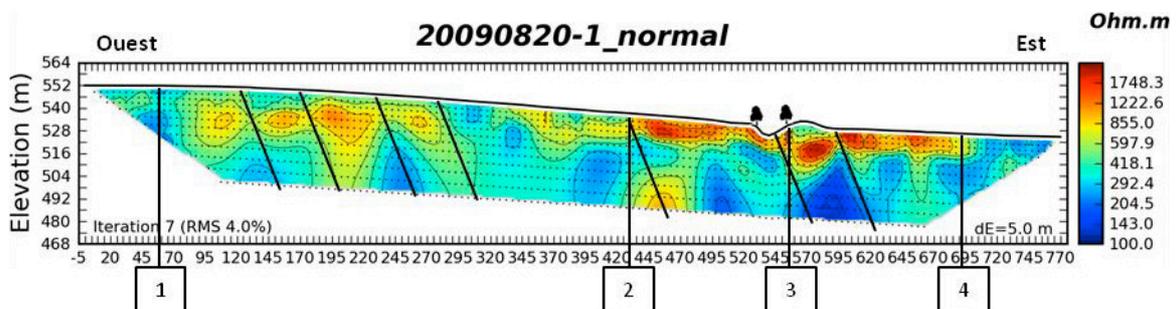


FIGURE 6-58 : PROFIL 20-1 "DEVANT CHENEU" – MISE EN ÉVIDENCE DE LIMITES POTENTIELLEMENT LIÉES À UNE STRATIFICATION INCLINÉE ET DE 4 LIMITES VERTICALES.

Le profil 20-1 (Figure 6-58) a une orientation N90° jusqu'au passage du Ravel, puis N105°. Il est situé au nord du village de Hockai, le long de la petite route qui descend du village vers la "Passerelle du Centenaire" (aussi appelée "Pont de la Vecquée" dans la bibliographie du SGB). Cette petite route est nommée "Devant-Chêne". Il met en évidence des contrastes importants de résistivité en profondeur et en surface.

La stratification, telle que connue dans les affleurements à environ 200m au nord du profil dans la tranchée du chemin de fer, est orientée entre N40° et N55°. Nous avons mesuré plusieurs plans à proximité du Pont de la Vecquée, ils y sont approximativement N55°65°SE. Le profil étant sécant à environ 45° de la stratification, le pendage apparent de ces couches sera d'environ 56°E.

Nous présentons 7 limites inclinées sur la tomographie qui pourraient être liées à une telle stratification inclinée (Figure 6-58) et également 4 limites verticales. Ces limites verticales ne peuvent donc pas être expliquées par la stratification. En effet, les seuls bancs verticaux mentionnés dans les archives et localisés à proximité le sont dans des plis de dimension métrique, ce qui est totalement transparent avec la résolution de nos profils (5 m d'écartement entre les électrodes). Les limites verticales pourraient alors, si elles sont réelles, être des failles.

A l'ouest de la limite 4, les terrains sont saturés en eau, surtout sur les 30 derniers mètres.

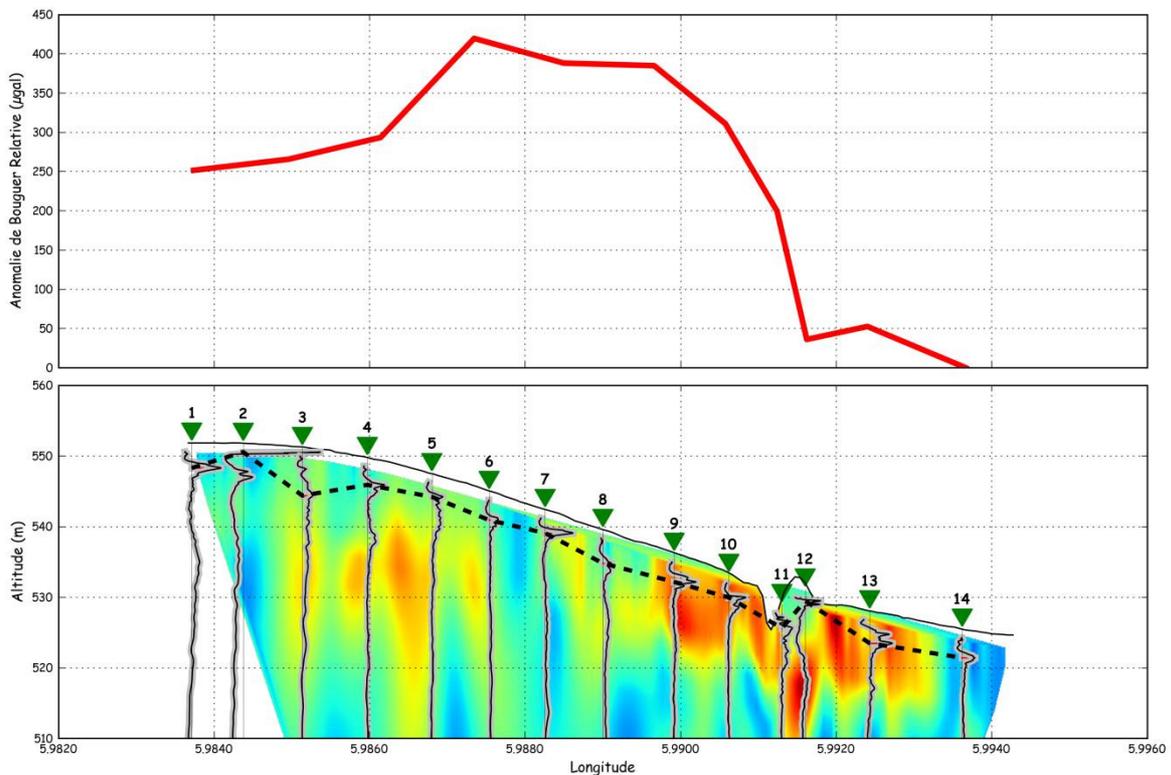


FIGURE 6-59 : SITE "CRETE EST" – PROFIL "DEVANT-CHENEU". ANALYSE COMBINÉE DES DIFFÉRENTES MÉTHODES DE PROSPECTION GÉOPHYSIQUES UTILISÉES. MÊME LÉGENDE QUE POUR LA FIGURE 6-42.

Contrairement au site "Montfort", la tomographie électrique ne donne pas une image constante d'ouest en est. Les profils H/V présentent pour la majorité des pics relativement bien définis. Le 1 montre un pic net vers 4 m de profondeur. Le 2 montre un double pic vers 4 m de profondeur et pourrait correspondre à la limite entre la basse et la moyenne résistivité en profondeur. Le 3 est situé au dessus de terrains de résistivité moyenne et assez monotone, ce qui justifierait son allure (pas de contrastes d'impédance nets en profondeur). 4, 5 et 6 se ressemblent et montrent un pic net à 2 ou 3 mètres sous la surface. Ils correspondent à la limite supérieure d'un niveau de moyenne résistivité. Le 7 montre un pic très net à une profondeur inférieure à celui en 6, marquant l'interface supérieure du niveau de moyenne résistivité. Le profil 8 n'a pas de pics nets, il se situe au dessus de plus faibles résistivités et le pic large marque le passage aux résistivités moyennes. Le 9 est fort différent des précédents, un pic bien défini et large, marquant le haut d'un niveau de haute résistivité. Le 10 est similaire au 9, avec un second pic qui semble correspondre à l'interface inférieure des hautes résistivités. Le 11 a été réalisé sur le Ravel, soit sur du ballast ferroviaire recouvert d'asphalte, il est fortement bruité, probablement en raison du manque de contraste d'impédance entre le ballast et le sous-sol. Le profil 12 montre un pic très proche de la surface, probablement lié à la limite inférieure des déblais de la tranchée de chemin de fer. 13 montre un double pic qui n'est pas aisément corrélable avec la tomographie. 14 montre un pic bien défini, à 5 mètres de profondeur ne correspondant visiblement à aucune limite en profondeur. Ce site étant dans un milieu extrêmement humide, il est possible qu'ici la vitesse soit surévaluée et que ce pic soit en réalité beaucoup plus proche de la surface.

Les mesures de gravimétrie montrent des variations importantes d'un bout à l'autre du profil, avec des variations parfois de 100 μ Gal. L'influence de la topographie et d'une mauvaise estimation de la densité des terrains semble avoir un effet important sur les anomalies de Bouguer calculées. Les mesures montrent tout de même une allure différente de part et d'autre de la station H/V 8. Avant, elles sont monotones croissantes, après, décroissantes avec une pente de plus en plus forte jusqu'au dessus des déblais du chemin de fer (station 12). Ensuite, les trois derniers points de mesure s'alignent en une décroissance plus faible. Les limites 2 et 3 indiquées sur la Figure 6-58 pourraient dès lors correspondre à des limites importantes.

Il est important de noter que lorsque le profil de tomographie a été effectué, les terrains situés sous la station 14 étaient gorgés d'eau, alors que lors des mesures de gravimétrie, ils ne l'étaient plus.

6.3.2.6.2. Zian

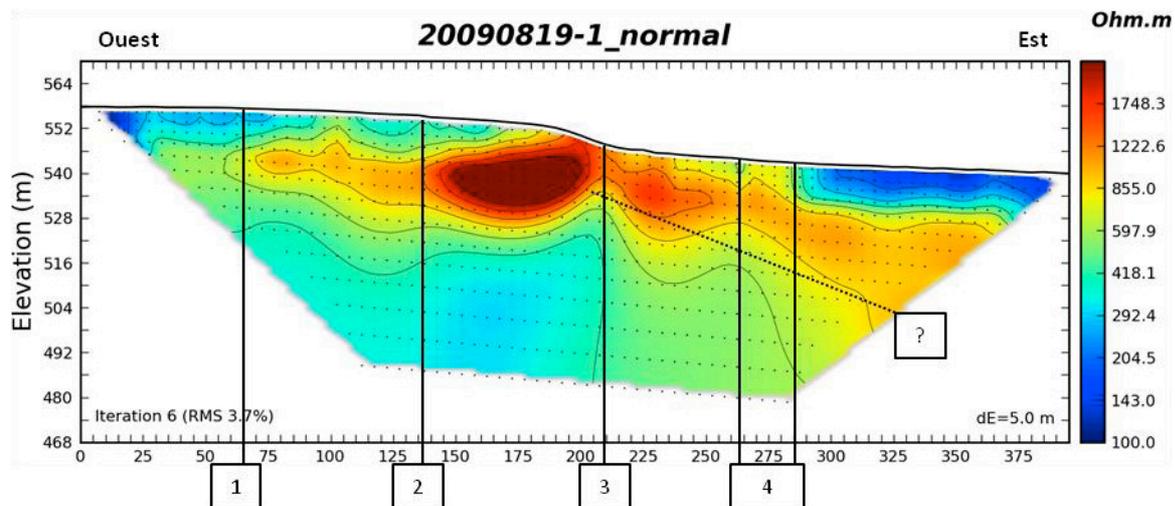


FIGURE 6-60 : PROFIL 19-1 – MISE EN ÉVIDENCE DE LIMITES POSSIBLES

Le profil 19-1 (Figure 6-60) est situé à l'est du village de Hockai, entre la route de Xhoffrai et le chemin de randonnée de la Hoëgne. Il a une orientation N57° et un profil topographique marqué par la descente d'un escarpement d'une dizaine de mètres de haut en milieu de profil. Les résistivités rencontrées montrent une grande variabilité latérale. Les terrains à l'ouest montrent des résistivités faibles sur une couche qui disparaît progressivement vers l'est. A 12 m de profondeur, la résistivité croît à partir de la cote 65 m (1 sur la Figure 6-60) et devient très haute à la cote 150m (2). Le noyau de haute résistivité remonte en surface jusqu'à la cote 200 m ou il est limité nettement au pied de l'escarpement (3). Cette limite met en également évidence une petite variation de résistivité en profondeur. Vers l'est, un niveau de haute résistivité semble plonger (4) en profondeur, certainement à partir de la cote 295 m où un niveau de très faible résistivité apparaît en surface. Ce niveau est, en tout cas sur les 50 derniers mètres, situé sous une zone humide. Des sondages à la tarière manuelle ne rencontrent pas la nappe d'eau à 1 m de profondeur à la cote 285 m, alors qu'elle est présente à 50 cm à 320 m.

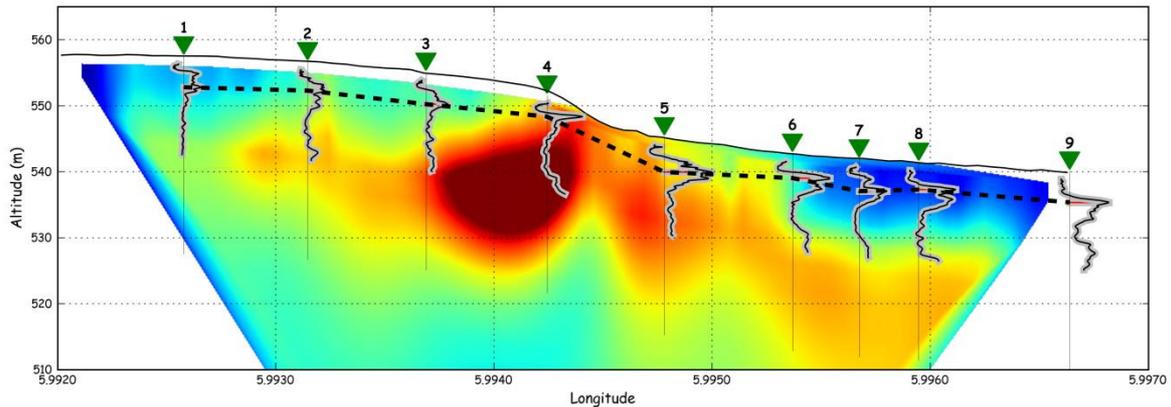


FIGURE 6-61 : SITE "CRETE EST" – PROFIL 19-1. ANALYSE COMBINÉE DES DIFFÉRENTES MÉTHODES DE PROSPECTION GÉOPHYSIQUES UTILISÉES.

9 mesures H/V et 7 sondages à la tarière manuelle ont été réalisés (Figure 6-61) le long du profil 19-1.

Le H/V 1 montre un pic étalé à environ 5 m de profondeur, il correspond au passage de résistivités basses à intermédiaires. Le 2 lui ressemble, mais le pic est moins bien défini. Il correspond toutefois bien au passage à des résistivités intermédiaires en profondeur. Le 3 est similaire mais le pic ne s'aligne pas avec un contraste net dans la tomographie. Le 4 montre un pic étroit mettant en évidence la limite supérieure du noyau de haute résistivité. Il est moins profond que les 3 pics précédents. Le 5 présente un pic large et plus profond que les 4 autres, il se situe au niveau de l'interface supérieure d'un niveau de moyenne résistivité. De 6 à 9, les pics sont étalés, parfois presque doubles. Ils sont plus profonds entre 7 et 9 par rapport à 6. A l'instar du profil "Devant-Cheneu", les terrains à la fin de ce profil sont saturés, surtout sur les 40 derniers mètres. Il se pourrait alors que la vitesse des ondes de cisaillement soit nettement moins élevée et que les pics soient beaucoup plus proches de la surface.

Les sondages à la tarière manuelle montrent des petits gravillons de craie dans des argiles sous une couverture de 30 à 40 cm de limons argileux sur le "plateau" à l'ouest. 20 m à l'ouest du dessus du noyau de haute résistivité, le bedrock est atteint à 2 m de profondeur, sous des limons argileux et un niveau épais d'argile à craie. Au dessus du noyau, le sondage a rencontré le bedrock (altéré) à 160 cm. Au pied de l'escarpement, un sable avec beaucoup de débris est rencontré à partir de 50 cm de profondeur. Plus à l'est (cote 287 m), des limons argileux avec des débris de silex et craie sont présents à 90 cm. A la cote 320 m, dès la surface et jusqu'à 50 cm de profondeur, on trouve un mélange de sables et d'argiles avec des petits blocs de quartz et de craie. La couleur est très foncée, presque noire. A 50 cm, des limons à craie sont présents et la nappe d'eau est rencontrée.

6.3.2.6.3. Vinders

Situé au nord du site précédent, il regroupe 1 tomographie électrique et 8 mesures H/V et 7 sondages à la tarière localisés à proximité du profil.

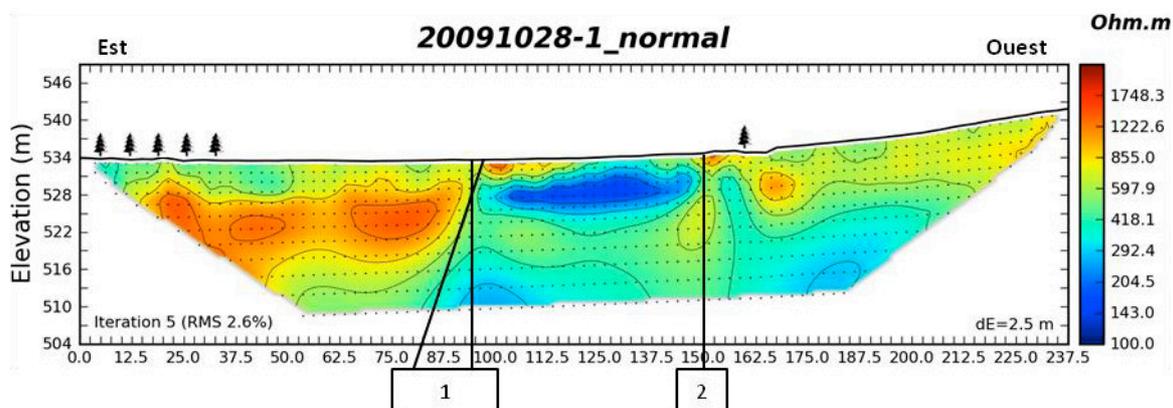


FIGURE 6-62 : PROFIL 28-1 - MISE EN ÉVIDENCE DE LIMITES POSSIBLES

Le profil 28-1 (Figure 6-62) est situé dans le fond de la petite vallée parcourue par le "Chemin de la Hoëgne". Il est orienté N82°. Les contrastes principaux de résistivités sont rencontrés aux cotes 95 m et 150 m. La première limite marque le passage de niveaux de plus résistifs à l'est vers des basses résistivités au centre du profil. La seconde limite les basses résistivités vers l'ouest et correspond à la transition vers des résistivités intermédiaires. La seconde transition se situe 20 m à l'est de l'intersection du profil avec le chemin de randonnée, qui, lui, marque le bas du talus. Les 15 premiers mètres (à l'est) sont en sous-bois, dans une zone assez humide, un sondage à la tarière manuelle a montré la présence de matière organique et de la nappe d'eau à 43cm de profondeur. L'allure de la résistivité semble correspondre à cette observation en surface. Une stratification N55°70°SSE donnerait un pendage apparent d'environ 55°E sur ce profil. La limite 1 a un pendage apparent de 67°E, ce qui correspondrait à un pendage réel d'environ 80°SSE, nettement plus redressé que ce qui est connu à proximité du site dans la tranchée du chemin de fer. A la cote 50 m, la nappe d'eau est rencontrée à 120 cm de profondeur et elle n'est pas rencontrée à 100 cm à la cote 125 m. Il y a un ancien puits à proximité du profil à la cote 175 m, le niveau de l'eau en août 2010 était environ à 2 m de profondeur.

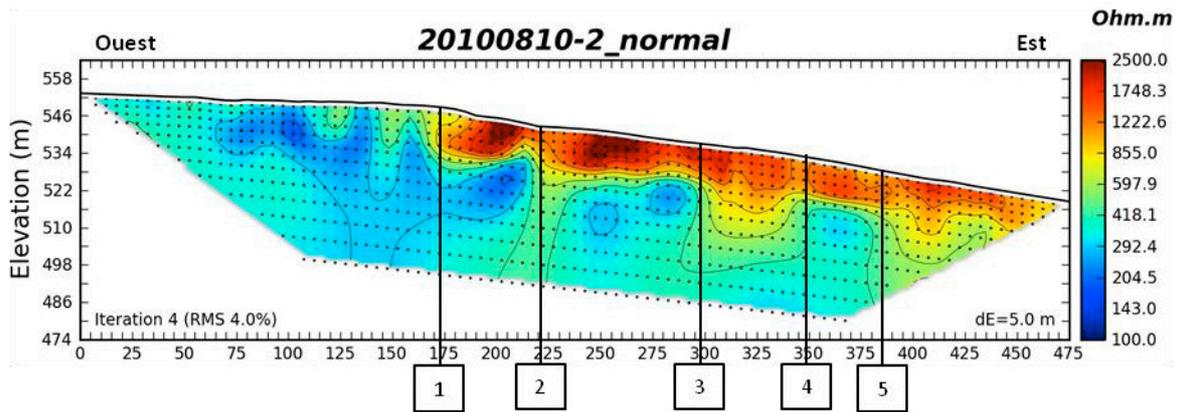


FIGURE 6-63 : PROFIL 10/10-2

Le profil 10/10-2 (Figure 6-63) est situé à l'ouest du 28-1, il débute sur le plateau sur lequel débute également le profil 19-1 et descend l'escarpement qui le sépare du Chemin de la Hoëgne qu'il croise à la fin du profil à l'est. Il est orienté N32°. La résistivité varie très fortement dans les 20 premiers mètres. Ce profil est sécant à la stratification suspectée d'environ 15°. Les pendages apparents des couches devraient dès lors être d'environ 35°. Il n'est pas évident d'identifier des limites orientées de cette manière sur le profil. 5 limites peuvent être mises en évidence. Les deux premières (1 et 2 sur la Figure 6-63) marquent des différences nettes dans les niveaux de résistivité dans les 10 premiers mètres du sous-sol. Les limites 3 et 4 limitent un niveau de résistivité moyenne en profondeur entouré par des plus basses résistivités. La limite 5 illustre le passage en profondeur entre des résistivités basses et moyennes.

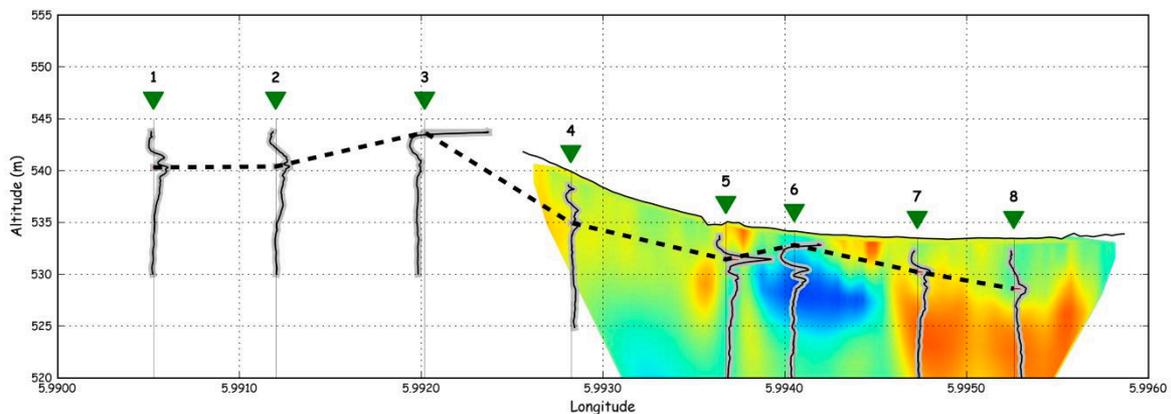


FIGURE 6-64 : SITE "CRETE OUEST" - PROFIL 28-1 : MESURES H/V RÉALISÉES.

Le profil 28-1 a été doublé de 5 mesures H/V. 3 mesures supplémentaires ont été effectuées vers l'ouest, en remontant la pente (Figure 6-64). Les H/V 1 et 2 montrent deux pics nets, vers 2 m de profondeur. Le 3 montre un pic très proche du sol. [vérifier profil topo là, si idem Zian ou pas?]. Le 4 ne montre pas de pics dominants, le plus grand pic est à environ 5m de profondeur et semble mettre en évidence le niveau de moyenne résistivité. Le 5 montre un grand pic bien net, à l'interface inférieure de la haute résistivité en surface, vers 3.5 m. Le 6 donne un pic très proche

de la surface et un double pic en profondeur. La profondeur de ce double pic est similaire à celle rencontrée en 5. 7 et 8 montrent un pic, de plus en plus profond vers l'est, ce qui correspond avec la pente visible sur le niveau de haute résistivité.

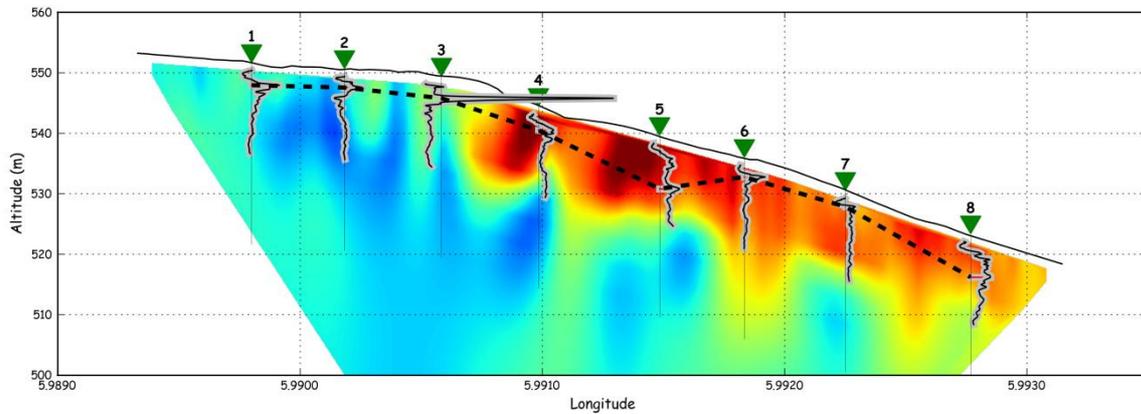


FIGURE 6-65 SITE "CRETE OUEST" - PROFIL 10/10-2 : MESURES H/V RÉALISÉES.

8 mesures H/V complètent le profil 10/10-2 (Figure 6-65). Ils ne sont en général pas très nets, ce qui implique peut-être que les terrains investigués sont fortement homogènes sous le profil. Les mesures 1 et 2 montrent un pic à 3 m de profondeur, à cette profondeur, la tomographie électrique ne fournit pas beaucoup d'information. Le pic du H/V 3 est probablement lié à la présence de déblais du chemin de fer vicinal voisin, cela dit, sa profondeur est similaire à celle des mesures précédentes, suggérant une même cause pour les trois points. Le 4 montre un double pic étalé au niveau d'un noyau de haute résistivité à moins de 10 m de profondeur. Le 5 montre également ce double pic, mais à plus faible profondeur, et montre un pic plus net à environ 9 m de profondeur, correspondant à l'interface inférieure du noyau de haute résistivité. Les profils 6 et 7 sont très différents, ils montrent 1 pic net à très faible profondeur, de l'ordre de 1 mètre. Enfin, le 8 est très large et fort bruité, il se situe dans un milieu de résistivité intermédiaire assez homogène, n'ayant probablement pas de contrastes d'impédance suffisamment fort en profondeur.

6.3.2.6.4. Hoëgne - Est

Situé à au nord du profil 20-1, ce site est composé de trois profils de tomographie électrique. Deux sont alignés pour former un long profil virtuel entre la tranchée du chemin de fer au niveau du pont de la petite route "Devant-Chêne" et le chemin de randonnée remontant sur la Vecquée à l'est. Le troisième profil est sécant aux deux autres et emprunte le chemin de randonnée qui court plus ou moins parallèlement à la Hoëgne au sud de la Crête. Les deux profils alignés sont doublés de 5 mesures H/V et 5 mesures de gravimétrie. Plus vers l'est, 8 autres mesures H/V et de gravimétrie ont été effectuées.

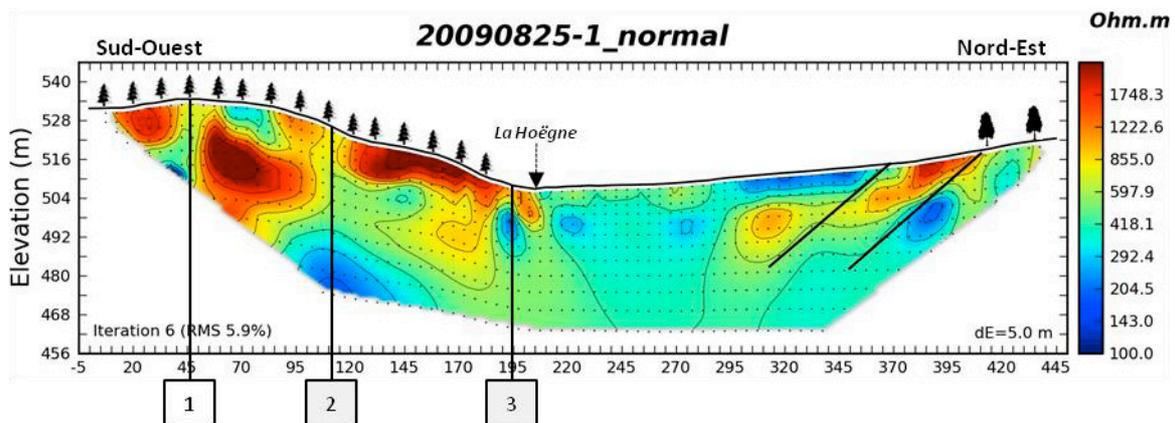


FIGURE 6-66 : PROFIL 25-1 – MISE EN ÉVIDENCE DE DISCONTINUITÉS

Ce profil (Figure 6-66) commence à l'est de la tranchée du chemin de fer, au niveau son intersection avec la petite route "Devant-Chêne". Il descend à travers le bois jusqu'à la Hoëgne et ensuite remonte vers l'est. Il est orienté N41°. Les résistivités mises en évidence dans ce profil sont très différentes des deux côtés de la Hoëgne. La partie en sous bois présente des résistivités fortes desquelles peuvent être déduites 3 limites. La Hoëgne limite ces hautes résistivités vers l'est. En effet, vers l'est, les résistivités, en surface ou en profondeur, sont plus basses. Une zone de faible résistivité en surface est visible entre les cotes 295 et 360 m, elle surmonte un niveau de résistivité moyenne qui remonte vers l'est et atteint la surface à la cote 395 m. La stratification connue dans la tranchée du chemin de fer, soit quasiment en dessous du début du profil, est d'environ de N55° avec un pendage 60 à 70° SSE. Le pendage apparent des couches dans la tomographie sera donc de 25 à 30°SO. Les limites mises en évidence sur l'extrémité nord-est le profil (Figure 6-66) mettent en évidence un pendage apparent de 27°SO, cohérent avec cette hypothèse. La forme en chenal de la zone de basse résistivité et le fait que sa limite NE soit proche d'un point d'inflexion dans la pente suggère que ce terrain pourrait être l'ancien lit de la Hoëgne. Le cours de la Hoëgne en amont de la Passerelle du Centenaire est d'ailleurs intéressant. Elle arrive du NNE depuis le plateau et, à environ 400 mètres à l'est du profil 25-1, elle bifurque à N277° sur 220 m, puis tourne brusquement de 50° vers le sud (N225°) sur 125m puis fait enfin une courbe légère

pour progressivement revenir à N275° sous la Passerelle. En prolongeant son cours N277° avant la brusque bifurcation, l'intersection avec le profil 25-1 se fait précisément au niveau de la rupture de pente, soit à la limite nord-est du "chenal" de basse résistivité. Ce chenal pourrait dès lors être composé de débris moins consolidés, favorisant la présence d'une plus grande quantité d'eau. Cette hypothèse suggère également que la Hoëgne aurait progressivement "glissé" vers le sud-ouest pour atteindre sa position actuelle. Le profil topographique du profil 25-1 rappelle d'ailleurs assez bien une coupe perpendiculaire dans un méandre de rivière, avec une pente raide d'un côté et une pente douce de l'autre.

Les limites 1 à 3 sur la Figure 6-66 ne montrent pas de pendage apparent, mais marquent plutôt des décalages verticaux dans les niveaux de haute résistivité. La limite 3 a été placée pour illustrer le passage de haute à basse résistivité en surface. Le dipôle en profondeur pourrait être un petit artéfact d'inversion lié aux mesures effectuées avec l'électrode dans la Hoëgne.

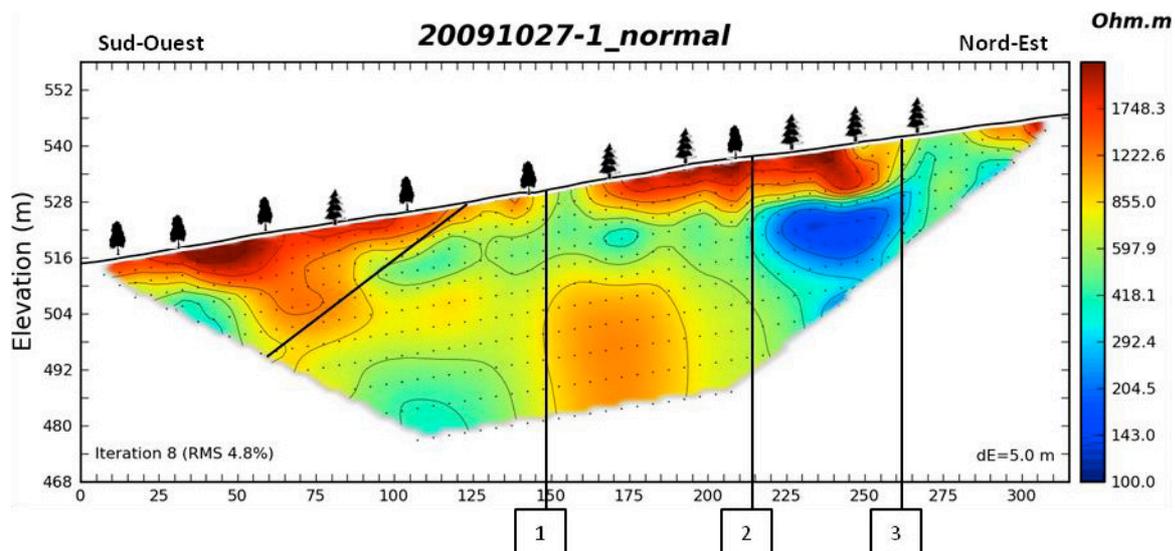


FIGURE 6-67 : PROFIL 27-1 – MISE EN ÉVIDENCE DE DISCONTINUITÉS

Le profil 27-1 (Figure 6-67) prolonge le 25-1 vers l'est et remonte le chemin de randonnée sur la Crête de la Vecquée. Il est orienté dans le prolongement du précédent, soit N41°. Il présente des variations relativement faibles de résistivité, à l'exception de l'apparition d'un niveau intermédiaire en surface entre les cotes 125 et 175 m et d'un noyau de très basse résistivité à plus de 10 m de profondeur à partir de la cote 225 m. L'extrémité est de ce noyau correspond également à la disparition de la haute résistivité en surface à la cote 265 m. La limite indiquée par la ligne noire (Figure 6-67) met en évidence un possible pendage apparent de 28°SO, ce qui est cohérent avec l'observation réalisée au profil précédent et pourrait correspondre à une stratification d'environ N55°65°SE, comme rencontrée à proximité. Les autres limites n'ont pas, visiblement, de pendage apparent. L'importante du noyau de basse résistivité et le fait qu'il soit

limité précisément sous le niveau de haute résistivité suggère qu'il pourrait être un artefact d'inversion, tendant à amplifier les contrastes. Cela dit, la présence de ruissellement à la surface au nord-est du profil rend probable la présence d'eau dans une couche plus perméable.

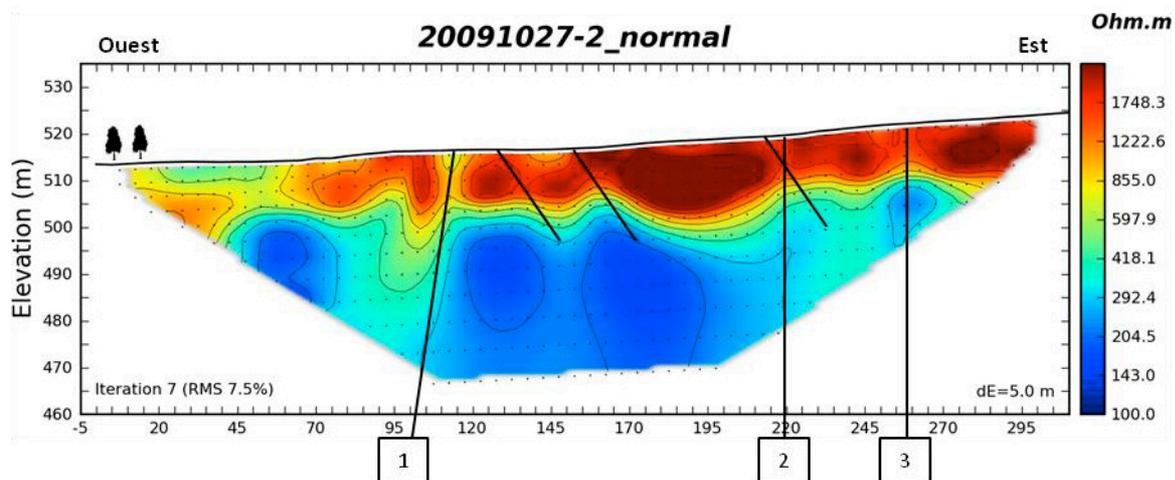


FIGURE 6-68 : PROFIL 27-2 – MISE EN ÉVIDENCE DE DISCONTINUITÉS

Le début du profil 27-2 (Figure 6-68) recoupe l'extrémité est du 25-1 et suit le chemin de randonnée qui surplombe la Hoëgne. Il est orienté N86°. Ce profil montre des résistivités très similaires à partir de la cote 60 m. Des limites subverticales sont visibles, mais leur extension en profondeur n'est pas évidente. Si la stratification est similaire à celle supposée sur les profils précédents ou identifiée dans la tranchée du chemin de fer, alors le pendage apparent des couches sera de 45°E. Il est assez difficile de voir un tel pendage dans le niveau de haute résistivité proche de la surface, seuls 3 peuvent être supposés, avec prudence. Une limite fortement inclinée (1 sur la Figure 6-68) est visible en profondeur, marquant le passage d'une résistivité moyenne à des valeurs plus faibles.

La limite inclinée à la cote 155 m met en évidence des niveaux très résistifs à l'est et moins à l'ouest. Cette limite est située à proximité de là où la Hoëgne passe brusquement d'une orientation N277° à N225°. Un changement de lithologie pourrait expliquer les deux phénomènes.

La résistivité est plus basse est encore plus basse après la cote 70 m, vers l'ouest. Cette observation est également effectuée sur les profils 25-1 et 27-1, que ce profil 27-2 recoupe à leur extrémité. Cette observation est cohérente avec l'interprétation d'un ancien cours de la Hoëgne plus à l'est qu'actuellement.

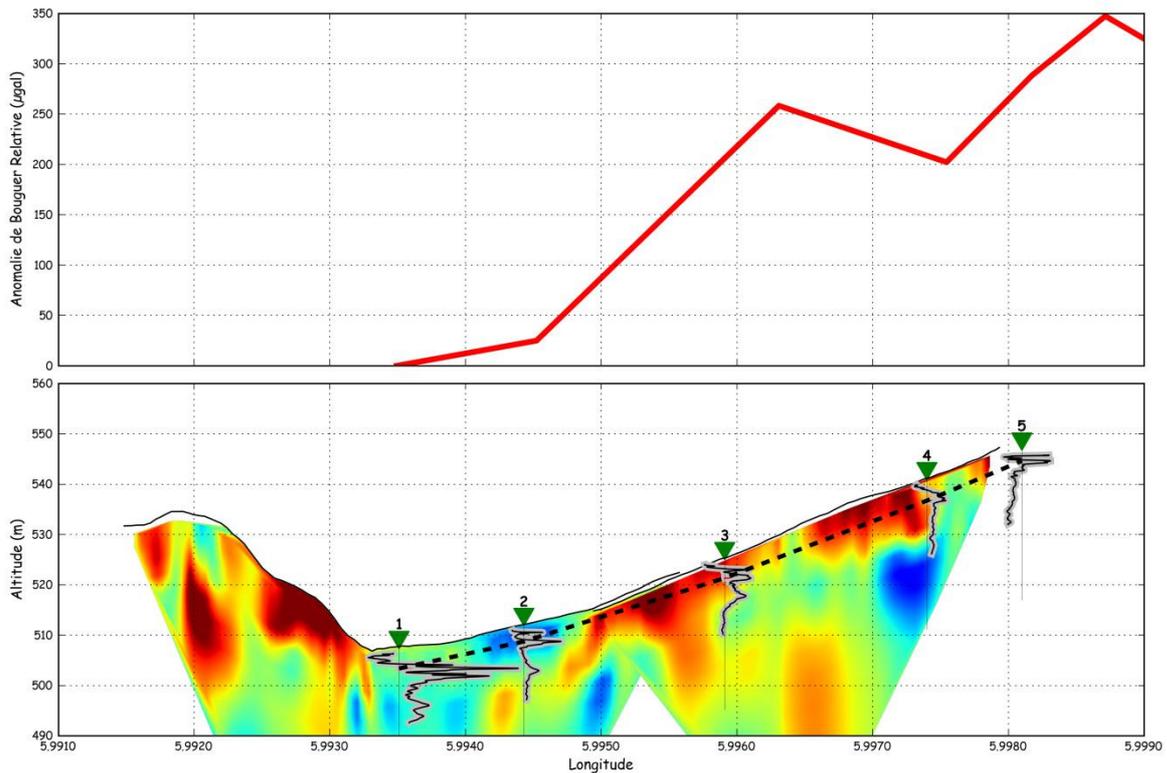


FIGURE 6-69 SITE "HOËGNE - EST" - PROFIL 28-1 : MESURES H/V ET DE GRAVIMÉTRIE RÉALISÉES

5 H/V et 6 mesures de gravimétrie ont été réalisées (Figure 6-69) en complément des profils 25-1 et 27-1. Les profils H/V commencent au niveau de la "plage" de la Hoëgne, sur les graviers. Le signal à la station 1 est fort bruité mais un double pic est visible à 5 m de profondeur. Il semble bien se corrélérer avec la limite inférieure du niveau de moyenne résistivité sous la station. Le profil 2 montre un pic très proche de la surface et un second vers 4 ou 5 mètres de profondeur, un peu au dessus du niveau de basse résistivité. Le premier pic est probablement liée au fait que la station se situe sur un chemin carrossable très induré. Le H/V 3 montre un double pic bruité et peu résolu, peut-être cohérent avec la limite inférieure du niveau de haute résistivité à environ 3 à 4 m de profondeur. Le 4 est très mal défini, mais correspond tout de même à la limite supérieure du niveau de haute résistivité. Le 5 est au-delà de l'extrémité du profil, il montre un pic très proche de la surface et un second à 2 m de profondeur.

Les mesures de gravimétrie ont été corrigées de la dérive régionale, mais elles montrent encore un gradient relativement élevé, probablement en lien avec la forte topographie locale et éventuellement avec une mauvaise évaluation de la densité moyenne des roches lors du calcul de l'anomalie. La pente de la topographie étant plus ou moins constante, son influence doit également l'être. Le point de gravimétrie numéro 3 montre une différence assez nette au droit de la limite entre deux niveaux de haute résistivité en surface sur la tomographie (27-1). La présence parasite d'eau dans les terrains pourrait avoir cette signature gravimétrique (environ +100 µGal). La signature au dessus du "chenal" de la tomographie 25-1 est nulle et reste inexpliquée.

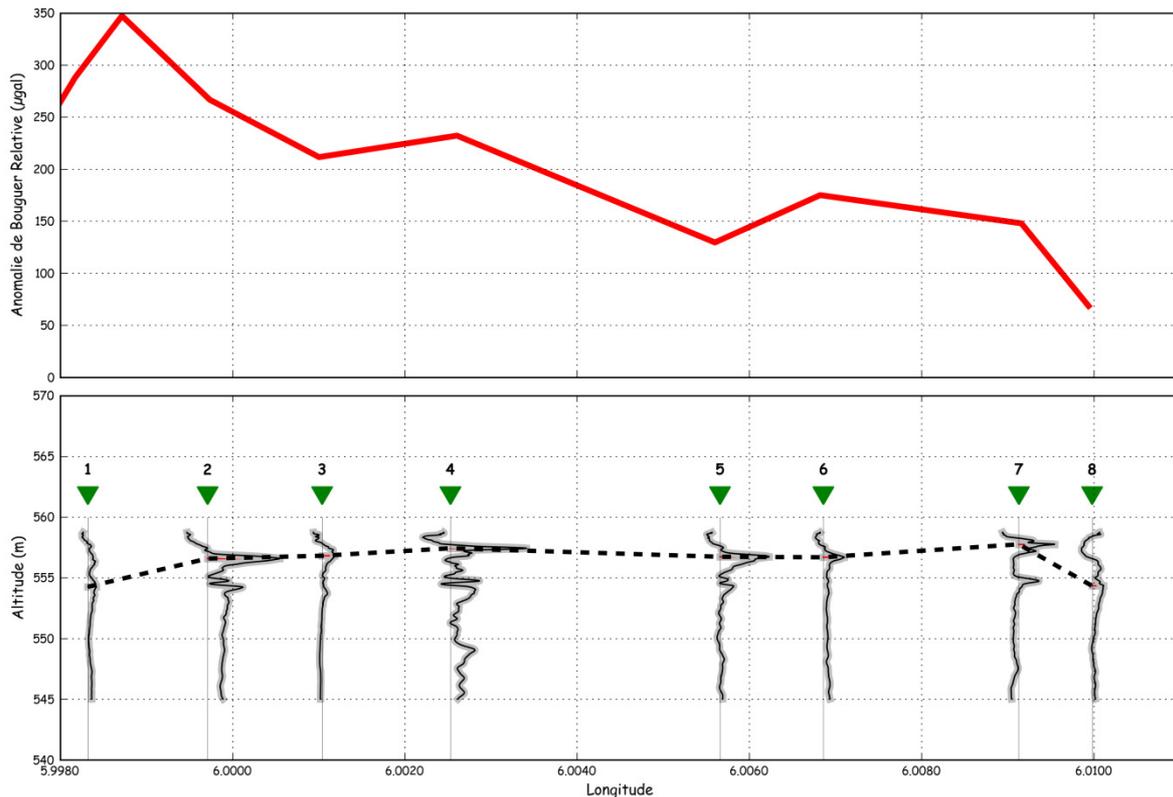


FIGURE 6-70: SITE " HOËGNE - EST" - MESURES H/V ET DE GRAVIMÉTRIE RÉALISÉES À L'EST DU PROFIL 27-1, SUR LA CRÊTE DE LA VECQUÉE.

Nous avons réalisé 8 autres mesures H/V et de gravimétrie (Figure 6-70) à partir de l'extrémité est du profil 27-1 vers l'est, en suivant le chemin de randonnée qui monte sur la Crête. Les mesures H/V sont virtuellement placées à 560 m d'altitude. Le premier point H/V ne montre pas de pic net et la mesure de gravimétrie lui correspondant semble montrer une valeur d'anomalie plus haute. Ces deux observations sont cohérentes avec une résistivité faible et homogène en profondeur. La présence d'eau provoquant une augmentation de la densité. Les mesures H/V 2 et 4 se ressemblent fort, montrant un profil très bruité avec un pic à environ 3 m de profondeur pour le 2 et plus superficiel pour le 4. Le profil 3 est lui moins bruité et ne montre pas de pic net, juste un pic étalé à 3 m de profondeur. Le profil 5 est similaire à 2 et 4, avec un pic net à 3 m de profondeur. Le 6 est moins bruité et le pic se situe également à 3 m. Il correspond à une augmentation de la valeur d'anomalie, une explication similaire au point 1 pourrait en être la cause. Le profil 7 montre 2 pics très nets, l'un à 2 m et l'autre à 5 m de profondeur. Enfin, le 8 montre un pic proche de la surface et un second étalé à 5m de profondeur.

Il serait intéressant d'avoir des mesures de résistivité en profondeur pour vérifier l'hypothèse de la présence d'eau sous la station 1 et de comprendre la différence importante entre les profils 2, 3 et 4.

6.3.2.6.5. Synthèse 3D

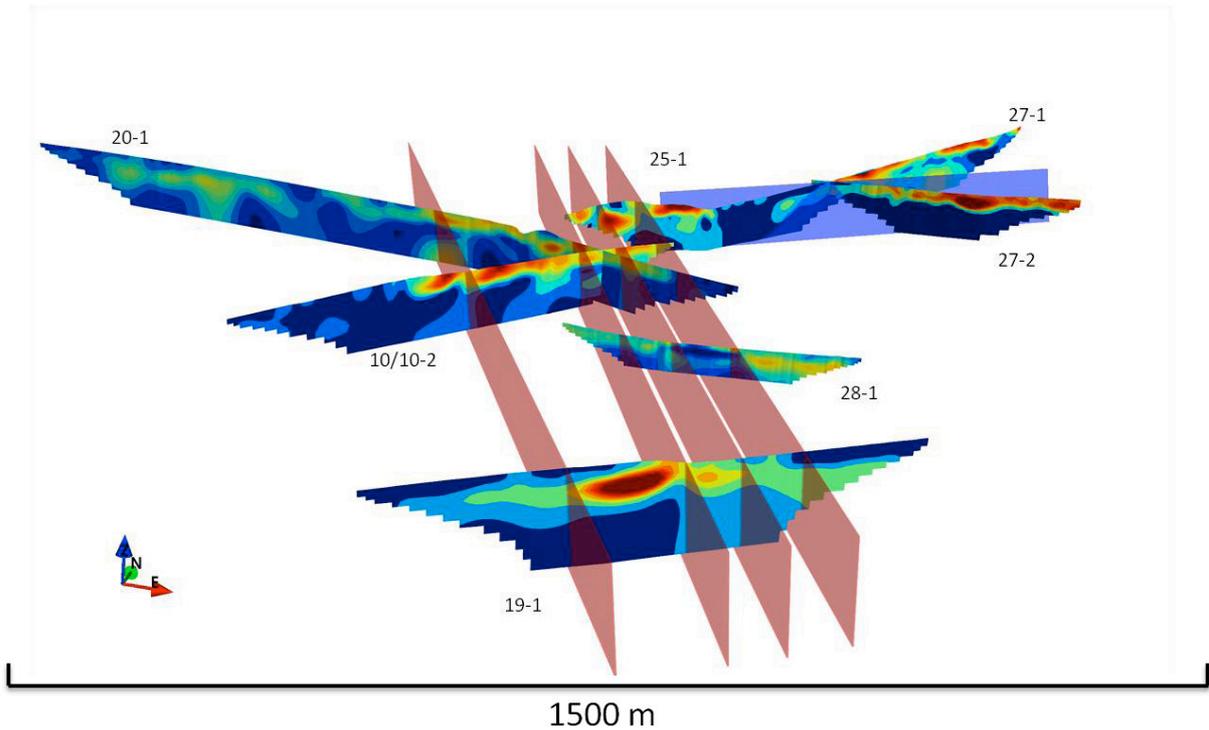


FIGURE 6-71 : SITE "CRÊTE OUEST" - VUE 3D DE SYNTHÈSE. LES PLANS DE FAILLE SUPPOSÉS SONT EN ROUGE, LE PLAN DE STRATIFICATION SUPPOSÉ EST EN BLEU.

Les différentes observations faites sur les profils de tomographie électrique sont joignables par des segments de droite orientés N333° (Figure 6-71). Cette orientation est proche de celle supposée pour la Zone Faillée de Hockai. Les liens entre les profils pourraient être confirmés par de nouvelles tomographies électriques parallèles entre le 19-1 au sud et le 10/10-2 au nord. De plus, quelques profils parallèles aux plans de faille supposés pourraient permettre d'évaluer le décalage horizontal des terrains. Ces profils seraient également à peu près perpendiculaires à l'orientation de la stratification et pourraient dès lors permettre de mieux la mettre en évidence.

6.4. Observations géomorphologiques complémentaires

En considérant uniquement les données cartographiques (IGN Planches 50-1 et 50-2 et le modèle numérique de terrain correspondant), différents éléments nous interpellent.

Un grand nombre de rus, ruisseaux et rivières qui prennent source dans la région sont déviés de leur cours "normal" à un moment ou à un autre :

Le ruisseau de Cockaifagne prend sa source dans la zone de fagne située au nord de l'échangeur de Baronheid, entre l'autoroute et l'ancienne route de Verviers. Il coule approximativement parallèlement à la plus grande pente (orange Figure 6-72, ci-contre).

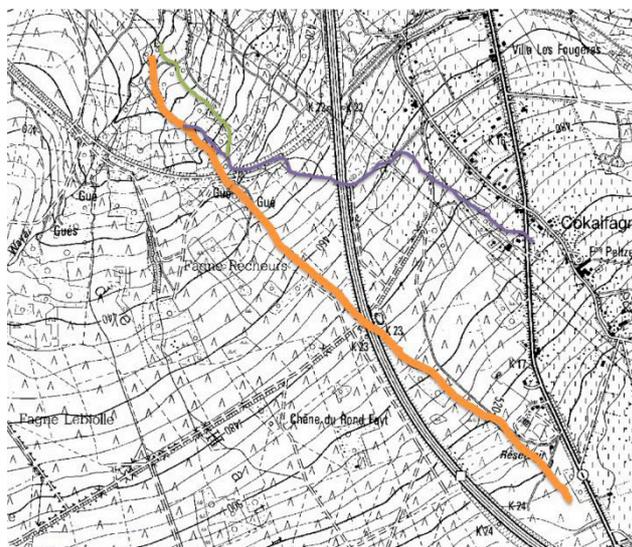


FIGURE 6-72 : ILLUSTRATION DU COURS DES RUISSEAUX À COCKAIFAGNE

Un second ruisseau (mauve ci-contre) prend sa source dans le centre du hameau de Cockaifagne et coule parallèlement à la plus grande pente

jusqu'à la cote 465 quand il bifurque à l'OSO pour aller couler parallèlement au ruisseau précédent, et enfin le rejoindre. A cet endroit, plusieurs bras ou petits ruisseaux coulent parallèlement et vont se jeter dans le Wayai.

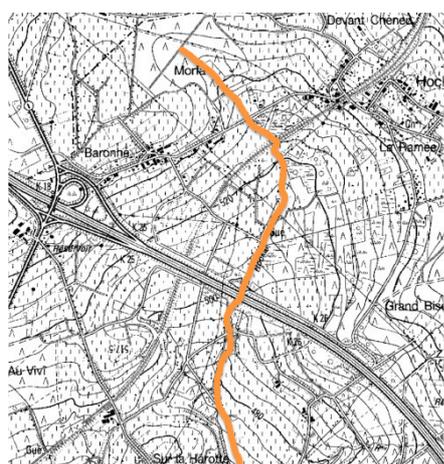


FIGURE 6-73 : SOURCE ET COURS DU HOCKAI

Le Hockai prend sa source au nord-est de Baronheid, dans le bois de Morfâ (Figure 6-73). Il coule vers le sud-est dans une dépression surdimensionnée et rejoint le cours de la paléo-Hoëgne au sud-est de Baronheid, après avoir croisé le RaVel (ancien chemin de fer). Plus loin, après être passé sous l'autoroute, il vient butter contre "Sur la Hârotte" qui le domine de 20 m.

Au nord de la Vecquée, le Wayai prend sa source à proximité de la Ferme de Malchamps et après un cours forcé par l'homme, il coule parallèlement à la plus grande pente vers le Nord, puis tourne progressivement vers le nord-est jusqu'avant Wayai. Il tourne alors au nord-ouest vers Stockai et enfin plein est vers Nivezé.

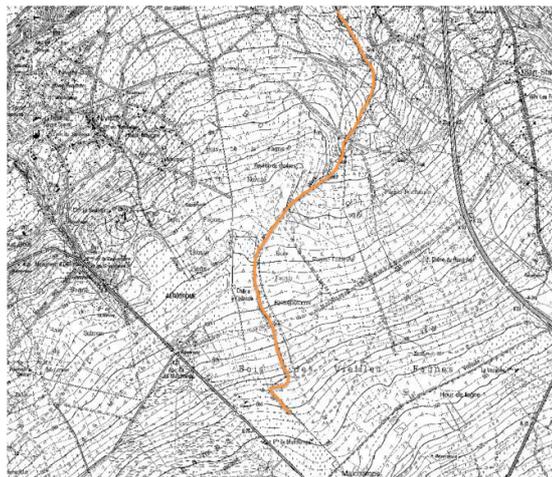


FIGURE 6-74 : LE COURS DU WAYAI AVANT SON VIRAGE À L'EST

Dans le Bois Communal de la Hoëgne, sur le versant nord de la crête à l'est de Cockaifagne, le ruisseau (orange sur Figure 6-75) coule d'abord selon une direction N 40 puis tourne dans le sens de la plus grande pente, jusqu'à longer un chemin, le croiser et suivre la plus grande pente vers la Hoëgne.

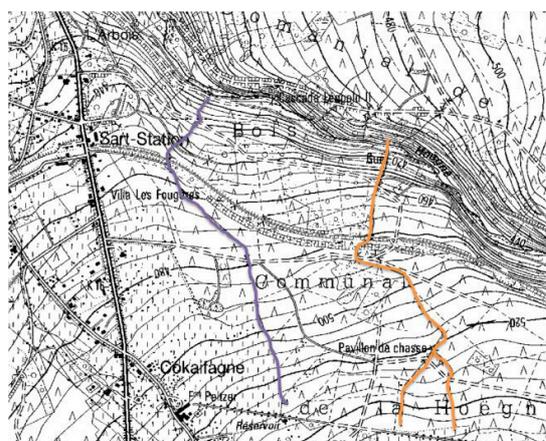


FIGURE 6-75 : LES RUISSEAUX DANS LE BOIS COMMUNAL DE LA HOËGNE

Depuis les étangs situés au sud-est de la Ferme Peltzer, le ruisseau (mauve, ci-contre) coule perpendiculairement aux lignes de niveau et, à la cote 480, tourne au nord-est sans raison apparente. Il croise ensuite le chemin de fer et descend la plus grande pente jusqu'à la Hoëgne.

En rive droite de la Hoëgne, le Ruisseau des Plénisses coule perpendiculairement aux lignes de niveaux, vers le sud-ouest (Figure 6-76). Notons également que si ce ruisseau était jadis aligné avec la couche identifiée au centre du profil 24-1, alors un faille située plus ou moins dans le cours de la Hoëgne a décalé le bloc est vers le nord d'environ 180 m.

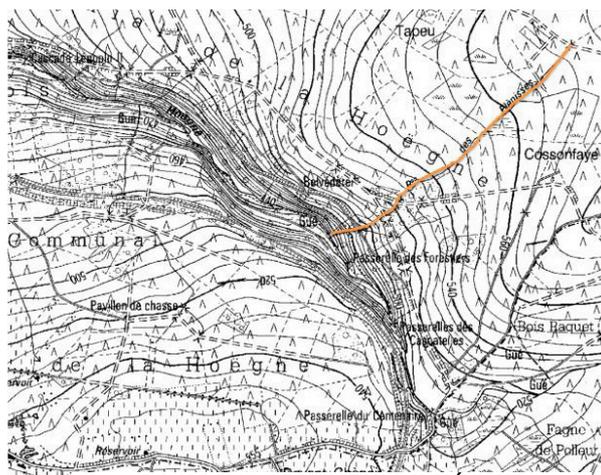


FIGURE 6-76 : LE RUISSEAU DES PLÉNISSES

6.5. Histoire de la Hoëgne

Selon notre interprétation, la Hoëgne a été affectée par la zone faillée de Hockai plusieurs fois au cours de son histoire. En effet, Demoulin (1986) mentionne déjà que le cours inférieur du Roannai est dans l'alignement du cours supérieur de la Hoëgne. En réalité, il est "à peu près" dans l'alignement.

1. Nous pensons que la Hoëgne, au début de son histoire, coulait dans l'axe parallèle à la crête de la Vecquée, depuis son cours supérieur actuel jusqu'à Francorchamps, en lieu et place du Roannai actuel.
2. Soit suite à un accident tectonique (un mouvement décrochant sénestre du bloc Est) suivant un axe Ster-Cronchamps – Cockaifagne, soit une capture par un ruisseau remontant par érosion régressive une zone de faiblesse préexistante, la Hoëgne a été déviée de son cours vers le sud-ouest, au nord-est de Ster.
3. Ensuite, un accident tectonique a décalé la crête de la Vecquée à l'Est de Baronheid vers le Nord (décrochement sénestre). Cela a forcé la Hoëgne à produire un coude face à la crête de Quartzite qui se présentait face à elle à l'ouest.
4. Enfin, l'érosion régressive d'une paléo-Hoëgne, à l'est de Hockai, a terminé l'histoire des captures de la Hoëgne.

Nous supposons également que la Hoëgne bifurquait au nord plus rapidement (plus à l'est) qu'actuellement et qu'elle est progressivement "descendue" le long de la crête. Le profil type "méandre" nous semble en être un bon indicateur. Les failles dans l'est de la Zone auraient un rôle plus actif que supposé jusqu'ici. En effet, la Hoëgne n'aurait pas été capturée par érosion régressive mais aurait suivi un réseau de failles existant. Les deux hypothèses ne sont pas complètement incompatibles et mériteront une étude plus approfondie.

Un accident supplémentaire peut être mis en évidence entre Francorchamps et Ster, au niveau du "Trou Hennem". Ici, une autre zone de faiblesse a provoqué la déviation du Hodial vers le sud-sud-ouest, alors qu'il coulait probablement vers le Roannai avant cette capture.

6.6. Conclusions du chapitre

Nous avons réalisé le premier profil géophysique multi méthode de grande envergure à travers la Zone Faillée de Hockai sur la Crête de la Vecquée. Le grand nombre de mesures géophysiques (tomographies de résistivité électrique, mesures H/V, mesure de gravimétrie, sondages à la tarière manuelle) et leur comparaison nous permettent de caractériser les discontinuités rencontrées le long de la Crête.

En matière de méthodologie de prospection, l'information donnée par les H/V est généralement très bien corrélée avec celle des tomographies électriques. Il faut cependant bien estimer la vitesse de propagation des ondes de cisaillement. Il est également intéressant de noter que les profils H/V ne montrant aucun pic significatif semblent correspondre à des terrains homogènes, généralement de faible résistivité. Souvent, cette observation est corrélée avec une augmentation locale de l'anomalie de Bouguer, témoin de l'augmentation de densité. Cette information est donc très importante dans la recherche de zones de failles qui sont généralement composées de terrains cassés et altérés, et donc "homogènes" ou "ne comportant pas de limite d'impédance nette en profondeur".

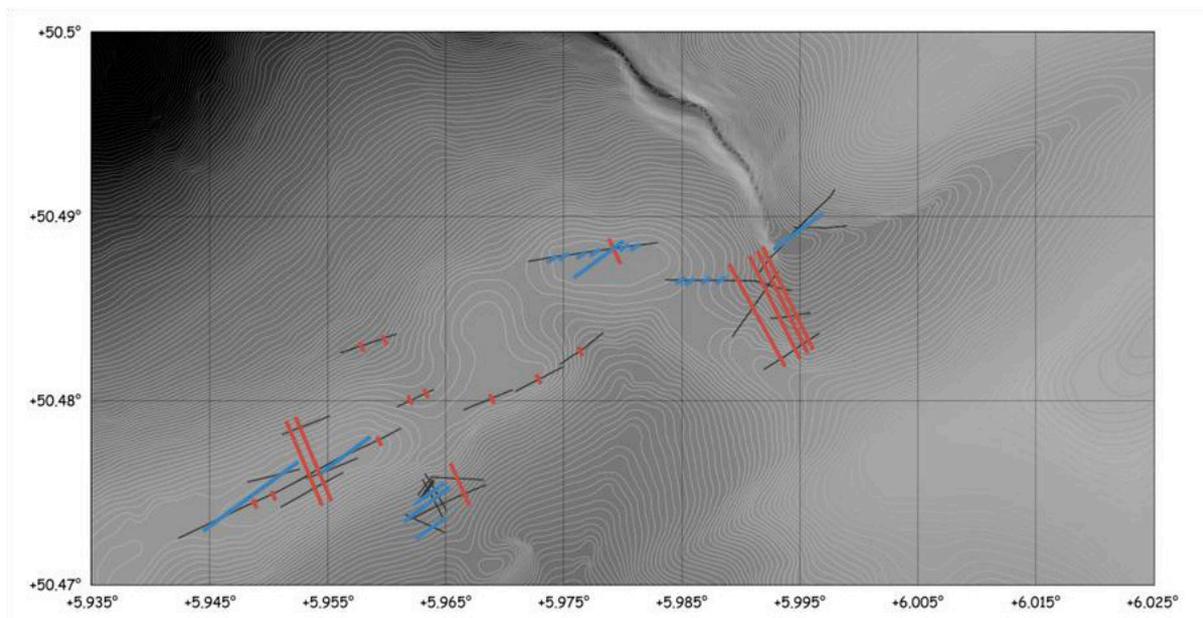


FIGURE 6-77 : RÉSUMÉ DES STRUCTURES MISES EN ÉVIDENCE DANS LA ZONE FAILLÉE DE HOCKAI, EN LIEN AVEC LA STRATIFICATION (BLEU) ET AVEC DES FAILLES SUPPOSÉES (ROUGE), DESSINÉES SUR LE MODÈLE NUMÉRIQUE DE TERRAIN.

Nous avons marqué les discontinuités rencontrées (Figure 6-78) et tenté de relier les marqueurs de profil à profil. Certains contrastes sont joignables par des segments de droite orientés à environ N55°. Celle-ci est cohérente avec les orientations connues de la stratification dans la région. Nous avons tenté, pour chacun de ces contrastes, de déterminer un pendage apparent et le pendage réel des couches. Des valeurs de stratification orientée N55°70°SSE sont rencontrées avec peu de variation.

D'autres contrastes ne peuvent pas être expliqués par la stratigraphie, soit parce qu'ils ne montrent pas de pendage apparent soit parce qu'il n'est pas possible de relier des profils voisins suivant la stratification. Certains sont joignables par des segments de droite orientés N333° à N337° selon les sites. Ces orientations sont cohérentes avec celle supposée de la Zone Faillée de Hockai.

Nous ne sommes pas en mesure, uniquement avec les profils de géophysique que nous avons réalisés, de déterminer des mouvements relatifs précis. Dans certains profils, des décalages verticaux de plus de 5 m sont visibles et sont probablement réels, mais, étant donné le fort pendage des couches, un mouvement purement horizontal pourrait également apparaître de cette manière. Nous proposons des sites où des profils complémentaires devraient être réalisés pour compléter cette information.

L'interprétation des données géophysiques en parallèle avec la géomorphologie et la géologie locale nous permet de déterminer trois sites potentiellement intéressants pour la recherche d'activité récente sur des failles :

1. Le premier est au sud de l'échangeur autoroutier de Hockai. Il a été mis en évidence par l'analyse des données géophysiques sur le site de "Ster". Les terrains saturés en eau à l'est du site pourraient même former un glissement de terrain actuel. Le plan de faille déterminé est joignable à un contraste sur le site de "Cockaifagne".
2. Le deuxième est situé au niveau de la dépression qui donne naissance au ruisseau de Hockai. Le décalage de la crête entre les profils "Baronheid" et "Montfort" est évident sur les modèles numériques de terrain. Les discontinuités en profondeur sont très importantes et indicatrices pour des changements majeurs. La prolongation vers le sud d'une faille orientée N330° recoupant le profil 13-1 rencontre les "terrains fortement tectonisés" rencontrés dans les forages de préparation de l'A27. Une autre zone de discontinuité majeure est située au niveau du cours actuel du Hockai, qui coule dans une dépression largement surdimensionnée par rapport à son importance.
3. Le troisième est situé au niveau du site composite "Crête Ouest", dans les pâtures à proximité du "Chemin de la Hoëgne". Outre l'incision majeure de la Hoëgne au nord du site, nous avons identifié des contrastes importants sur l'ensemble des tomographies électriques réalisées. De nettes variations de la profondeur de la nappe dans le vallon sont également indicatrices d'un changement latéral brusque des terrains.

Ces trois sites seraient intéressants pour une éventuelle étude paléosismologique. Le plus intéressant, bien que pas obligatoirement situé sur la structure "active" actuelle, serait le troisième. En effet, ce site est caractérisé par une dépression alluviale qui serait favorable à l'enregistrement sédimentaire d'une rupture en surface, par diffusion de pente, développement de sols ou de tourbières, etc. Notons enfin que si le déplacement d'une ou plusieurs failles peut être déterminé sur ce site, il sera intéressant de les comparer aux 180 m de décalage horizontal que nous supposons au niveau du ruisseau des Plénisses, plus au Nord.

