

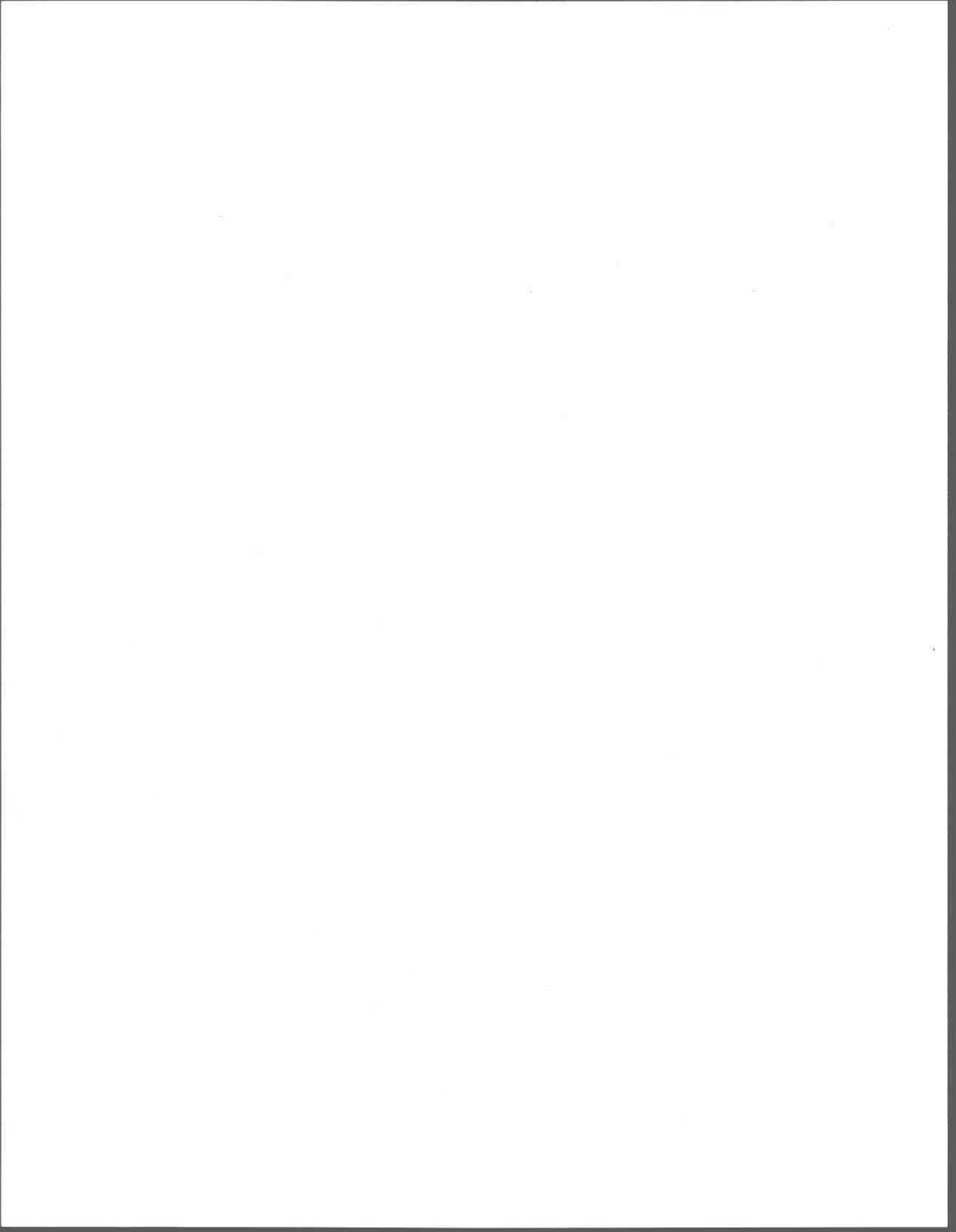
**Application de la méthode des sondages électriques à la  
caractérisation des aquifères et des dépôts meubles,  
Basses-Terres du St-Laurent, région Nord de Montréal**

Mémoire de maîtrise  
Programme de maîtrise en sciences de l'eau

par Anny-Christine Lavoie

Directeur de recherche: M. Olivier Banton  
Co-directeur de recherche: M. Maurice-K. Séguin

Février 1998  
Institut National de la Recherche Scientifique - Eau



## REMERCIEMENTS

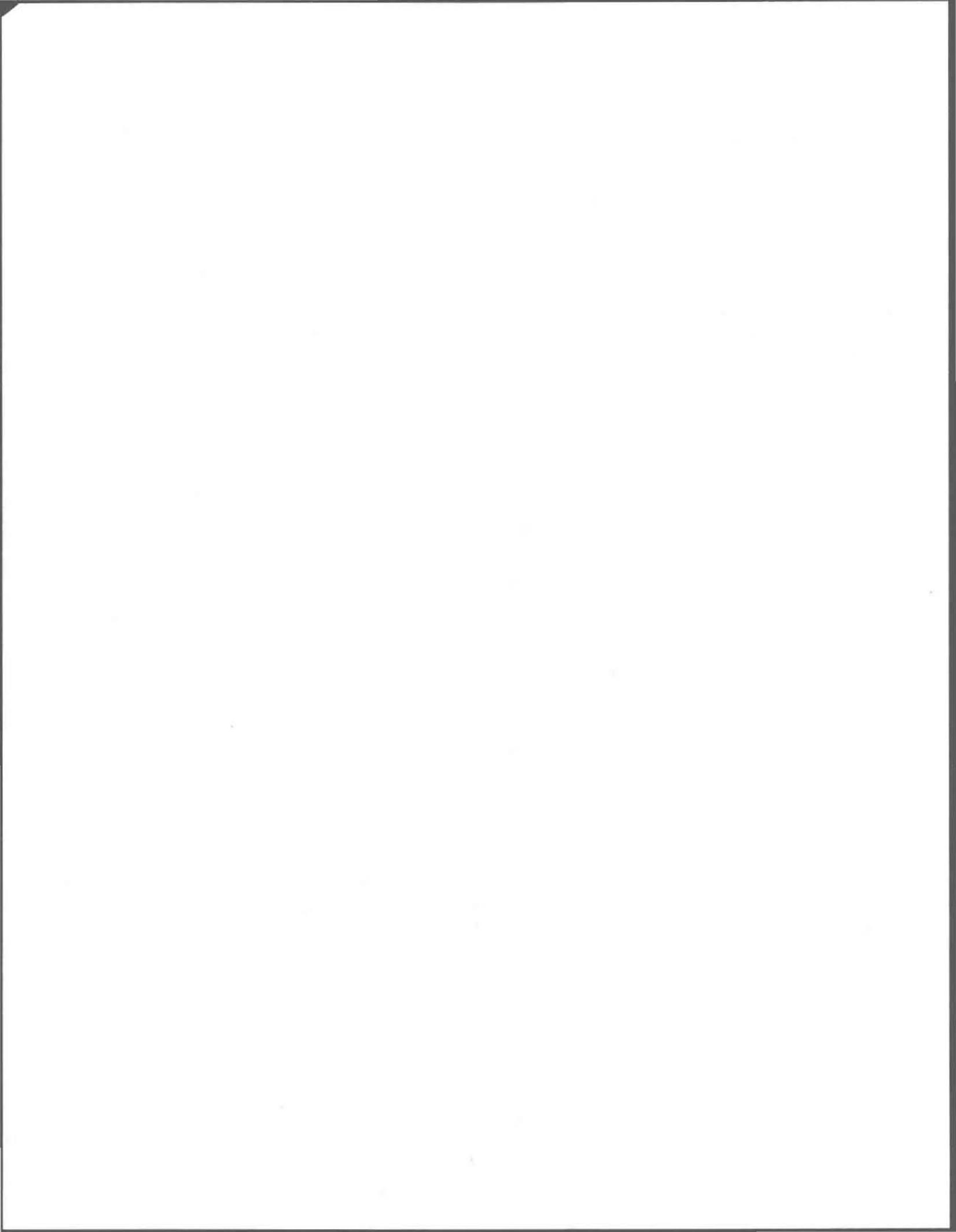
---

J'aimerais tout d'abord remercier mon directeur de recherche, M. Olivier Banton, qui, grâce à son dynamisme et à sa grande capacité de travail, parvient à superviser et à participer activement à plusieurs projets à la fois. Des remerciements aussi à mon co-directeur, M. Maurice-K. Séguin, pour sa grande disponibilité, son dévouement et les discussions qu'il a su générer.

Mme Sylvie Chevalier, M. Richard ainsi que tous les stagiaires d'été, français et québécois, qui m'ont aidé dans mes travaux de terrain, je les remercie aussi.

Merci au Fonds des Chercheurs et de l'Aide à la recherche (FCAR) et à l'Institut National de la Recherche Scientifique pour leur soutien financier et surtout pour l'encouragement que l'octroi d'une bourse procure.

Un merci tout spécial à ma famille et à tous mes amis qui m'ont supporté durant cette période. Je tiens plus particulièrement à souligner l'importance qu'a eu pour moi le soutien de mon conjoint, Steve St-Cyr, qui a su m'écouter et m'appuyer tout au long de ces mois et de notre chien, Tolkien, qui assure une présence divertissante essentielle à tous les jours.



## RÉSUMÉ

---

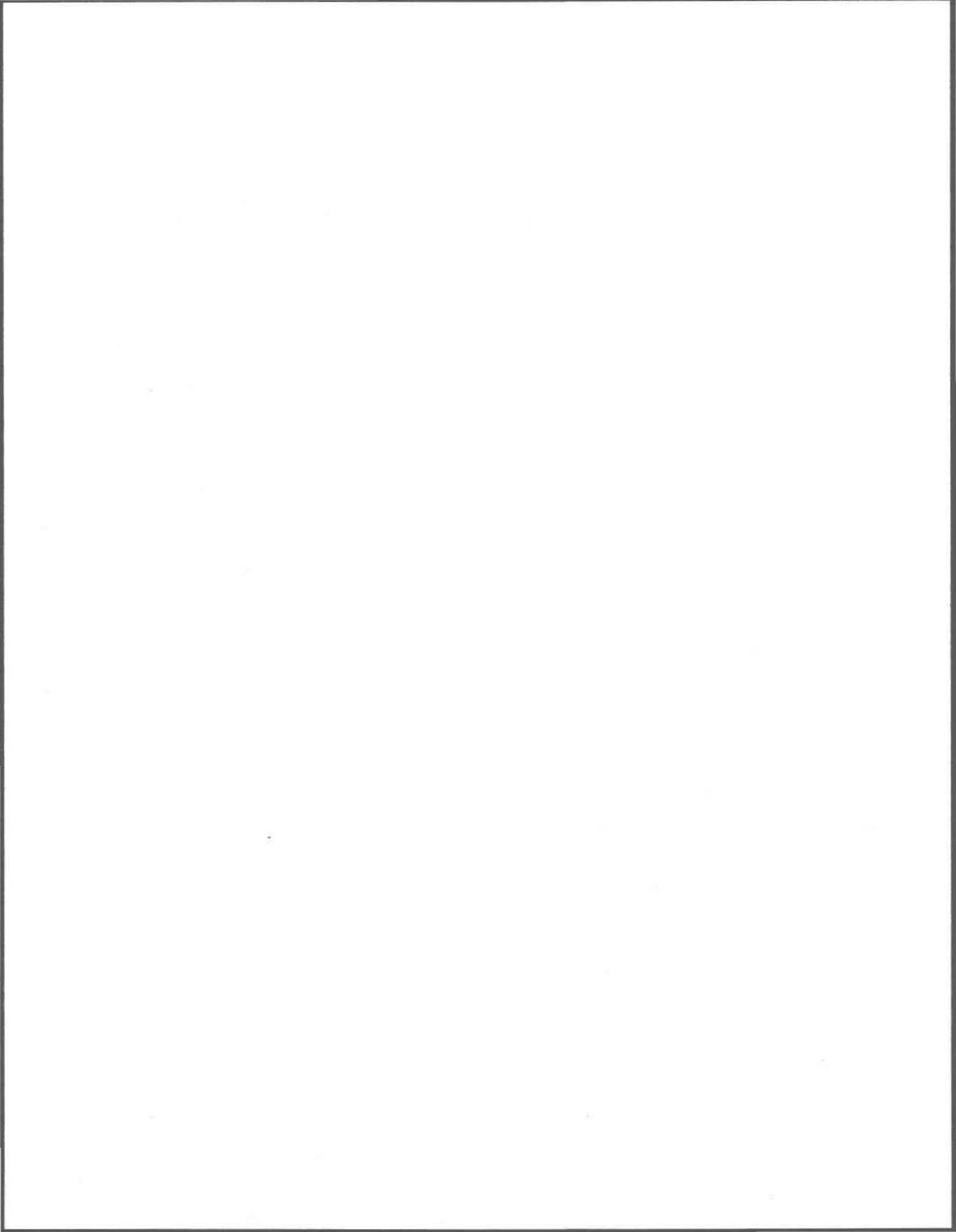
Une gestion sereine et équitable de l'eau souterraine nécessite que l'on connaisse la ressource et son environnement. La présente recherche a consisté en l'application de la méthode des sondages électriques à la caractérisation des aquifères et des différents types de dépôts meubles, à la fois en plan et en coupe, afin de dresser un portrait hydrogéologique de la région de Mirabel, situé au nord de Montréal. La méthode, déjà connue des géophysiciens et autres spécialistes de la terre, a été modifiée de façon à permettre une investigation rapide à l'échelle régionale et à être peu coûteuse d'exécution. Toutefois elle ne saurait être appropriée pour une caractérisation locale.

Les sondages électriques ont permis en premier lieu d'identifier les principales composantes de la colonne géologique de la région d'étude, à savoir les différents horizons de dépôts meubles et la surface du socle rocheux sédimentaire. Un modèle géoélectrique conceptuel a été élaboré et utilisé pour l'interprétation des courbes électriques. La méthode s'est avérée particulièrement efficace dans la détermination de l'épaisseur de l'horizon d'argile de la mer de Champlain, lequel joue un rôle essentiel de protection des aquifères contre les polluants qui s'infiltrent dans le sol.

Les aquifères, majoritairement captifs sous l'argile, sont présents dans l'horizon poreux de till, de sable-gravier fluvioglaciaire et de roc altéré ou dans l'horizon fracturé constitué des premiers mètres du roc sain. La transmissivité a pu être corrélée à la résistivité grâce à onze sondages effectués près des essais de pompage. Le milieu fracturé présente des transmissivités nettement plus élevées que le milieu poreux, à cause principalement de sa plus grande épaisseur. A l'intérieur d'un même type de milieu aquifère la transmissivité est proportionnelle à la résistivité.

Quant à la vulnérabilité des aquifères, elle est inversement proportionnelle à l'épaisseur de la couche d'argile, laquelle offre un potentiel de protection décrit par le paramètre TOT (Time of Travel) et estimé rapidement grâce à la relation entre la résistivité apparente ( $AB/p_a$ ) et le carré de la conductance longitudinale pour l'argile ( $S^2_{\text{argile}}$ ) qui a été établie à l'aide des sondages électriques pour un espacement de 80m.

Finalement, l'étude géostatistique de quatre variables sélectionnées ( $AB/p_a$  pour  $AB=80m$ , les épaisseurs d'argile obtenues par sondages et par forages et la résistivité de l'aquifère) a été effectuée à l'aide de la construction de variogrammes. Les variables se sont toutes avérées être anisotropes. Cependant l'irrégularité des variogrammes et les faibles rapports  $C/Co$  laissent présager que la géostatistique s'applique difficilement pour ces variables. La méthode d'interpolation par inverse au carré de la distance est donc préférable pour la construction des cartes géologiques et électriques.



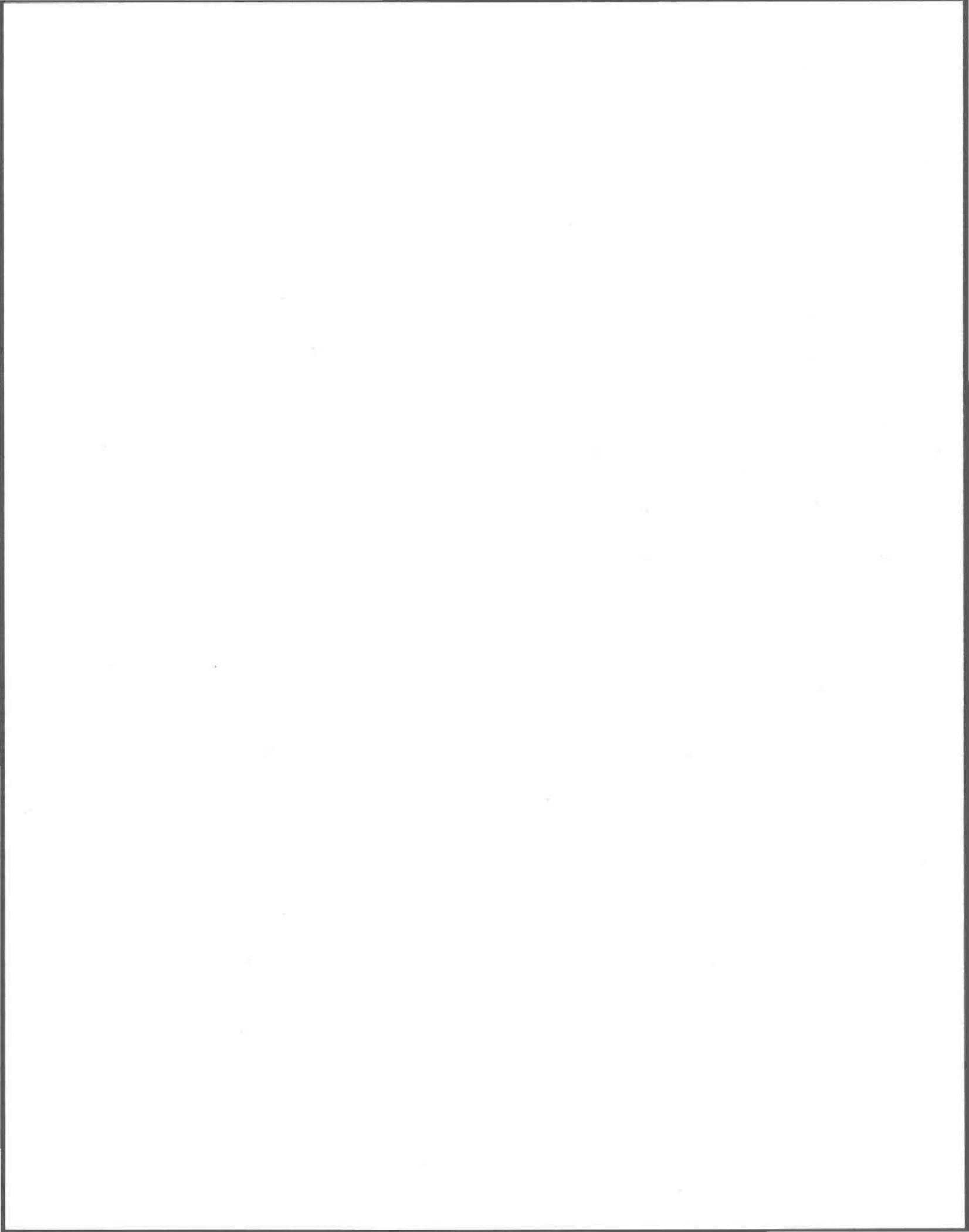
## TABLE DES MATIERES

---

|  |      |
|--|------|
| Remerciements  | iii  |
| Résumé   | v    |
| Table des matières   | vii  |
| Liste des tableaux   | xi   |
| Liste des figures  | xiii |
| <br>   |      |
| CHAPITRE 1: INTRODUCTION   | 1    |
| 1.1 Problématique  | 1    |
| 1.2 Objectifs  | 2    |
| <br>   |      |
| CHAPITRE 2: PRÉSENTATION DE LA RÉGION D'ÉTUDE                            | 3    |
| 2.1 Localisation   | 3    |
| 2.2 Justification du choix du site                                       | 4    |
| 2.3 Contexte géologique  | 5    |
| 2.4 Contexte hydrogéologique   | 7    |
| <br>   |      |
| CHAPITRE 3: MÉTHODE GÉOPHYSIQUE DES SONDAGES ÉLECTRIQUES                 | 11   |
| 3.1 Concepts théoriques  | 11   |
| 3.1.1 Principes généraux   | 11   |
| 3.1.2 Dispositif de Schlumberger et construction des courbes électriques | 12   |
| 3.1.3 Interprétation des courbes électriques                             | 13   |
| 3.1.4 Paramètres électriques   | 15   |
| 3.1.5 Principes de suppression et d'équivalence                          | 15   |
| 3.2 Exemples d'utilisation des méthodes électriques en hydrogéologie     | 16   |
| 3.2.1 Structure des réservoirs et qualité de l'eau                       | 16   |
| 3.2.2 Estimation des propriétés hydrauliques des aquifères               | 18   |
| 3.2.3 Estimation des propriétés de la couche de protection               | 22   |
| <br>   |      |
| CHAPITRE 4: ANALYSE GÉOSTATISTIQUE                                       | 25   |
| 4.1 Concepts théoriques  | 25   |
| 4.1.1 Variables régionalisées  | 25   |
| 4.1.2 Variogrammes   | 26   |
| 4.1.3 Modèles de variogrammes  | 28   |
| 4.1.4 Krigeage   | 30   |
| 4.2 Exemples d'utilisation de la géostatistique en hydrogéologie         | 30   |

|  |     |
|--|-----|
| CHAPITRE 5: TRAVAUX DE TERRAIN ET INTERPRÉTATION DES COURBES ÉLECTRIQUES       | 33  |
| 5.1 Caractéristiques des sondages  | 33  |
| 5.2 Positionnement des sondages  | 34  |
| 5.3 Équipement et main-d'oeuvre  | 35  |
| 5.4 Interprétation des courbes électriques                                     | 35  |
| CHAPITRE 6: RÉSULTATS ET DISCUSSION  | 39  |
| 6.1 Types de courbes électriques   | 39  |
| 6.2 Cartes isocontours de résistivité apparente                                | 40  |
| 6.3 Calibration des courbes électriques  | 45  |
| 6.3.1 Caractéristiques électriques des différents types de dépôts meubles      | 46  |
| 6.3.2 Modèle géoélectrique conceptuel  | 48  |
| 6.4 Nature et épaisseurs des dépôts meubles                                    | 49  |
| 6.4.1 Sable de surface   | 53  |
| 6.4.2 Argiles marines  | 54  |
| 6.4.3 Matériel glaciaire   | 55  |
| 6.4.4 Résistivité de la dernière couche et épaisseur totale des dépôts meubles | 58  |
| 6.4.5 Résistivités des matériaux   | 60  |
| 6.4.6 Élévations des unités hydrogéologiques                                   | 60  |
| 6.5 Quelques sections types  | 61  |
| 6.5.1 Sections   | 62  |
| 6.5.2 Paramètres électriques R et S  | 63  |
| 6.5.3 Résistivités apparentes  | 64  |
| 6.6 Caractéristiques hydrauliques des aquifères                                | 69  |
| 6.7 Caractéristiques de la couche de protection                                | 74  |
| 6.8 Analyse géostatistique   | 80  |
| 6.8.1 Rapport C/Co   | 81  |
| 6.8.2 Zone d'influence ou portée (a)   | 81  |
| 6.8.3 Continuité de la variable dans le domaine                                | 82  |
| 6.8.4 Anisotropie  | 82  |
| CHAPITRE 7: CONCLUSION   | 85  |
| Bibliographie  | 89  |
| ANNEXES  | 93  |
| A.1 Acquisition des données: sondages électriques abrégés                      | 93  |
| A.2 Acquisition des données: sondages électriques complets                     | 107 |
| A.3 Calibration des sondages complets à l'aide des données de forage           | 111 |
| A.4 Interprétation des sondages électriques                                    | 115 |

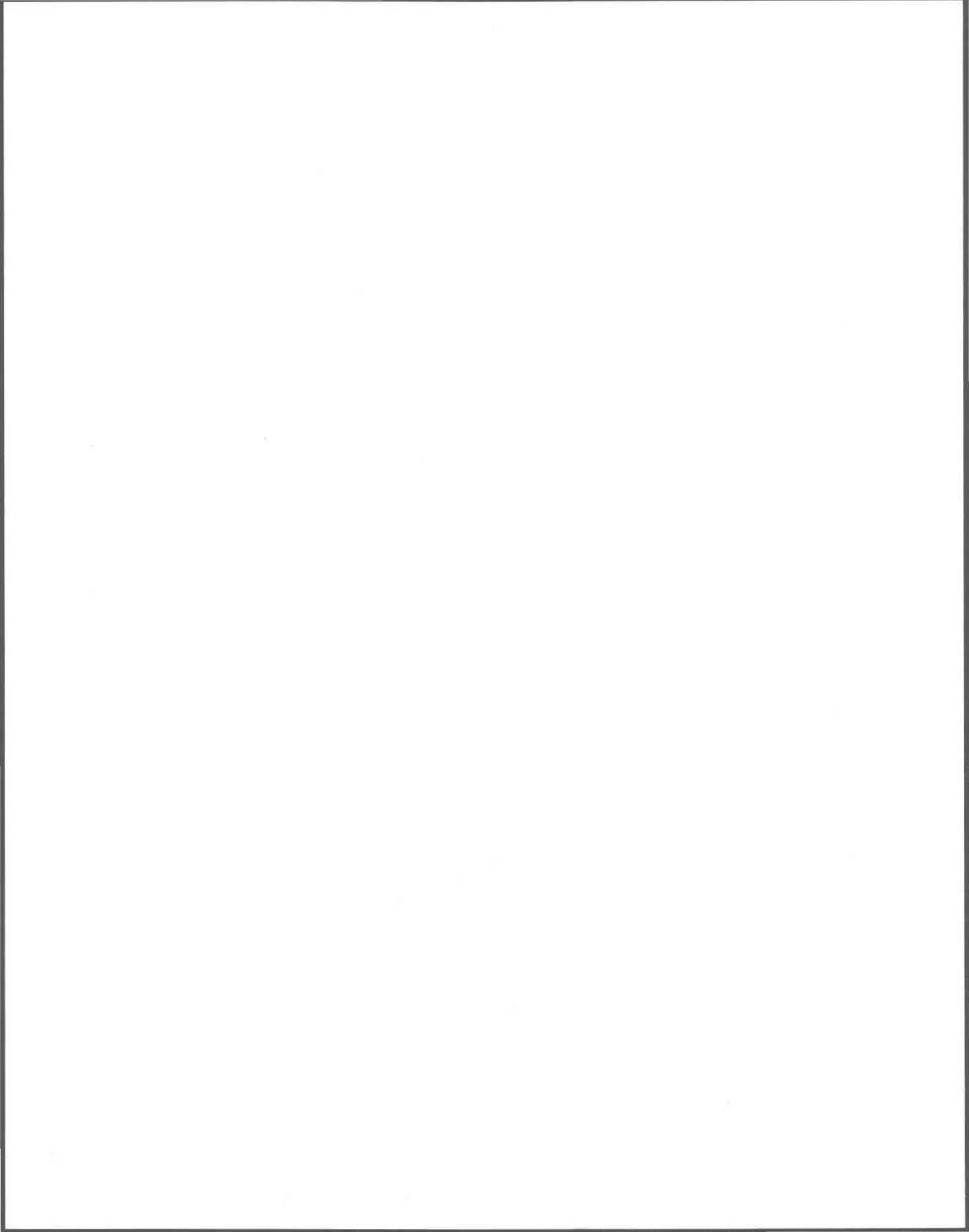
|  |     |
|--|-----|
| A.5 Variogrammes directionnels                 | 153 |
| A.5.1 Résistivité apparente pour $Ab = 80m$    | 155 |
| A.5.2 Épaisseur d'argile, sondages électriques | 164 |
| A.5.3 Résistivité de l'aquifère                | 173 |
| A.5.4 Épaisseur d'argile, forages              | 182 |
| A.6 Variogrammes omnidirectionnels             | 191 |



## LISTE DES TABLEAUX

---

- Tableau 2.1 : Sommaire des formations de la roche en place (Maranda, 1977)
- Tableau 2.2 : Propriétés hydrauliques des aquifères (Simard, 1978)
- Tableau 6.1 : Calibration des sondages électriques
- Tableau 6.2 : Détectabilité des différentes couches
- Tableau 6.3 : Épaisseurs des matériaux
- Tableau 6.4 : Résistivités des matériaux
- Tableau 6.5 : Résultats des essais de pompage et des sondages électriques
- Tableau 6.6 : Caractéristiques de la relation entre la transmissivité et la résistivité
- Tableau 6.7 : Coefficient de corrélation de  $\ln(AB/p_a)$  versus  $\ln(S_{\text{argile}})$  utilisant tous les sondages électriques
- Tableau 6.8 : Corrélation de  $\ln(AB/p_a)$  versus  $\ln(S_{\text{argile}})$  utilisant les sondages complets
- Tableau 6.9 : Caractéristiques des modèles d'ajustement
- Tableau 6.10 : Caractéristiques des variogrammes directionnels
- Tableau A.1 : Acquisition des données: sondages électriques abrégés
- Tableau A.2 : Acquisition des données: sondages électriques complets
- Tableau A.3 : Calibration des sondages complets à l'aide des données de forage
- Tableau A.4 : Interprétation des sondages électriques



## **LISTE DES FIGURES**

---

- Figure 2.1 : Localisation de la région d'étude (région de Mirabel, nord de Montréal)
- Figure 2.2 : Carte géologique de la région de Mirabel (Simard, 1977)
- Figure 2.3 : Courbes piézométriques de la région de Mirabel
- Figure 3.1 : Dispositif de Schlumberger
- Figure 3.2 : Types de courbes électriques à trois couches (Zohdy 1974)
- Figure 3.3 : a et b -Modèle hydrogéophysique (Mazac et al. 1985)
- Figure 4.1 : Construction d'une courbe de variogramme
- Figure 4.2 : Modèles d'ajustement des variogrammes
- Figure 5.1 : Localisation des sondages électriques
- Figure 5.2 : Simplification graphique d'un modèle électrique
- Figure 6.1 : Types de courbes électriques
- Figure 6.2 : a-Résistivité apparente pour AB=4m; b- Résistivité apparente pour AB=8m; c- Résistivité apparente pour AB=30m; d- Résistivité apparente pour AB=80m; e- Résistivité apparente pour AB=150m; f- Résistivité apparente pour AB=200m
- Figure 6.3 : Modèle géoélectrique conceptuel
- Figure 6.4 : Relation dépôts\_b-argile\_b à l'aide des forages
- Figure 6.5 : Relation argile\_b-S à l'aide des sondages
- Figure 6.6 : Localisation des forages
- Figure 6.7 : a-Épaisseur de sable, par sondages; b-Épaisseur de sable, par forages
- Figure 6.8 : a-Épaisseur d'argile, par sondages; b-Épaisseur d'argile, par forages
- Figure 6.9 : a-Épaisseur de matériel glaciaire, par sondages; b-Épaisseur de matériel glaciaire, par forages
- Figure 6.10 : a-Résistivité vraie de la dernière couche; b-Épaisseur de totale des dépôts meubles, par forages
- Figure 6.11 : Élévations des unités hydrogéologiques
- Figure 6.12 : Localisation des sections
- Figure 6.13 : Sections: légende des symboles
- Figure 6.14 : Section 1
- Figure 6.15 : Section 2
- Figure 6.16 : Section 3
- Figure 6.17 : Section 4
- Figure 6.18 : Localisation des essais de pompage et des sondages associés
- Figure 6.19 : Transmissivité versus résistivité de l'aquifère
- Figure 6.20 : Transmissivité versus résistivité modifiée de l'aquifère
- Figure 6.21 : Corrélation  $\ln (AB/p_a)$  versus  $\ln (S^2_{\text{argile}})$  pour AB = 80m
- Figure 6.22 : a-S mesurée à l'aide des sondages interprétés; b-S calculée à partir de la relation  $S = e^{-0.975} * (AB/p_a)^{0.828}$ ; c- S calculée à partir de la relation  $S = e^{-0.446} * (AB/p_a)^{0.521}$
- Figure A.5.1 : Variogrammes directionnels: résistivités apparentes pour Ab = 80m

Figure A.5.2 : Variogrammes directionnels: épaisseur d'argile, sondages électriques

Figure A.5.3 : Variogrammes directionnels: résistivité de l'aquifère

Figure A.5.4 : Variogrammes directionnels: épaisseur d'argile, forages

Figure A.6 : Variogrammes omnidirectionnels

# 1 INTRODUCTION

---

## **1.1 Problématique**

A l'aube du 21<sup>e</sup> siècle l'inquiétude grandit quant au fait que les réserves mondiales d'eau potable s'amenuisent constamment et menacent de n'être bientôt plus suffisantes pour les besoins de l'humanité. Déjà pour les habitants de certaines régions du globe l'utilisation de la ressource la plus vitale qui soit, l'eau, doit se faire de façon restreinte. La contamination des eaux par les activités anthropiques est en partie responsable du fait que les réserves d'eau potable diminuent et, conscients de la responsabilité des pays industrialisés vis-à-vis de ce problème, il importe de réfléchir et de poser des actes intelligents qui auront pour but de préserver la qualité de la ressource.

Le Québec, bien que très riche en eau potable, n'échappe pas aux conséquences de la pollution et les eaux de surface sont de plus en plus contaminées. Les municipalités et autres utilisateurs de la ressource se tournent davantage maintenant vers les eaux souterraines qui ont la réputation d'être de très grande qualité. Néanmoins, tout comme les eaux de surface, les eaux souterraines peuvent aussi être vulnérables à la contamination.

En plus du problème de la qualité, l'eau souterraine fait l'objet d'un débat nouveau au Québec, à savoir celui de la répartition équitable de la ressource entre les divers utilisateurs. Dans la région de Mirabel, au nord de Montréal, agriculteurs et embouteilleurs d'eau réclament leurs droits sur cette ressource. Les premiers craignent que les grandes quantités d'eau soutirées du sol par les seconds entraînent une dégradation de la qualité de l'eau à leur puits et provoquent des effets secondaires sur leurs troupeaux. Les seconds quant à eux revendiquent leur droit d'exploitation.

Pour ces diverses raisons la gestion de l'eau souterraine est une question d'actualité et plusieurs études ont présentement cours dans le but de mieux connaître, afin de mieux gérer par la suite, la ressource eau souterraine.

## 1.2 Objectifs

L'objectif principal de la présente étude est de vérifier l'applicabilité de la méthode des sondages électriques à la caractérisation des aquifères et des divers types de dépôts meubles à l'échelle régionale, au nord de Montréal. Plus précisément il s'agit de vérifier si la méthode, qui est une modification de la méthode conventionnelle des sondages, permet d'évaluer la vulnérabilité de la ressource eau souterraine, notamment par l'estimation de l'épaisseur de la colonne argileuse sus-jacente, et aussi de vérifier une possible relation entre les paramètres électriques et les propriétés hydrauliques des aquifères.

Pour parvenir à l'objectif ci-haut mentionné, les différents sous-objectifs suivants ont été réalisés:

- détermination d'un intervalle de résistivités caractéristiques pour chacun des types de matériel (dépôts meubles et roc) rencontrés dans la région d'étude;
- confrontation des résultats obtenus par la géophysique avec les informations obtenues par les forages en ce qui a trait à la délimitation en plan et en coupe des différents types de dépôts meubles et à la cartographie de la surface du socle rocheux;
- vérification de la capacité de la méthode à positionner l'aquifère dans la colonne géologique (pour un environnement tel celui de la région de Mirabel);
- élaboration d'une relation entre la résistivité de l'aquifère et la transmissivité de celui-ci;
- élaboration d'une relation entre la conductance longitudinale de la couche argileuse et ses propriétés protectives.

Enfin une analyse géostatistique a été réalisée afin de connaître la variabilité spatiale des paramètres électriques et géologiques jugés les plus importants dans la présente étude et de vérifier ensuite l'applicabilité de la géostatistique comme méthode d'interpolation pour la construction des cartes géophysiques et géologiques. Si l'utilisation de la géostatistique s'avère favorable il sera possible d'estimer la fiabilité de l'interpolation entre les observations et la qualité des cartes ainsi produites.

## 2 PRÉSENTATION DE LA RÉGION D'ÉTUDE

### **2.1 Localisation**

La région d'étude, autour de Mirabel, est située au nord-ouest de Montréal. Elle occupe une superficie d'environ 1100 km<sup>2</sup> qui s'étend de La Plaine à Lachute dans l'axe est-ouest et de St-Eustache jusqu'à la limite méridionale du bouclier canadien dans l'axe sud-nord (voir figure 2.1 page suivante). En coordonnées UTM, ses limites sont 539086 à l'ouest, 596047 à l'est, 5040260 au sud et 5080320 au nord.

Le positionnement des relevés géophysiques a été choisi de façon à couvrir les cinq MRC (Municipalités Régionales de Comté) suivantes: Argenteuil, Deux-Montagnes, Mirabel, Thérèse-de-Blainville et Rivière-du-Nord. Cependant, seule la portion de ces MRC qui est située dans les Basses-Terres du St-laurent, c'est-à-dire au sud de la rivière du Nord et de son prolongement vers le nord-est, a été explorée.

L'élévation de la surface du sol est d'environ 70-80m (au-dessus du niveau de la mer) au pied du bouclier canadien et elle diminue doucement vers le sud pour atteindre environ 30m en bordure du lac des Deux-Montagnes. Les collines d'Oka (près de 250m) et celles de St-André (environ 140m) sont les seuls éléments qui brisent le relief faiblement accidenté de la région.

Les deux plus importantes activités humaines utilisant le sol dans ce secteur sont l'agriculture et l'exploitation de carrières. Ces dernières se retrouvent principalement le long de la rivière du Nord et de son prolongement vers le nord-est, ainsi qu'en bordure des lacs Deux-Montagnes et Dollard-des-Ormaux. Il faut noter aussi la présence de plusieurs industries d'embouteillage d'eau dans ce secteur.

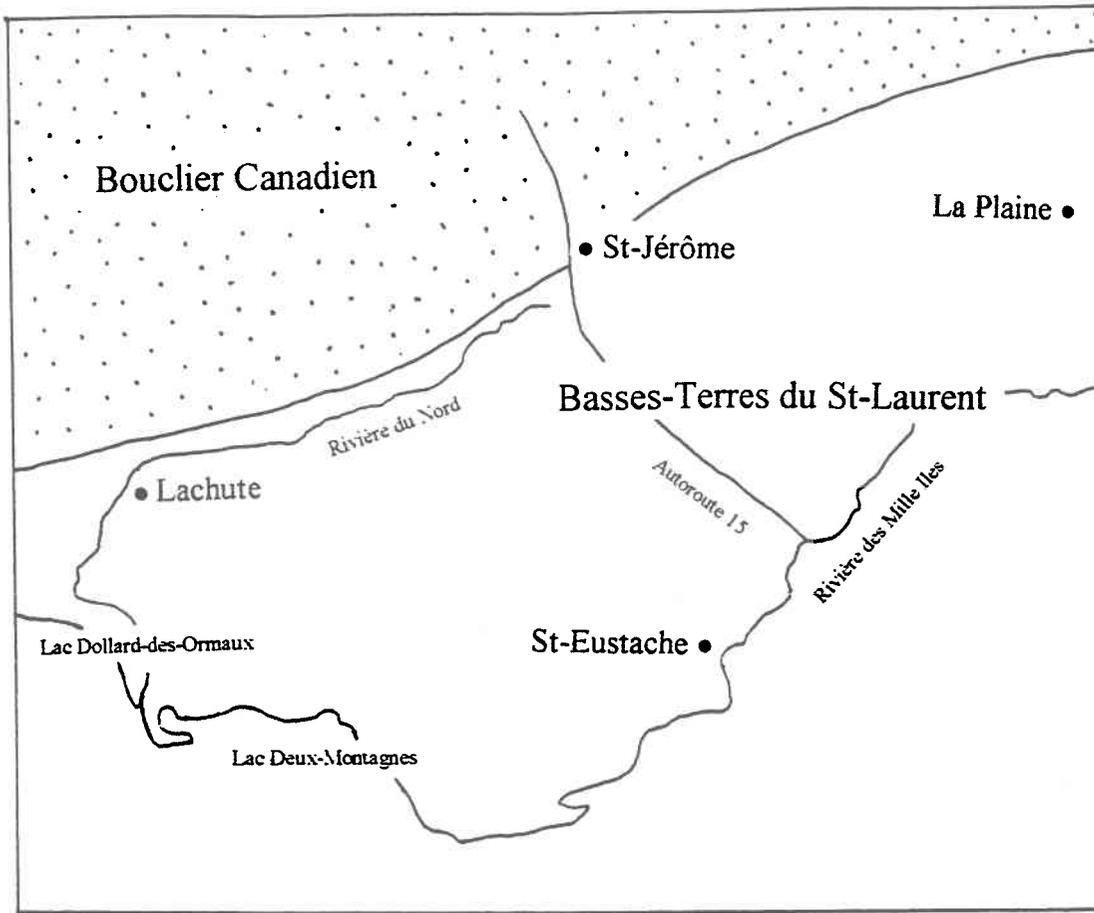


Figure 2.1 : Localisation de la région d'étude (région de Mirabel, nord de Montréal)

## 2.2 Justification du choix du site

Parmi différentes raisons, l'abondance des informations disponibles justifie le choix de ce site. En effet, l'implantation de l'aéroport de Mirabel, à elle seule, a nécessité plusieurs études hydrogéologiques, géologiques, géotechniques et autres durant les années 70. En plus d'être abondante, l'information ainsi obtenue est souvent de bonne qualité. C'est 1915 forages qui sont répertoriés dans les limites de la région d'étude. Leur distribution est illustrée à la figure 6.6. Ces nombreux forages ont été réalisés principalement par les gens des ministères et par un puisatier local qui a mis à notre disposition sa propre banque d'informations.

Par ailleurs les Basses-Terres du St-Laurent, bien que limitées en superficie par rapport au reste du Québec, sont occupées par environ 80% de la population québécoise. Dans l'avenir certaines conclusions de ce travail pourront être appliquées à d'autres régions présentant sensiblement le même contexte hydrogéologique et démographique.

## 2.3 Contexte géologique

La séquence géologique de la région de Mirabel est composée principalement du socle rocheux et des dépôts meubles sus-jacents.

Les roches sédimentaires cambro-ordoviciennes des Basses-Terres du St-Laurent composent l'horizon supérieur du socle rocheux. Elles reposent en discordance sur le socle précambrien et se sont déposées suite à la transgression marine de l'océan proto-Atlantique (l'océan Iapetus). Elles ont une épaisseur moyenne de 2900m entre Québec et Montréal (Landry et Mercier 1983) et, dans la région d'étude, sont composées des lithologies suivantes: le grès de Postdam, les dolomies de Beekmantown et les calcaires de Chazy, Black River et Trenton (Clark 1972 cité par Simard 1977). Le tableau 2.1 présente le sommaire des formations énumérées alors que la figure 2.2 illustre la disposition en plan de celles-ci sous les dépôts meubles. Il est généralement reconnu que les premiers mètres du socle sont fissurés.

Tableau 2.1 : Sommaire des formations de la roche en place (Maranda, 1977)

| ERE         | PERIODE     | GROUPE                     | LITHOLOGIE                           |
|-------------|-------------|----------------------------|--------------------------------------|
| PALÉOZOIQUE | Ordovicien  | Trenton                    | Calcaire                             |
|             |             | Utica                      | Schiste argileux                     |
|             |             | Chazy                      | Calcaire et grès                     |
|             |             | Black River<br>Beekmantown | Calcaire, dolomie<br>Dolomie et grès |
|             | Cambrien    | Postdam                    | Gres                                 |
|             | Précambrien |                            | Gneiss                               |

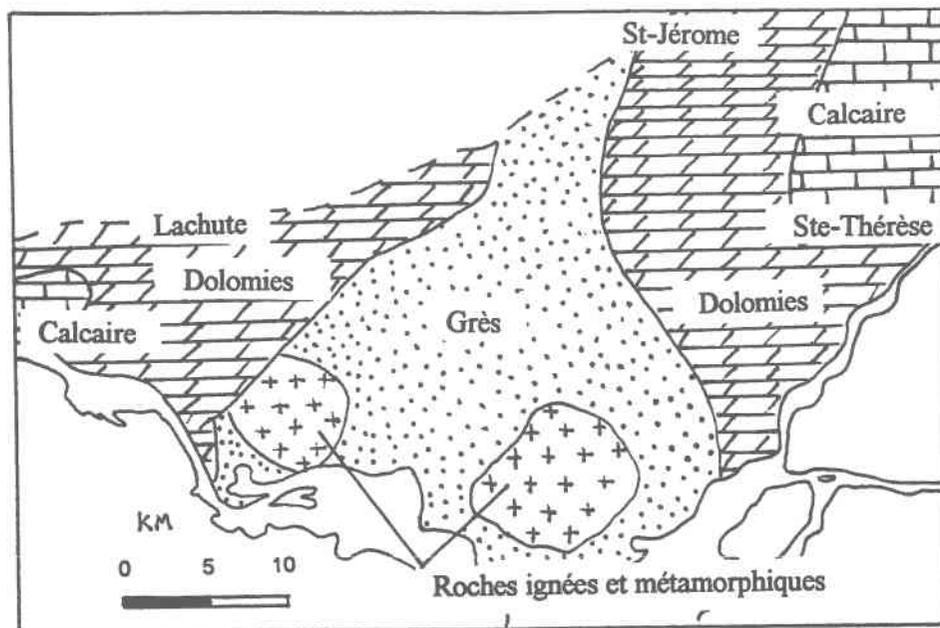


Figure 2.2 : Carte géologique de la région de Mirabel (Simard, 1977)

Les dépôts meubles datent du quaternaire. Ils ont une épaisseur moyenne de 14.10m selon une compilation des données de forage disponibles pour la région d'étude (banque de données hydrogéologiques (BDH) du ministère de l'environnement et de la faune (MEF)).

A la base, un horizon de till est rencontré. Ce till a une composition généralement riche en argile, ce qui justifie l'appellation d'argile en blocs qu'on lui attribue parfois. En certains endroits le till fait place à un horizon de sable et graviers fluvioglaciaires; ce dernier se retrouve parfois en mince couche en-dessous de l'horizon de till (toujours selon les données de forage). Le till et l'horizon de sable et graviers ont été déposés principalement lors de la dernière glaciation (Wisconsin).

En même temps que le front glaciaire de l'inlandsis wisconsinien reculait, la mer de Champlain envahissait les terres affaissées de la vallée du St-Laurent. Cette invasion marine a engendré la déposition de l'épaisse colonne d'argiles marines de la mer de Champlain. Des silts et des sables littoraux ont aussi été déposés sur les marges de la mer,

en plus faible quantité cependant (la dernière glaciation ainsi que l'invasion marine qui a suivi, pour la région de la vallée du St-Laurent, sont bien documentées par Hillaire-Marcel 1974, Prichonnet 1977 et Parent et Occhietti 1988).

En quelques endroits il est possible d'observer, à la surface, des sables fluviaux et éoliens, déposés par l'action des cours d'eau ou résultant du remaniement par le vent des matériaux sous-jacents. Le sable d'origine fluviale est présent le long des cours d'eau (par exemple le long de la rivière du Nord) alors que les dunes de sable sont rencontrées principalement à l'est de la région, autour des municipalités de Ste-Sophie et de Sainte-Thérèse-de-Blainville, selon la carte des dépôts de surface de Maranda (1973).

## **2.4 Contexte hydrogéologique**

Les aquifères, à l'intérieur de la colonne géologique, se situent au niveau du socle rocheux et quelques fois dans les dépôts meubles.

La porosité du socle rocheux est principalement secondaire. Les dix premiers mètres sont généralement fracturés, altérés ou contiennent des chenaux de dissolution (Simard 1977). Simard (1978) a effectué un essai de pompage sur deux puits voisins mais crépinés à des élévations différentes: un des puits était crépiné sur 3m dans le roc altéré alors que le deuxième, plus profond, interceptait le roc fracturé sur 51.91m. Le roc altéré (dont l'épaisseur moyenne est de 3m dans la région de Mirabel) a présenté une perméabilité 44 fois plus grande que le roc fracturé. Puisque les calcaires et les dolomies, de par leur composition, sont plus sensibles à la dissolution que les grès, il est donc possible que leur potentiel aquifère soit plus élevé. Simard (1977) insiste cependant sur l'hétérogénéité du milieu fracturé, ce qui explique en contre-partie les écarts de productivité des puits captant un même aquifère. Le tableau 2.2, issu du document de Simard (1978), fournit des précisions sur les variations des propriétés hydrauliques des aquifères.

Tableau 2.2 : Propriétés hydrauliques des aquifères (Simard, 1978)

| AQUIFÈRE  | NOMBRE D'ESSAIS DE POMPAGE |                       | CAPACITÉ SPÉCIFIQUE<br>m <sup>3</sup> /h/m | TRANSMISSIVITÉ<br>m <sup>2</sup> /s                        | DÉBIT EXPLOITABLE<br>m <sup>3</sup> /h |
|---|----------------------------|-----------------------|--|--|--|
| Couverture quaternaire                              | 1                          | Intervalle            | -  | 10 <sup>-10</sup> -10 <sup>-2</sup>                        | 0-300                                  |
| Calcaire Ordovicien                                 | 3                          | Intervalle<br>Moyenne | 1,8-12,3<br>6,7                            | 10 <sup>-4</sup> -10 <sup>-2</sup><br>4,8*10 <sup>-3</sup> | 14,8-329<br>135,5                      |
| Dolomie Beekmantown                                 | 11                         | Intervalle<br>Moyenne | 0,6-44,1<br>14,7                           | 10 <sup>-4</sup> -10 <sup>-3</sup><br>3,6*10 <sup>-3</sup> | 15,9-764<br>204,3                      |
| Grès Postdam  | 8                          | Intervalle<br>Moyenne | 0,4-33,7<br>9,6                            | 10 <sup>-5</sup> -10 <sup>-2</sup><br>2,9*10 <sup>-3</sup> | 13,5-518,6<br>114,1                    |
| Intrusifs et métamorphiques Pré-Cambrien et Crétacé | -                          | Intervalle            | -  | 10 <sup>-7</sup> -10 <sup>-4</sup>                         | Ordre de quelques m <sup>3</sup> /h    |

Parmi les dépôts meubles (perméabilité primaire), les dépôts fluvio-glaciaires de sable et gravier présentent un bon potentiel aquifère (selon la description lithologique de Maranda 1977). Ils se retrouvent habituellement à la base des dépôts meubles et sont surmontés des argiles de la mer de Champlain, lesquelles agissent comme couche de protection des aquifères. Les sables éoliens et alluviaux peuvent aussi être de bons aquifères. Cependant ils sont généralement affleurants et donc plus vulnérables à la contamination par la surface. Simard (1978) note dans son rapport des dépôts à forte perméabilité dans la vallée de la rivière du Nord et en bordure du lac des Deux-Montagnes et de la rivière des Milles-Iles.

La presque totalité des aquifères sont captifs sous les argiles marines ou sous le till considéré peu perméable (Maranda 1977). Quelques nappes sont libres dans les dépôts éoliens et alluvionnaires ou lorsque le roc est près de la surface (sub-affleurant).

L'eau souterraine s'écoule principalement vers le sud, tel qu'indiqué par la carte hydrogéologique de Simard (1978) et par la figure 2.3 illustrant les courbes piézométriques obtenues par la compilation des données de forage. L'eau a une conductivité généralement faible (moins de  $500\mu\text{mhos/cm}$ ) quoique que plus élevée (plus de  $1000\mu\text{mhos/cm}$ ) dans les anciennes fosses marines et dans certaines zones situées principalement dans les roches carbonatées (Simard 1978). Les données recueillies par Soucy (1997) au cours de l'été 1996 indiquent une conductivité moyenne de  $595\mu\text{mhos/cm}$  pour l'ensemble de la région de Mirabel. L'âge de l'eau souterraine varie d'actuel à plus de 8000 ans. Les plus vieilles eaux sont situées au sud de la région, soit aux niveaux piézométriques les plus bas (Simard 1977).

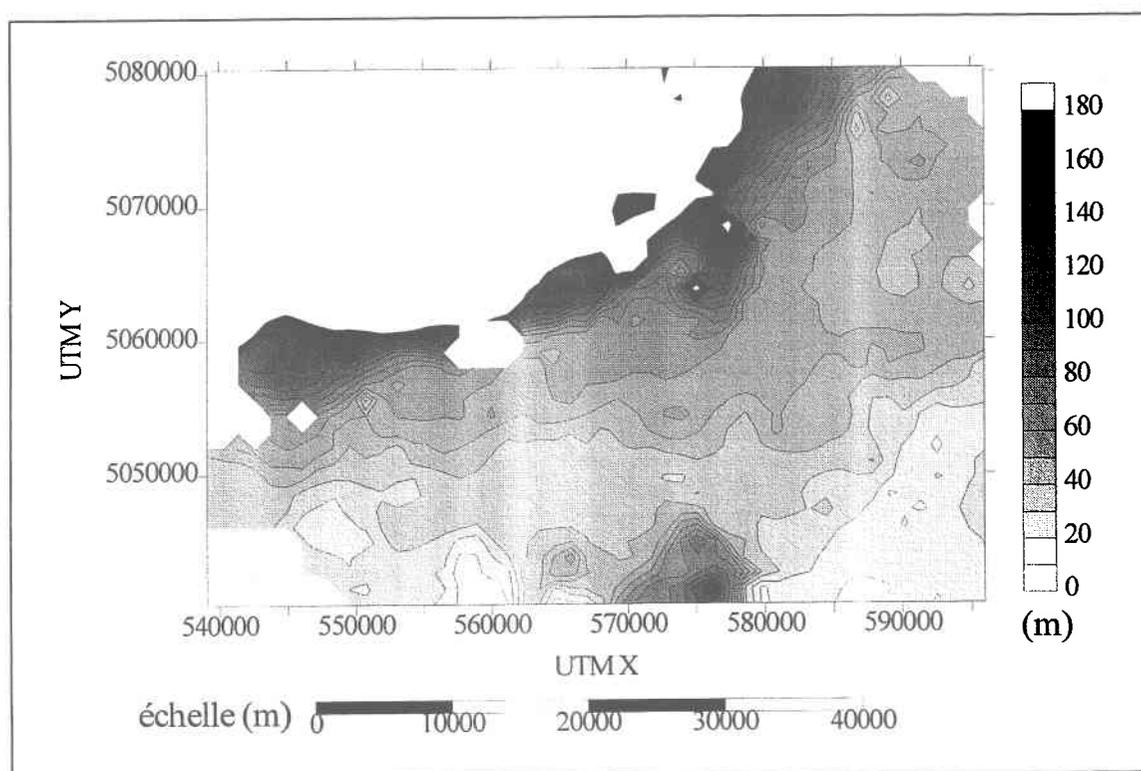


Figure 2.3 : Courbes piézométriques de la région de Mirabel

La région de Mirabel bénéficie de précipitations annuelles abondantes, soit environ 1000mm selon Landry et Mercier (1983). De ces 1000mm précipités, Simard (1978) estime à 4.5% la portion qui s'infiltré dans le sol et qui permet la recharge des aquifères.

## **3 MÉTHODE GÉOPHYSIQUE DES SONDAGES**

### **ÉLECTRIQUES**

---

#### **3.1 Concepts théoriques**

L'essentiel des paragraphes suivants provient du document de Zohdy (1974) sur l'application des méthodes géophysiques de surface en hydrogéologie (Application of Surface Geophysics to Ground-Water Investigations, 1974). Parmi les autres ouvrages consultés, les livres de Astier (1971) et de Meycr de Stadelhofen (1991), traitent aussi des méthodes géophysiques strictement appliquées à l'hydrogéologie. L'ouvrage plus complet de Telford et al. (1976) traite de la géophysique pour toutes les applications et constitue une bonne référence pour l'étude du développement des équations mathématiques.

##### **3.1.1 Principes généraux**

Les méthodes de résistivité électrique découlent directement de l'application de la loi d'Ohm:

$$(3.1) \quad R = dV / I.$$

La résistance (R, en ohm) est calculée en mesurant la différence de potentiel (dV, en volt) entre deux points à la surface lorsqu'un courant d'intensité connue (I, en ampère) est envoyé dans le sol.

Puisque

$$(3.2) \quad R = p * (L / A),$$

alors

$$(3.3) \quad p = K * R.$$

La résistivité des matériaux (p, en ohm-m) est obtenue en multipliant la résistance par un coefficient (K) qui est fonction de la géométrie du dispositif de mesure. Si le terrain est

homogène électriquement, la résistivité obtenue est égale à la résistivité vraie du terrain. Cependant les terrains sont rarement homogènes et les résistivités mesurées sont donc des résistivités apparentes ( $p_a$ ), liées par des équations complexes aux résistivités vraies ( $p$ ) et aux épaisseurs des couches ( $b$ ).

La résistivité vraie d'une couche informe sur la composition matricielle de celle-ci mais surtout sur son contenu en eau. En effet, la conduction (inverse de la résistivité) dans les matériaux naturels est principalement de type électrolytique (Keller et al. 1970, Zohdy et al. 1974) sauf pour l'argile qui peut aussi conduire l'électricité de façon électronique (Zohdy et al. 1974). Les principaux facteurs qui influencent la conductivité électrique sont la quantité d'eau, la salinité de l'eau et la distribution (interconnexion) de l'eau.

### 3.1.2 Dispositif de Schlumberger et construction des courbes électriques

Le dispositif de Schlumberger est l'un des plus couramment utilisé en hydrogéologie, il est illustré à l'aide d'un schéma à la figure 3.1.

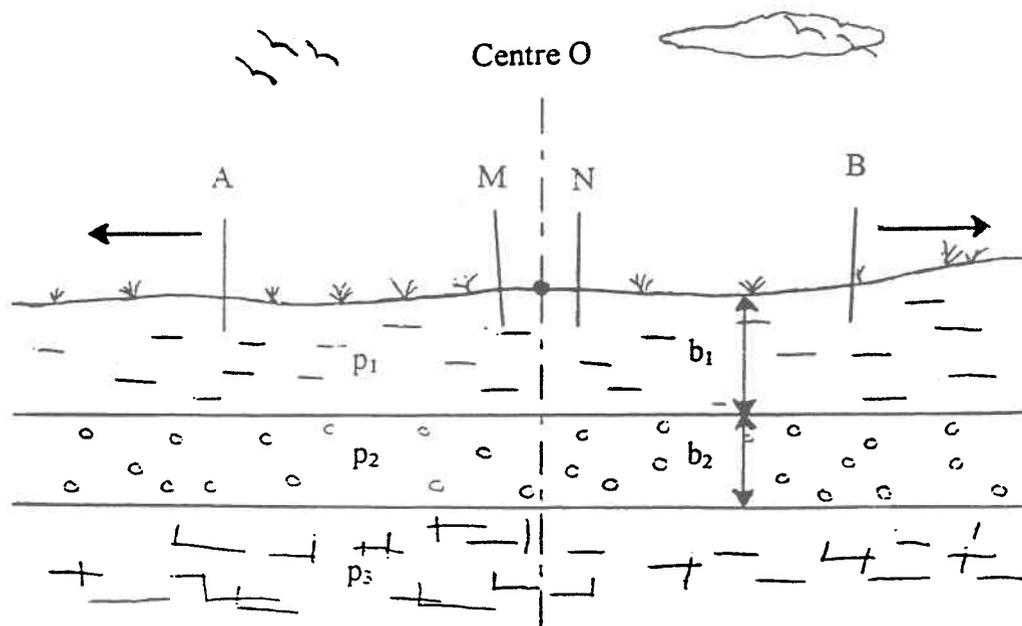


Figure 3.1 : Dispositif de Schlumberger

Le courant est envoyé aux électrodes A et B placées aux limites extérieures du dispositif; la différence de potentiel est mesurée entre les électrodes M et N placées de part et d'autre du centre du dispositif ( O ). La séparation AB doit être égale à environ 8 fois la séparation MN. Un ratio AB/MN compris entre 4 et 20 est généralement toléré. Au début du relevé les espacements AB et MN sont petits, à mesure que le relevé progresse les électrodes A et B sont éloignées symétriquement du centre O, sans déplacement des électrodes M et N. Il y a déplacement de ces dernières seulement lorsque le ratio AB/MN devient trop grand (c'est-à-dire supérieur à 20), il faut alors augmenter l'espacement MN en déplaçant symétriquement les électrodes de potentiel. Lorsque cette situation se produit, deux lectures ou plus sont prises pour les mêmes espacements AB, soit une pour chacun des espacements MN. L'écartement progressif des électrodes permet une investigation de plus en plus profonde dans le sol. Les lectures de l'appareil (placé en O) représentent le ratio  $dV/I$ . Ces lectures sont ensuite multipliées par le facteur K approprié et les résistivités apparentes ainsi obtenues sont placées sur un graphique log-log avec la séparation AB/2 en abscisse et les valeurs de résistivités apparentes en ordonnées. Ces graphiques sont appelés courbes électriques (voir figure 3.2).

### 3.1.3 Interprétation des courbes électriques

Les courbes électriques sont à leur tour interprétées afin d'obtenir un modèle électrique.

Dans un premier temps, la courbe électrique renseigne sur le nombre de couches que possède le modèle électrique et sur les valeurs relatives de résistivité des couches. La figure 3.2 illustre les quatre types de courbes électriques à trois couches (types K, H, A et Q).

Les types de courbes électriques à plus de trois couches sont nommés de la façon suivante: d'abord on choisit la première lettre du type en considérant les trois premières couches. Puis la lettre suivante est choisie en omettant la première couche et en considérant les trois

couches suivantes, et ainsi de suite. Par exemple, pour une courbe électrique à quatre couches dont les résistivités seraient  $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 < \rho_4$ , le nom du type de courbe est KH.

Pour éviter d'avoir à résoudre les équations complexes qui lient les résistivités apparentes aux résistivités vraies, la transformation des courbes en modèles électriques s'effectuait autrefois à l'aide d'abaques. Aujourd'hui il existe des logiciels (tels SOUNDER, ATO et DCRES) qui facilitent cette étape de l'interprétation.

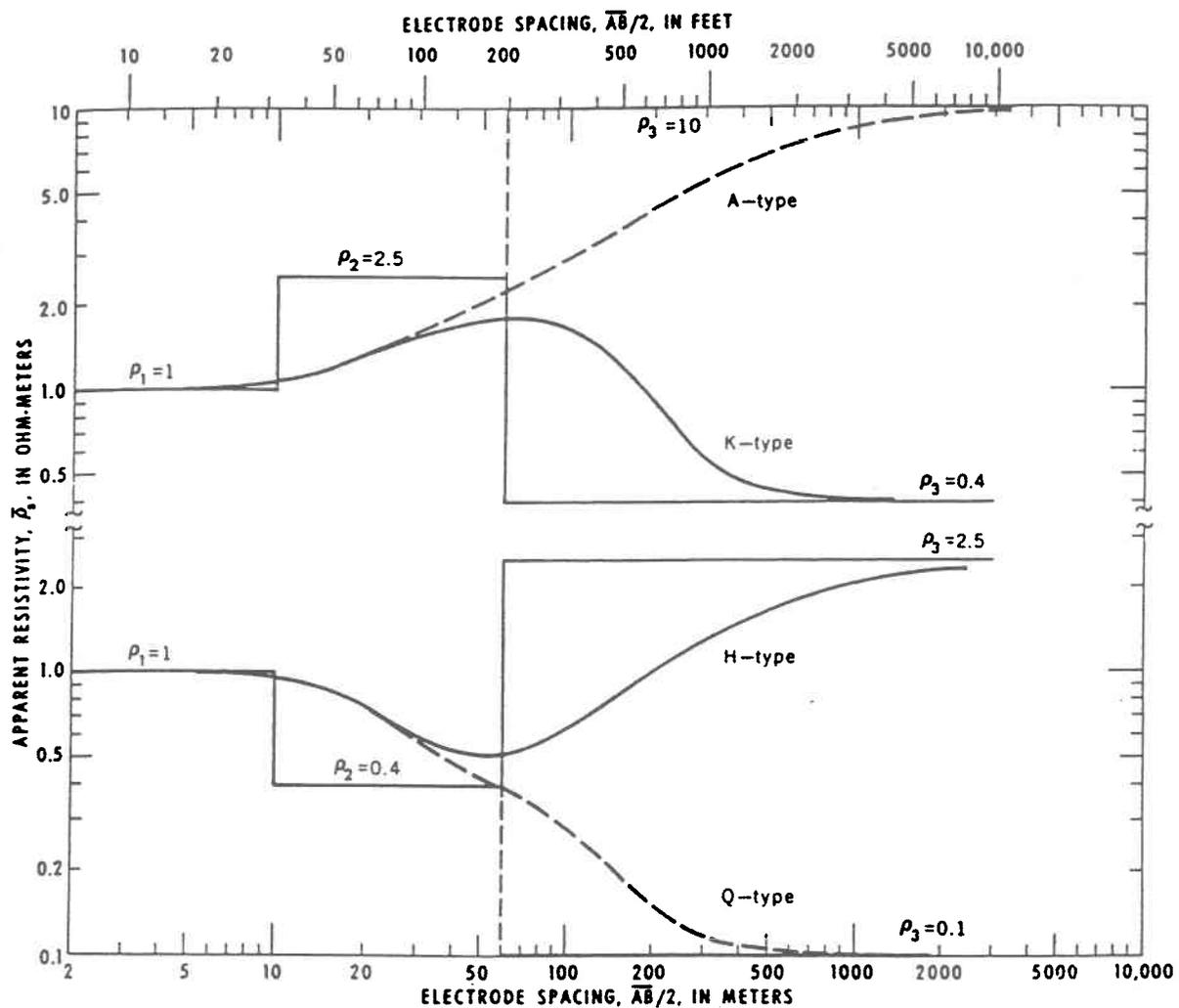


Figure 3.2 : Types de courbes électriques à trois couches (Zohdy 1974)

### 3.1.4 Paramètres électriques

A partir des paramètres principaux (c'est-à-dire l'épaisseur  $b_i$  et la résistivité  $p_i$ ), d'autres paramètres électriques sont dérivés et ont leur utilité dans l'analyse des sondages électriques. Ils sont présentés dans les paragraphes qui suivent.

- Conductance longitudinale: (3.4)  $S = \text{somme}(b_i / p_i)$  (en  $\text{ohm}^{-1}$ )

Si on suppose que le courant circule uniquement de façon parallèle au litage, les couches agissent alors comme des résistances placées en parallèles et S représente la résistance équivalente totale de la colonne.

- Résistance transverse: (3.5)  $R = \text{somme}(b_i p_i)$  (en  $\text{ohm}\cdot\text{m}^2$ )

Si on suppose que le courant circule uniquement de façon perpendiculaire au litage, les couches agissent alors comme des résistances placées en série et R représente la résistance équivalente totale de la colonne.

- Résistivité longitudinale: (3.6)  $pL = B/S = (\text{somme}(b_i)/\text{somme}(b_i/p_i))$  (en  $\text{ohm}\cdot\text{m}$ ).

- Résistivité transverse: (3.7)  $pR = R/B = (\text{somme}(b_i p_i)/\text{somme}(b_i))$  (en  $\text{ohm}\cdot\text{m}$ ).

- Résistivité moyenne: (3.8)  $p_{\text{moy}} = \text{racine}(pL \cdot pR)$  (en  $\text{ohm}\cdot\text{m}$ ).

- Anisotropie: (3.9)  $\lambda = \text{racine}(pR/pL)$ .

### 3.1.5 Principes de suppression et d'équivalence

Pour une seule courbe électrique, il existe une multitude de solutions. Les principes de suppression et d'équivalence imposent cependant quelques limitations aux solutions possibles.

- Suppression:

Les courbes de type A, A-A, Q et Q-Q peuvent facilement être confondues avec des courbes à deux couches seulement. Plus une couche est profonde et plus elle doit être épaisse pour être détectée sur la courbe électrique et lors de l'interprétation. La détectabilité

d'une couche est proportionnelle au rapport de son épaisseur sur sa profondeur ( $b_i/\text{prof}_i$ ). Plus le rapport est grand, plus la couche est détectable. En plus de l'épaisseur et de la profondeur, la pseudoanisotropie des couches supérieures, la résistivité de la couche même et celle de la couche inférieure sont aussi des facteurs qui influencent la détectabilité.

- Equivalence:

Pour deux courbes de type H, si  $p_1=p_1'$ ,  $p_3=p_3'$  et  $S_2=S_2'$ , alors les courbes sont dites équivalentes par S. Cette équivalence par S s'applique aussi pour les courbes de type A.

Pour deux courbes de type K, si  $p_1=p_1'$ ,  $p_3=p_3'$  et  $R_2=R_2'$ , alors les courbes sont dites équivalentes par R. Cette équivalence par R s'applique aussi pour les courbes de type Q.

Dans les situations précédentes, le paramètre  $S_2$  ou  $R_2$  est unique alors qu'il y a une multitude de combinaisons possibles pour  $b_2$  et  $p_2$ . La couche 2 est donc mieux décrite par son paramètre dérivé ( $S_2$  ou  $R_2$ ) que par les deux paramètres principaux  $b_2$  et  $p_2$ .

L'équivalence peut aussi faire confondre des couches isotropes et anisotropes. En effet, une couche d'épaisseur  $b'$  qui possède une microanisotropie peut être confondue avec une couche isotrope d'épaisseur différente  $b$ . Généralement, la microanisotropie entraîne une surestimation de l'épaisseur  $b'$  proportionnelle au coefficient d'anisotropie de la couche:

$$(3.10) \quad b = b' * \lambda$$

## 3.2 Exemples d'utilisations des méthodes électriques en hydrogéologie

### 3.2.1 Structure des réservoirs et qualité de l'eau

Les premiers utilisateurs des méthodes électriques en hydrogéologie ont principalement cherché à corréler les résistivités aux différentes unités lithologiques (les unités réservoirs versus les autres unités) et à la qualité de l'eau contenue dans les horizons saturés. Dans

presque tous les cas les méthodes testées avaient pour objectif de compléter les patrons de forages et de diminuer ainsi les coûts de caractérisation hydrogéologique.

La nature (composition, porosité, degré de fracturation, etc.) et l'épaisseur des différentes lithologies sont généralement des informations importantes que les forages permettent d'obtenir. En effectuant des sondages électriques à proximité des forages, il est possible de corréler les résistivités et les unités lithostratigraphiques. C'est l'étape de calibration des sondages électriques. Par la suite, des sondages électriques sont effectués aux endroits où la densité de forages est faible, ce qui permet d'uniformiser le patron d'échantillonnage tout en minimisant les coûts de cueillette de données.

C'est ainsi que les travaux géophysiques de Frohlich (1973) (sondages électriques) ont complété une série de forages déjà existants au nord-ouest du Missouri. Les sondages électriques ont permis de distinguer un horizon de gravier à fort potentiel aquifère à l'intérieur d'une séquence de dépôts glaciaires riches en argile et possédant un faible potentiel aquifère. Zohdy (1986) et Al-Ruwaih et al. (1986) ont aussi utilisé les sondages électriques pour délimiter, en plan et en section, des matériaux qui constituent de bons aquifères.

Comme mentionné au chapitre précédent, la salinité de l'eau influence la résistivité. A l'intérieur d'un même aquifère, les différences de résistivité peuvent donc résulter d'une variation dans la composition de l'eau (par exemple une lentille d'eau fraîche qui surmonte une lentille d'eau saline). La même chose s'applique pour deux aquifères distincts qui auraient les mêmes caractéristiques matricielles mais qui auraient des résistivités différentes.

Zohdy (1986) a trouvé une résistivité comprise entre 45 et 100 ohm-m pour un dépôt alluvionnaire saturé d'eau de bonne qualité (moins de 1000 mg/l de solides totaux dissous-STD), alors qu'un dépôt du même type mais saturé d'eau de moins bonne qualité (plus de 1000 mg/l de STD) a une résistivité inférieure à 45 ohm-m. Al-Ruwaih et al. (1986) obtiennent aussi une corrélation inverse entre la salinité et la résistivité. Un horizon aquifère

de sable et gravier, au nord du Kuwait, a une résistivité d'environ 20-40 ohm-m lorsqu'il est saturé d'eau fraîche; la résistivité tombe à environ 5 ohm-m lorsque la salinité augmente et que l'eau devient impropre à la consommation.

### 3.2.2 Estimation des propriétés hydrauliques des aquifères

Plus récemment des chercheurs ont tenté de quantifier les propriétés hydrauliques des aquifères à l'aide des paramètres géophysiques. Deux des propriétés qui intéressent le plus les hydrogéologues sont la conductivité hydraulique et la transmissivité. Généralement ces données sont obtenues par essais de pompage qui demandent du temps et sont coûteux.

Il est alors tentant de vouloir corréler la conductivité hydraulique ( $K$ , en m/s) et la résistivité de l'aquifère ( $p$ , en ohm-m) puisque le courant électrique, qui voyage principalement de façon électrolytique, suit sensiblement le même chemin que l'eau qui serait pompée d'un puits situé au centre du dispositif électrique. Puisque la transmissivité ( $T$ , en  $m^2/s$ ) est égale à la conductivité hydraulique multipliée par la hauteur saturée ( $h$ , en m),

$$(3.11) \quad T = K * h$$

et que la résistance transverse ( $R$ , en ohm- $m^2$ ) est égale à la résistivité multipliée par l'épaisseur de la couche ( $b$ , en m),

$$(3.12) \quad R = p * b,$$

alors  $T$  et  $R$  sont probablement aussi corrélables entre eux (Kelly 1977). Un des avantages à utiliser les sondages électriques au lieu des essais de pompage, en plus d'être plus économique, est que les sondages englobent un certain volume de matériel au lieu d'être une mesure ponctuelle.

Dans le sud du Rhode Island, un aquifère situé dans un matériel glaciaire a fait l'objet de plusieurs analyses réalisées par différents chercheurs. En 1977, Kelly établissait une corrélation directe linéaire entre la résistivité de l'aquifère et la conductivité hydraulique à l'aide de six essais de pompage et de six sondages électriques voisins. La conductivité

électrique de l'eau était supposée constante en chaque point. Une autre corrélation directe linéaire entre le facteur de formation ( $FF = \rho_{\text{aquifère}}/\rho_{\text{eau}}$ ) et la conductivité hydraulique permettait de tenir compte de la qualité de l'eau. Kosinski et Kelly ont repris les données sur Rhode Island en 1981. Ils ont démontré que même si l'aquifère est composé de plusieurs couches de résistivités différentes, qu'il est parfois difficile de différencier sur une courbe de sondage électrique à cause des principes de suppression et d'équivalence, la résistivité équivalente pour l'ensemble de la colonne saturée permet de prédire la transmissivité de l'aquifère. Dans la même année, Niwas et Singhal ont suggéré et testé deux relations analytiques obtenues en combinant les lois de Darcy et d'Ohm. D'une part la transmissivité et la résistance transverse sont liées par la relation

$$(3.13) \quad T = K * \sigma * R$$

( $\sigma$  étant l'inverse de la résistivité), d'autre part la transmissivité et la conductance longitudinale sont liées par la relation

$$(3.14) \quad T = (K * S) / \sigma.$$

Ces deux relations sont particulièrement intéressantes dans le cas où

$$(3.15) \quad K * \sigma = \text{constante}$$

ou dans le cas où

$$(3.16) \quad K / \sigma = \text{constante}$$

pour une région donnée. Il est important de souligner que les deux relations analytiques sont valables pour un milieu poreux et isotrope. Pour l'aquifère de Rhode Island, le produit

$$(3.17) \quad K * \sigma = 1.55$$

était constant et la transmissivité de l'aquifère pouvait donc être calculée en utilisant la relation

$$(3.18) \quad T = 1.55 * R.$$

La qualité de l'eau était présumée constante sur l'ensemble de la région. En 1985 les mêmes auteurs ajoutaient à leur analyse une série de données similaires obtenues à Uttar Pradesh, en Inde. La relation analytique développée précédemment était modifiée afin de prendre en considération la qualité de l'eau. Cette fois le terme  $\sigma$  était remplacé par le terme  $\sigma'$  et le terme  $T$  par  $T'$ :

$$(3.19) \sigma' = \sigma * (p_{\text{eau}}/p_{\text{moyeau}}),$$

$$(3.20) T' = T * (p_{\text{moyeau}}/p_{\text{eau}})$$

avec

$p_{\text{eau}}$  = résistivité de l'eau

et

$p_{\text{moyeau}}$  = résistivité moyenne de l'eau pour le bassin étudié.

En combinant les observations de plusieurs auteurs, Mazac et al. (1985) ont démontré que les aquifères en milieu poreux, qui sont généralement hétérogènes et anisotropes, peuvent engendrer des relations de divers types (directe, inverse, linéaire et non-linéaire) entre les paramètres géophysiques et les propriétés hydrogéologiques. Ils ont suggéré le modèle hydrogéophysique illustré à la figure 3.3.

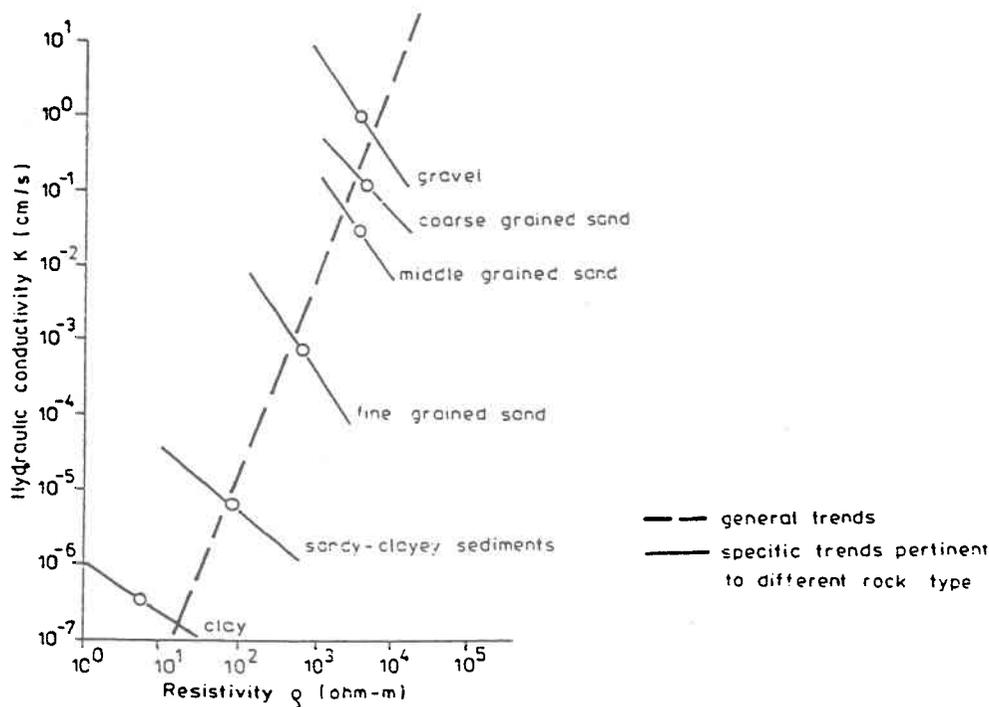


Figure 3.3a : Modèle hydrogéophysique (Mazac et al. 1985)

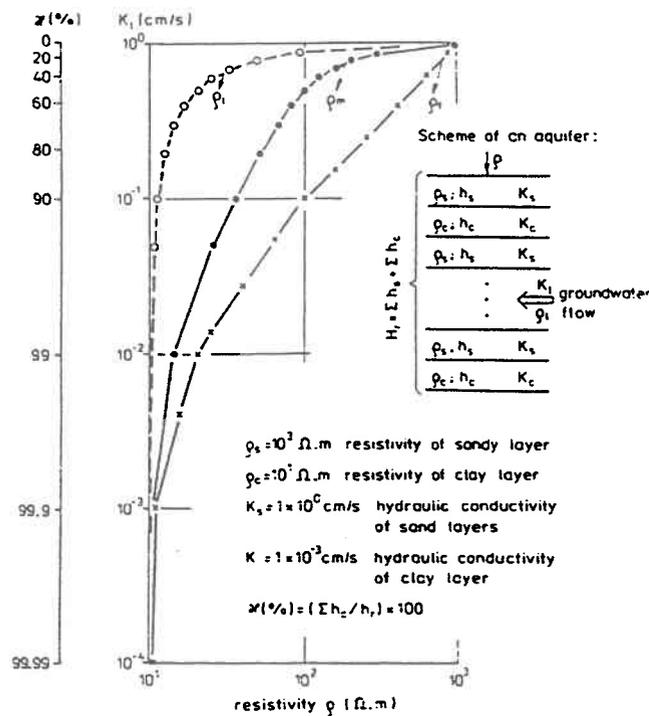


Figure 3.3b : Modèle hydrogéophysique (Mazac et al. 1985)

La figure 3.3a illustre que le caractère de la relation (directe ou inverse) dépend du type de matériel et de sa porosité. Les matériaux grossiers et plus résistifs ont généralement une conductivité hydraulique plus grande. Par contre, pour une même composition granulométrique, les matériaux qui présentent une plus grande résistivité ont une conductivité hydraulique plus faible. Dans la figure 3.3b la forme de la relation dépend de la direction d'écoulement, du litage et du type de résistivité électrique considéré (moyenne, longitudinale ou transversale).

En 1990, Mazac et al. élargissaient le domaine d'application des méthodes géophysiques en analysant et vérifiant plusieurs relations pour des milieux saturés et non-saturés et pour des milieux poreux et fracturés. Voici quelques exemples des relations obtenues:

- Relation directe pour un milieu poreux saturé, Bohême, République Tchèque:

$$(3.21) K(10^{-5} \text{ m/s}) = 0.01026 * p^{1.195}.$$

- Relations inverses pour deux milieux fracturés et saturés (la première est obtenue en laboratoire pour des roches métamorphiques fracturées alors que la seconde est obtenue par Dortman (1964) pour des roches effusives fracturées):

$$(3.22) (K) \text{ Porosité} = 213 * p^{-0.647},$$

$$(3.23) (K) \text{ Porosité} = 33.7 * p^{-0.268}.$$

### 3.2.3 Estimation des propriétés de la couche de protection

Les intervenants qui ont pour souci la préservation de la qualité de l'eau souterraine sont intéressés par les propriétés des couches naturelles qui agissent comme protection vis-à-vis des agents polluants. L'argile est la plus reconnue pour son pouvoir de protection. Sa très faible perméabilité intrinsèque lui permet de bloquer, ou du moins de retarder, l'infiltration des eaux de recharge contaminées jusqu'aux aquifères.

L'épaisseur de l'argile est une propriété importante pour la protection des aquifères. Pesti et al. (1993) s'y sont intéressés lors d'une étude géophysique réalisée près de Ashland au Nebraska, ainsi que Simard (1977) au cours de son étude hydrogéologique sur la région de Mirabel. Ce dernier a d'ailleurs classé la région en quatre zones distinctes selon la vulnérabilité des aquifères en tenant compte principalement de l'épaisseur de l'argile: la zone 1 n'offre aucune protection et se caractérise par un socle affleurant (et donc une épaisseur d'argile nulle); la zone 2 est classée vulnérable, on y trouve moins de 3m d'argile; la zone 3, où l'épaisseur de sédiments argileux varie entre 6 et 12m, offre une protection modérée; finalement, la zone 4, qui offre une bonne protection, contient plus de 12m d'argile.

Le TOT (time-of-travel) est une autre propriété importante de la couche de protection. Plus le TOT est élevé, plus il y a de temps alloué pour que les processus de dégradation, de dilution, de dispersion ou de remplacement affectent l'eau infiltrée.

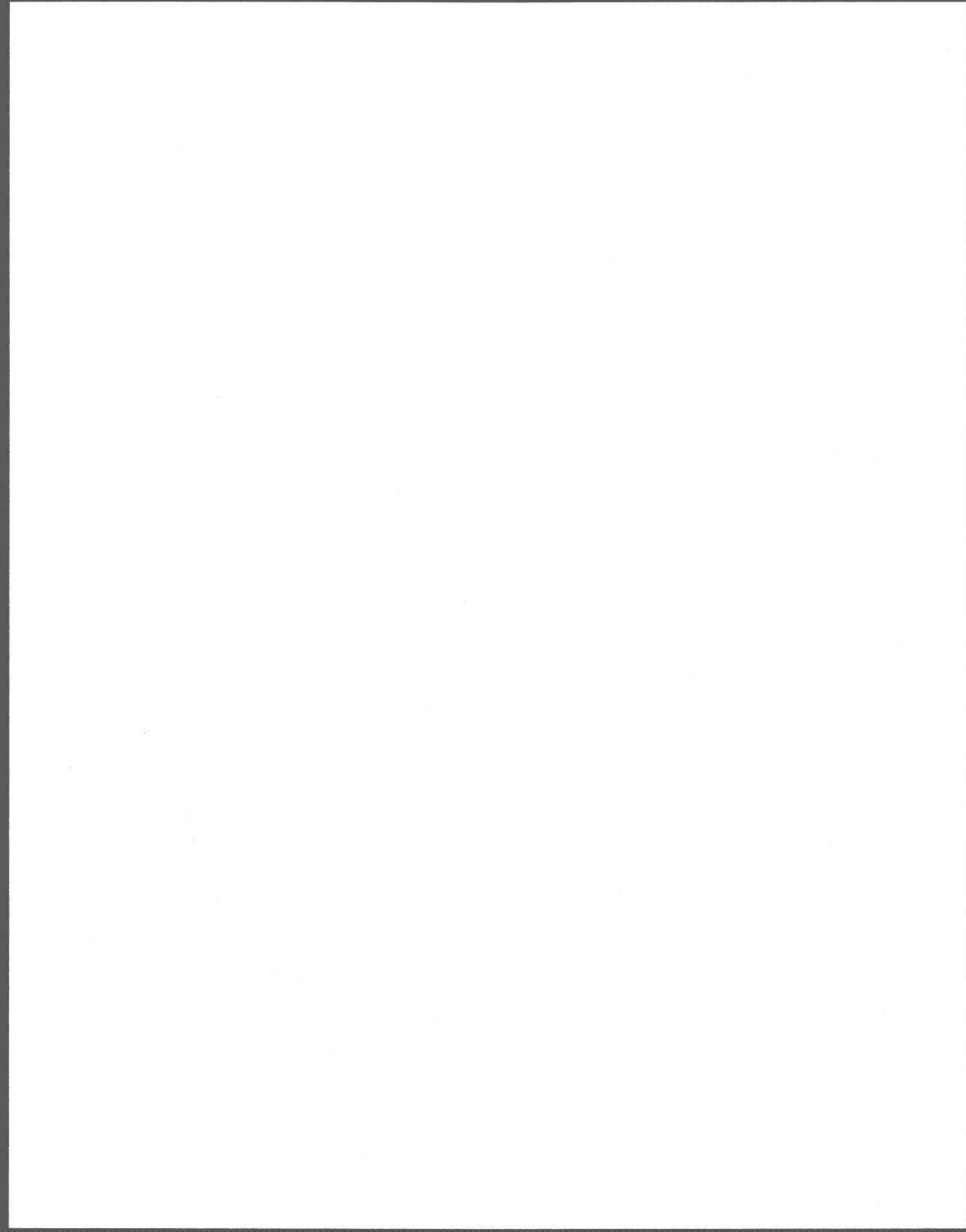
Kalinski et al. (1993) ont montré que la valeur de S (conductance longitudinale) de l'argile élevée au carré est directement proportionnelle à TOT dans le cas d'une couche de protection à composition argileuse et plus conductrice électriquement que l'aquifère.

$$(3.24) \text{ TOT} = C * S^2 / dh$$

où C est une constante et dh la différence de charge hydraulique entre le sommet et la base de la couche de protection. Afin d'évaluer  $S^2$  sans passer par tout le processus d'interprétation des courbes électriques, les auteurs ont effectué une analyse de régression entre les valeurs  $S_{\text{argile}}$  déjà calculées et les facteurs  $(AB/2)/p_a$  pour chacun des espacements AB/2 des sondages. Dans le cas d'une couche argileuse à Ashland au Nebraska, la relation la plus concluante entre  $p_a$  et  $S_{\text{argile}}$  est obtenue pour  $AB/2 = 14.7\text{m}$ :

$$(3.25) S_{\text{argile}} = -0.204 + (0.956 * (AB/2) / p_a)$$

(le coefficient de corrélation  $r^2$  est de 0.90). De cette façon il est donc possible d'estimer  $S_{\text{argile}}$  avec les résistivités apparentes seulement, ce qui diminue largement le temps nécessaire pour l'obtention des valeurs  $S_{\text{argile}}$ .



## **4 ANALYSE GÉOSTATISTIQUE**

---

### **4.1 Concepts théoriques**

D'abord développée pour l'estimation des réserves dans le domaine minier, la géostatistique s'applique dorénavant dans plusieurs disciplines des sciences naturelles. Un de ses avantages est qu'elle permet d'estimer la valeur d'une variable à partir des mesures voisines en tenant compte des éléments suivants: la région d'influence des mesures, la continuité ou non-continuité des mesures et l'anisotropie. Son avantage le plus important par rapport aux autres méthodes d'estimation est qu'elle permet de calculer l'erreur sur l'estimation.

La géostatistique est particulièrement prometteuse en sciences naturelles car elle permet de maximiser le rendement de chaque donnée. En effet, la cueillette d'information est souvent sujette à plusieurs contraintes (temps, argent, conditions météorologiques, etc.) et la géostatistique permet de coupler des observations de sources différentes et d'utiliser avec succès des données incertaines. Cependant dans certains cas la densité des mesures de terrain ne suffit pas et la géostatistique devient difficile d'application.

Les concepts théoriques présentés dans les paragraphes suivants proviennent principalement d'un document servant de support théorique pour le cours Estimation des réserves (1995) donné par M. Fitas du département de Mines et Métallurgie de l'Université Laval.

#### **4.1.1 Variables régionalisées**

Les valeurs qui doivent être estimées à l'aide de la géostatistique sont considérées comme des variables dites régionalisées. Une variable régionalisée possède deux composantes: la composante régionalisée, qui est fonction de la position dans le domaine et des mesures

voisines, et la composante aléatoire, qui est indépendante de l'un et de l'autre. Lorsque la composante aléatoire est très forte par rapport à la composante régionalisée, on parle alors de variables dites aléatoires et les méthodes de statistique classique sont préférablement utilisées.

#### 4.1.2 Variogrammes

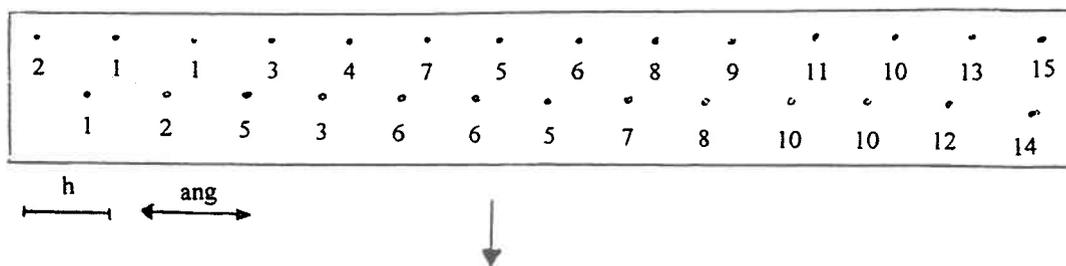
Le variogramme expérimental est l'outil fondamental de l'analyse géostatistique. Son principe est le suivant: plus deux mesures sont distantes l'une de l'autre et plus la variation entre ces mesures est grande. L'équation du variogramme  $\text{Var}(h, \text{ang})$  est présentée ci-dessous:

$$(4.1) \quad \text{Var}(h, \text{ang}) = (1/2n) * \text{Somme}(f(x_i) - f(x_i+h))^2.$$

Le variogramme (ou semi-variogramme) est égal à la demi-moyenne des variances pour des mesures  $f(x_i)$  séparées par la distance  $h$  dans la direction  $\text{ang}$ . Si les mesures sont placées sur une grille irrégulière on utilise alors  $h+d_h$  et  $\text{ang}+d_{\text{ang}}$ . La valeur  $n$  représente le nombre de couples de mesures séparés par la distance  $h$  dans la direction  $\text{ang}$ .

Le variogramme est calculé pour différentes valeurs de  $h$  et la courbe du variogramme est présentée sous la forme d'un graphique de  $\text{Var}(h, \text{ang})$  en fonction de  $h$ . Généralement le variogramme est calculé pour des valeurs  $h$  croissantes, jusqu'à une limite égale à la moitié de la longueur du domaine et il est préférable d'avoir au moins 30 couples de données pour chaque calcul. L'exemple ci-dessous (figure 4.1) illustre la construction d'une courbe de variogramme.

La courbe du variogramme fournit plusieurs informations. Par exemple, une courbe lisse est la signature de la continuité de la mesure, alors qu'une courbe irrégulière représente des discontinuités dans le domaine de la variable. La zone d'influence (symbolisée par la lettre  $a$ ) peut être mesurée en reportant la portion croissante de la courbe sur l'axe des  $x$ . Elle



$$\text{Var}(h,\text{ang}) = (1/(2*25)) * ((2-1)^2+(1-1)^2+(1-3)^2+(3-4)^2+\dots) = 1.68$$

$$\text{Var}(2h,\text{ang}) = (1/(2*23)) * ((2-1)^2+(1-3)^2+(1-4)^2+(3-7)^2+\dots) = 3.48$$

$$\text{Var}(3h,\text{ang}) = (1/(2*21)) * ((2-3)^2+(1-4)^2+(1-7)^2+(3-5)^2+\dots) = 5.43$$

$$\text{Var}(4h,\text{ang}) = (1/(2*19)) * ((2-4)^2+(1-7)^2+(1-5)^2+(3-6)^2+\dots) = 9.50$$

$$\text{Var}(5h,\text{ang}) = (1/(2*17)) * ((2-7)^2+(1-5)^2+(1-6)^2+(3-8)^2+\dots) = 13.18$$

$$\text{Var}(6h,\text{ang}) = (1/(2*15)) * ((2-5)^2+(1-6)^2+(1-8)^2+(3-9)^2+\dots) = 18.47$$

$$\text{Var}(7h,\text{ang}) = (1/(2*13)) * ((2-6)^2+(1-8)^2+(1-9)^2+(3-11)^2+\dots) = 23.50$$

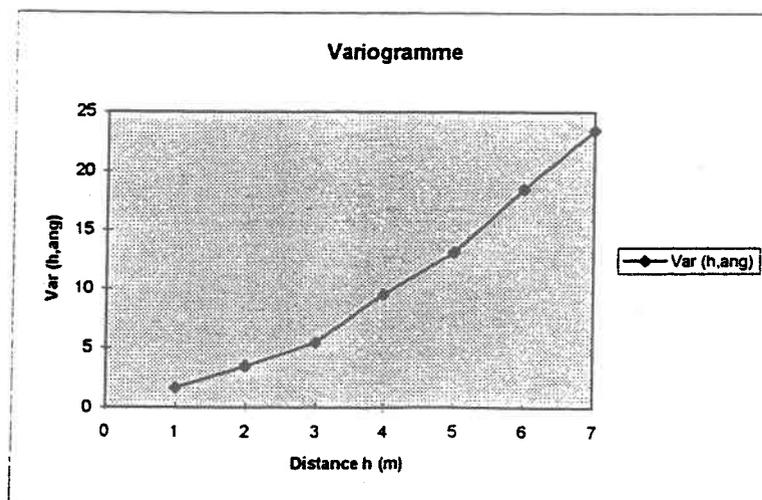


Figure 4.1 : Construction d'une courbe de variogramme

indique la distance au-delà de laquelle les mesures n'ont plus d'influence entre elles. Elle est aussi très utile lors de la planification du patron d'échantillonnage des données. Il est généralement admis que l'espacement entre les échantillons doit varier entre  $2a/3$  et  $3a/4$ . Le palier du variogramme ( $C+Co$ ) est égal à la valeur du variogramme pour des  $h$  supérieurs à la zone d'influence  $a$ . Il représente la moyenne des variances de toutes les mesures qui sont indépendantes entre elles. La composante aléatoire ( $Co$ ) est égale à l'intersection de la courbe sur l'axe des  $y$ . Cette valeur peut être influencée par l'incrément de  $h$  utilisé pour la construction de la courbe du variogramme. Plus l'incrément augmente et plus la composante aléatoire risque d'être élevée. La composante régionalisée ( $C$ ) se calcule en soustrayant la valeur de la composante aléatoire de la valeur du palier. Finalement, l'anisotropie se caractérise par des courbes qui changent d'allure selon la direction ang utilisée. L'anisotropie est dite géométrique lorsque seule la zone d'influence ( $a$ ) change selon la direction; elle est dite zonale lorsque le palier ou la forme de la courbe sont aussi modifiés en fonction de la direction.

#### 4.1.3 Modèles de variogrammes

Une fois que le variogramme expérimental est tracé, il importe de choisir un modèle d'ajustement qui convient le plus possible à la courbe. Plusieurs types de modèles existent, les plus fréquemment rencontrés sont présentés ci-dessous.

- Modèle linéaire:

$$(4.2) \quad \text{Var}(h) = k * h$$

$k$ : constante qui représente la pente de la droite

- Modèle de Wjjsian:

$$(4.3) \quad \text{Var}(h) = 3 * a * \log(h)$$

$a$ : zone d'influence des mesures

- Modèle exponentiel:

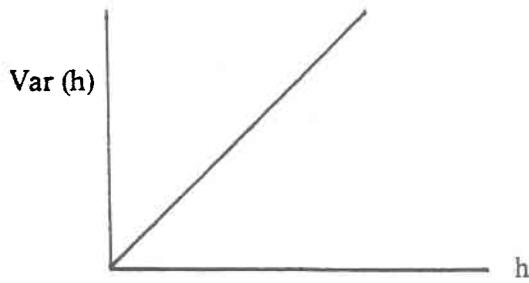
$$(4.4a) \quad \text{Var}(h) = (C * (1 - e^{-h/a})) + C_0 \quad \text{si } h < \text{ou} = a$$

$$(4.4b) \text{Var}(h) = C + C_0 \quad \text{si } h > a$$

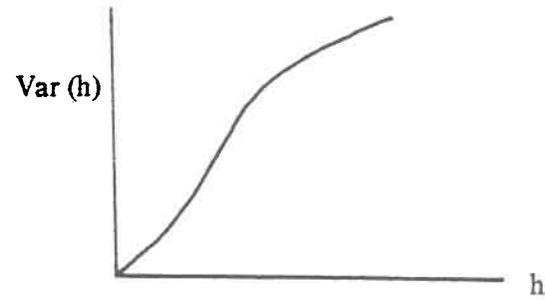
$C$ : composante régionalisée de la variation des mesures

$C_0$ : composante aléatoire de la variation des mesures

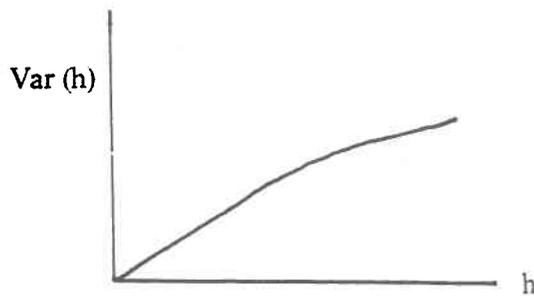
$C + C_0$ : palier du variogramme



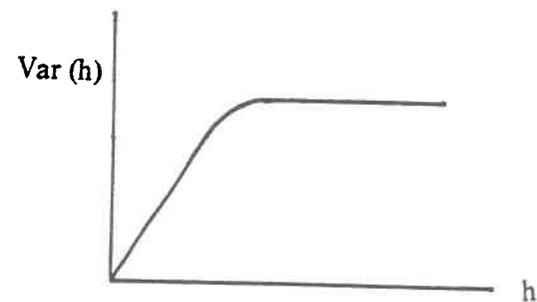
Modèle linéaire



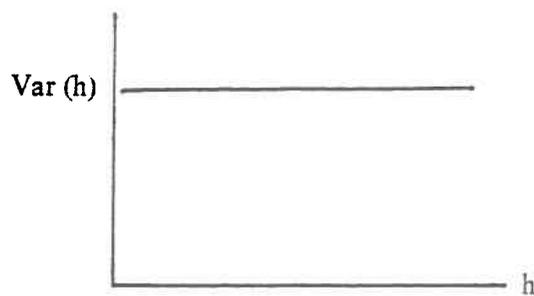
Modèle de Wjrsian



Modèle exponentiel



Modèle sphérique



Modèle avec effet de pépite pur

Figure 4.2 : Modèles d'ajustement des variogrammes

- Modèle sphérique:

$$(4.5a) \text{ Var}(0) = 0$$

$$(4.5b) \text{ Var}(h) = (C * (3h/2a - h^3/2a^3)) + C_0 \quad \text{si } h < \text{ou} = a$$

$$(4.5c) \text{ Var}(h) = C + C_0 \quad \text{si } h > a$$

- Modèle avec effet de pépite pur:

$$(4.6a) \text{ Var}(h) = C_0$$

$$(4.6b) \text{ Var}(0) = 0$$

La figure 4.2 illustre les modèles décrits précédemment.

#### 4.1.4 Krigeage

En cours d'estimation, la valeur que prend la variable en un point est évaluée à l'aide d'une combinaison linéaire avec les mesures voisines:

$$(4.7) \text{ Variable} = \text{Somme} (w_i * \text{mesure}_i)$$

où  $w_i$  est le poids de la mesure  $i$ . Le krigeage, qui est l'étape qui suit la construction du variogramme expérimental, est une méthode de calcul des poids  $w_i$  qu'il faut donner à chaque mesure. Il permet de trouver la fonction d'estimation linéaire pour laquelle la variance de l'erreur d'estimation est la plus faible.

Il existe plusieurs techniques de krigeage dont le krigeage avec des données incertaines, qui tient compte de l'incertitude sur les valeurs, et le co-krigeage, qui permet de combiner deux sources d'informations différentes.

## 4.2 Exemples d'utilisation de la géostatistique en hydrogéologie

Les paragraphes qui suivent présentent quelques applications de la géostatistique en hydrogéologie.

Bardossy et al. (1986) ont construit des cartes isocontours de capacités spécifiques en couplant deux sources d'information différentes: les capacités spécifiques déduites lors des essais de pompage (source considérée certaine) et les capacités spécifiques estimées à l'aide d'une relation avec les propriétés électriques des aquifères (source considérée incertaine). Le co-krigeage et le krigeage simple avec des données incertaines ont été testés, la première méthode s'étant avérée la plus efficace.

En 1993, Kalinski et al. utilisaient avec succès le krigeage avec des données incertaines. La construction d'une carte de conductance longitudinale ( $S$ ) pour l'argile fut réalisée en utilisant une relation entre les résistivités apparentes pour  $AB/2 = 14.7\text{m}$  et la valeur  $S_{\text{argile}}$ . La carte ainsi tracée a permis de couvrir un plus grand territoire que l'aurait fait le krigeage ordinaire avec seulement les valeurs de  $S_{\text{argile}}$  obtenues par l'interprétation des sondages.

Pesti et al. (1993) ont utilisé le co-krigeage afin de coupler les informations sur l'épaisseur de la couche argileuse près de Ashland au Nebraska. Une partie de l'information provenait de données de forage alors que l'autre partie provenait de sondages électriques. Dans ce cas aussi, les résultats sont plus satisfaisants lorsque le co-krigeage est utilisé à la place du krigeage ordinaire (avec les données de forage seulement).

Pour ce qui a trait à la qualité de l'eau souterraine, le co-krigeage a aussi fait ses preuves lorsque Park et Bentley, en 1996, ont estimé la valeur des TDS de l'eau souterraine en combinant des mesures directes de TDS et des estimations obtenues à l'aide d'une relation avec la conductivité électrique de l'eau.



## 5 TRAVAUX DE TERRAIN ET INTERPRÉTATION

### DES COURBES ÉLECTRIQUES

Les travaux de terrain se sont échelonnés sur les mois de juin, juillet et août 1995, ainsi que sur une semaine à la fin du mois de mai 1996. Durant cette période, 531 sondages électriques abrégés et 32 sondages complets ont été réalisés.

#### **5.1 Caractéristiques des sondages**

Les sondages abrégés devaient être rapides d'exécution. Pour ce faire, chaque sondage ne comprenait que six espacements AB seulement, lesquels étaient constants pour tous les sondages: 4, 8, 30, 80, 150, et 200m. L'espacement maximal de 200m devait suffire à obtenir une profondeur de pénétration permettant d'atteindre le roc puisque, au début des travaux de terrain, la profondeur moyenne de pénétration des sondages fut fixée à environ  $AB/8$  et la profondeur moyenne du roc estimée à 14.10m par les données de forage. La topographie plutôt plane de la région permettait de croire que la surface du roc l'était aussi et que les différentes couches de dépôts meubles s'empilaient uniformément les unes au-dessus des autres. Du même coup, et aussi parce que l'espacement maximal entre les électrodes était assez court, les propriétés électriques du milieu en chaque point de mesure sont considérées, à priori, comme latéralement constantes. Chaque sondage nécessitait environ 20 minutes d'intervention. Les sondages portent les noms RE-1 à RE-531.

Les sondages complets, dispersés uniformément sur tout le territoire, ont servi à la calibration de la méthode. Il fallait en moyenne une heure pour réaliser un sondage, qui était composé de 19 espacements AB échelonnés entre 4 et 400m. Les sondages complets portent les noms Sondage 1 à Sondage 42 (les sondages 21, 22, 23, 25, 26, 28, 29, 30, 31, et 32 sont écartés et ont servi à une autre étude).

## 5.2 Positionnement des sondages

Tous les sondages furent effectués le long des routes et des chemins dans les champs, à des intervalles variant entre 500m et 1km. Ils étaient positionnés au fur et à mesure sur des cartes topographiques 1:20000. Par la suite les coordonnées MTM étaient lues sur les cartes, puis converties en coordonnées UTM grâce à un logiciel créé par Pierre Therrien du département de géologie et génie géologique de l'Université Laval. La figure 5.1 illustre la répartition des sondages complets et abrégés sur le territoire d'étude.

Dans le choix des emplacements des sondages, une attention particulière devait être portée afin de se tenir éloigner des éléments pouvant perturber les relevés. Les fossés remplis d'eau, les canalisations enfouies, les câbles téléphoniques souterrains, les clôtures, les lignes électriques et les mises à la masse étaient autant d'éléments fréquemment rencontrés le long des routes et susceptibles d'altérer les résultats.

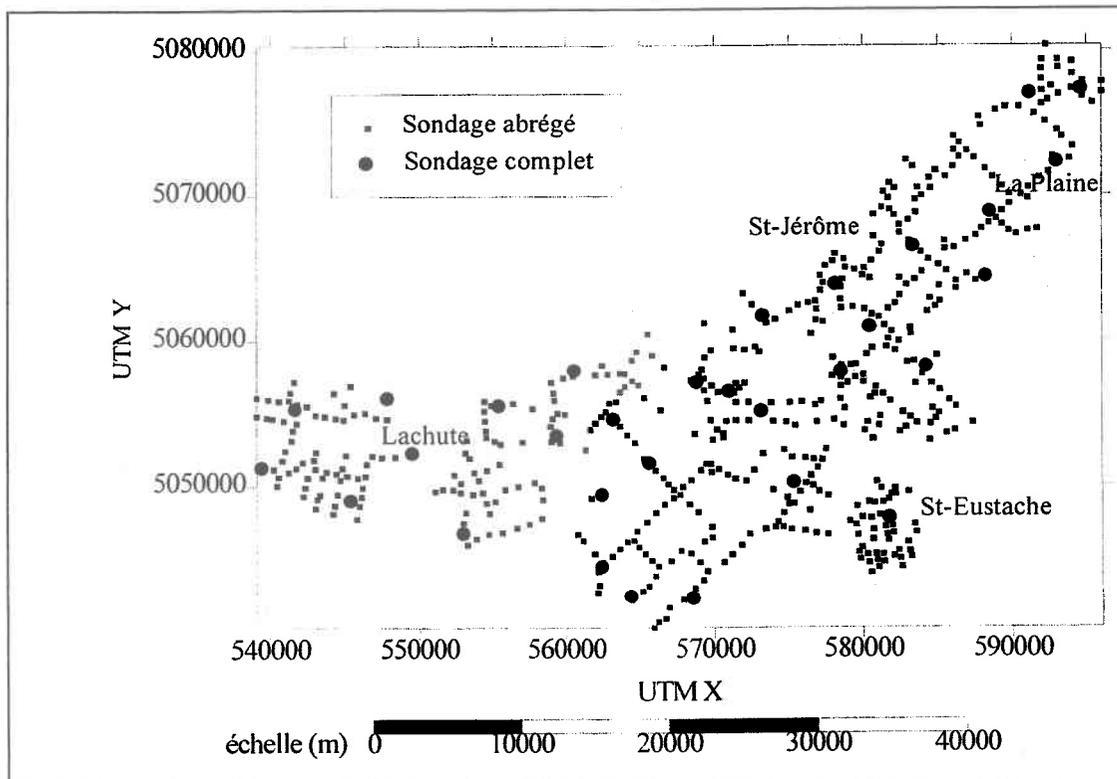


Figure 5.1 : Localisation des sondages électriques

### **5.3 Équipement et main-d'oeuvre**

L'appareil utilisé était un résistivimètre terrameter SAS 300B de ABEM. Cet appareil permettait d'envoyer un courant maximal de 20 mA dans le sol. Des électrodes métalliques furent employées pour l'envoi du courant et pour la mesure des différences de potentiel. Un ruban à mesurer, des marteaux, des bobines de fil et des cartes topographiques étaient aussi nécessaires. Les opérateurs devaient être au nombre de trois afin d'assurer le bon déroulement des opérations: un premier situé au centre du dispositif devait contrôler l'envoi de courant et noter les résultats; les deux autres étaient positionnés aux points de pénétration du courant et déplaçaient les électrodes AB.

L'annexe 1 présente les résistivités apparentes pour les six espacements AB choisis de chacun des sondages. L'élévation en mètres au-dessus du niveau de la mer, l'orientation du relevé et le type de courbe électrique sont aussi fournis. L'annexe 2, semblable à l'annexe 1, donne le détail des résultats obtenus pour les sondages complets.

L'élévation a été estimée sur la carte topographique au 1/20000 et l'orientation du relevé simplifiée à l'une des quatre orientations suivantes: 0, 45, 90 ou 135 degrés (0 degré étant orienté est-ouest et 90 degrés nord-sud), lesquelles coïncident avec les orientations des principales routes de la région. Les types de courbes électriques sont nommés selon les critères énumérés par Zohdy (1974), sauf pour les types de courbe à deux couches qui sont nommés de la façon suivante: 2P représente deux couches dont la deuxième a une résistivité plus élevée que la première, 2M représente l'inverse.

### **5.4 Interprétation des courbes électriques**

L'interprétation des courbes électriques, c'est-à-dire la transformation des courbes en modèles électriques composés de couches ayant pour caractéristiques principales une résistivité et une épaisseur, a été réalisée en trois étapes distinctes.

### Étape #1:

Tout d'abord les courbes ont été interprétées de façon automatique à l'aide du logiciel ATO (Zohdy et Bisdorf 1989). Les entrées sont les espacements AB/2 et les résistivités apparentes. En sortie on obtient un modèle électrique, lequel est composé de 11 couches en moyenne pour les sondages effectués dans le cadre de ce travail.

### Étape #2:

Ce modèle est ensuite modifié graphiquement selon la méthode proposée par Zohdy et Bisdorf (1989). Il est simplifié en un modèle qui contient moins de couches (2.76 couches en moyenne pour l'ensemble des sondages). La figure 5.2 illustre un exemple de simplification graphique.

### Étape #3:

Finalement, la simplification graphique est vérifiée et ajustée à l'aide d'un deuxième logiciel, SOUNDER. Ce logiciel interactif calcule la courbe électrique du modèle suggéré (celui obtenu à l'étape #2), il est ensuite possible de modifier le modèle de façon à ce que la courbe calculée s'approche le plus possible de la courbe observée.

Ce processus d'interprétation a été appliqué de façon systématique pour l'ensemble des sondages réalisés. L'uniformité de la démarche s'imposait étant donné la quantité des relevés effectués. L'étude plus approfondie des 31 sondages complets a permis de constater que les modèles obtenus peuvent être calés sur les données de forage dans 22 cas sur 27 (voir section 6.3).

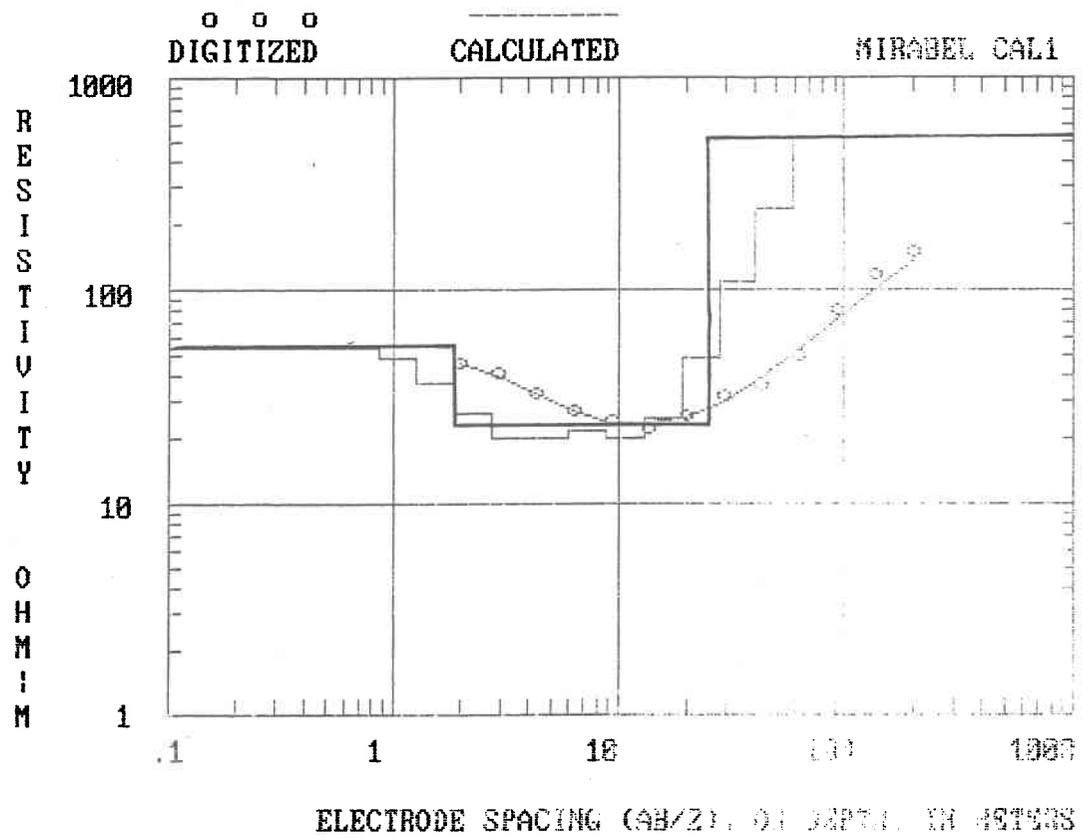
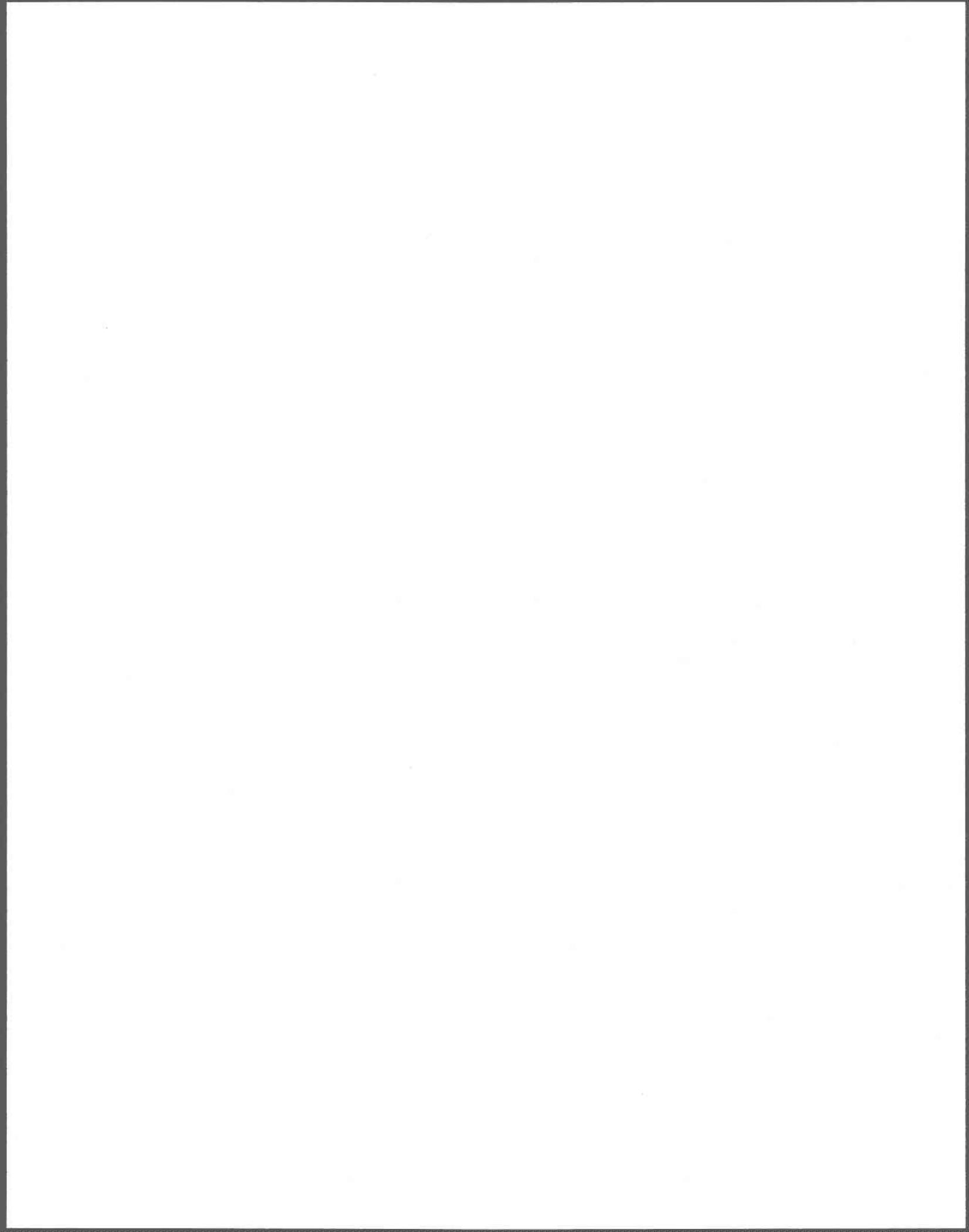


Figure 5.2 : Simplification graphique d'un modèle électrique



## **6 RÉSULTATS ET DISCUSSION**

Toutes les cartes présentées dans cette section ont été réalisées grâce au logiciel SURFER. La grille d'interpolation a une dimension d'environ 1160m x 1180m qui peut varier légèrement selon les fichiers de données utilisés. Les valeurs aux intersections de la grille sont calculées selon la méthode de l'inverse à la distance au carré, avec un rayon de recherche de 4000m. Les contours ne sont pas basés sur des intervalles réguliers mais sur une distribution probabiliste. Ainsi 20% des données sont comprises entre deux isocontours pour un total de 5 intervalles. De cette façon les cartes sont plus simples et plus claires.

### **6.1 Types de courbes électriques**

Pour une région de grande superficie, comme celle de Mirabel, les courbes électriques ne sont généralement pas toutes du même type. Le regroupement des types de courbes permet, dans une première approche d'analyse des données, de positionner les principales limites entre les différentes séquences hydrogéologiques.

A chacun des types de courbes électriques un symbole différent fut attribué. La figure 6.1 illustre la distribution des différents symboles sur l'ensemble de la région.

Il n'est pas possible de faire des regroupements dans la région de Mirabel puisque les courbes de type 2P et H, qui sont les plus fréquemment rencontrées, sont distribuées de façon uniforme sur toute la région. Dans plusieurs cas les courbes de type H pouvaient être confondues avec le type 2P lorsque la résistivité de la première couche était à peine plus élevée que la résistivité de la deuxième couche.

Les courbes de type 2P et A sont souvent voisines. Le principe de suppression fait en sorte que des courbes de type A sont parfois confondues avec des courbes de type 2P.

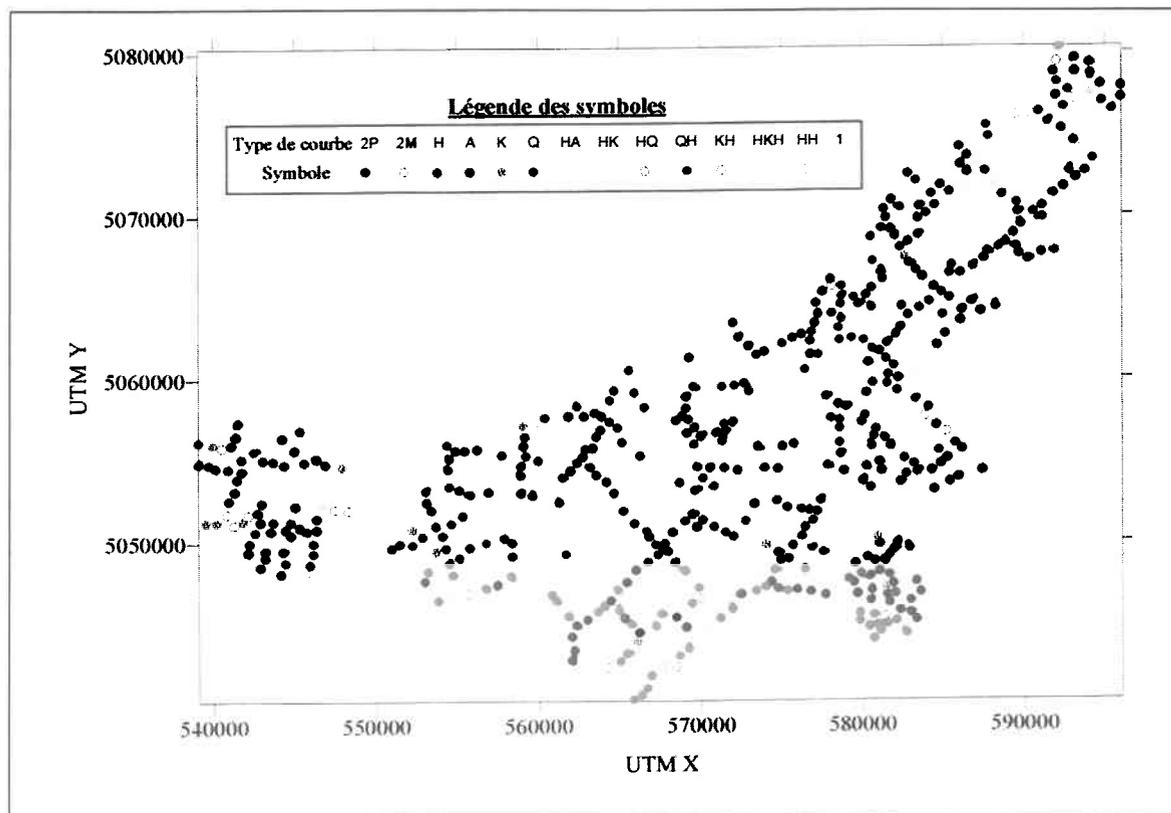


Figure 6.1 : Types de courbes électriques

Finalement, les courbes à plus de trois couches sont principalement localisées aux extrémités est et ouest de la région et aussi sur la bordure sud, ce qui indique une complexité plus grande de la séquence hydrogéologique à ces endroits.

## 6.2 Cartes isocontours de résistivité apparente

Six cartes isocontours de résistivité apparente ont été créées, soit une pour chacun des espacements AB utilisés lors des travaux de terrain. Leur utilité réside dans le fait qu'elles permettent de faire, avant même l'interprétation des sondages en modèles électriques, quelques hypothèses sur la distribution des différents types de dépôts meubles et sur la surface du socle rocheux.

Pour de faibles espacements AB (4m et 8m), les variations latérales de résistivité apparente représentent surtout des variations dans la composition du matériel de surface. Pour la région de Mirabel, les zones plus résistives sont associées à du sable fluvial ou à un till sableux affleurant. C'est le cas notamment pour les zones en bordure de la rivière du Nord et du lac des Deux-Montagnes. Les zones moins résistives sont, quant à elles, associées aux secteurs où l'argile est le principal matériel affleurant. Ces observations sur les relations entre les résistivités apparentes pour de petits espacements AB et la nature du matériel affleurant peuvent être vérifiées en comparant les figures 6.2a et 6.2b à la carte des dépôts de surface de Maranda (1973).

Avec des espacements AB de 30m et de 80m, il est possible d'atteindre le roc dans certains cas. Par exemple, au sud de St-Jérôme, on peut supposer que le roc est plus près de la surface car les résistivités sont plus élevées. À cet endroit le socle rocheux est composé du grès de Postdam, lequel est moins vulnérable à l'altération que les dolomies et les calcaires (qui composent la majorité du socle rocheux dans la région). L'épaisseur de dépôts meubles y est plus faible (voir la figure 6.10b d'épaisseur totale de dépôts meubles obtenue à partir d'une compilation des données de forage). En comparant les figures 6.2c et 6.2d à la figure 6.10b, on observe que les zones plus résistives coïncident en effet avec les zones de faibles épaisseurs des dépôts meubles, et par conséquent avec les zones où le roc est plus près de la surface.

Lorsque le roc n'est pas atteint, les variations latérales de résistivité peuvent être expliquées par des variations latérales dans la nature des matériaux. Par exemple, l'argile, placée côte à côte avec le till engendre une différence de résistivité. Il faut noter cependant que le till est aussi une indication de la proximité du roc.

Enfin, la zone fortement résistive au sud-ouest de Lachute semble indiquer une grande épaisseur de sable de surface qui se prolonge en profondeur; il y a d'ailleurs plusieurs sablières dans ce secteur, ce qui vient appuyer cette dernière hypothèse.

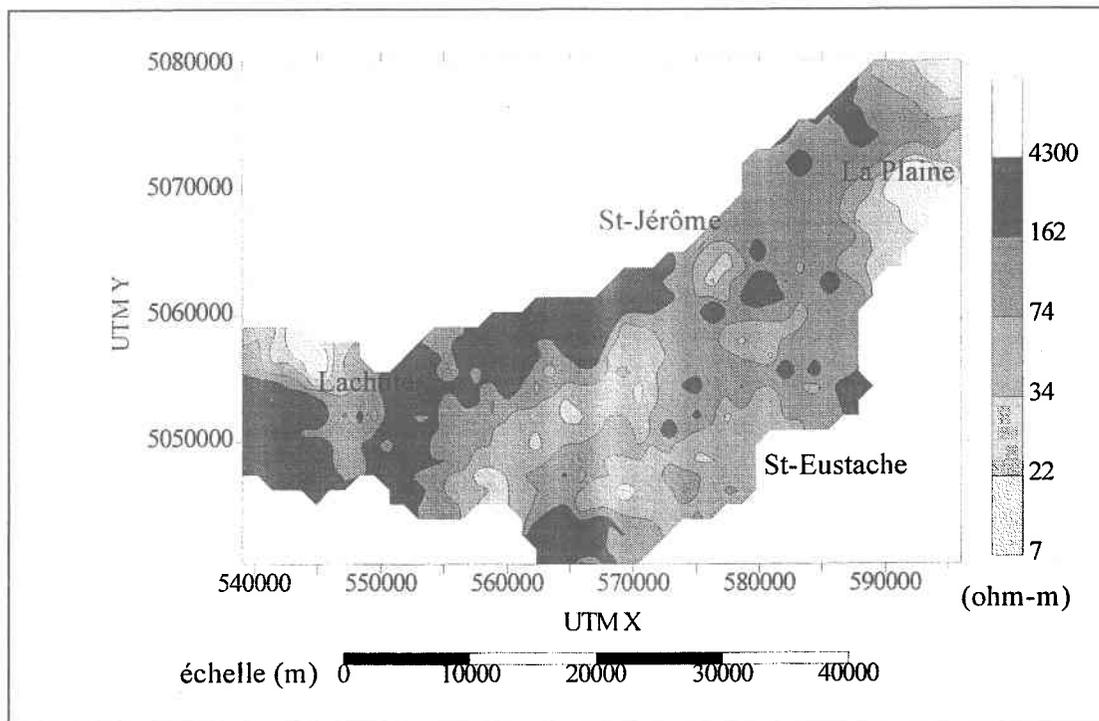


Figure 6.2a : Résistivité apparente pour AB = 4m

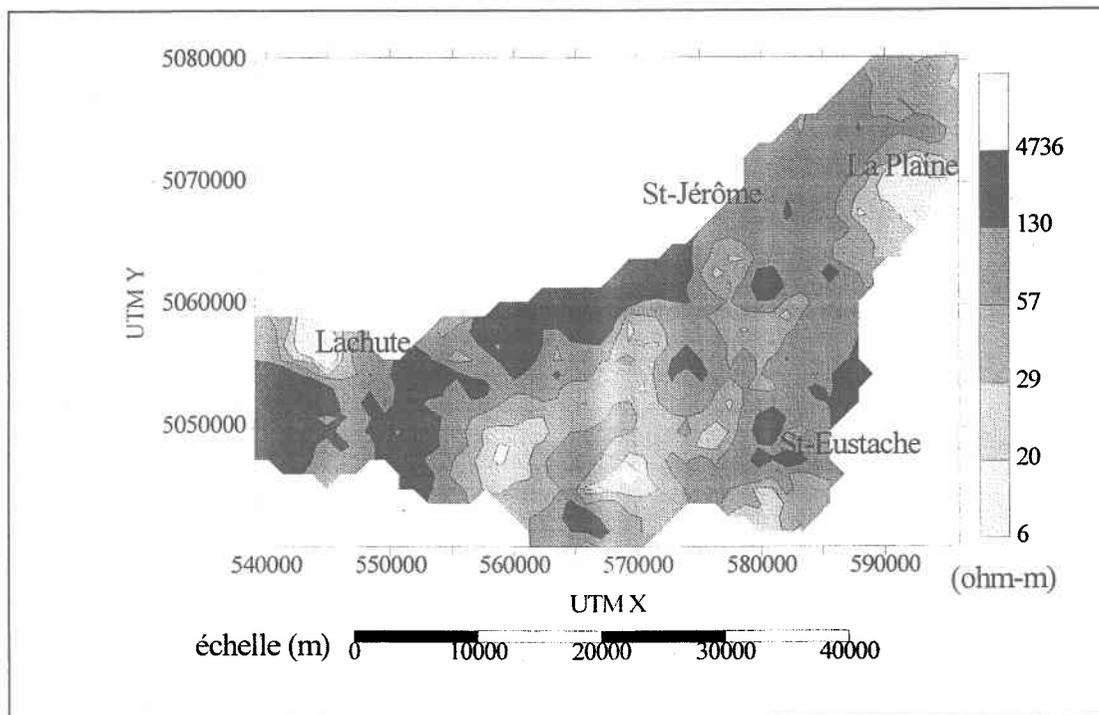


Figure 6.2b : Résistivité apparente pour AB = 8m

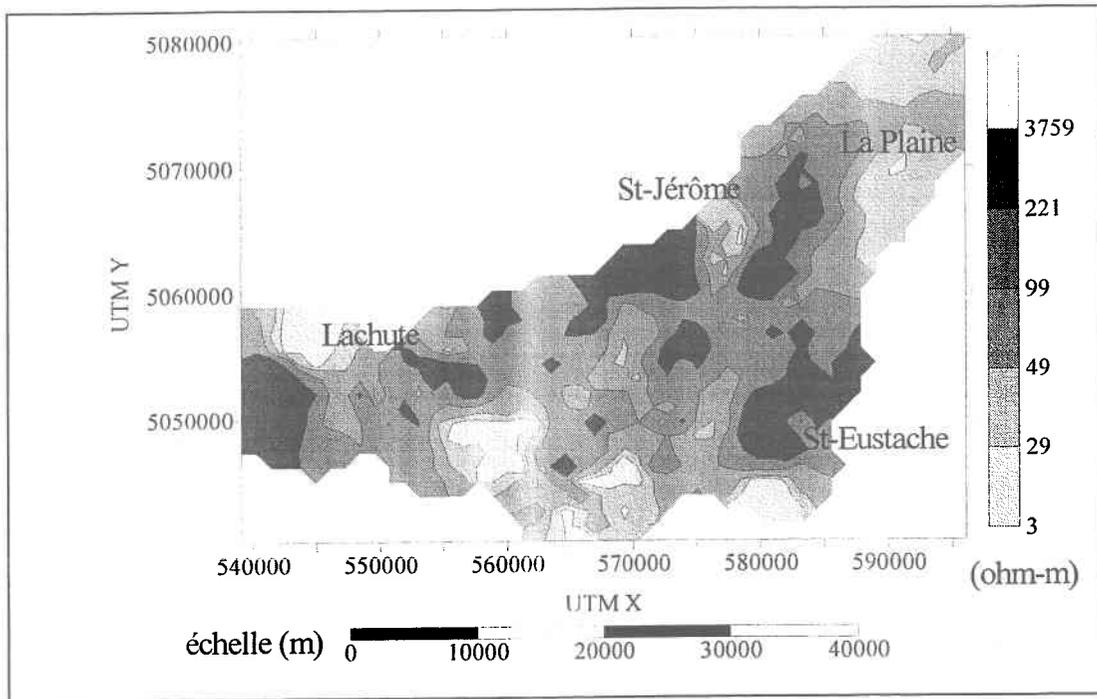


Figure 6.2c : Résistivité apparente pour AB = 30m

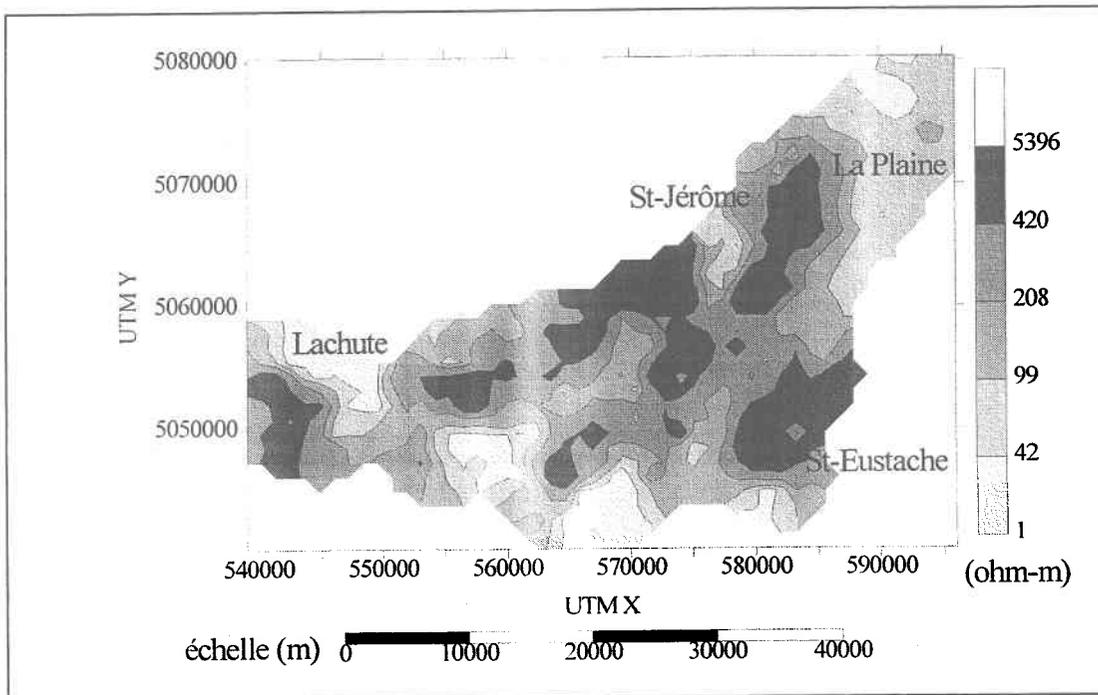


Figure 6.2d : Résistivité apparente pour AB = 80m

Pour les espacements AB de 150m et 200m, la surface du roc devrait être atteinte dans la majorité des cas. En effet, tel qu'il a été mentionné initialement, la profondeur moyenne des sondages équivaut à  $AB/8m$  (soit une profondeur de 18.75m pour un AB de 150m et de 25m pour un AB de 200m) et le socle rocheux est situé, en moyenne, à 14.10m sous la surface. Cependant les forts contrastes de résistivité apparente et l'abondance des faibles valeurs laissent présager que la surface du roc est irrégulière et qu'elle n'est pas toujours atteinte, contrairement à ce qui avait été supposé précédemment. La surface du roc semble creusée en vallées dont les orientations sont environ de 35 degrés au centre de la région. A cause de cette orientation particulière, les événements qui ont modelé ces vallées sont possiblement associés à la dernière glaciation. En effet, Hillaire-Marcel (1974) parle d'un recul progressif de l'inlandsis wisconsinien selon une direction S.S.O.-N.N.E.; Prichonnet (1977) élargit les orientations probables du mouvement en parlant d'une direction qui oscille entre le SE et le SO.

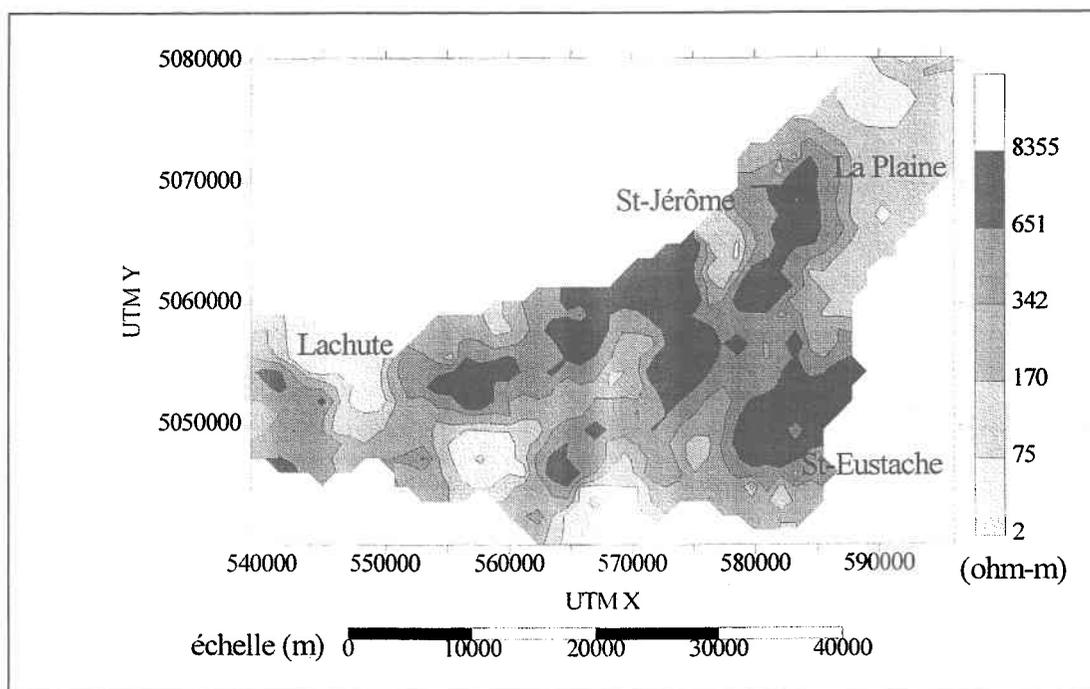


Figure 6.2e : Résistivité apparente pour AB = 150m

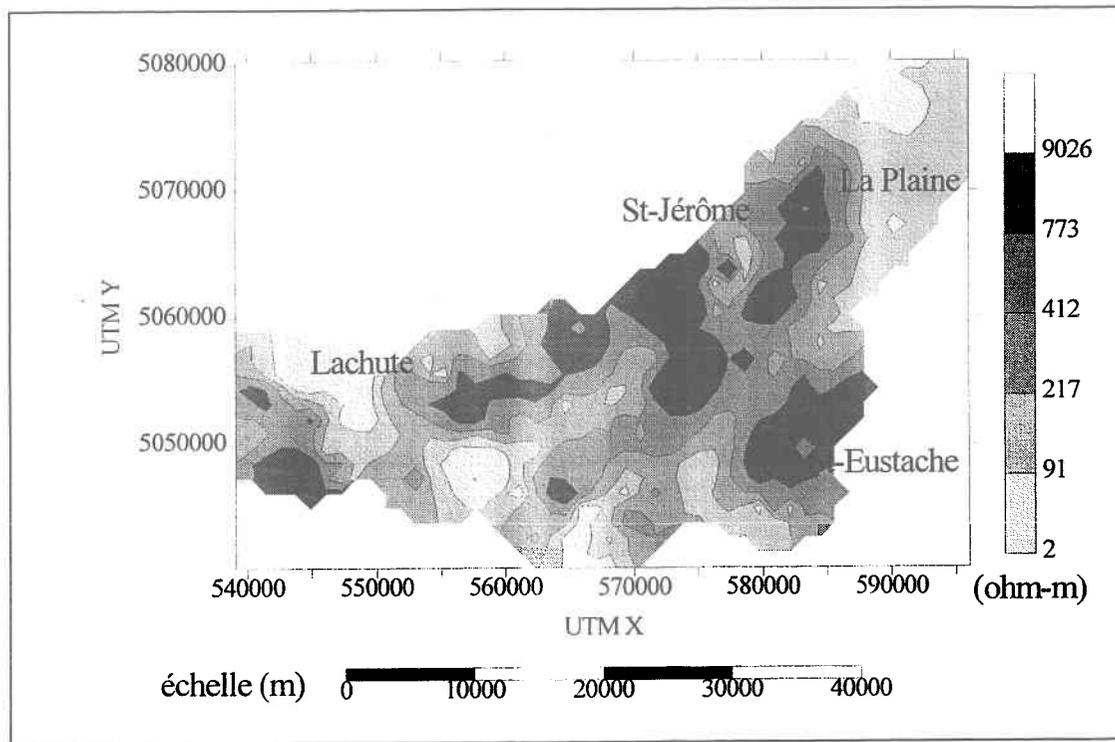


Figure 6.2f : Résistivité apparente pour AB = 200m

A l'est de la région, la zone de faible résistivité coïncide avec la limite des calcaires selon une orientation nord-sud. Cette zone correspond aussi à des valeurs de transmissivité plus élevées (Simard 1977) et donc à un plus grand potentiel aquifère.

### 6.3 Calibration des courbes électriques

Les 31 sondages électriques complets ont permis d'établir une échelle de résistivités pour les types de matériaux rencontrés dans la région. Chacun des sondages était comparé aux forages avoisinants dans une limite de 2000m.

Quatre sondages ont été écartés dans un premier temps puisqu'il n'y avait pas de forage à l'intérieur de la limite des 2000m. Sur les 27 sondages restants, cinq autres ont dû être écartés, soit parce que les forages répertoriés montraient une forte variation latérale dans la

nature et l'épaisseur des matériaux (2), soit parce que les données de forage ne collaient pas du tout avec les modèles électriques obtenus (3). Dans ce dernier cas il est possible que ce soit aussi les fortes variations latérales géologiques qui perturbent la calibration des sondages électriques; la densité des forages à ces endroits ne permettant pas de vérifier cette hypothèse. Les cinq sondages pour lesquels un problème de calage avec les données de forage est observé sont situés dans la moitié ouest de la région d'étude. Il semble donc que ce secteur présente des conditions physiques pouvant parfois troubler l'interprétation des sondages électriques. Cependant il faut noter que dans le même secteur d'autres sondages complets ont pu être calés sur les données de forage.

Les résultats de la calibration sont présentés dans le tableau 6.1 suivant.

Tableau 6.1 : Calibration des sondages électriques

| Type de dépôt meuble | Résistivités (ohm-m) |         |         |            |               |
|----------------------|----------------------|---------|---------|------------|---------------|
|                      | minimum              | maximum | moyenne | écart-type | selon Telford |
| Sable                | 170                  | 170     | 170     | -          | 10-800        |
| Argile               | 2                    | 51      | 23      | 13         | 1-100         |
| Till                 | 19                   | 563     | 157     | 184        | 1-800         |
| Sable-gravier        | 43                   | 830     | 338     | 284        | 10-800        |
| Roc                  | 510                  | 10000   | 4964    | 3595       | 300-1000000   |

Bien que les intervalles proposés par Telford soient très étalés, on constate que les ordres de grandeur obtenus pour la région de Mirabel sont comparables à ceux de Telford.

### **6.3.1 Caractéristiques électriques des différents types de dépôts meubles**

A cause de sa résistivité plus élevée, le sable de surface (éolien ou alluvial) est facilement détecté sur les courbes électriques lorsque la couche d'argile est présente. Dans les cas où l'épaisseur de sable est faible, c'est-à-dire environ moins de 2m, il peut s'agir de remblai de route.

L'argile est la couche la plus facilement détectée sur les courbes électriques, d'une part à cause de sa faible résistivité et d'autre part à cause de son épaisseur généralement importante (13.29m en moyenne dans la région de Mirabel, selon une compilation des données de forage, banque BDH du MEF).

Le till a une résistivité étalée qui varie en fonction de sa composition et plus précisément de son contenu en argile. Il est souvent affleurant et donc visible sur les courbes électriques; cependant il peut être oublié en cours d'interprétation lorsqu'il est mince et coïncé entre une épaisse colonne d'argile et du roc frais. Le tableau 6.2 fournit les valeurs de détectabilité moyenne (soit le rapport épaisseur moyenne sur profondeur moyenne) pour chacun des types de dépôts meubles rencontrés. (Pour un horizon donné, les valeurs sont calculées en considérant seulement les forages pour lesquels l'horizon est observé.)

Tableau 6.2 : Détectabilité des différentes couches

| Type de dépôt meuble | Moyenne   |            |               |
|----------------------|-----------|------------|---------------|
|                      | épaisseur | profondeur | détectabilité |
| Sable                | 3.91      | 0          | -             |
| Argile               | 13.29     | 1.36       | 9.77          |
| Till                 | 8.47      | 5.99       | 1.41          |
| Sable-gravier        | 6.25      | 12.98      | 0.48          |
| Roc altéré-fissuré   | 6.81      | 9.41       | 0.72          |

Le sable-gravier fluvioglaciale a une résistivité moyenne qui est comparable à celle du till. En l'absence de données de forage il est presque impossible de savoir s'il s'agit de l'un ou de l'autre. L'étalement des valeurs (voir l'annexe 3 qui fournit le détail de l'interprétation des sondages complets) peut provenir d'une composition plus ou moins riche en argile ou de l'état de saturation variable entre deux sites. Vu sa faible épaisseur par rapport à sa profondeur, la plus faible détectabilité est atteinte pour cette couche.

Finalement le roc a généralement une résistivité suffisamment élevée pour contraster avec les dépôts meubles. Dans les cas où les valeurs de résistivité sont faibles (voir annexe 3), le

roc est altéré ou fissuré et il peut être confondu avec les deux horizons précédents. La détectabilité du roc altéré est faible.

### 6.3.2 Modèle géoélectrique conceptuel

La figure 6.3 illustre le modèle géoélectrique conceptuel élaboré à partir des observations précédentes et qui sera utilisé pour la seconde phase de l'interprétation des courbes électriques.

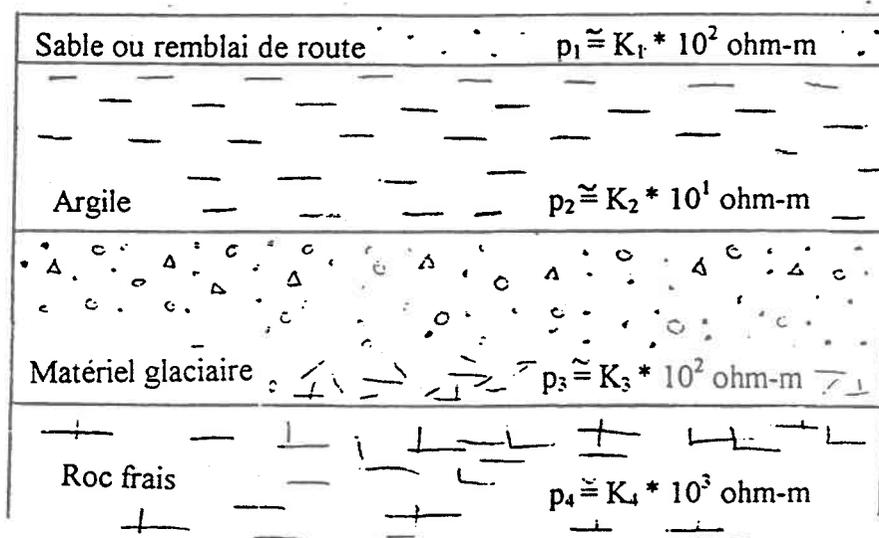


Figure 6.3 : Modèle géoélectrique conceptuel

Le modèle est composé de quatre couches. La première représente le sable de surface, ou le remblai de route, et a une résistivité de l'ordre de quelques centaines d'ohm-mètres. La deuxième représente l'argile; elle a une résistivité de quelques dizaines d'ohm-mètres. La troisième couche, dont la résistivité est de l'ordre de plusieurs centaines d'ohm-mètres, est composée à la fois du till, du sable-gravier et du roc altéré et est nommée, pour ce travail, couche de matériel glaciaire. Cette couche composite est plus facilement détectable que les couches qui la composent prises individuellement puisque son épaisseur est plus grande.

Finalement, le roc sain représente la couche de base et sa résistivité est de l'ordre de quelques milliers d'ohm-mètres. L'appellation roc sain signifie dans ce travail que le roc n'est pas ou est peu altéré mais il est néanmoins presque toujours fracturé.

## 6.4 Nature et épaisseur des dépôts meubles

Dans la seconde phase d'interprétation des courbes électriques, chaque couche du modèle électrique obtenu à la suite de la première phase d'interprétation (section 6.3) est associée à l'un ou l'autre des horizons du modèle géoélectrique conceptuel. Les résultats sont présentés dans l'annexe 4. Dans plusieurs cas, un ou plusieurs des horizons du modèle conceptuel sont manquants à cause de l'hétérogénéité de la mise en place des dépôts meubles.

Dans d'autres cas l'épaisseur totale des dépôts meubles (soit la somme des épaisseurs des trois premières couches du modèle géoélectrique conceptuel) ne pouvait être déterminée puisque les sondages ne pénétraient pas jusqu'au roc sain. Pour contrer ce problème, une analyse de l'épaisseur d'argile (*argile\_b*) versus l'épaisseur totale des dépôts meubles (*dépôts\_b*) a été effectuée avec les données de forage. Cette analyse a montré que l'épaisseur totale des dépôts meubles est généralement égale à

$$(6.1) \quad \text{dépôts\_b} = (1.09 * \text{argile\_b}) + 4.33$$

soit environ 4.33 mètres de plus que l'épaisseur d'argile. Le graphique de la figure 6.4 présentent les résultats de l'analyse. Chaque point de la courbe représente la moyenne de l'épaisseur totale des dépôts pour 25 données regroupées et centrées, en abscisse, sur le centre de l'intervalle de l'épaisseur d'argile considéré. Une fois l'épaisseur totale des dépôts meubles déterminée et lorsque l'épaisseur du sable de surface (*sable\_b*) et celle de l'argile sont connues, il est aussi possible d'estimer l'épaisseur de matériel glaciaire (*matglac\_b*).

$$(6.2) \quad \text{matglac\_b} = \text{dépôts\_b} - (\text{argile\_b} + \text{sable\_b}).$$

Cette procédure d'estimation de l'épaisseur totale des dépôts meubles et de l'épaisseur de matériel glaciaire n'a pas pour objet de déterminer les épaisseurs réelles en un point précis, mais de fournir un ordre de grandeur de la valeur recherchée afin de faire la compilation de la carte de l'épaisseur de matériel glaciaire obtenue par la géophysique (figure 6.9a) tout en ayant une densité de valeurs qui permette la comparaison avec la carte équivalente obtenue par les forages (figure 6.9b).

Une analyse a aussi été effectuée afin de vérifier la relation entre la conductance longitudinale totale (pour toute la section du modèle) et l'épaisseur d'argile. L'analyse indique qu'il est possible d'estimer l'épaisseur d'argile à partir de la valeur de S selon la relation suivante:

$$(6.3) \quad \text{argile}_b = (22 * S) + 0.701.$$

La relation 6.3 n'est valable que pour un S inférieur à 1. Le graphique de la figure 6.5 résume les résultats de l'analyse.

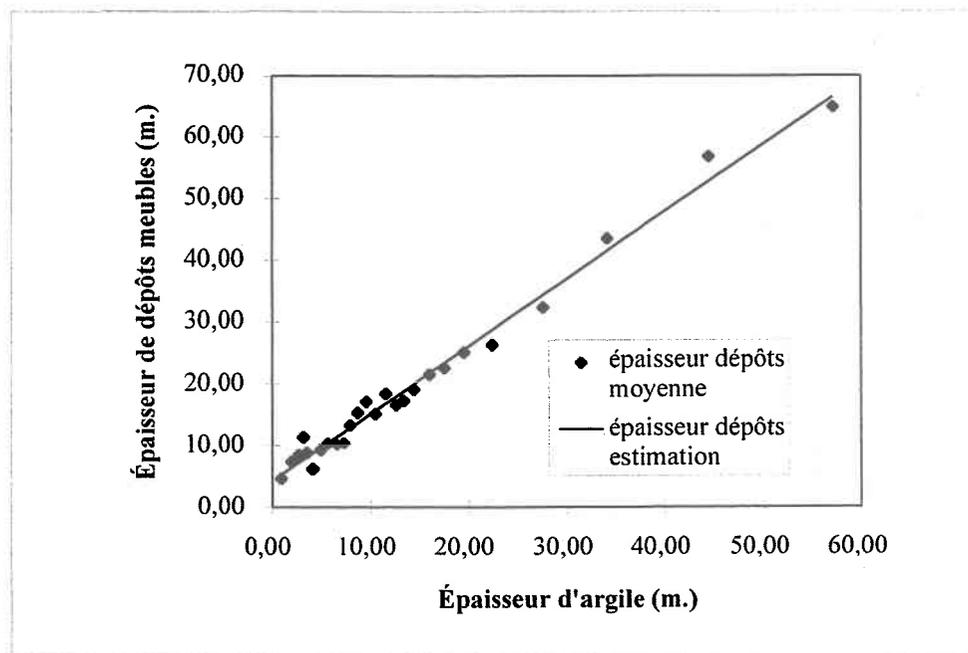


Figure 6.4 : Relation dépôts b-argile b à l'aide des forages

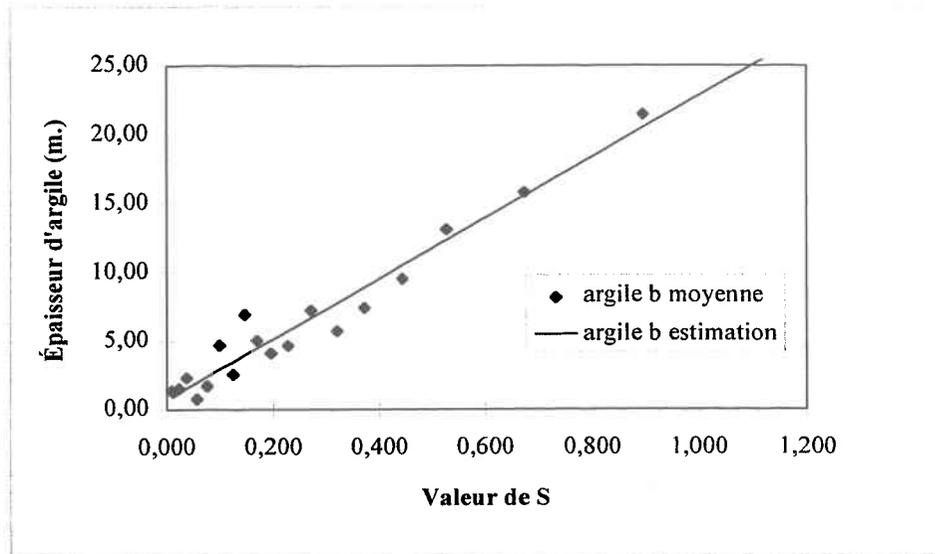


Figure 6.5 : Relation argile b-S à l'aide des sondages

La dernière relation est utile dans les quelques cas où les sondages n'ont pas réussi à traverser toute la colonne d'argile, rendant donc la mesure de son épaisseur impossible à déterminer.

Dans l'annexe 4, les valeurs estimées (argile\_b, matglac\_b et dépôts\_b) à partir des relations 6.1, 6.2 et 6.3 sont indiquées par une cellule de couleur grise.

Le tableau 6.3 présente quelques statistiques sur les résultats d'épaisseur obtenus.

Le tableau présente, en plus des valeurs obtenues à l'aide des sondages, celles obtenues à partir des données de forage à l'intérieur des limites de la région d'étude. Pour un horizon donné, tous les sondages sont considérés dans le calcul des statistiques. Les écarts de valeur sont expliqués en partie par la localisation des forages qui diffère de celle des sondages. En effet, alors que les sondages sont répartis uniformément sur toute la région (voir figure 5.1), les forages sont plus concentrés dans la partie sud-est et près du bouclier canadien (voir figure 6.6). Les différences d'épaisseur de matériaux entre les forages et les sondages sont aussi causées en partie par l'erreur sur l'interprétation des sondages. Comme il a été

mentionné à la section 3.1.5, l'interprétation des courbes électriques offre une multitude de solutions valables.

Tableau 6.3 : Épaisseur des matériaux

| Épaisseur  | Sondages électriques |        |                    |                |
|------------|----------------------|--------|--------------------|----------------|
|            | Sable                | Argile | Matériel glaciaire | Dépôts meubles |
| minimum    | 0                    | 0      | 0                  | 0              |
| maximum    | 22.46                | 47.47  | 53.17              | 53.17          |
| moyenne    | 0.51                 | 7.71   | 4.29               | 12.09          |
| Écart-type | 1.77                 | 8.98   | 6.34               | 10.30          |
| Épaisseur  | Forages              |        |                    |                |
|            | Sable                | Argile | Matériel glaciaire | Dépôts meubles |
| minimum    | 0                    | 0      | 0                  | 0              |
| maximum    | 32.01                | 61.57  | 94.38              | 106.71         |
| moyenne    | 0.77                 | 6.32   | 6.95               | 13.72          |
| Écart-type | 2.3                  | 10.49  | 10.67              | 14.47          |

Il est à noter que tous les forages situés sur la portion du bouclier canadien et qui sont illustrés sur la figure 6.6 ont été écartés pour les calculs du tableau 6.3.

Dans les pages qui suivent, les résultats sont présentés sous la forme de cartes d'épaisseur de sable, d'argile, de matériel glaciaire (till, sable-gravier et roc altéré-fissuré) et de résistivité vraie de la dernière couche. Dans chacun des cas, la carte tracée à partir des sondages peut être comparée à la carte équivalente tracée à partir des données de forage, sauf pour la carte de résistivité vraie qui sera comparée à la carte d'épaisseur totale de dépôts meubles obtenue à l'aide des forages. Pour les figures 6.7b, 6.8b et 6.9b les contours choisis sont les mêmes que pour les figures 6.7a, 6.8a et 6.9a afin de faciliter la comparaison entre les figures.

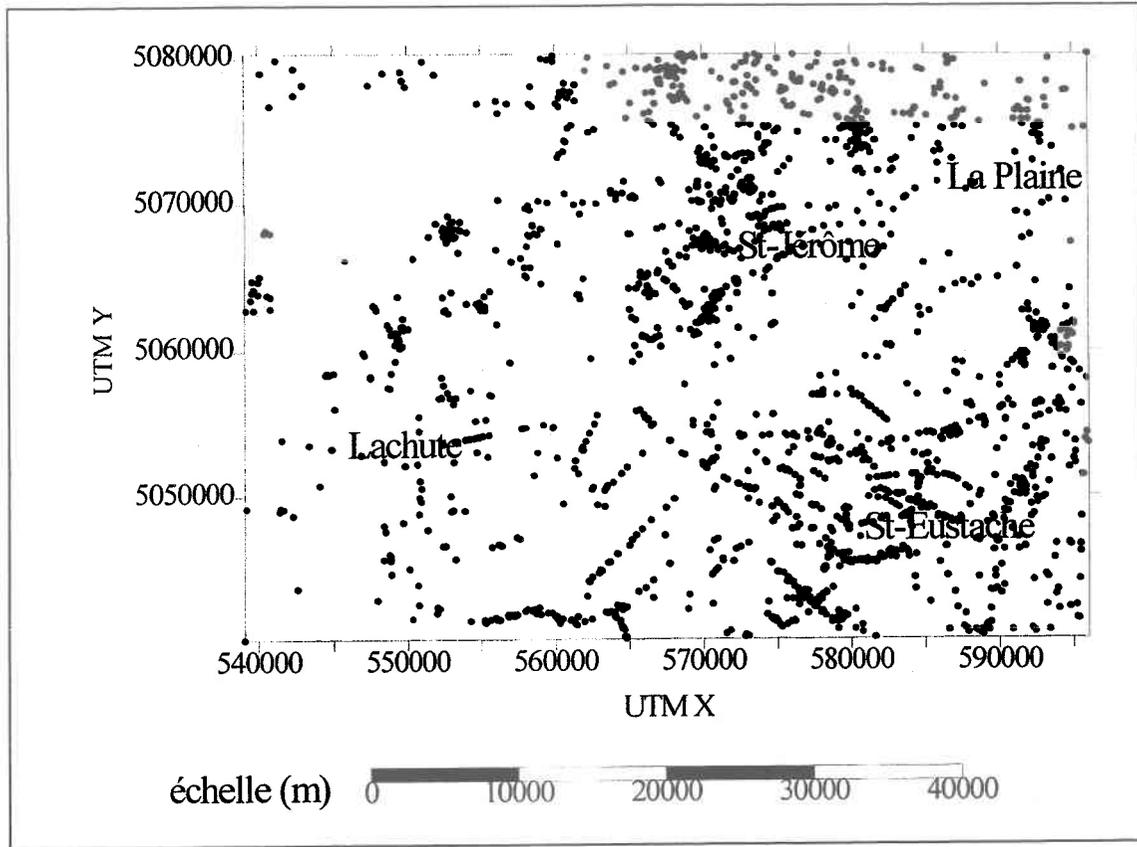


Figure 6.6 : Localisation des forages

#### 6.4.1 Sable de surface

Les données de forage indiquent que le sable de surface se concentre principalement le long de la portion est-ouest de la rivière du Nord et à l'est de la région (où on retrouve les dunes de sable). Si on compare cette distribution avec celle qui résulte des sondages, on constate plusieurs différences importantes. D'abord les sondages ne repèrent pas en totalité la bande de sable le long de la portion est-ouest de la rivière du Nord, par contre ils détectent une bande dont la résistivité s'approche de celle du sable de surface sur la portion nord-sud de cette même rivière. A l'est, les sondages repèrent de façon imprécise les dunes de sable, l'imprécision résultant principalement de la différence de densité des points de mesure pour les sondages et les forages. En particulier, la région sableuse située aux coordonnées (592000,5060000) (figure 6.7b) ne peut être visible par la méthode électrique puisqu'il n'y

a aucun sondage à cet endroit. Finalement, les sondages mettent à jour une bande de sable en bordure du lac Deux-Montagnes, au pied des collines d'Oka.

#### 6.4.2 Argiles marines

La méthode électrique semble plus efficace dans la détermination de l'épaisseur d'argile. En effet, les sondages et les forages présentent sensiblement la même distribution pour cet horizon. Par exemple, l'épaisse bande d'argile le long de la rivière du Nord (orientée approximativement à 35 degrés), ainsi que les deux autres bandes parallèles situées plus au sud, sont illustrées sur les deux cartes (figures 6.8a et 6.8b). Ces bandes d'argile se superposent aux corridors de faibles résistivités apparentes pour les espacements AB de

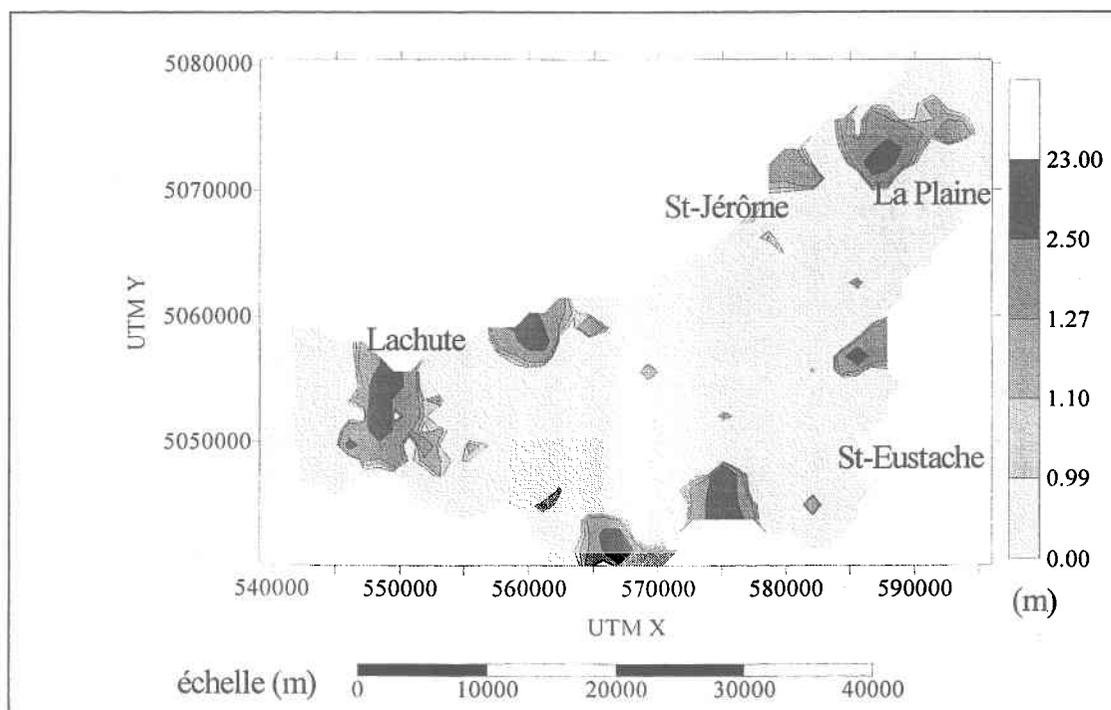


Figure 6.7a : Épaisseur de sable, par sondages

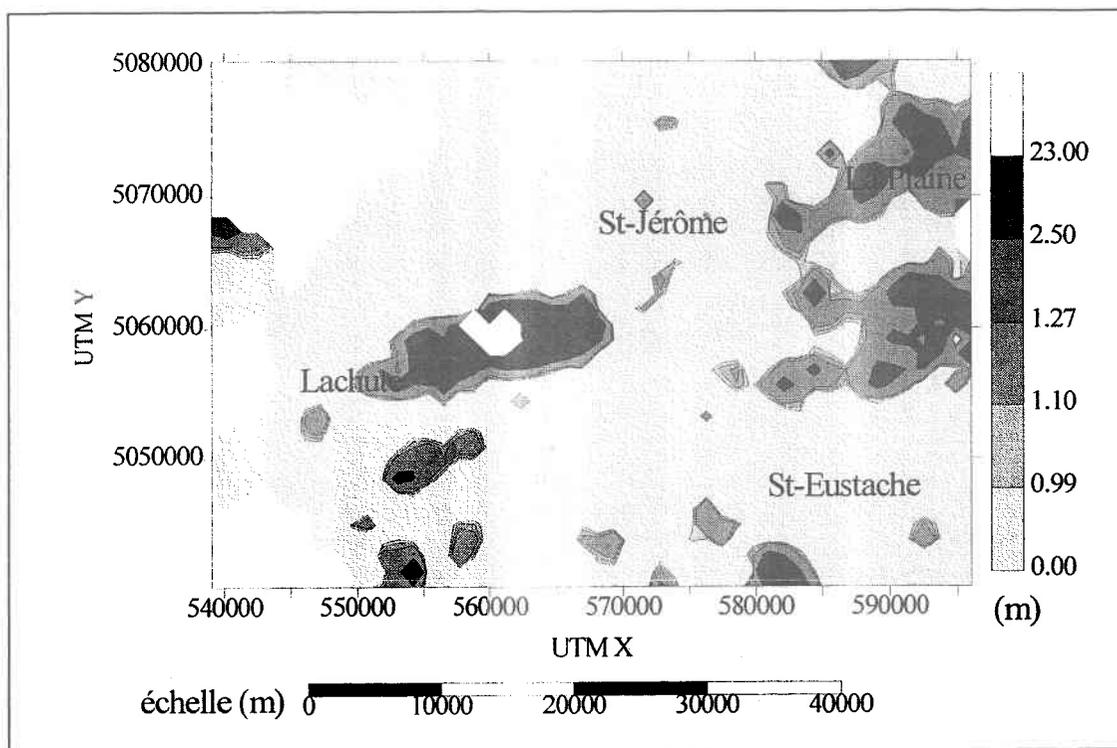


Figure 6.7b : Épaisseur de sable, par forages

150m et 200m (voir figures 6.2e et 6.2f), et se superposent donc aussi aux vallées rocheuses qui leur sont possiblement associées. De la même façon, à l'est de la région, sur les deux cartes, il y a de plus grandes épaisseurs d'argile. Encore une fois cela se produit aux endroits où, sur les cartes de résistivités apparentes, on rencontre de faibles valeurs. Les surcreusements rocheux sont donc en bonne partie remplis par la couche d'argile, ce qui expliquerait que la topographie soit généralement plane dans cette région. Au sud de St-Jérôme, le grès de Postdam est recouvert des plus faibles épaisseurs d'argile.

### 6.4.3 Matériel glaciaire

L'horizon de matériel glaciaire est complexe de part sa composition variée et les différences de résistivité qui en résultent. C'est en partie à cause de cette complexité que les sondages et les forages ne donnent pas la même distribution pour cette couche. Les forages détectent

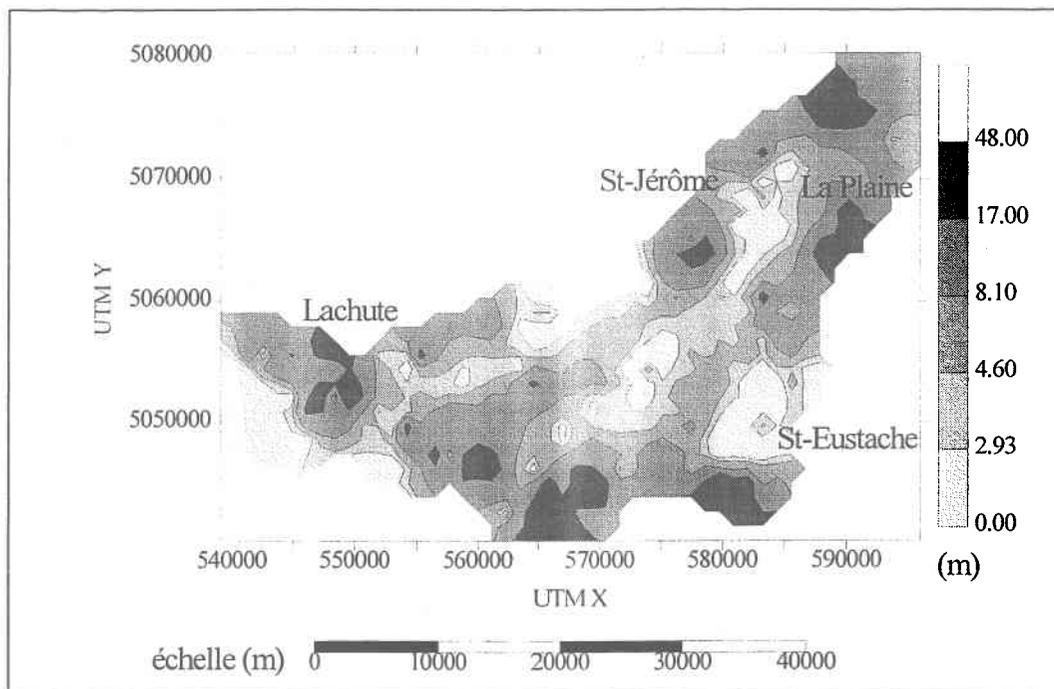


Figure 6.8a : Épaisseur d'argile, par sondages

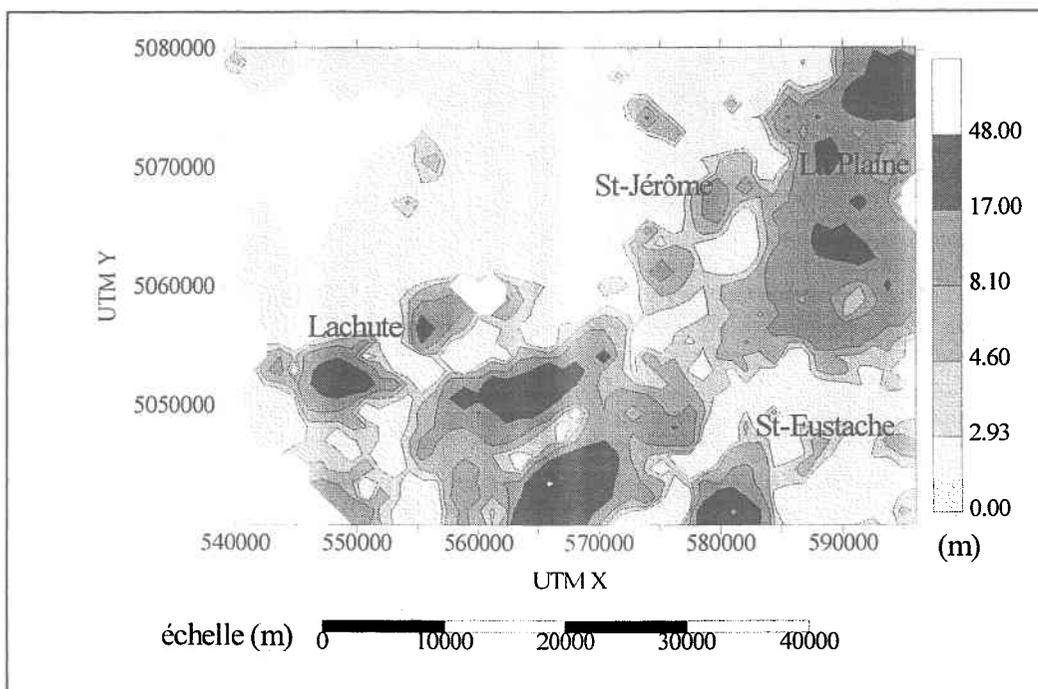


Figure 6.8b : Épaisseur d'argile, par forages

une plus grande épaisseur de matériel glaciaire au sud de la région, alors que les sondages n'en présentent qu'une partie. Il est possible que les eaux saumâtres, plus fréquentes dans ce secteur, et pour lesquelles les résistivités sont généralement faibles, aient été confondues avec l'horizon d'argile dont la résistivité est très faible. Il est d'ailleurs possible de constater, à l'aide du tableau 6.5 et des figures 6.8a, 6.8b, 6.9a et 6.9b, que les sondages produisent une surestimation de la couche d'argile et une sous-estimation de la couche composite. Cela se produit plus particulièrement au sud de la région. Pour la région de la Plaine, les sondages surestiment l'épaisseur de matériel glaciaire tout en sous-estimant légèrement l'épaisseur d'argile. Cette situation s'explique par le fait qu'il y a une plus grande proportion d'épaisseur de matériel glaciaire estimée par la relation trouvée à la section 6.4 que partout ailleurs sur la région. L'erreur sur l'estimation s'ajoute à l'erreur générée par l'interprétation des courbes électriques.

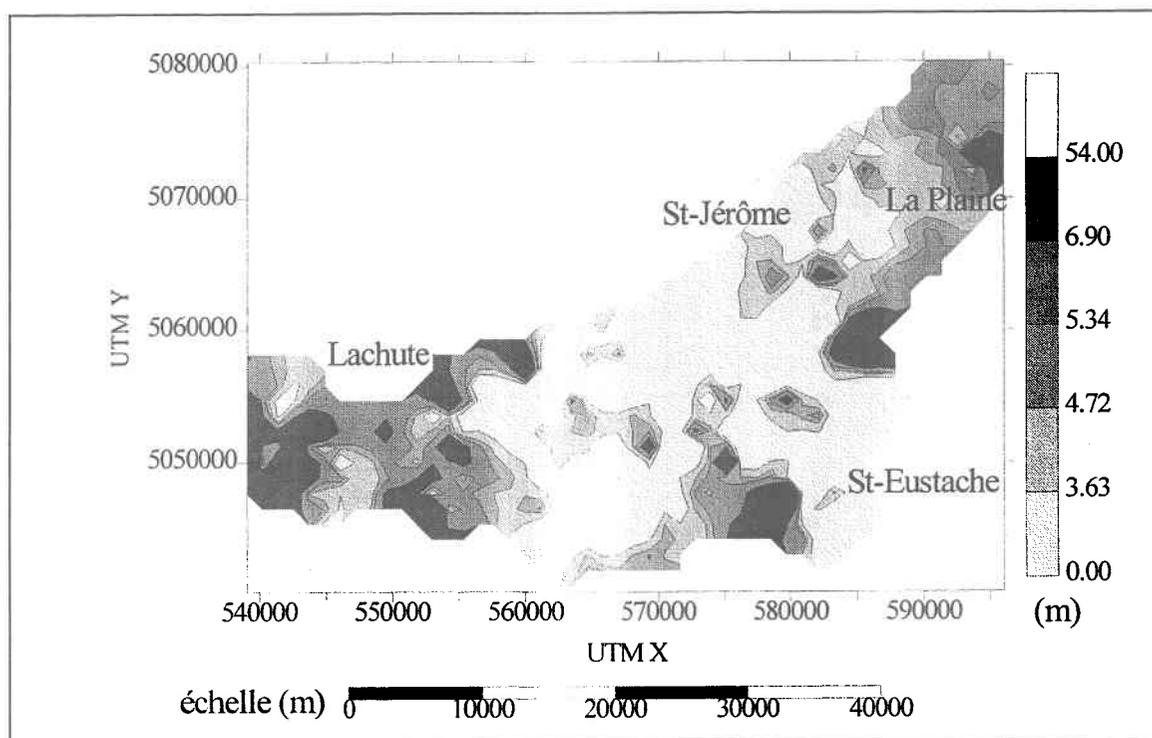


Figure 6.9a : Épaisseur de matériel glaciaire, par sondages

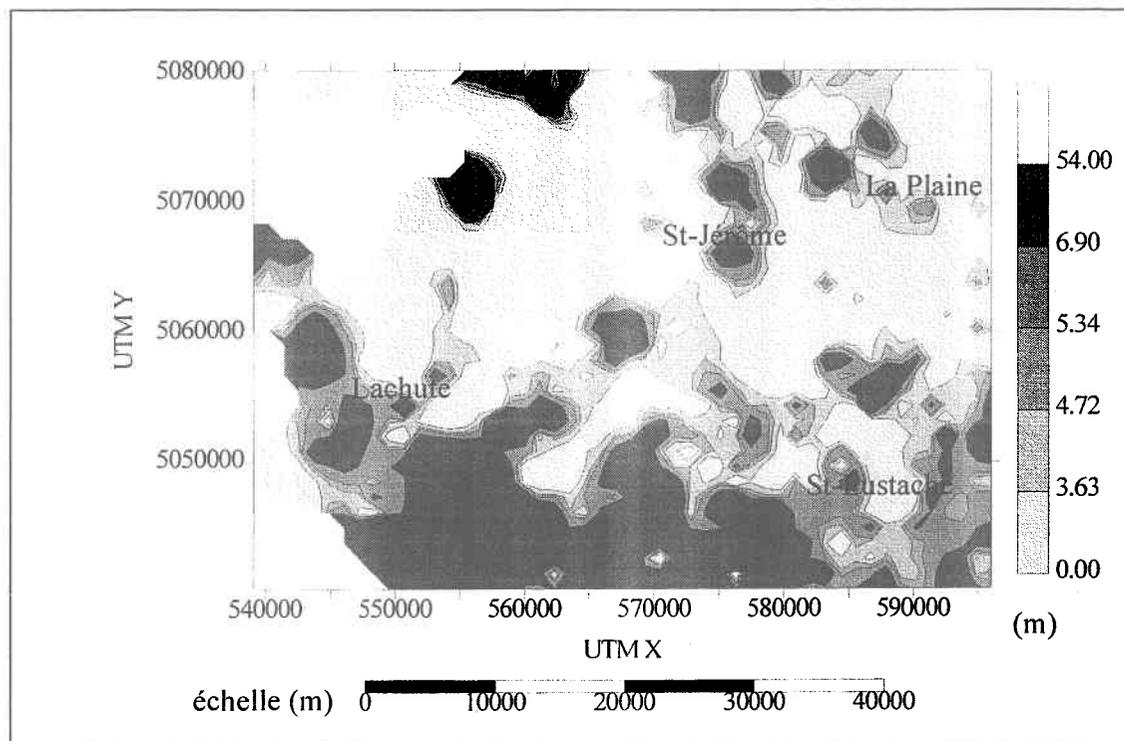


Figure 6.9b : Épaisseur de matériel glaciaire, par forages

#### 6.4.4 Résistivité de la dernière couche et épaisseur totale des dépôts meubles

La figure 6.10a illustre la résistivité vraie de la dernière couche de chacun des modèles électriques. La figure 6.10b représente l'épaisseur totale des dépôts meubles (incluant le roc altéré) obtenue à l'aide des forages.

De la même façon qu'avec les résistivités apparentes pour les grands espacements AB (voir figures 6.2e et 6.2f), les plus faibles résistivités sont obtenues aux endroits où l'épaisseur des dépôts meubles est plus grande. Dans les cas où la résistivité vraie de la dernière couche est en deçà de 1000 ohm-m, il est permis de supposer que le roc sain n'est pas atteint puisqu'il a généralement une résistivité supérieure à 1000 ohm-m. Par ailleurs, la région du grès de Postdam a une résistivité plus élevée que le reste de la région, ce qui est probablement le résultat d'une fracturation ou d'une altération moins prononcée.

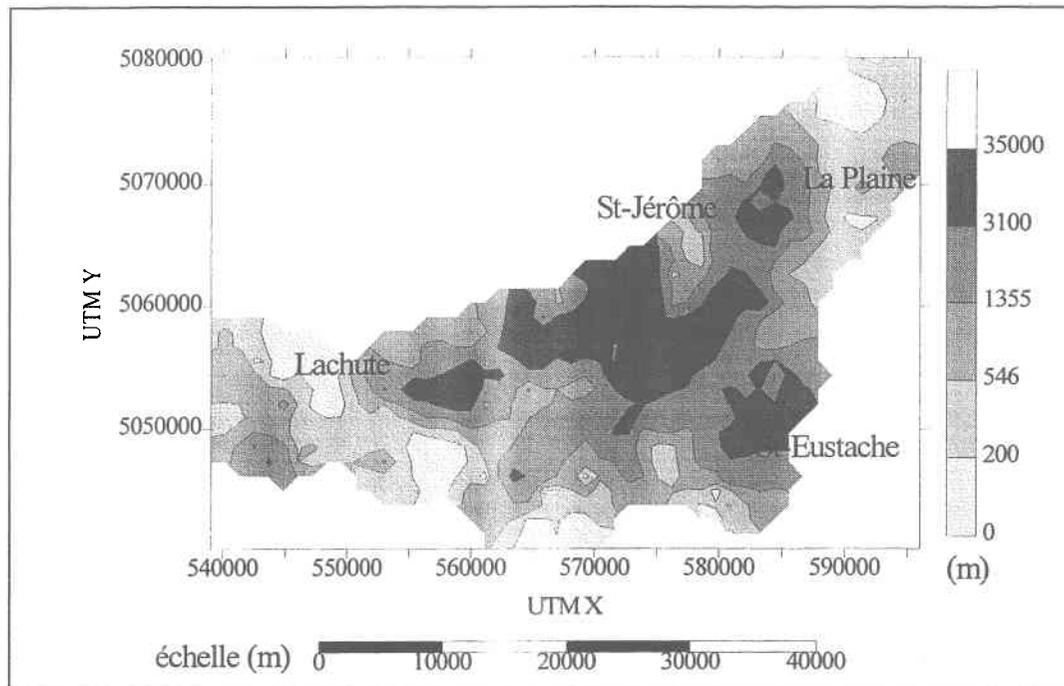


Figure 6.10a : Résistivité vraie de la dernière couche

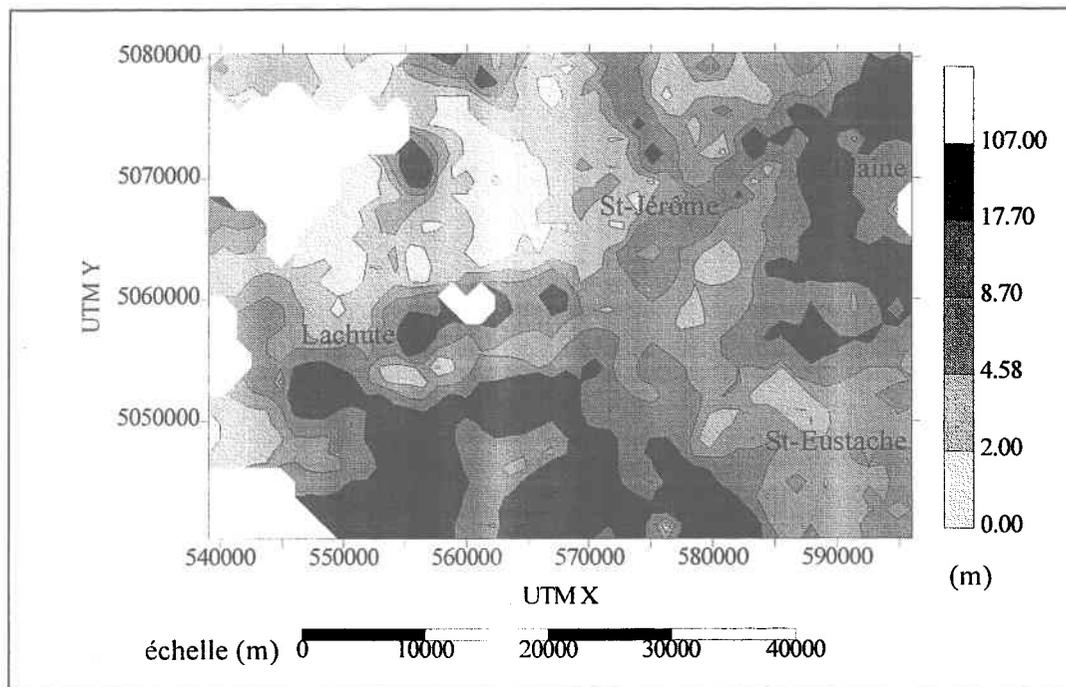


Figure 6.10b : Épaisseur totale des dépôts meubles, par forages

### 6.4.5 Résistivités des matériaux

Les caractéristiques électriques suivantes sont obtenues par compilation des résistivités des différents matériaux pour chacun des sondages interprétés.

Tableau 6.4 : Résistivités des matériaux

| Type de dépôt meuble | Résistivités (ohm-m) |         |         |            |
|----------------------|----------------------|---------|---------|------------|
|                      | minimum              | maximum | moyenne | écart-type |
| Sable                | 67                   | 2431    | 359     | 393        |
| Argile               | 2                    | 70      | 24      | 14         |
| Matériel glaciaire   | 60                   | 19924   | 385     | 1222       |
| Roc sain             | 389                  | 35000   | 3644    | 3368       |

### 6.4.6 Élévation des unités hydrogéologiques

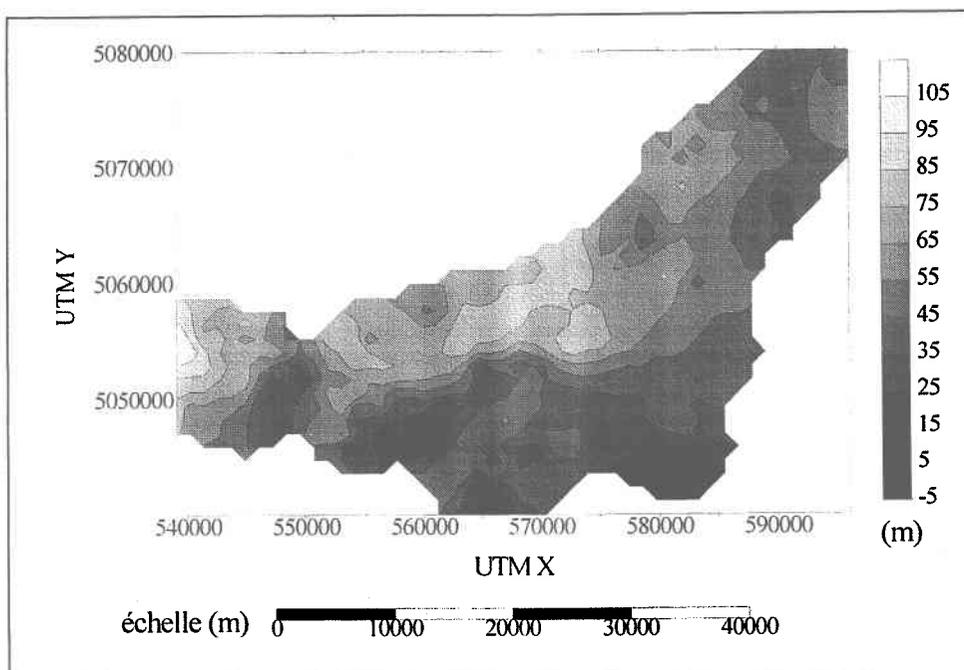


Figure 6.11 : Élévation des unités hydrogéologiques

Puisque les aquifères de Mirabel sont généralement captifs sous l'argile (Maranda, 1977), la carte de l'élévation des unités hydrogéologiques est obtenue en soustrayant la somme des épaisseurs de sable et d'argile estimées par la géophysique de l'élévation topographique au lieu du sondage. La figure 6.11 présente, en plan, l'élévation des unités hydrogéologiques; il est possible d'y déceler les principaux bassins hydrogéologiques rencontrés dans cette région. Les figures 6.14 à 6.17 de la section suivante illustrent quelques-uns de ces bassins dans la dimension de la profondeur.

## 6.5 Quelques sections types

Afin de visualiser la distribution verticale des différents types de dépôts meubles, quatre sections ont été tracées (figure 6.12). Ces sections ont été choisies de façon à couvrir la majeure partie de la région d'étude et une attention particulière a été portée afin qu'elles recoupent les axes des vallées rocheuses.

Les figures suivantes (figures 6.14 à 6.17) sont composées de quatre graphiques distincts. A la base, est présentée la section synthétique construite à partir des informations suivantes: résistivités vraies, données de forage, niveau topographique issus des cartes 1:20000 et utilisation de la surface du sol (la légende pour les différentes figures est fournie à la figure 6.13). Les contacts lithologiques sont tracés en tenant compte des résistivités et des lithologies décrites par les forages; le niveau piézométrique, lorsque tracé, ne tient compte que des données sur le niveau statique obtenues grâce aux forages. Au-dessus des sections on retrouve sur les figures, du bas vers le haut, le profil de la résistance transverse, de la conductance longitudinale et finalement les profils pour les résistivités apparentes des espacements AB 8m (en noir), AB 80m (en rouge) et AB 200m (en bleu). Les paramètres électriques S (conductance longitudinale) et R (résistance transverse) sont calculés en tenant compte de toutes les couches des modèles électriques pour chacun des sondages.

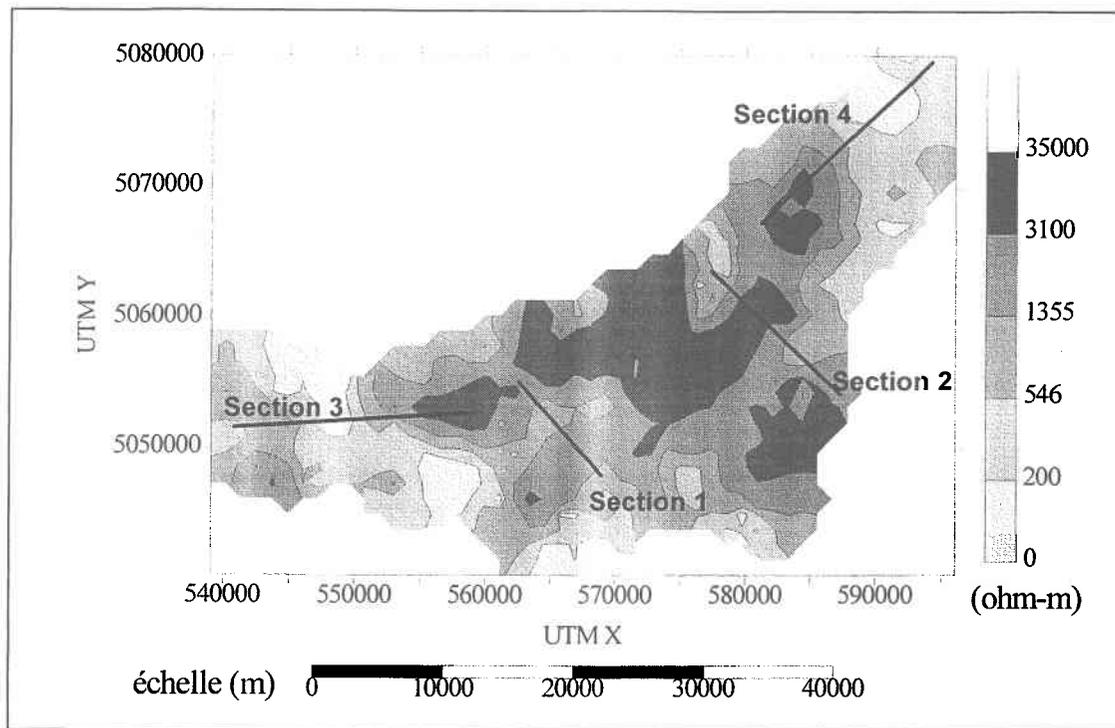


Figure 6.12 : Localisation des sections

### 6.5.1 Sections

Les sections mettent en évidence l'irrégularité de la surface du socle rocheux. Cette dernière présente de profondes dépressions en forme de U qui atteignent plusieurs dizaines de mètres. A la surface, les dénivelés les plus marqués du socle sont masqués par la superposition des dépôts meubles.

Le fond des vallées rocheuses est tapissé de matériel glaciaire (till, sable-gravier et roc altéré) et recouvert des plus importantes épaisseurs d'argile. La surface, au-dessus des vallées, sert à l'agriculture dans presque tous les cas. A l'inverse, sur les crêtes du socle rocheux, l'épaisseur des dépôts meubles dépasse rarement quelques mètres. Les unités à plus forte résistivité y sont prédominantes et la surface est généralement boisée ou exploitée comme carrière.

L'horizon de sable fluvial ou éolien, très présent sur les crêtes rocheuses, se retrouve aussi près des cours d'eau. Les figures 6.16 et 6.17 illustrent la présence de sable fluvial.

Il faut noter que les cours d'eau sont habituellement situés au-dessus des vallées et qu'ils suivent probablement le lit des anciennes rivières.

La ligne du niveau d'eau statique suit la topographie du socle, bien que cette observation ne soit pas valable dans tous les cas. A certains endroits, sur les crêtes rocheuses, le roc semble fracturé plus profondément, ce qui pourrait expliquer un abaissement du niveau de l'eau (voir figure 6.17). Les aquifères sont généralement captifs.

Les sondages électriques ont une capacité de pénétration moyenne de 25m. Sur les flancs des vallées et aussi au centre des vallées peu profondes, les sondages pourraient en théorie avoir atteint le roc sain. Cependant ce n'est pas toujours le cas et la surface du roc, sur les sections, est tracée grâce aux forages seulement. Sous la couche d'argile les sondages ne repèrent qu'une seule couche de résistivité comparable à celle du matériel glaciaire (c'est-à-dire de l'ordre de quelques centaines d'ohm-mètres). Plusieurs hypothèses peuvent expliquer cette situation. D'une part il est possible que les couches d'argile, épaisses au centre des vallées et électriquement très conductrices, nuisent à la pénétration du courant électrique en favorisant une circulation latérale. Cependant cela n'expliquerait pas la situation sur les flancs de vallées, où l'épaisseur d'argile est plus faible. D'autre part le matériel glaciaire, s'il est en partie très argileux ou saturé, a une résistivité suffisamment contrastante avec le roc sain pour être à son tour responsable de la circulation latérale du courant, empêchant ce dernier de pénétrer plus profondément. Finalement, la dernière hypothèse réside dans le fait que les aquifères situés dans le centre des vallées rocheuses ont généralement une salinité supérieure à la moyenne de tous les aquifères de cette région (Soucy,1997). Dans ce cas, le roc est possiblement atteint par le courant électrique mais sa résistivité est largement diminuée par la conductivité accrue de l'eau dans les fractures.

### **6.5.2 Paramètres électriques R et S**

Une augmentation de la résistance transverse, dans le cas de la région d'étude, semble être principalement associée à la présence d'une couche de sable ou de matériel glaciaire près de

la surface. Dans certains cas, une grande épaisseur de dépôts (même uniquement composée d'argile), peut aussi entraîner une augmentation de la valeur de R. Il faut souligner ici que la présence d'une couche à forte résistivité à la base du modèle électrique (couche de matériel glaciaire) n'influence pas la valeur de R puisque dans plusieurs cas les sondages ne permettent pas d'en déterminer l'épaisseur.

La conductance longitudinale est minimale lorsque le roc est près de la surface et donc que l'épaisseur des dépôts meubles est faible. Elle est maximale pour de grandes épaisseurs de dépôts, en particulier si la colonne est composée majoritairement d'argile.

### 6.5.3 Résistivités apparentes

Une augmentation de la résistivité apparente pour de grands espacements AB correspond à un socle rocheux près de la surface. Pour le profil AB 8m, la nature du dépôt de surface contrôle la résistivité (figure 6.16), et dans une moindre mesure, la proximité du socle (figure 6.15) a aussi une influence.

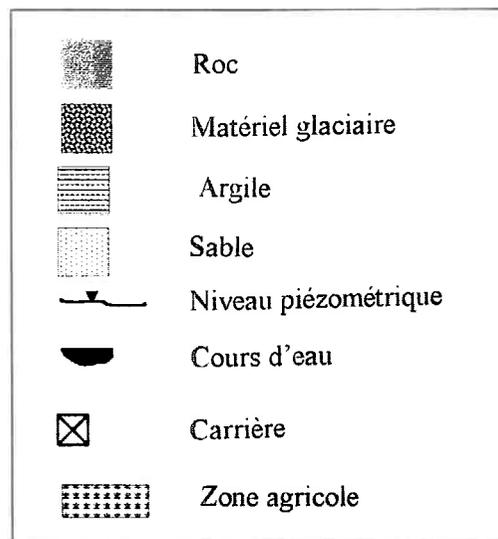


Figure 6.13 : Légende des figures 6.14 à 6.17

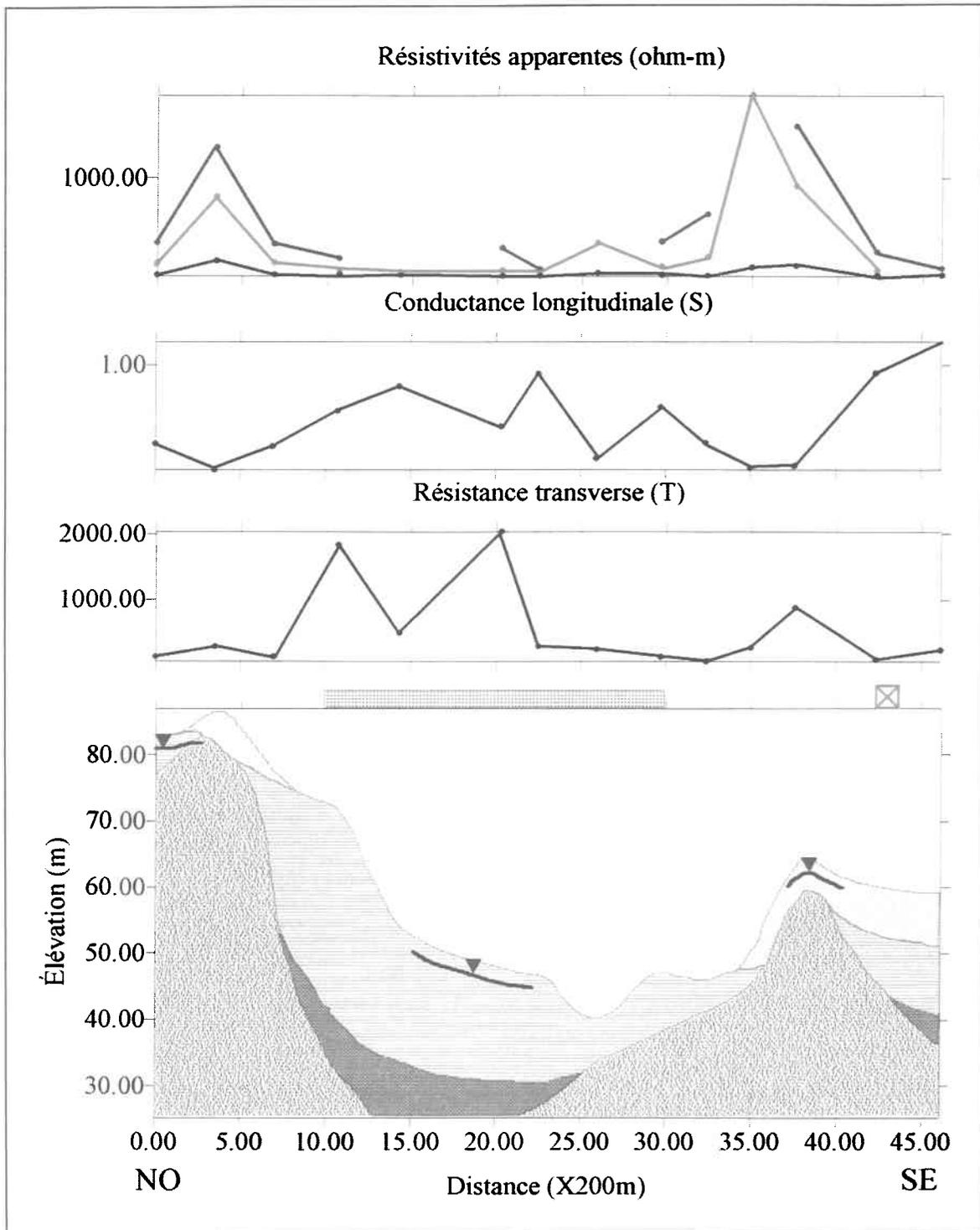


Figure 6.14 : Section 1

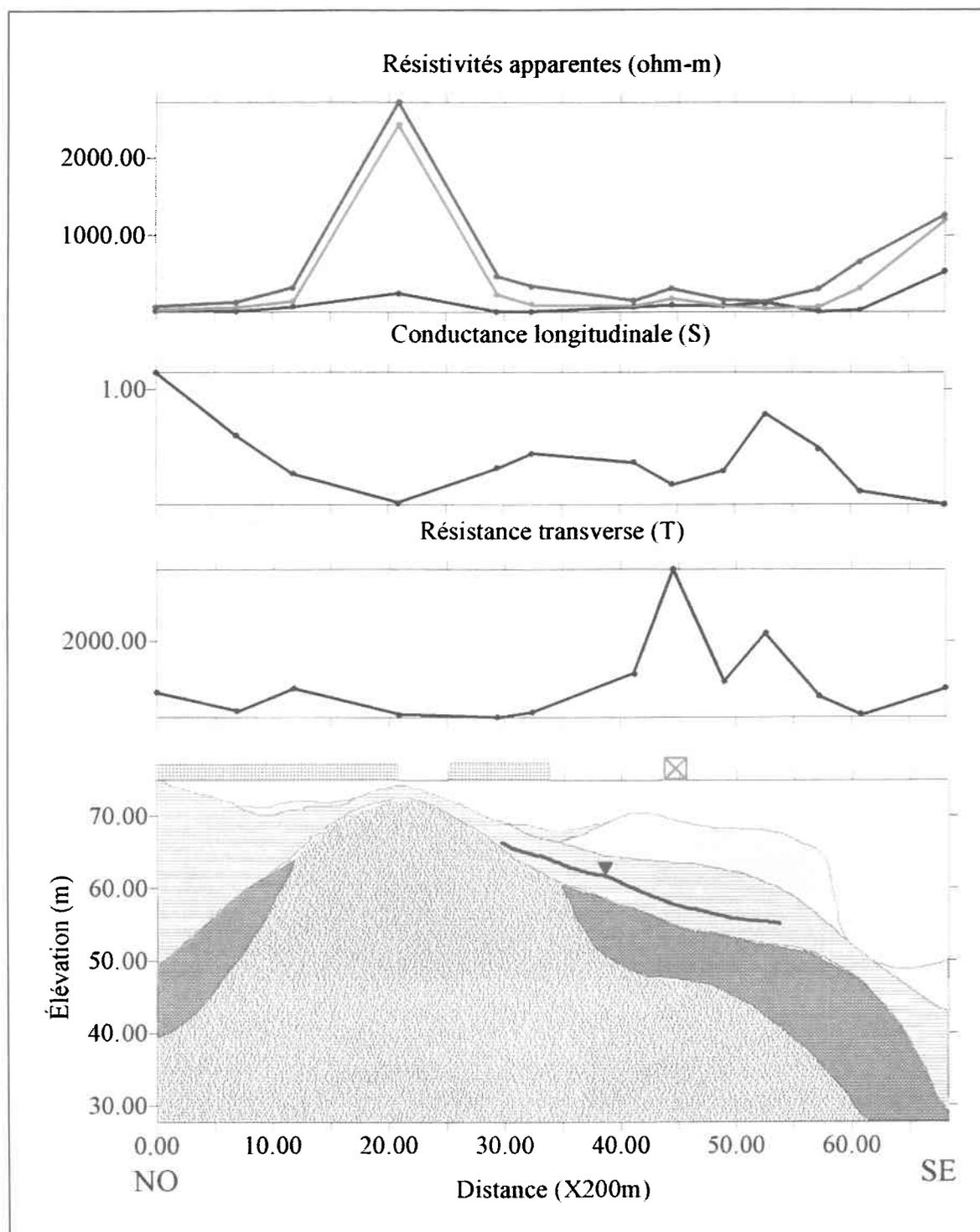


Figure 6.15 : Section 2

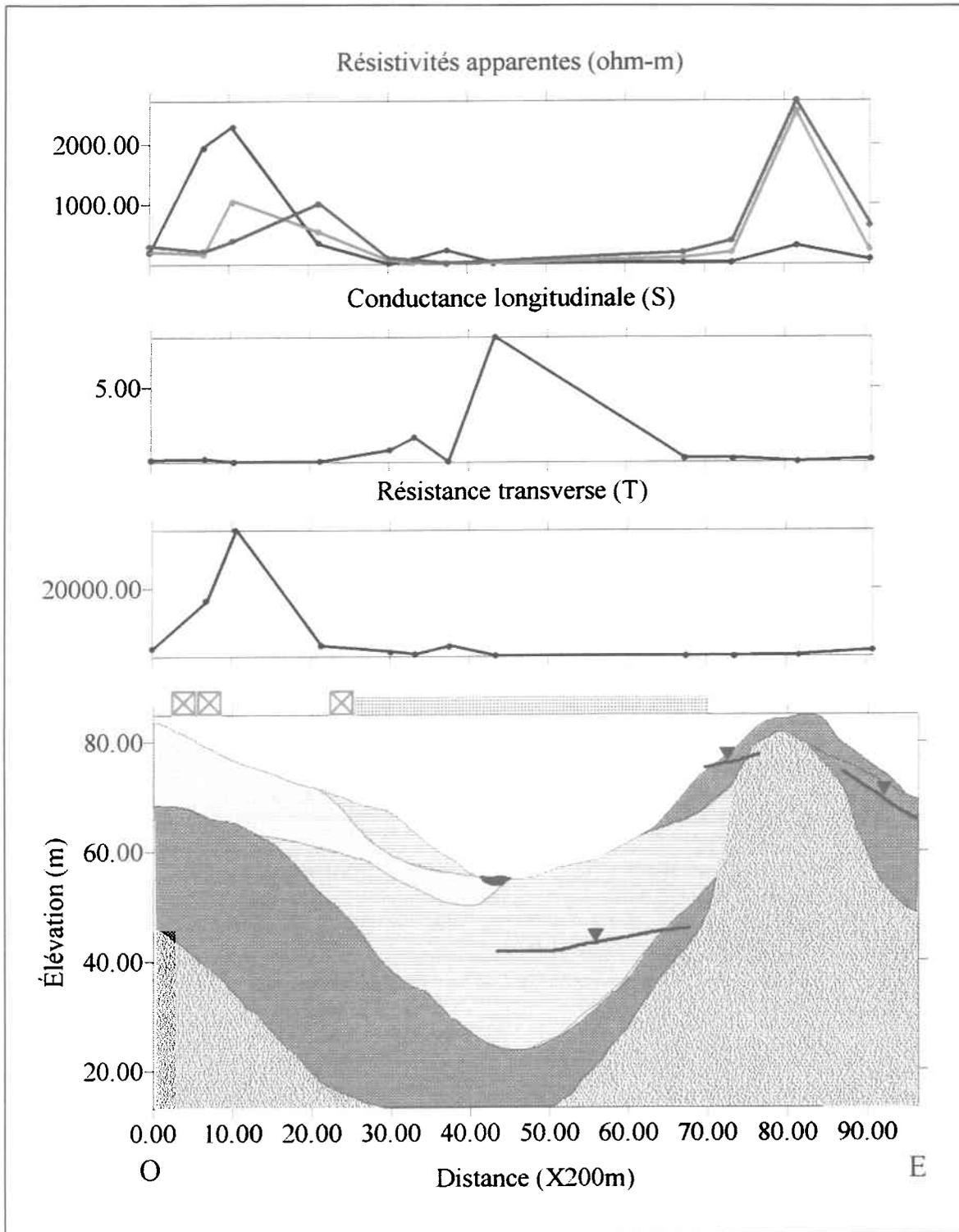


Figure 6.16 : Section 3

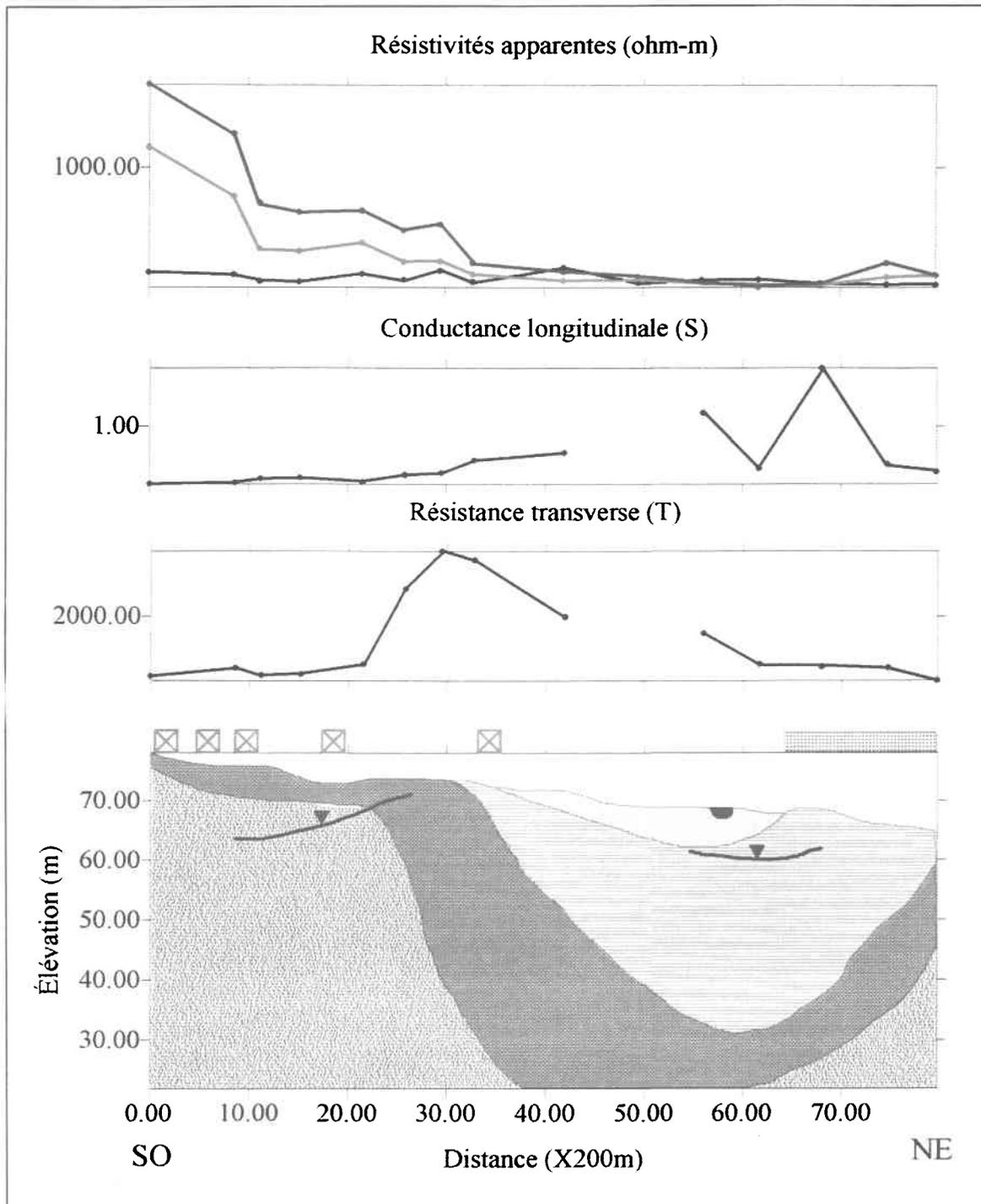


Figure 6.17 : Section 4

## 6.6 Caractéristiques hydrauliques des aquifères

Afin d'établir une relation entre la résistivité d'un aquifère et la valeur de transmissivité qui lui est associée, 11 sites d'essais de pompage sont confrontés à des sondages électriques voisins. Ces 11 sites d'essais de pompage représentent l'ensemble des essais connus sur le secteur étudié, qui sont situés à moins de 1000m d'un sondage et pour lesquels une valeur de transmissivité est fournie. De plus, pour chacun de ces sites, la capacité de pénétration des sondages électriques devait permettre de connaître la résistivité de l'aquifère (la capacité de pénétration moyenne des sondages est évaluée à environ 25m). La résistivité de l'aquifère était fixée en fonction des informations disponibles pour les essais de pompage, à savoir dans quel type de matériel se trouve l'aquifère et à quelle profondeur.

La figure 6.18 indique le positionnement des essais de pompage et des sondages qui leur sont associés.

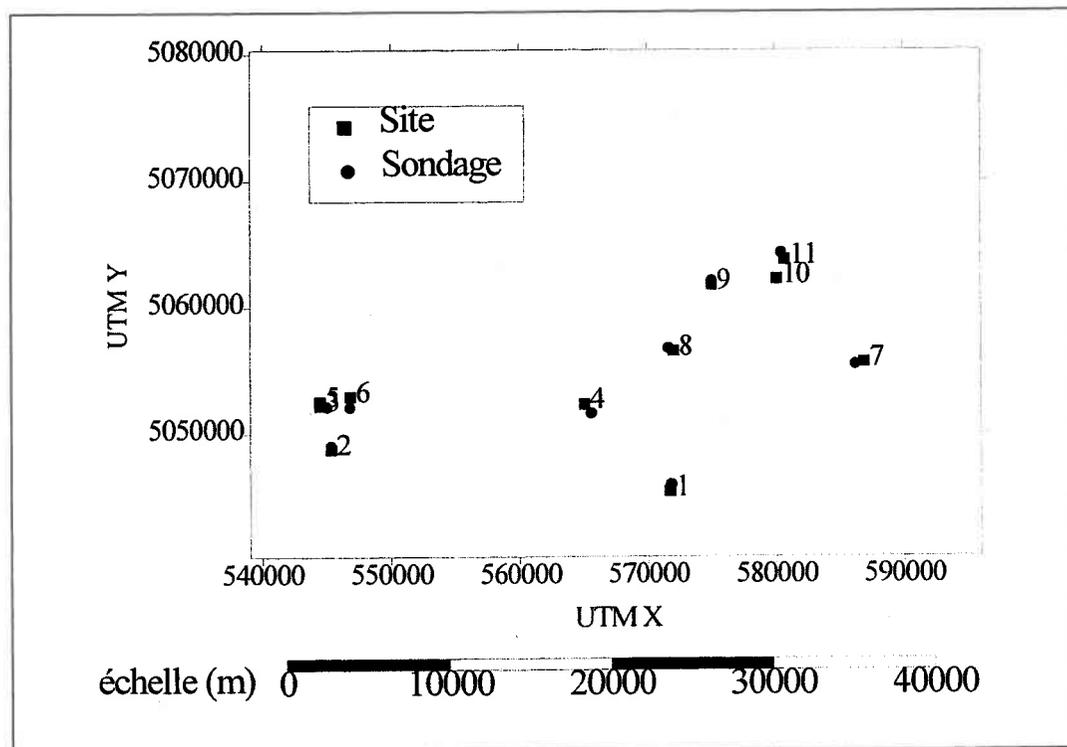


Figure 6.18 : Localisation des essais de pompage et des sondages associés

Pour chacun des sites d'essais de pompage la conductivité électrique de l'eau est obtenue grâce aux mesures effectuées par Soucy (1997) au cours de l'été 1996 et converties en conductivité électrique à 12°C (température moyenne du sous-sol). Ces données ont permis de calculer la résistivité modifiée de l'aquifère (Niwas et Singhal, 1985):

$$(6.4) \text{ rés.mod.} = \text{rés.aquif.} * (\text{cond.eau} / \text{cond.moy.eau}).$$

où cond. moy. eau (conductivité moyenne de l'eau) est égale à 595 µmhos/cm pour l'ensemble de la région étudiée (Soucy, 1997).

Le tableau ci-dessous rassemble l'information nécessaire à l'analyse pour chacun des sites. Il est à noter que pour un même site, lorsqu'il y a plus d'une valeur de transmissivité fournie (plusieurs puits répertoriés au même endroit) alors la moyenne des transmissivités est celle transcrite dans le tableau.

**Tableau 6.5 : Résultats des essais de pompage et des sondages électriques**

| # Site | # Puits                           | # Sondage  | Conductivité<br>12°C<br>(µmhos/cm) | Transmissivité<br>(m <sup>2</sup> /s) | Résistivité<br>aquifère<br>(ohm-m) | Résistivité<br>modifiée<br>(ohm-m) | Nature du<br>matériel aquifère |
|--------|-----------------------------------|------------|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| 1      | R-15                              | RE-335     | 247                                | 3,95E-05                              | 1100                               | 457                                | Roc                            |
| 2      | MT-2, 43                          | Sondage 12 | 466                                | 1,09E-03                              | 244                                | 191                                | Zone alteration                |
| 3      | 1                                 | RE-439     | 210                                | 4,43E-04                              | 204                                | 72                                 | Zone alteration                |
| 4      | MT-12, 48                         | Sondage 19 | 408                                | 3,98E-04                              | 316                                | 217                                | Gravier                        |
| 5      | 44                                | RE-439     | 210                                | 6,38E-04                              | 204                                | 72                                 | Zone alteration                |
| 6      | R-3, 45                           | RE-429     | 360                                | 9,01E-04                              | 200                                | 121                                | Zone alteration                |
| 7      | tev-90                            | RE-220     | 475                                | 8,20E-03                              | 3125                               | 2495                               | Roc                            |
| 8      | 02/1970, 3-A/70<br>3-B/70, 1-D/70 | RE-047     | 574                                | 4,17E-03                              | 3050                               | 2942                               | Roc                            |
| 9      | 50                                | RE-148     | 196                                | 3,62E-03                              | 2000                               | 659                                | Roc                            |
| 10     | 1, 51                             | RE-155     | 500                                | 4,04E-03                              | 1736                               | 1459                               | Roc                            |
| 11     | R-14                              | RE-162     | 2000                               | 7,66E-03                              | 4134                               | 13896                              | Roc                            |

Les résultats de corrélation obtenus entre la transmissivité et la résistivité sont illustrés aux figures 6.19 et 6.20.

Dans la littérature, la résistivité de l'aquifère (modifiée ou non) est comparée à la conductivité hydraulique et non pas à la transmissivité. Dans cette étude la transmissivité est utilisée à cause de l'absence d'information sur l'épaisseur de la colonne saturée et donc de l'impossibilité de calculer la conductivité hydraulique ou la résistance transverse (pour une comparaison résistance transverse-transmissivité). Si on pose que l'épaisseur saturée est presque semblable pour tous les sites, alors la courbe transmissivité versus résistivité est parallèle et décalée vers le haut par rapport à la courbe conductivité hydraulique versus résistivité.

Les courbes obtenues pour les figures 6.19 et 6.20 sont des droites à pente positive sur graphique log-log et elles sont représentées par une équation de la forme:

$$(6.5) \quad T = b * p^a \quad \text{où } T = \text{transmissivité,}$$

$$p = \text{résistivité (modifiée ou non)}$$

et a et b sont des constantes.

Le tableau 6.6 résume les caractéristiques des relations:

Tableau 6.6 : Caractéristiques de la relation entre la transmissivité et la résistivité

| Relation                | a     | b        | r <sup>2</sup> |
|-------------------------|-------|----------|----------------|
| transmissivité versus.. |       |          |                |
| Résistivité             | 0.836 | 6.98E-06 | 0.89           |
| Résistivité modifiée    | 0.518 | 6.45E-05 | 0.73           |

Chacune des relations est établie en laissant de côté le site 1, lequel présente une transmissivité non commune pour les aquifères de ce secteur.

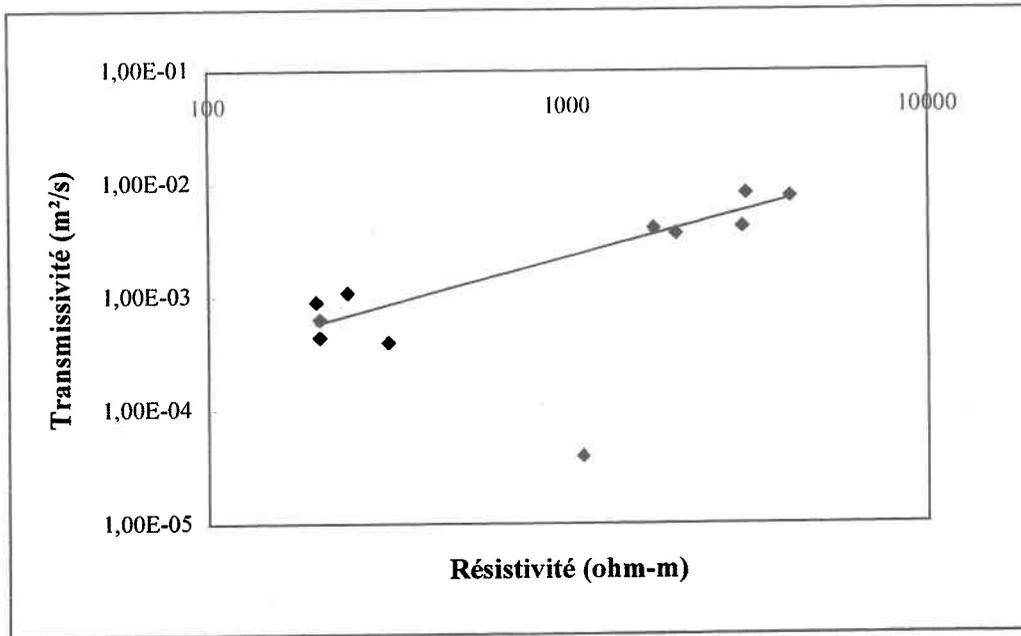


Figure 6.19 : Transmissivité versus résistivité de l'aquifère

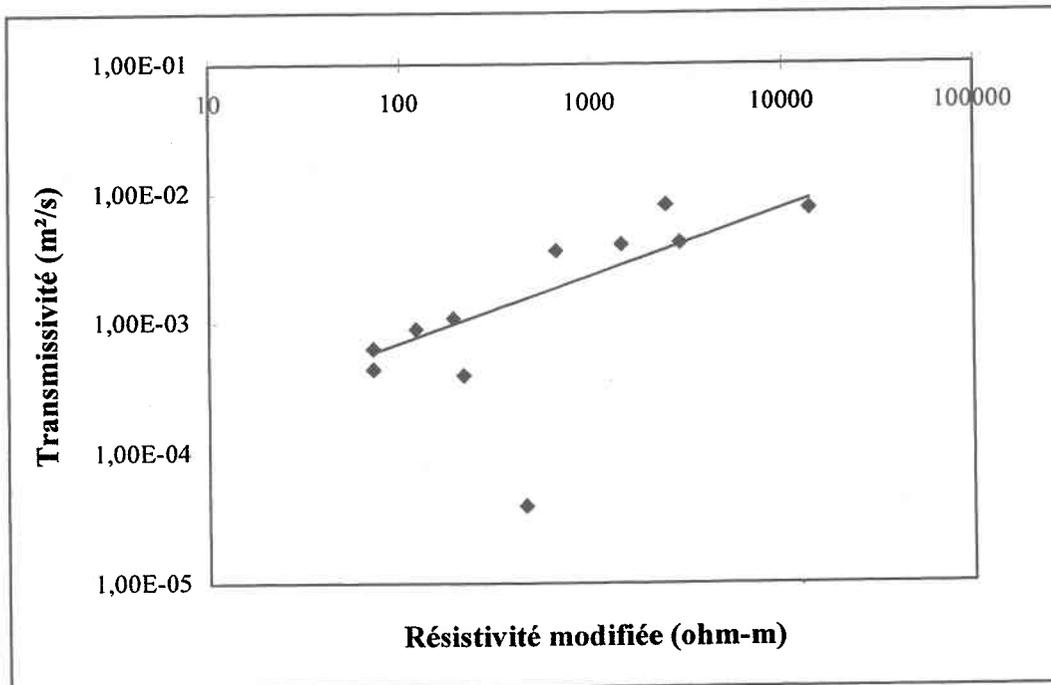


Figure 6.20 : Transmissivité versus résistivité modifiée de l'aquifère

La figure 6.19 fait ressortir les deux types de milieux aquifères rencontrés dans la région de Mirabel. D'une part il y a les aquifères qui sont situés dans les tous premiers mètres du socle rocheux, qui sont altérés, ou dans les dépôts meubles sus-jacents (tel le sable-gravier fluvioglaciaire). Ce type de milieu aquifère, milieu poreux, a une résistivité de l'ordre de quelques centaines d'ohm-mètres et une transmissivité généralement inférieure à  $10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s. D'autre part les aquifères situés plus profondément dans le roc non altéré et fracturé ont des résistivités plus grandes, de l'ordre de quelques milliers d'ohm-mètres, ainsi que des transmissivités plus fortes se situant autour de  $5 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s. Cette distinction des deux types de milieu aquifère est aussi visible sur le graphique de la figure 6.20, quoiqu'elle soit atténuée par la correction pour la conductivité électrique de l'eau à 12°C.

Un tel écart entre la performance (transmissivité) des deux types d'aquifères peut s'expliquer en partie par des épaisseurs saturées différentes. Le milieu poreux, situé entre la couche de till ou d'argile et le roc sain, représenté sur le modèle géoélectrique conceptuel (section 6.3.2) par une fraction de la troisième couche, a une épaisseur inférieure à quatre mètres (section 6.4 tableau 6.3). Les données de forage (banque BDH) indiquent une épaisseur moyenne de moins de deux mètres pour le sable-gravier et le roc altéré. Pour le milieu fracturé, Simard (1977) estime son épaisseur à environ dix mètres. En terme de conductivité hydraulique, le milieu fracturé ne serait donc pas forcément plus performant que le milieu altéré et l'hypothèse d'une épaisseur saturée uniforme ne saurait être valable qu'à l'intérieur d'un même type de milieu aquifère.

La relation obtenue pour la figure 6.20 a un facteur de corrélation inférieur à celui de la relation pour la figure 6.19 (0.73 versus 0.89); néanmoins la distribution des points de la figure 6.20 augmente la pertinence d'une telle relation, et à l'intérieur d'un même type de milieu aquifère il semble qu'une augmentation de la résistivité corresponde à des transmissivités plus élevées. Pour le milieu poreux, une diminution de la résistivité électrique peut être causée par une plus forte proportion de minéraux argileux, ce qui

entraîne du coup une diminution de la perméabilité du milieu. Dans le milieu fracturé on s'attendrait à obtenir une relation inverse, à savoir qu'une augmentation de la résistivité coïncide avec un roc plus sain et moins fracturé et donc aussi moins perméable. C'est d'ailleurs le genre de relation (inverse) qu'ont obtenu Mazac et al (1985) et Dortman (1964) pour deux milieux fracturés et saturés. Néanmoins les variations d'épaisseurs saturés peuvent, à l'intérieur de ce type de milieu aquifère, être encore une fois responsables de l'allure de la courbe.

L'ajout de points de contrôle pour chacun des types d'aquifères permettrait de vérifier qu'une seule relation est valable pour les aquifères de la région ou que chaque type d'aquifère présente plutôt une relation transmissivité-résistivité modifiée qui lui est propre. Dans ce dernier cas, deux cartes de transmissivité pourraient être tracées à partir de la relation résistivité-transmissivité, soit une pour le milieu poreux à partir des valeurs de résistivité de la troisième couche du modèle conceptuel et une autre pour le milieu fracturé à partir des valeurs de résistivité de la quatrième couche. Pour tracer de telles cartes, la relation de la figure 6.20 est certainement la plus précise puisqu'elle permet de tenir compte de la qualité de l'eau. Néanmoins la relation de la figure 6.19 permet d'obtenir les résultats désirés en l'absence d'autres informations que celles obtenues par les sondages électriques, et de s'affranchir de la nécessité de connaître la résistivité électrique de l'eau.

## **6.7 Caractéristiques de la couche de protection**

Dans la région de Mirabel, les argiles de la mer de Champlain agissent comme couche de protection des aquifères. Tel que mentionné à la section 3.2.3, l'épaisseur d'argile et la valeur TOT (time-of-travel) pour la couche argileuse sont deux propriétés importantes en regard de leur potentiel à protéger les aquifères. L'épaisseur d'argile peut être aisément déterminée par la méthode des sondages électriques (section 6.4.2). Cependant, la valeur TOT ne peut être déduite directement des sondages.

Kalinski et al. (1993) ont montré que la valeur TOT est proportionnelle au carré de la conductance longitudinale pour la couche argileuse ( $S^2_{\text{argile}}$ ). La détermination de TOT peut donc être simplifiée au calcul de  $S^2_{\text{argile}}$ , lequel est obtenu à l'aide des sondages interprétés en couches électriques. Puisque la transformation des résistivités apparentes en modèles électriques est souvent longue à réaliser, il est intéressant de vérifier si, tel que trouvé par Kalinski et al., il est possible d'établir une relation entre les résistivités apparentes, obtenues directement sur le terrain, et la valeur  $S^2_{\text{argile}}$ , ceci afin de limiter le temps nécessaire au calcul de  $S^2_{\text{argile}}$  et à l'élaboration d'une carte du potentiel de protection (carte de  $S^2_{\text{argile}}$ ).

Pour ce faire, une analyse de régression linéaire a été effectuée afin de trouver une relation entre le facteur  $AB/p_a$  et  $S^2_{\text{argile}}$ . Étant donnée la distribution des points sur le graphique, le logarithme népérien des facteurs  $AB/p_a$  et  $S^2_{\text{argile}}$  a été utilisé. Le tableau 6.7 résume les résultats de l'analyse tenant compte de tous les sondages, complets et abrégés.

Tableau 6.7 : Coefficient de corrélations de  $\ln(AB/p_a)$  versus  $\ln(S_{\text{argile}})$  utilisant tous les sondages électriques

| Espacement AB du facteur $AB/p_a$ | Pente | Intersection à l'origine | Coefficient de corrélation $r^2$ |
|-----------------------------------|-------|--------------------------|----------------------------------|
| 4 m                               | 0,36  | -1,25                    | 0,02                             |
| 8 m                               | 1,13  | -0,39                    | 0,13                             |
| 30 m                              | 2,12  | -1,00                    | 0,70                             |
| 80 m                              | 1,66  | -1,95                    | 0,74                             |
| 150 m                             | 1,57  | -2,11                    | 0,68                             |
| 200 m                             | 1,50  | -2,21                    | 0,58                             |

La meilleure estimation de  $S^2_{\text{argile}}$  est obtenue avec le facteur pour  $AB = 80\text{m}$ . La relation obtenue a un coefficient de corrélation  $r^2$  de 0.74:

$$(6.6a) \ln(S^2) = (1.66 * \ln(AB/pa)) - 1.95$$

ou

$$(6.6b) S = e^{-0.975} * (AB/pa)^{0.828}$$

La figure 6.21 illustre l'équation 6.6a.

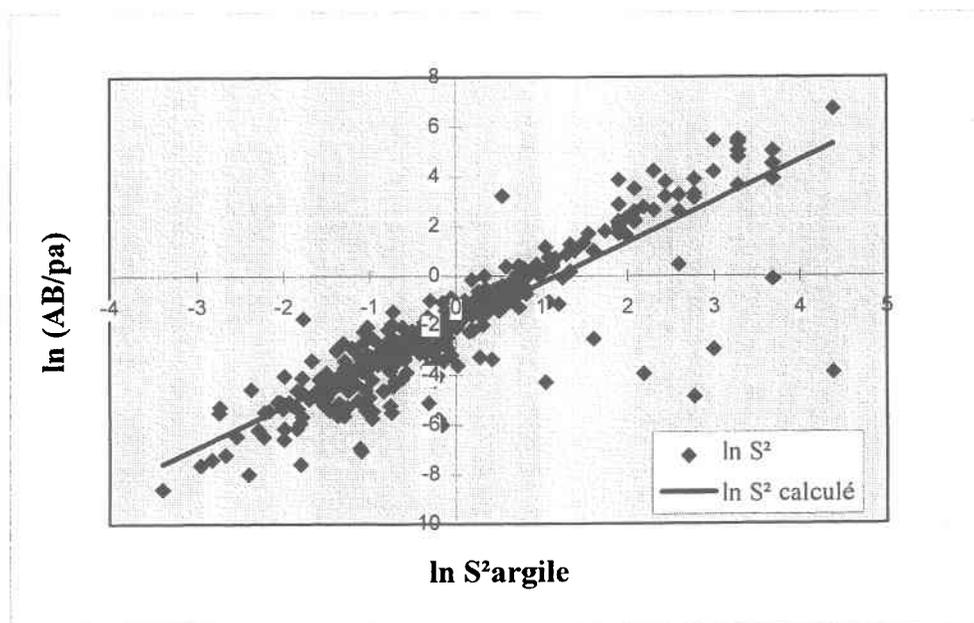


Figure 6.21 : Corrélation  $\ln(AB/p_a)$  versus  $\ln(S^2_{\text{argile}})$  pour  $AB = 80\text{m}$ .

Les figures 6.22a et 6.22b permettent de comparer la carte de S obtenue avec les sondages interprétés (S mesurée) avec la carte de S obtenue avec la relation ci-dessus (S calculée). Les deux cartes sont très similaires.

Les cartes sont aussi très similaires à celles obtenues pour l'épaisseur d'argile (figures 6.8a et 6.8b). Puisque

$$(6.7) S = \text{Somme}(b_i/p_i)$$

et puisque la résistivité de l'argile varie peu (tableau 6.3), alors l'épaisseur d'argile devient un facteur important dans la détermination de S et du TOT.

Dans un cas plus réel où la relation entre les facteurs  $AB/pa$  et  $S_{\text{argile}}^2$  devrait être déterminée à partir de quelques sondages seulement (par exemple une trentaine de sondages pour la superficie de la présente région d'étude), les résultats sont les suivants (ces résultats sont obtenus en considérant uniquement les sondages complets, lesquels devraient bien représenter la région puisqu'ils sont distribués uniformément):

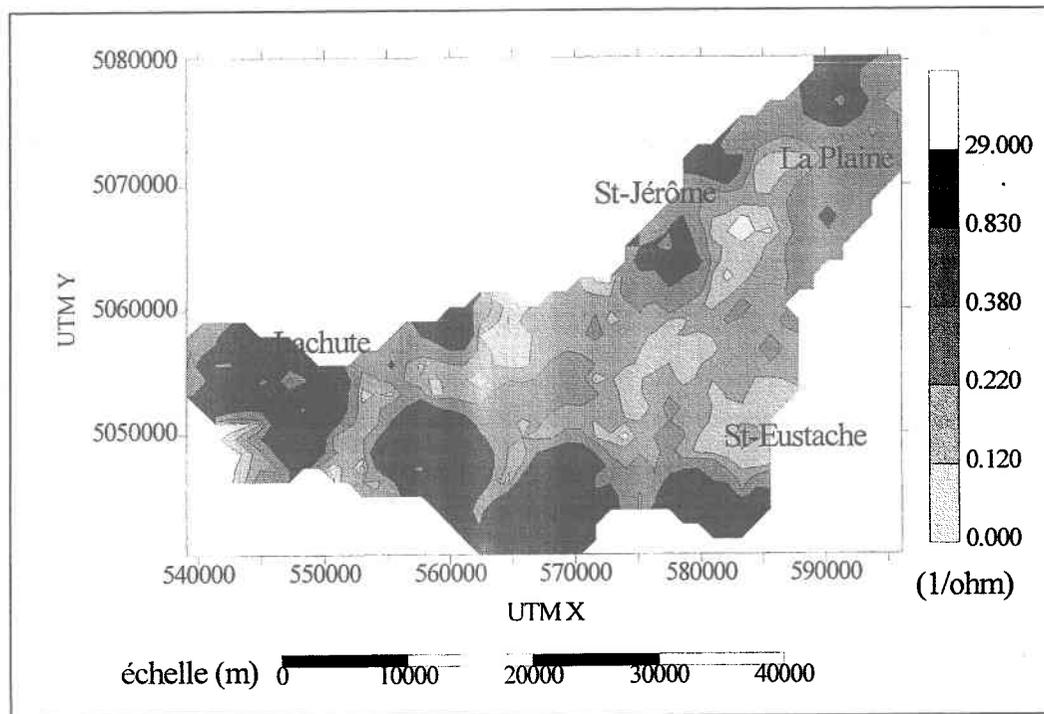


Figure 6.22a : S mesurée à l'aide des sondages interprétés

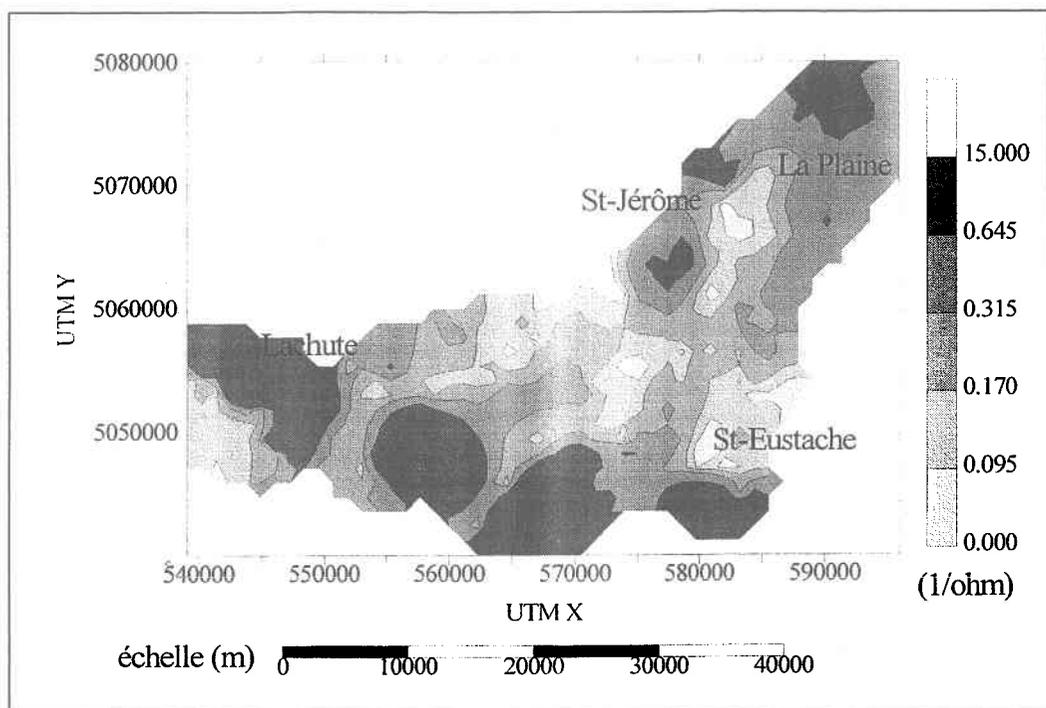


Figure 6.22b : S calculée à partir de l'équation 6.6b ( $S = e^{-0.975} * (AB/p_a)^{0.828}$ )

Tableau 6.8 : Corrélations de  $\ln(AB/p_a)$  versus  $\ln(S_{\text{argile}})$  utilisant les sondages complets

| Espacement AB du facteur AB/p <sub>a</sub> | Pente | Intersection à l'origine | Facteur de corrélation r <sup>2</sup> |
|--|-------|--------------------------|---------------------------------------|
| 40m  | 0.978 | (-0.474)                 | 0.60                                  |
| 50m  | 0.996 | (-0.605)                 | 0.65                                  |
| 60m  | 0.980 | (-0.752)                 | 0.66                                  |
| 70m  | 0.983 | (-0.851)                 | 0.72                                  |
| 80m  | 1.041 | (-0.892)                 | 0.79                                  |
| 90m  | 0.977 | (-0.982)                 | 0.78                                  |
| 100m                                       | 0.941 | (-1.048)                 | 0.77                                  |

Dans ce cas la relation pour AB = 80 mètres devient

$$(6.8) \quad S = e^{-0.446} * (AB/p_a)^{0.521}$$

avec un facteur de corrélation  $r^2$  de 0.79. Dans ce cas-ci tous les sondages sont considérés et l'équation 6.8 est valable pour toutes les valeurs S.

La carte de la figure 6.22c présente le potentiel de protection (carte S) calculé avec la régression obtenue pour les 32 sondages complets.

Puisque cette carte est tout à fait comparable aux deux cartes obtenues précédemment, il est permis de conclure qu'à l'aide de quelques modèles géoélectriques seulement (32 modèles pour la présente région, soit une moyenne de un modèle pour moins de 35 km<sup>2</sup>) il est possible d'établir une relation entre la résistivité apparente pour un espacement donné et la valeur  $S^2_{\text{argile}}$ , laquelle est proportionnelle à la valeur TOT. Par la suite cette relation, appliquée sur l'ensemble des valeurs de résistivités apparentes de tous les sondages, permet de tracer une carte du potentiel de protection valable.

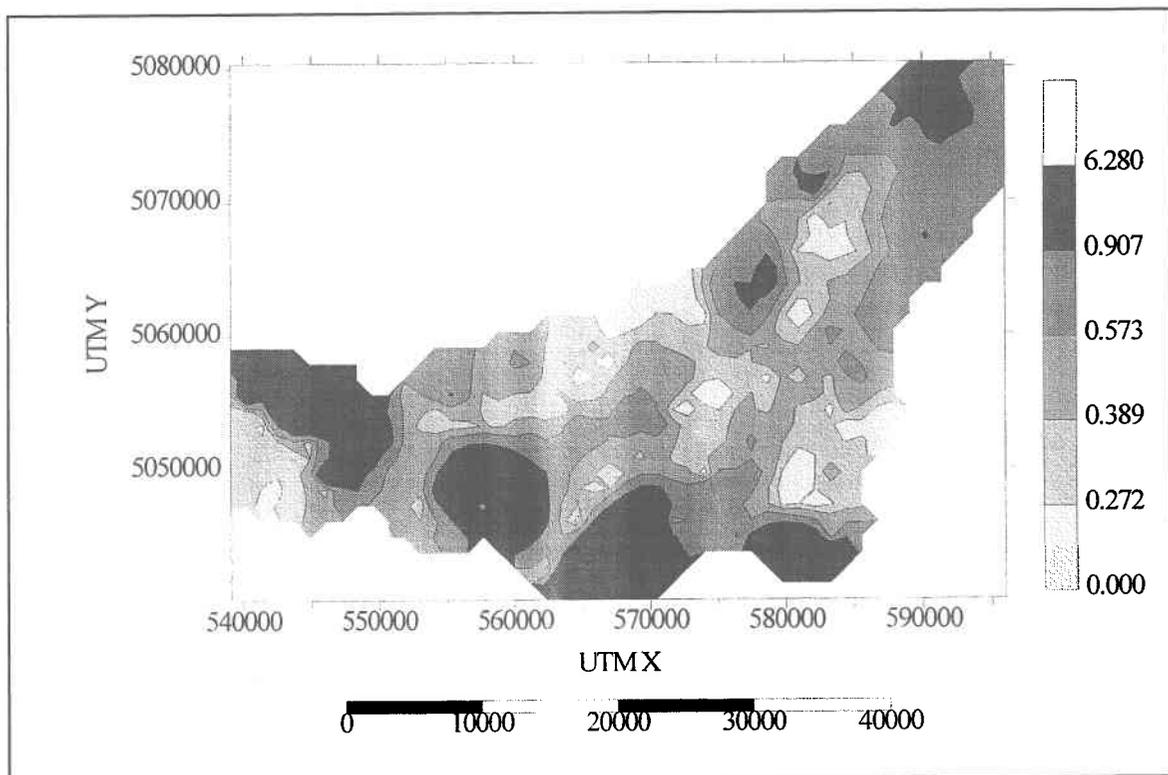


Figure 7.22c : S calculée à partir de l'équation 6.8 ( $S = e^{-0.446} * (AB/pa)^{0.521}$ )

## 6.8 Analyse géostatistique

L'analyse géostatistique a été effectuée pour les quatre variables suivantes: résistivité apparente pour l'espacement AB de 80m, épaisseur d'argile obtenue par les sondages, épaisseur d'argile obtenue par les forages et résistivité de l'aquifère.

Dans un premier temps, plusieurs courbes de variogrammes ont été calculées par un programme structuré de façon à calculer les points de la courbe en fonction des directions ang considérées individuellement (variogrammes directionnels) et modifiable de façon à prendre toutes les directions à la fois (variogrammes omnidirectionnels).

Les variogrammes directionnels sont illustrés à l'annexe 5. Ils ont servi principalement à vérifier l'anisotropie des variables. Les directions sont numérotées de -85 degrés à +85 degrés avec un intervalle de 10 degrés entre chacune. Par exemple, la direction -55 degrés comprend tous les couples de valeurs de direction comprise entre -50 et -60 degrés. La direction 0 degré représente l'axe est-ouest alors que -45 degrés représente l'axe SE-NO.

Les quatre variogrammes omnidirectionnels ont fait l'objet d'une étude plus détaillée. Ils sont présentés dans l'annexe 6. Pour chacun, un modèle théorique sphérique a été ajusté par minimisation de l'erreur moyenne entre la valeur réelle et celle estimée à l'aide du modèle. La détermination des caractéristiques du modèle a permis de fixer la zone d'influence, ou la portée ( $a$ ), et le rapport  $C/C_0$  qui indique l'importance de la composante régionalisée par rapport à la composante aléatoire. Comme pour les variogrammes directionnels, l'allure de la courbe a permis d'évaluer la continuité de la variable. Le tableau 6.9 regroupe les caractéristiques moyennes des modèles pour les quatre variables analysées.

Tableau 6.9 : Caractéristiques moyennes des modèles d'ajustement

|            | Résistivité apparente<br>AB = 80m | Argile_b<br>par sondages | Argile_b<br>par forages | Résistivité<br>de l'aquifère |
|------------|-----------------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------------|
| Portée (a) | 5650                              | 3000                     | 3900                    | 3900                         |
| C/Co       | 1.71                              | 1.13                     | 0.51                    | 1.36                         |
| erreur %   | 0.104                             | 0.096                    | 0.087                   | 0.086                        |

### 6.8.1 Rapport C/Co

Le rapport C/Co indique l'importance de la composante régionalisée de la variable par rapport à la composante aléatoire. C'est aussi un indice de la pertinence de l'application de la géostatistique puisque dans le cas où la composante aléatoire est forte, et donc le rapport petit, les méthodes de statistique classique sont préférablement utilisées.

Le rapport est maximal pour la résistivité apparente (AB = 80m) et minimal pour la résistivité de l'aquifère. Dans ce dernier cas, le rapport étant inférieur à 1, l'application de la géostatistique est questionable.

### 6.8.2 Zone d'influence ou portée (a)

La zone d'influence indique la distance au-delà de laquelle les valeurs de la variable n'ont plus d'influence entre elles. Lorsqu'il n'est pas possible de déterminer la zone d'influence sur une courbe de variogramme, il y a deux possibilités: soit la zone d'influence est inférieure à l'incrément h sur la séparation, soit la courbe du variogramme ne comprend pas de zone d'influence, c'est-à-dire que le variogramme présente un effet pépité pur (variogramme = palier) et les méthodes géostatistiques sont sans utilité.

Il est possible de remarquer de telles courbes parmi les variogrammes directionnels. Les variogrammes omnidirectionnels présentent tous une zone d'influence (tableau 6.9). La résistivité apparente pour l'espacement AB de 80m est la variable qui a la plus grande zone d'influence (5650m).

### 6.8.3 Continuité de la variable dans le domaine

La continuité de la variable s'évalue selon l'allure de la courbe du variogramme. Plus la courbe est lisse, plus la variable est continue dans le domaine. À l'inverse, des irrégularités dans la courbe sont l'expression de la non continuité.

Bien que la régularité des courbes ne soit pas quantifiée, il semble que seule la courbe de résistivité apparente soit régulière. Les courbes des variogrammes directionnels sont généralement encore moins lisses que leurs équivalents omnidirectionnels, entre autres dû au fait que le nombre de couples de valeurs soit dans ce cas beaucoup plus faible.

### 6.8.4 Anisotropie

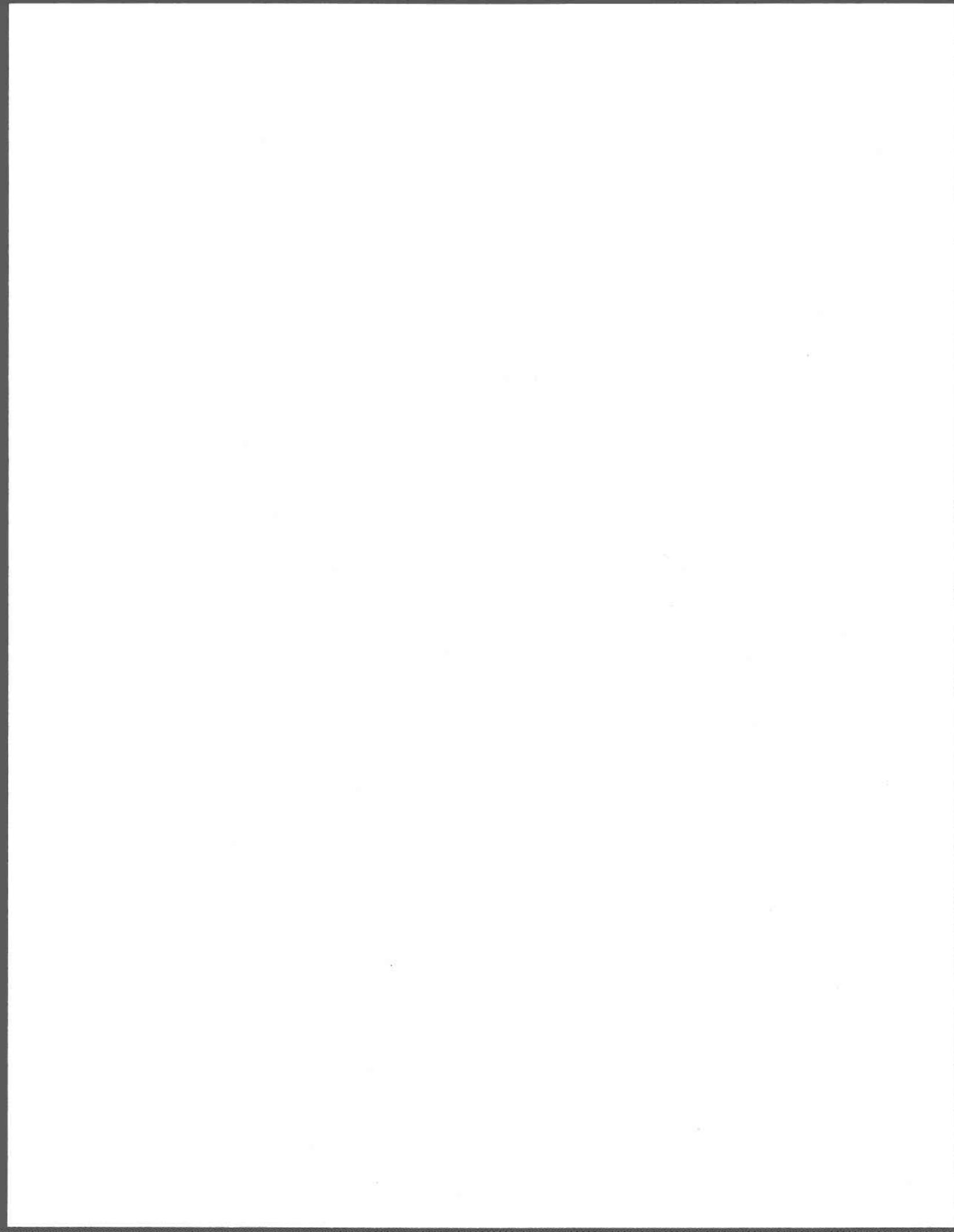
Toutes les variables analysées sont anisotropes, c'est-à-dire qu'elles engendrent des variogrammes différents selon la direction. Le tableau 6.10 présente les directions (ang) pour lesquelles les zones d'influence sont non nulles, ainsi que la longueur approximée (a) des zones d'influence.

Tableau 6.10 : Caractéristiques des variogrammes directionnels

| Résistivité apparente<br>AB = 80m |      | Argile_b<br>par sondages |      | Argile_b<br>par forages |      | Résistivité<br>de l'aquifère |      |
|-----------------------------------|------|--------------------------|------|-------------------------|------|------------------------------|------|
| ang                               | a    | ang                      | a    | ang                     | a    | ang                          | a    |
| 5                                 | 2500 | (-65)                    | 4000 | (-55)                   | 1500 | (-65)                        | 2000 |
| 15                                | 3500 | (-55)                    | 3000 | (-45)                   | 1000 | (-45)                        | 1500 |
| 55                                | 4500 | (-45)                    | 3000 | (-35)                   | 1500 | (-15)                        | 2000 |
| 65                                | 4000 | (-35)                    | 3500 | (-5)                    | 2500 | (-5)                         | 3500 |
| 75                                | 3500 | 75                       | 3500 | 15                      | 2500 | 5                            | 4500 |
|                                   |      | 85                       | 2000 |                         |      | 15                           | 3000 |
|                                   |      |                          |      |                         |      | 25                           | 3000 |
|                                   |      |                          |      |                         |      | 75                           | 4000 |

---

L'analyse géostatistique démontre que les quatre variables considérées sont toutes anisotropes. Cependant, les faibles rapports  $C/C_0$ , l'irrégularité des courbes et l'abondance des variogrammes directionnels sans portée font en sorte que l'application de la géostatistique n'est pas nécessairement idéale. Dans un tel cas, la méthode d'interpolation par inverse au carré de la distance est une méthode qui devrait être préférablement utilisée. La technique de krigeage n'est donc pas utilisée pour la construction des cartes et par conséquent il n'est pas possible de calculer l'erreur sur l'estimation engendrée lors de l'interpolation.



## 7 CONCLUSION

Ce travail a montré que la méthode des sondages électriques permet d'une part de caractériser la vulnérabilité des aquifères par le biais de l'estimation de l'épaisseur de la couche argileuse et des autres couches de dépôts meubles et, d'autre part, d'établir une relation entre les paramètres électriques et les propriétés hydrauliques des aquifères. De plus, les sondages ont favorisé la compréhension de la distribution des différents types de dépôts meubles, à la fois en plan et en coupe. Il faut préciser que la méthode des sondages électriques a été écourtée par rapport à ce qui se fait habituellement de façon à permettre son application à l'échelle régionale. En particulier, cette méthode, dite de sondages, est voisine de celle des profils et elle permet de coupler les avantages des deux méthodes. Bien entendu, la méthode employée pour ce travail ne saurait être appropriée pour une caractérisation locale et précise.

Dans une première approche les cartes d'isocontours de résistivité apparente ont permis d'émettre quelques hypothèses sur la distribution des différents types de dépôts meubles et sur la surface du socle rocheux. Alors que la topographie de cette région est peu accidentée, il est montré que la surface du roc, elle, est irrégulière et qu'elle présente des dépressions (corridors) ressemblant à d'anciens lits de rivière. La colonne argileuse, qui est le type de matériel le plus important en volume dans cette région, paraît plus épaisse au centre des vallées et plus mince sur les crêtes rocheuses. Enfin, les dépôts de surface affectent les résistivités apparentes pour les faibles espacements AB (4m et 8m) de façon significative puisque les zones sableuses sont caractérisées par des résistivités apparentes plus élevées que les zones argileuses. Les hypothèses émises à partir des cartes de résistivité apparente ont ensuite été vérifiées par l'élaboration de quatre sections types dans cette région.

Par la suite la calibration des courbes électriques a permis d'identifier les intervalles de résistivités vraies caractéristiques pour chacun des types de dépôts meubles rencontrés.

L'argile est facilement détectée sur les courbes alors que l'horizon sous-jacent, qui est de composition très variable, est difficilement différenciable. Entre le till glaciaire, l'horizon de sable-gravier fluvioglaciaire saturé et les premiers mètres du socle rocheux altérés et saturés, la signature géophysique d'un sondage réduit à six espacements AB est sensiblement la même. Le modèle géophysique conceptuel, qui a servi pour l'interprétation de tous les sondages, tient compte de cette particularité. Il comporte quatre couches distinctes, soit le sable de surface, d'origine éolienne ou le sable de remblai de routes (les sondages électriques ont majoritairement été effectués en bordure des routes), la couche argileuse, l'horizon de matériel glaciaire, comprenant le till, le sable-gravier et le roc altéré, et finalement le roc sain ou fracturé. Il est à noter que le sommet de l'aquifère a été positionné sous la couche argileuse, au sommet de la troisième couche du modèle conceptuel (horizon de matériel glaciaire) ou de la quatrième couche (roc) lorsque cette dernière n'était pas présente. L'étude du contexte hydrogéologique de cette région confirme que l'aquifère type de ce secteur est captif sous l'argile.

La méthode des sondages électriques abrégés s'est révélée particulièrement efficace pour l'estimation de l'épaisseur de la colonne argileuse. Les nombreux forages répertoriés dans la région de Mirabel ont en effet permis de confronter les résultats de l'interprétation géophysique à ceux obtenus à l'aide des forages. Pour les autres couches de dépôts, c'est-à-dire le sable de surface et l'horizon de matériel glaciaire, les différences d'épaisseurs observées s'expliquent par la position et la densité des points qui sont différentes pour les sondages et pour les forages, et aussi par l'erreur reliée à l'interprétation des sondages. En particulier pour la couche de matériel glaciaire, la complexité de la composition de cette couche nécessiterait des mesures pour des espacements AB plus abondantes afin de mieux cerner les limites de la couche. L'épaisseur totale des dépôts meubles est reliée à la résistivité vraie de la dernière couche. Plus la résistivité est faible et plus l'épaisseur totale est grande. Cette constatation résulte du fait que dans plusieurs cas les sondages ne pénètrent pas jusqu'au roc et que donc les résistivités vraies des dernières couches ne sont pas forcément les résistivités du socle rocheux.

Il est aussi intéressant de constater que la transmissivité de l'aquifère semble proportionnelle à sa résistivité vraie. Les différences d'épaisseurs saturées entre les milieux poreux et fracturés, même à l'intérieur d'un même type de milieu, sont possiblement responsables de ce phénomène. En particulier, pour la région de Mirabel, le milieu fracturé est plus épais et aussi plus transmissif que le milieu poreux. A l'intérieur du milieu poreux, le contenu argileux diminue à la fois la résistivité électrique et la conductivité hydraulique.

La couche argileuse sus-jacente agit comme protecteur naturel contre la contamination qui s'infiltré dans le sol. La valeur de la conductance longitudinale de l'argile au carré ( $S^2_{\text{argile}}$ ) est proportionnelle à la valeur TOT (time-of-travel) laquelle sert d'indice du potentiel de protection de l'argile. Pour évaluer rapidement  $S^2_{\text{argile}}$ , une relation entre le facteur  $AB/pa$  pour  $AB = 80\text{m}$  et  $S^2_{\text{argile}}$  a été établie. De part sa définition,  $S^2_{\text{argile}}$  ( $= (bi/\pi)^2$ ) est fortement influencé par l'épaisseur d'argile et il a été vérifié que les zones où le potentiel de protection argileux estimé est grand coïncide avec les zones pour lesquelles l'épaisseur d'argile est aussi la plus grande. Pour la région de Mirabel, seulement une trentaine de sondages électriques uniformément distribués aurait pu être suffisante à établir la relation  $S^2_{\text{argile}}$  - facteur  $AB/pa$ .

Finalement, l'analyse géostatistique des quatre variables sélectionnées a permis de montrer que ces variables sont à la fois anisotropes et qu'elles engendrent des variogrammes irréguliers. Les faibles rapports  $C/Co$ , en particulier pour la résistivité de l'aquifère, laissent présager que la géostatistique est une méthode d'interpolation qui est difficile d'application pour ces variables, telles que mesurées dans le cadre de ce travail.

Pour faire suite à ce travail la réalisation de quelques sondages complets supplémentaires à proximité des essais de pompage permettrait de préciser la relation résistivité-transmissivité. Il serait intéressant d'une part de vérifier si les aquifères en milieu poreux engendrent une relation différente de ceux en milieux fracturés et d'autre part de vérifier l'applicabilité de la relation à l'échelle régionale et locale. Une meilleure connaissance géophysique de la couche sous-jacente à l'argile serait aussi souhaitable puisqu'elle est la matrice dans laquelle l'eau souterraine circule. Pour ce faire il s'agirait d'augmenter le

nombre d'espacements AB pour la profondeur visée afin de caractériser les différents sous-horizons qui composent l'unité représentée par la troisième couche du modèle conceptuel dans ce travail.

## **Bibliographie**

Aboufirassi, M., et Z. Sen (1989). Geostatistical modelling of the Wasia aquifer in central-Saudi Arabia. *Journal of Hydrology*, vol. 110: p.295-314.

Al-Ruwaih, F., et H. Omer Ali (1986). Resistivity measurements for groundwater investigation in the Umm Al-Aish area of northern Kuwait. *Journal of Hydrology*, vol. 88: p. 185-198.

Astier, J. L. (1971). *Géophysique appliquée à l'hydrogéologie*. Paris, Masson.

Bardossy, A., I. Bogardi et W.E. Kelly (1985). Geostatistical analysis of geoelectric estimates for specific capacity. *Journal of hydrology*, vol. 84: p.81-95.

Barker, R. D. (1990). Improving the quality of resistivity sounding data in landfill studies. *Geotechnical and environmental geophysics*, vol. 2: p.245-251.

Blatt, H. (1982). *Sedimentary petrology*. New York, W. H. Freeman and Company, 536 p.

Campy, M., et J. J. Macaire (1989). *Géologie des formations superficielles: géodynamique-faciès-utilisation*. Paris, Masson, 424 p.

Delhomme, J.P. (1979). Spatial variability and Uncertainty in Groundwater Flow Parameters: A Geostatistical Approach. *Water resources Research*, vol. 15 (no. 2): p. 269-280.

Desaulniers, D. E., et J. A. Cherry (1989). Origin and movement of groundwater and major ions in a thick deposit of Champlain Sea clay near Montréal. *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 26 ( no. 1): p. 80-89.

Detay, M., et J. J. Collin (1995). Introduction à la gestion active des aquifères: concept et philosophie. *Hydrogéologie*, no. 1: p. 3-11.

Driscoll, F. G. (1986). *Groundwater and wells*. Minnesota, F. G. Driscoll, 1089 p.

Fogg, G. E. (1986). Groundwater flow and sand body interconnectedness in a thick, multiple-aquifer system. *Water Resources Research*, vol. 22 ( no. 5): p. 679-694.

Fransham, P. B., N. R. Gadd et P. A. Carr (1976). *Geological variability of marine deposits, Ottawa-St. Lawrence lowlands*. Geological Survey of Canada, paper 76-1A: p. 37-41.

- Frohlich, R. K. (1973). Detection of fresh water aquifers in the glacial deposits of northwestern Missouri by geoelectrical methods. *Water Resources Bulletin*, vol. 9 (no. 4): p. 723-733.
- Gambolati, G. Et G. Volpi (1979). Groundwater Contour Mapping in Venice by Stochastic Interpolators, 1. Theory. *Water Resources Research*, vol. 15 (no. 2): p. 281-297.
- Hillaire-Marcel, C. (1974). La déglaciation au nord-ouest de Montréal: données radiochronologiques et faits stratigraphiques. *Revue de Géographie de Montréal*, vol. XXVIII (no. 4): p. 407-417.
- Kalinski, R. J., W. E. Kelly et I. Bogardi (1993). Combined use of geoelectric sounding and profiling to quantify aquifer protection properties. *Ground Water*, vol. 31 (no. 4): p.538-544.
- Keller, G. V., et F. C. Frischknecht (1966). *Electrical methods in geophysical prospecting*. New York, Pergamon Press, 517 p.
- Kelly, W. E. (1977). Geoelectric sounding for estimating aquifer hydraulic conductivity. *Ground Water*, vol. 15 (no. 6): p. 420-425.
- Kelly, W. E., et I. Landa (1985). Geophysical model for relations between electrical and hydraulic properties of aquifers. *Journal of Hydrology*, vol. 79: p. 1-19.
- Kosinski, W. K., et W. Kelly (1981). Geoelectric soundings for predicting aquifer properties. *Ground Water*, vol. 19 (no. 2): p.163-171.
- Kunetz, G., et al. (1970). Traitement automatique des sondages électriques. *Geophysical prospecting*, vol. 18: p.157-198.
- Landry, B., et M. Mercier (1983). *Notion de géologie*. Mont-Royal, Québec, Modulo éditeur, 430 p.
- Lutgens, F. K., et E. J. Tarbuck (1989). *Essentials of geology*. Columbus, Ohio, Merrill Publishing Company, 378 p.
- Maranda, R. (1977). *Levé géotechnique de la région de Lachute-Terrebonne*. Ministère des richesses naturelles, direction générale des mines, direction de la géologie, service de géotechnique, DPV-537, 11 p.

- Mazac, O., M. Cislerova, W. E. Kelly, I. Landa et D. Venhodova (1990). Determination of hydraulic conductivities by surface geoelectrical methods. *Geotechnical and environmental geophysics*, vol. 2: Environmental and groundwater, p125-131.
- Meyer de Stadelhofen, C. (1991). *Applications de la géophysique aux recherches d'eau*. Paris, TEC DOC Lavoisier.
- Niwas, S., et D. C. Singhal (1981). Estimation of aquifer transmissivity from Dar-Zarrouk parameters in porous media. *Journal of Hydrology*, vol. 50: p. 393-399.
- Niwas, S., et D. C. Singhal (1985). Aquifer transmissivity of porous media from resistivity data. *Journal of Hydrology*, vol. 82: p.143-153.
- O'Neill, D.J. (1975). Improved linear filter coefficients for application in apparent resistivity computations. *Bulletin - Australian Society of Exploration Geophysicists*, vol. 6 (no. 4): p.104-109.
- Parent, M., et S. Occhietti (1988). Late wisconsinan deglaciation and champlain sea invasion in the St. Lawrence valley, Quebec. *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 42 (no. 3): p.215-246.
- Park, K. P., et Bentley, L. R. (1996). Enhancing Data Worth of EM Survey in Site Assessment by Cokriging. *Ground Water*, vol. 34 (no. 4): p. 597-604.
- Pesti, G., I. Bogardi, W. E. Kelly et R. J. Kalinski (1993). Cokriging of geoelectric and well data to define aquifer protective layers. *Ground Water*, vol. 31 (no. 6): p. 905-912.
- Prichonnet, G. (1977). La déglaciation de la vallée du Saint-Laurent et l'invasion marine contemporaine. *Géographie physique et Quaternaire*, vol. XXXI (nos. 3-4): p.323-345.
- Robert, A., et A. G. Roy (1993). La modélisation fractale et la variabilité spatiale des phénomènes naturels. *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 47 (no. 1): p. 3-19.
- Seguin, M. K. (1971). *La géophysique et les propriétés physiques des roches*. Sainte-Foy, Université Laval.
- Simard, G. (1977). Carbon 14 and tritium measurements of groundwaters in the Eaton River Basin and in the Mirabel area, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, vol. 14: p. 2325-2338.
- Simard, G. (1978). *Hydrogéologie de la région de Mirabel*. Gouvernement du Québec, ministère des richesses naturelles, direction générale des eaux, H.G.-11, 28 p.

Tavenas, F., P. Jean, P. Leblond et S. Leroueil (1983). The permeability of natural soft clays. Part II: permeability characteristics. *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 20: p. 645-660.

Telford, W. M., L. P. Geldart et R. E. Sheriff (1976). *Applied geophysics*. London, Cambridge University Press.

Thornbury, W. D. (1969). *Principles of geomorphology*. John Wiley and sons Inc., 573 p.

Trenhaile, A. S. (1990). *The geomorphology of Canada*. Oxford University Press, 222p.

Zohdy, A. A. R. (1968). The effect of current leakage and electrode spacing errors on resistivity measurements. *Geological survey professional paper*, vol. 600D: p. D258-D264.

Zohdy, A. A. R. (1988). *Groundwater exploration with Schlumberger soundings near Jean, Nevada*. United States department of the interior geological survey, 14 p.

Zohdy, A. A. R. (1989). A new method for the automatic interpretation of Schlumberger and Wenner sounding curve. *Geophysics*, vol. 54 (no. 2): p. 245-253.

Zohdy, A. A. R., G. P. Eaton et D. R. Mabey (1974). *Application of Surface geophysics to Ground-Water Investigations: Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey*, Book 2, Chapter D1. Stanley H. Ward, 116 p.

## **ANNEXE A.1**

Acquisition des données: sondages  
électriques abrégés

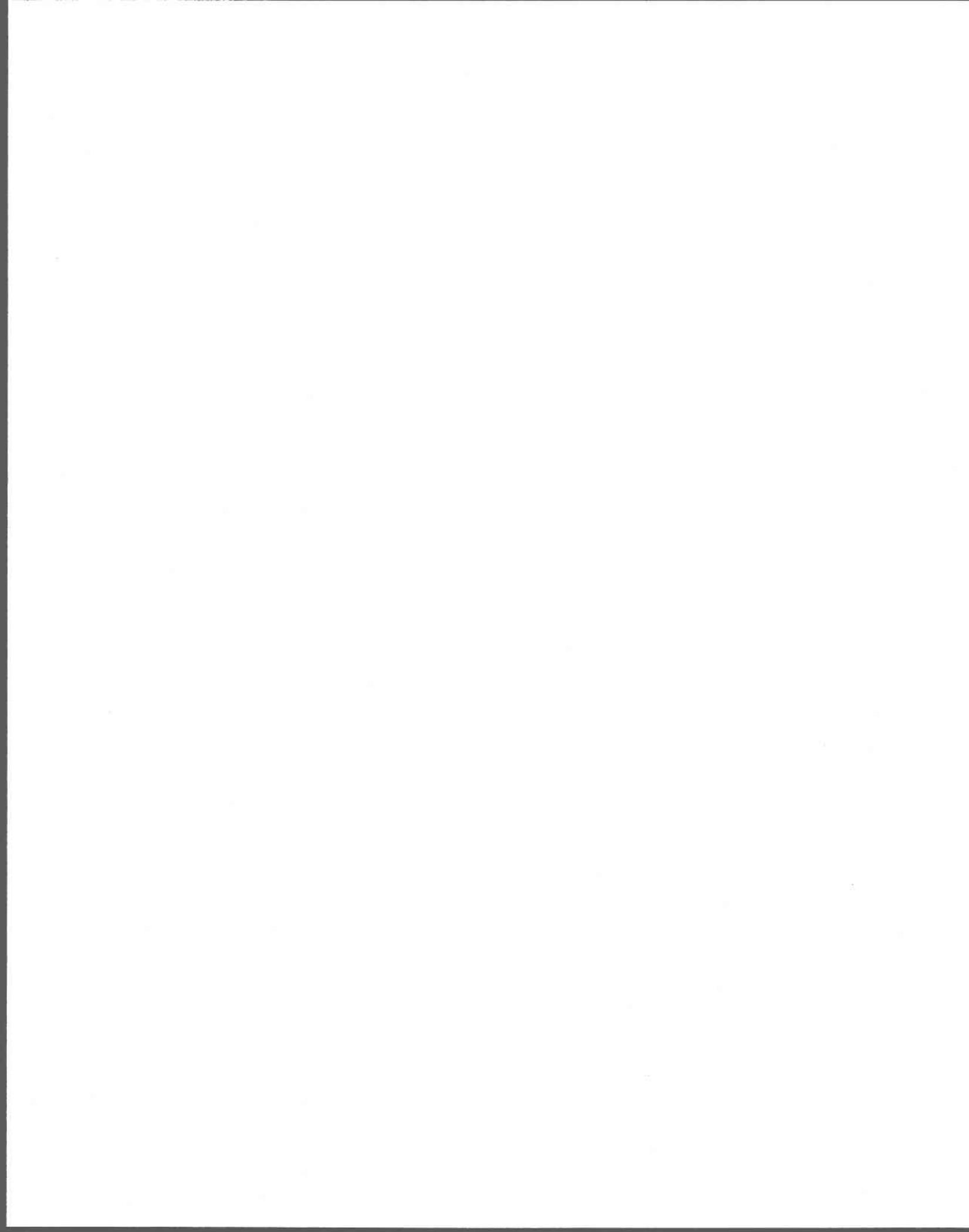


Tableau A.1 : Acquisition des données: sondages électriques abrégés

| Identification<br>du relevé | Z (m) | Orientation<br>du relevé | Type de<br>courbe | Séparation des électrodes de courant |     |      |      |      |      |
|-----------------------------|-------|--------------------------|-------------------|--------------------------------------|-----|------|------|------|------|
|                             |       |                          |                   | 4m                                   | 8m  | 30m  | 80m  | 150m | 200m |
| RE-1                        | 39    | 90                       | H                 |                                      | 23  | 17   | 23   | 36   | 16   |
| RE-2                        | 38    | 90                       | H                 |                                      | 21  | 10   |      | 11   | 14   |
| RE-3                        | 38    | 90                       |                   |                                      | 10  | 36   | 18   | 1143 | 501  |
| RE-4                        | 35    | 90                       | H                 |                                      | 27  | 9    | 3    | 5    | 7    |
| RE-5                        | 35    | 90                       | H                 |                                      | 20  | 5    | 3    | 7    | 35   |
| RE-6                        | 35    | 90                       | H                 |                                      | 26  | 17   | 8    | 476  | 627  |
| RE-7                        | 33    | 90                       | H                 |                                      | 28  | 10   | 104  | 440  | 46   |
| RE-8                        | 38    | 90                       | H                 |                                      | 23  | 21   | 16   | 343  | 44   |
| RE-9                        | 38    | 90                       | 2M                |                                      | 27  | 26   | 28   | 9    |      |
| RE-10                       | 35    | 90                       | H                 |                                      | 21  | 10   | 6    | 9    |      |
| RE-11                       | 38    | 90                       | 2P                |                                      | 25  | 62   | 149  | 242  | 266  |
| RE-12                       | 40    | 90                       |                   |                                      |     |      |      |      |      |
| RE-13                       | 35    | 90                       | 2P                |                                      | 27  | 77   | 163  | 307  | 414  |
| RE-14                       | 40    | 90                       | 2P                |                                      | 31  | 102  | 290  | 765  |      |
| RE-15                       | 44    | 90                       | K                 |                                      | 67  | 238  | 1138 | 660  | 56   |
| RE-16                       | 41    | 90                       | A                 |                                      | 154 | 274  | 554  | 619  | 1400 |
| RE-17                       | 51    | 90                       | 2P                |                                      | 277 | 704  | 1331 | 1683 | 1654 |
| RE-18                       | 50    | 90                       | 2P                |                                      | 24  | 79   | 223  | 369  | 768  |
| RE-19                       | 39    | 90                       | 2P                |                                      | 28  | 82   | 194  | 346  | 440  |
| RE-20                       | 44    | 90                       | 2P                |                                      | 189 | 268  | 535  | 765  | 971  |
| RE-21                       | 49    | 90                       | K                 |                                      | 273 | 827  | 1143 | 1231 | 877  |
| RE-22                       | 51    | 90                       | 2P                |                                      | 391 | 1352 | 1747 | 3694 | 2570 |
| RE-23                       | 52    | 90                       | 2P                |                                      | 37  | 139  | 372  | 915  | 1097 |
| RE-24                       | 53    | 90                       | 2P                |                                      | 26  | 78   | 211  | 668  | 595  |
| RE-25                       | 51    | 90                       | A                 |                                      | 124 | 203  | 286  | 342  | 495  |
| RE-26                       | 50    | 90                       | 2P                |                                      | 98  | 254  | 543  | 770  | 890  |
| RE-27                       | 44    | 90                       | 2P                |                                      | 279 | 570  | 791  | 825  | 821  |
| RE-28                       | 49    | 90                       | 2P                |                                      | 41  | 132  | 310  | 535  | 686  |
| RE-29                       | 51    | 90                       | 2P                |                                      | 152 | 495  | 1153 | 1592 | 1796 |
| RE-30                       | 50    | 90                       | 2P                |                                      | 132 | 337  | 635  | 992  | 1135 |
| RE-31                       | 52    | 90                       | 2P                |                                      | 105 | 474  | 1020 | 1421 | 2319 |
| RE-32                       | 58    | 90                       | 2P                |                                      | 323 | 1017 | 1861 | 2730 | 2708 |
| RE-33                       | 34    | 90                       | 2P                |                                      | 37  | 128  | 284  | 501  | 633  |
| RE-34                       | 34    | 90                       | 2P                |                                      | 39  | 93   | 227  | 366  | 426  |
| RE-35                       | 35    | 90                       | 2P                |                                      | 23  | 30   | 59   | 103  |      |
| RE-36                       | 35    | 90                       |                   |                                      | 18  | 10   |      |      |      |
| RE-37                       | 32    | 90                       | H                 |                                      | 14  | 6    | 5    | 9    |      |
| RE-38                       | 38    | 90                       | 2P                |                                      | 45  | 137  | 304  | 524  | 627  |
| RE-39                       | 33    | 90                       | H                 |                                      | 119 | 36   | 36   | 62   | 79   |
| RE-40                       | 41    | 90                       | 2P                |                                      | 139 | 166  | 228  | 355  | 423  |
| RE-41                       | 43    | 90                       | 2P                |                                      | 219 | 410  | 1129 | 1379 | 1313 |
| RE-42                       | 40    | 135                      | A                 |                                      | 55  | 133  | 210  | 440  | 574  |
| RE-43                       | 51    | 90                       | 2P                |                                      | 115 | 488  | 928  | 1305 | 1222 |
| RE-44                       | 45    | 135                      | 2P                |                                      | 17  | 35   | 108  | 221  | 295  |
| RE-45                       | 50    | 90                       | 2P                |                                      | 51  | 190  | 504  | 908  | 965  |
| RE-46                       | 79    | 45                       | 2P                |                                      | 28  | 39   | 93   | 184  | 218  |
| RE-47                       | 79    | 45                       | 2P                |                                      | 25  | 56   | 140  | 255  | 334  |

Tableau A.1 : Acquisition des données: sondages électriques abrégés

| Identification<br>du relevé | Z (m) | Orientation<br>du relevé | Type de<br>courbe | Séparation des électrodes de courant |     |     |      |      |      |
|-----------------------------|-------|--------------------------|-------------------|--------------------------------------|-----|-----|------|------|------|
|                             |       |                          |                   | 4m                                   | 8m  | 30m | 80m  | 150m | 200m |
| RE-48                       | 79    | 45                       | 2P                |                                      | 24  | 60  | 181  | 334  | 293  |
| RE-49                       | 79    | 45                       | 2P                |                                      | 27  | 45  | 99   | 155  | 176  |
| RE-50                       | 79    | 45                       | H                 |                                      | 32  | 21  | 37   | 77   | 107  |
| RE-51                       | 79    | 135                      | 2P                |                                      | 24  | 45  | 149  | 378  | 315  |
| RE-52                       | 79    | 135                      | 2P                |                                      | 20  | 48  | 128  | 260  | 356  |
| RE-53                       | 79    | 135                      | 2P                |                                      | 28  | 64  | 163  | 273  | 321  |
| RE-54                       | 79    | 90                       | 2P                |                                      | 30  | 38  | 92   | 189  | 251  |
| RE-55                       | 74    | 135                      | H                 |                                      | 43  | 34  | 60   | 103  | 119  |
| RE-56                       | 50    | 90                       | 2P                |                                      | 101 | 196 | 378  | 493  | 544  |
| RE-57                       | 63    | 90                       | 2P                |                                      | 30  | 83  | 203  | 325  | 375  |
| RE-58                       | 67    | 135                      | 2P                |                                      | 19  | 33  | 87   | 159  | 223  |
| RE-59                       | 66    | 135                      | 2P                |                                      | 22  | 33  | 71   | 131  | 167  |
| RE-60                       | 59    | 135                      | H                 |                                      | 64  | 25  | 22   | 114  | 44   |
| RE-61                       | 50    | 135                      | H                 |                                      | 23  | 8   | 4    | 5    | 6    |
| RE-62                       | 49    | 135                      | H                 |                                      | 22  | 17  | 21   | 34   | 85   |
| RE-63                       | 38    | 45                       | H                 |                                      | 19  | 16  | 39   | 76   |      |
| RE-64                       | 41    | 45                       | 2M                | 14                                   | 10  | 4   |      |      |      |
| RE-65                       | 79    | 0                        |                   |                                      |     |     |      |      |      |
| RE-66                       | 85    | 0                        |                   |                                      |     |     |      |      |      |
| RE-67                       | 83    | 0                        | 2P                |                                      | 219 | 399 | 1104 | 1469 | 1645 |
| RE-68                       | 78    | 0                        | 2P                |                                      | 57  | 173 | 523  | 943  | 1144 |
| RE-69                       | 85    | 0                        | 2P                |                                      | 247 | 542 | 1247 | 2375 | 2758 |
| RE-70                       | 85    | 0                        | 2P                |                                      | 127 | 443 | 1297 | 2392 | 2811 |
| RE-71                       | 80    | 0                        | 2P                |                                      | 152 | 271 | 673  | 1483 | 2269 |
| RE-72                       | 72    | 90                       |                   |                                      | 50  | 152 | 272  | 475  | 470  |
| RE-73                       | 73    | 90                       |                   |                                      | 27  | 63  | 178  | 350  | 464  |
| RE-74                       | 70    | 0                        | H                 | 790                                  | 589 | 216 | 792  |      |      |
| RE-75                       | 81    | 45                       | 2P                |                                      | 27  | 82  | 253  | 526  | 594  |
| RE-76                       | 88    | 45                       | 2P                |                                      | 22  | 62  | 970  | 1471 | 1943 |
| RE-77                       | 86    | 135                      | 2P                |                                      | 109 | 308 | 891  | 1055 | 1658 |
| RE-78                       | 84    | 0                        | 2P                |                                      | 49  | 222 | 540  | 865  |      |
| RE-79                       | 80    | 45                       | 2P                |                                      | 31  | 93  | 238  |      | 383  |
| RE-80                       | 79    | 90                       | H                 | 34                                   | 15  | 53  | 175  | 352  | 461  |
| RE-81                       | 80    | 45                       | 2P                | 10                                   | 10  | 51  | 168  | 334  | 401  |
| RE-82                       | 83    | 0                        | H                 | 115                                  | 89  | 203 | 698  | 1448 | 1752 |
| RE-83                       | 84    | 0                        | H                 | 31                                   | 15  | 45  | 166  | 280  | 334  |
| RE-84                       | 78    | 0                        | H                 | 84                                   | 76  | 160 | 402  | 693  | 705  |
| RE-85                       | 77    | 45                       | H                 | 449                                  | 75  | 63  | 124  | 195  | 229  |
| RE-86                       | 75    | 45                       | H                 | 25                                   | 21  | 25  | 50   | 82   |      |
| RE-87                       | 78    | 135                      | 2P                | 37                                   | 45  | 65  | 176  | 438  | 740  |
| RE-88                       | 79    | 0                        | HA                | 295                                  | 111 | 150 | 148  | 184  | 257  |
| RE-89                       | 80    | 45                       | 2P                | 24                                   | 33  | 107 | 267  | 461  | 577  |
| RE-90                       | 80    | 45                       | 2P                | 23                                   | 28  | 53  |      |      |      |
| RE-91                       | 72    | 0                        | 2P                | 20                                   | 32  | 110 |      |      |      |
| RE-92                       | 80    | 0                        | H                 | 168                                  | 67  | 100 | 302  | 623  | 802  |
| RE-93                       | 74    | 0                        | 2P                | 213                                  | 219 | 297 | 472  | 814  | 1075 |
| RE-94                       | 67    | 90                       |                   |                                      |     |     |      |      |      |

Tableau A.1 : Acquisition des données: sondages électriques abrégés

| Identification<br>du relevé | Z (m) | Orientation<br>du relevé | Type de<br>courbe | Séparation des électrodes de courant |      |     |      |      |      |
|-----------------------------|-------|--------------------------|-------------------|--------------------------------------|------|-----|------|------|------|
|                             |       |                          |                   | 4m                                   | 8m   | 30m | 30m  | 150m | 200m |
| RE-95                       | 68    | 0                        |                   | 34                                   | 19   | 45  | 133  | 375  | 472  |
| RE-96                       | 86    | 45                       | 2P                | 23                                   | 27   | 73  | 210  | 413  | 554  |
| RE-97                       | 85    | 45                       | 2P                |                                      | 30   | 82  | 240  | 433  | 557  |
| RE-98                       | 84    | 135                      | 2P                | 23                                   | 27   | 65  | 167  | 308  | 411  |
| RE-99                       | 82    | 45                       | H                 | 27                                   | 24   | 55  | 295  | 258  | 327  |
| RE-100                      | 60    | 135                      | H                 | 25                                   | 13   | 26  | 90   | 158  | 201  |
| RE-101                      | 55    | 135                      |                   | 24                                   | 25   |     |      |      |      |
| RE-102                      | 50    | 45                       | H                 | 30                                   | 19   | 22  | 43   | 94   | 176  |
| RE-103                      | 47    | 135                      | 2P                | 26                                   | 33   | 81  | 142  | 190  | 217  |
| RE-104                      | 49    | 45                       | H                 | 65                                   | 39   | 17  | 26   | 43   | 50   |
| RE-105                      | 79    | 90                       | H                 | 105                                  | 90   | 28  | 84   | 171  | 207  |
| RE-106                      | 83    | 45                       | 2P                | 22                                   | 36   | 116 | 353  | 542  | 680  |
| RE-107                      | 78    | 0                        | H                 | 1000                                 | 707  | 137 | 257  | 413  |      |
| RE-108                      | 78    | 0                        | H                 | 178                                  | 64   | 57  | 151  | 238  | 273  |
| RE-109                      | 81    | 45                       | 2P                | 15                                   | 19   | 66  | 158  | 287  | 360  |
| RE-110                      | 81    | 45                       | 2P                | 30                                   | 70   | 320 | 735  | 1120 | 1442 |
| RE-111                      | 88    | 45                       | 2P                | 525                                  | 530  | 992 | 1871 | 2753 | 3291 |
| RE-112                      | 83    | 135                      | 2P                | 22                                   | 27   | 54  | 139  | 264  | 349  |
| RE-113                      | 87    | 135                      | 2P                | 116                                  | 171  | 437 | 812  | 1133 | 1307 |
| RE-114                      | 76    | 135                      | 2P                | 29                                   | 29   | 56  | 148  | 297  | 334  |
| RE-115                      | 72    | 135                      | A                 | 21                                   | 31   | 55  | 74   | 121  | 191  |
| RE-116                      | 52    | 135                      | 2P                | 25                                   | 26   |     | 36   | 123  | 49   |
| RE-117                      | 72    | 90                       | K                 | 34                                   | 57   | 462 | 374  | 92   | 45   |
| RE-118                      | 69    | 90                       | H                 | 150                                  | 60   | 51  | 115  | 204  | 251  |
| RE-119                      | 77    | 90                       | H                 | 100                                  | 43   | 48  | 110  | 211  | 298  |
| RE-120                      | 72    | 0                        | H                 | 1390                                 | 695  | 781 | 1802 | 2726 | 2742 |
| RE-121                      | 72    | 0                        | H                 | 364                                  | 73   | 71  | 213  | 434  | 521  |
| RE-122                      | 75    | 90                       | 2P                | 11                                   | 17   | 84  | 318  | 626  | 787  |
| RE-123                      | 75    | 90                       | 2P                | 14                                   | 23   | 93  | 424  | 850  | 1072 |
| RE-124                      | 76    | 0                        | A                 | 45                                   | 86   | 110 | 244  | 447  | 639  |
| RE-125                      | 76    | 0                        | H                 | 138                                  | 31   | 44  | 141  | 280  | 387  |
| RE-126                      | 72    | 45                       | H                 | 43                                   | 26   | 33  | 48   | 62   | 91   |
| RE-127                      | 79    | 135                      | 2P                | 34                                   | 65   | 234 | 475  | 698  | 912  |
| RE-128                      | 78    | 135                      | 2P                | 33                                   | 39   | 120 | 360  | 475  | 1348 |
| RE-129                      | 85    | 45                       | 2P                | 25                                   | 32   | 100 | 270  | 466  |      |
| RE-130                      | 69    | 0                        | HK                | 237                                  | 113  | 156 | 222  | 109  | 125  |
| RE-131                      | 70    | 0                        | H                 | 2245                                 | 1960 | 155 | 55   | 153  | 144  |
| RE-132                      | 72    | 135                      | 2P                | 32                                   | 43   | 160 | 357  | 580  | 668  |
| RE-133                      | 71    | 45                       | H                 | 187                                  | 107  | 90  | 218  | 382  | 459  |
| RE-134                      | 74    | 0                        | H                 | 1179                                 | 898  | 130 | 322  | 624  |      |
| RE-135                      | 69    | 135                      | 2P                | 292                                  | 365  | 704 | 1247 | 1587 |      |
| RE-136                      | 76    | 90                       | H                 | 313                                  | 252  | 699 | 2762 | 4485 | 4773 |
| RE-137                      | 68    | 45                       | KH                | 166                                  | 232  | 94  | 143  | 221  | 246  |
| RE-138                      | 68    | 45                       | 2P                | 26                                   | 29   | 60  | 114  |      |      |
| RE-139                      | 74    | 90                       | 2P                | 19                                   | 20   | 45  | 111  | 191  | 247  |
| RE-140                      | 74    | 0                        | 2P                | 21                                   | 26   | 33  | 49   |      | 2209 |
| RE-141                      | 71    | 0                        | H                 | 22                                   | 21   | 11  | 10   | 16   | 21   |

Tableau A.1 : Acquisition des données: sondages électriques abrégés

| Identification<br>du relevé | Z (m) | Orientation<br>du relevé | Type de<br>courbe | Séparation des électrodes de courant |     |      |      |      |      |
|-----------------------------|-------|--------------------------|-------------------|--------------------------------------|-----|------|------|------|------|
|                             |       |                          |                   | 4m                                   | 8m  | 30m  | 80m  | 150m | 200m |
| RE-142                      | 75    | 0                        | 2P                | 23                                   | 25  | 26   | 30   | 51   | 67   |
| RE-143                      | 76    | 0                        | H                 | 22                                   | 21  | 16   | 25   | 75   | 407  |
| RE-144                      | 75    | 90                       | H                 | 25                                   | 19  | 14   | 21   | 25   |      |
| RE-145                      | 76    | 90                       | 2P                | 24                                   | 21  | 23   | 39   | 70   | 92   |
| RE-146                      | 76    | 0                        | 2P                | 17                                   | 20  | 28   | 46   | 89   | 115  |
| RE-147                      | 76    | 45                       | A                 | 21                                   | 24  | 36   | 56   | 103  | 191  |
| RE-148                      | 77    | 45                       | H                 | 24                                   | 20  | 40   | 107  | 189  | 242  |
| RE-149                      | 79    | 45                       | 2P                | 92                                   | 111 | 348  | 693  | 1033 | 1203 |
| RE-150                      | 80    | 135                      | 2P                | 90                                   | 90  | 191  | 479  | 950  | 1269 |
| RE-151                      | 84    | 135                      | 2P                | 280                                  | 598 | 1812 | 5396 | 8355 | 9026 |
| RE-152                      | 87    | 135                      | 2P                | 70                                   | 125 | 605  | 1356 | 1914 | 2297 |
| RE-153                      | 72    | 0                        | H                 | 293                                  | 58  | 31   | 68   | 146  | 184  |
| RE-154                      | 74    | 0                        | H                 | 320                                  | 79  | 50   | 146  | 260  | 320  |
| RE-155                      | 75    | 135                      | H                 | 507                                  | 335 | 799  | 1292 | 1446 | 1385 |
| RE-156                      | 75    | 135                      | H                 | 428                                  | 237 | 644  | 1698 | 2357 | 2144 |
| RE-157                      | 74    | 45                       | 2P                | 118                                  | 251 | 1211 | 2435 | 3149 | 2723 |
| RE-158                      | 73    | 135                      | H                 | 417                                  | 113 | 419  | 1238 | 2111 |      |
| RE-159                      | 70    | 135                      | H                 | 228                                  | 51  | 81   | 218  | 389  | 530  |
| RE-160                      | 69    | 45                       | 2P                | 14                                   | 19  | 66   | 188  | 345  | 464  |
| RE-161                      | 71    | 45                       | 2P                | 16                                   | 27  | 113  | 281  | 456  | 567  |
| RE-162                      | 68    | 45                       | 2P                | 28                                   | 31  | 93   | 223  | 399  | 516  |
| RE-163                      | 67    | 135                      | 2P                | 12                                   | 19  | 60   | 146  | 274  | 310  |
| RE-164                      | 67    | 135                      | H                 | 183                                  | 101 | 47   | 79   | 106  | 128  |
| RE-165                      | 68    | 135                      | H                 | 378                                  | 258 | 29   | 40   | 67   | 78   |
| RE-166                      | 68    | 135                      | H                 | 35                                   | 19  | 13   | 57   | 74   | 137  |
| RE-167                      | 68    | 0                        | QH                | 37                                   | 22  | 9    | 10   | 21   | 24   |
| RE-168                      | 69    | 90                       | H                 | 62                                   | 18  | 10   |      | 16   | 19   |
| RE-169                      | 70    | 90                       | QH                | 32                                   | 19  | 14   | 17   | 27   | 43   |
| RE-170                      | 71    | 90                       | H                 | 40                                   | 22  | 30   | 60   | 106  | 129  |
| RE-171                      | 67    | 45                       | H                 | 497                                  | 119 | 60   | 175  | 343  | 466  |
| RE-172                      | 68    | 45                       | 2P                | 51                                   | 92  | 359  | 588  | 656  | 774  |
| RE-173                      | 70    | 45                       | H                 | 131                                  | 120 | 262  | 524  | 584  | 762  |
| RE-174                      | 71    | 135                      | 2P                | 33                                   | 47  | 174  | 440  | 639  | 859  |
| RE-175                      | 73    | 135                      | H                 | 62                                   | 49  | 155  | 397  | 616  | 805  |
| RE-176                      | 73    | 45                       | 2P                | 99                                   | 165 | 708  | 885  | 960  | 931  |
| RE-177                      | 75    | 45                       | 2P                | 153                                  | 255 | 1038 | 2198 | 2830 | 2698 |
| RE-178                      | 67    | 0                        | 2P                | 23                                   | 26  | 40   | 92   | 162  |      |
| RE-179                      | 69    | 45                       | 2P                | 8                                    | 13  | 75   | 232  | 389  | 470  |
| RE-180                      | 71    | 45                       | A                 | 8                                    | 14  | 31   | 116  | 262  | 448  |
| RE-181                      | 71    | 45                       | H                 | 24                                   | 18  | 50   | 139  | 311  | 380  |
| RE-182                      | 71    | 135                      | 2P                | 17                                   | 20  | 74   | 187  | 355  | 459  |
| RE-183                      | 69    | 90                       | HA                | 46                                   | 33  | 54   | 128  | 346  | 370  |
| RE-184                      | 71    | 0                        | 2M                | 133                                  | 59  | 41   |      |      |      |
| RE-185                      | 72    | 0                        | H                 | 74                                   | 26  | 95   | 244  | 357  | 501  |
| RE-186                      | 74    | 0                        | 2P                | 23                                   | 34  | 144  | 380  | 596  | 633  |
| RE-187                      | 74    | 0                        | H                 | 64                                   | 24  | 75   | 184  | 317  | 385  |
| RE-188                      | 76    | 0                        | 2P                | 28                                   | 56  | 253  | 554  | 865  | 972  |

Tableau A.1 : Acquisition des données: sondages électriques abrégés

| Identification<br>du relevé | Z (m) | Orientation<br>du relevé | Type de<br>courbe | Séparation des électrodes de courant |     |      |      |      |      |
|-----------------------------|-------|--------------------------|-------------------|--------------------------------------|-----|------|------|------|------|
|                             |       |                          |                   | 4m                                   | 8m  | 30m  | 80m  | 150m | 200m |
| RE-189                      | 69    | 0                        | 2P                | 19                                   | 24  | 68   | 183  | 331  | 467  |
| RE-190                      | 71    | 45                       | H                 | 113                                  | 76  | 288  | 584  | 725  | 705  |
| RE-191                      | 68    | 135                      | 2P                | 20                                   | 24  | 335  | 290  |      |      |
| RE-192                      | 67    | 0                        | H                 | 22                                   | 18  | 44   | 110  | 220  | 268  |
| RE-193                      | 67    | 90                       | H                 | 166                                  | 47  | 52   | 125  | 220  | 188  |
| RE-194                      | 68    | 135                      | H                 | 128                                  | 58  | 48   | 127  | 236  | 276  |
| RE-195                      | 71    | 135                      | H                 | 423                                  | 209 | 86   | 161  | 260  |      |
| RE-196                      | 60    | 135                      | H                 | 27                                   | 19  | 79   | 234  | 362  | 592  |
| RE-197                      | 55    | 135                      | 2P                | 75                                   | 89  | 556  | 1168 | 1548 | 1511 |
| RE-198                      | 54    | 135                      | 2P                | 93                                   | 143 | 623  | 1807 | 1759 | 1855 |
| RE-199                      | 55    | 45                       | 2P                | 93                                   | 174 | 581  | 866  | 1231 | 1147 |
| RE-200                      | 54    | 0                        | 2P                | 11                                   | 15  | 60   | 181  | 373  | 489  |
| RE-201                      | 54    | 135                      | 2P                | 21                                   | 29  | 110  | 283  | 440  | 426  |
| RE-202                      | 60    | 135                      | A                 | 22                                   | 24  | 38   | 81   | 157  | 219  |
| RE-203                      | 60    | 135                      | A                 | 98                                   | 107 | 222  | 369  | 466  | 595  |
| RE-204                      | 61    | 90                       | 2P                | 24                                   | 25  | 62   | 158  | 315  | 317  |
| RE-205                      | 62    | 0                        | H                 | 59                                   | 39  | 79   | 149  | 255  | 483  |
| RE-206                      | 65    | 0                        | H                 | 219                                  | 91  | 100  | 235  | 318  | 366  |
| RE-207                      | 70    | 0                        | H                 | 140                                  | 96  | 133  | 332  | 545  | 627  |
| RE-208                      | 70    | 90                       | A                 | 70                                   | 109 | 272  | 484  | 899  | 1075 |
| RE-209                      | 70    | 90                       | H                 | 137                                  | 71  | 58   | 156  | 280  | 412  |
| RE-210                      | 72    | 90                       | H                 | 64                                   | 51  | 219  | 861  | 1460 | 1561 |
| RE-211                      | 54    | 90                       | 2P                | 141                                  | 186 | 268  | 584  | 897  | 1056 |
| RE-212                      | 68    | 135                      | H                 | 55                                   | 12  | 58   | 111  | 229  | 338  |
| RE-213                      | 70    | 135                      |                   | 87                                   | 40  | 70   | 93   | 1284 | 683  |
| RE-214                      | 71    | 135                      | H                 | 90                                   | 82  | 61   | 78   | 150  | 154  |
| RE-215                      | 69    | 135                      | KH                | 98                                   | 101 | 231  | 181  | 308  | 313  |
| RE-216                      | 71    | 45                       |                   |                                      |     | 1197 | 500  | 1583 | 321  |
| RE-217                      | 68    | 135                      | H                 | 162                                  | 92  | 57   | 88   | 152  | 160  |
| RE-218                      | 68    | 135                      | KH                | 115                                  | 125 | 137  | 61   | 93   | 131  |
| RE-219                      | 65    | 135                      | H                 | 50                                   | 22  | 34   | 76   | 172  | 307  |
| RE-220                      | 50    | 135                      | 2P                | 31                                   | 39  | 149  | 319  | 526  | 658  |
| RE-221                      | 52    | 135                      | H                 | 105                                  | 37  | 77   | 195  | 357  | 470  |
| RE-222                      | 48    | 135                      | A                 | 19                                   | 28  | 87   | 201  | 354  | 460  |
| RE-223                      | 51    | 135                      | H                 | 386                                  | 191 | 61   | 152  | 286  | 374  |
| RE-224                      | 50    | 45                       | 2P                | 22                                   | 25  | 64   | 119  | 164  | 247  |
| RE-225                      | 50    | 135                      | 2P                | 59                                   | 73  | 59   | 584  | 737  | 1059 |
| RE-226                      | 57    | 45                       | 2P                | 253                                  | 261 | 597  | 1188 | 1442 | 1708 |
| RE-227                      | 50    | 135                      | 2P                | 409                                  | 540 | 1014 | 1198 | 1126 | 1266 |
| RE-228                      | 70    | 45                       | 2P                | 60                                   | 53  | 58   | 64   | 127  | 123  |
| RE-229                      | 70    | 45                       | 1                 | 113                                  | 141 | 174  | 133  | 127  | 179  |
| RE-230                      | 67    | 135                      |                   | 39                                   |     |      |      |      |      |
| RE-231                      | 67    | 135                      | HA                | 42                                   | 23  | 49   | 77   | 132  | 414  |
| RE-232                      | 70    | 45                       | 2P                | 53                                   | 58  | 136  | 371  | 544  | 568  |
| RE-233                      | 66    | 135                      | 2P                | 39                                   | 34  | 131  | 290  | 542  | 564  |
| RE-234                      | 66    | 135                      | 2P                | 172                                  | 264 | 566  | 830  | 1069 | 1194 |
| RE-235                      | 66    | 45                       | A                 | 16                                   | 18  | 65   | 92   | 269  | 310  |

Tableau A.1 : Acquisition des données: sondages électriques abrégés

| Identification<br>du relevé | Z (m) | Orientation<br>du relevé | Type de<br>courbe | Séparation des électrodes de courant |     |     |      |      |      |
|-----------------------------|-------|--------------------------|-------------------|--------------------------------------|-----|-----|------|------|------|
|                             |       |                          |                   | 4m                                   | 8m  | 30m | 80m  | 150m | 200m |
| RE-236                      | 66    | 45                       | H                 | 87                                   | 42  | 77  | 223  | 359  | 420  |
| RE-237                      | 64    | 135                      | 2P                | 20                                   | 41  | 202 | 630  | 880  | 925  |
| RE-238                      | 63    | 135                      | 2P                | 212                                  | 267 | 435 | 818  | 1281 | 1448 |
| RE-239                      | 62    | 135                      | 2P                | 42                                   | 64  | 377 | 1247 | 1960 | 1981 |
| RE-240                      | 62    | 135                      | 2P                | 47                                   | 52  | 163 | 437  | 565  | 621  |
| RE-241                      | 59    | 45                       | H                 | 399                                  | 152 | 77  | 213  | 433  | 504  |
| RE-242                      | 60    | 135                      | H                 | 56                                   | 43  | 134 | 359  | 609  | 805  |
| RE-243                      | 62    | 135                      | H                 | 622                                  | 246 | 429 | 702  | 906  | 981  |
| RE-244                      | 62    | 135                      | 2P                | 14                                   | 19  | 49  | 132  |      | 298  |
| RE-245                      | 60    | 135                      | 2P                | 26                                   | 27  | 37  | 79   | 91   | 508  |
| RE-246                      | 69    | 135                      | A                 | 23                                   | 31  | 42  | 54   | 98   | 125  |
| RE-247                      | 69    | 135                      | 2P                | 33                                   | 35  | 40  | 49   | 67   | 66   |
| RE-248                      | 69    | 45                       | 2P                | 29                                   | 28  | 82  | 102  | 147  | 200  |
| RE-249                      | 68    | 135                      | H                 | 729                                  | 467 | 43  | 97   | 147  |      |
| RE-250                      | 67    | 135                      |                   | 27                                   | 26  | 46  |      |      |      |
| RE-251                      | 67    | 135                      | 2P                | 27                                   | 26  | 42  | 90   | 126  | 109  |
| RE-252                      | 67    | 45                       |                   | 18                                   | 24  | 32  | 99   | 65   | 104  |
| RE-253                      | 60    | 45                       | 2P                | 30                                   | 30  | 54  | 122  | 232  | 94   |
| RE-254                      | 55    | 0                        | 2P                | 17                                   | 18  | 42  | 84   |      | 158  |
| RE-255                      | 48    | 135                      | A                 | 14                                   | 15  | 70  | 67   | 160  | 295  |
| RE-256                      | 40    | 135                      | 2P                | 45                                   | 48  | 84  | 347  |      |      |
| RE-257                      | 47    | 135                      | H                 | 40                                   | 26  | 25  | 108  | 359  | 360  |
| RE-258                      | 46    | 135                      | 2P                | 22                                   | 21  | 51  | 208  | 598  | 636  |
| RE-259                      | 49    | 135                      | H                 | 127                                  | 104 | 708 | 1832 | 1261 |      |
| RE-260                      | 65    | 135                      | H                 | 348                                  | 118 | 408 | 916  | 1296 | 1520 |
| RE-261                      | 53    | 135                      | H                 | 26                                   | 19  | 16  | 66   | 120  | 254  |
| RE-262                      | 53    | 135                      | H                 | 72                                   | 22  | 14  | 26   | 63   | 88   |
| RE-263                      | 49    | 135                      | H                 | 60                                   | 18  |     | 8    | 40   | 41   |
| RE-264                      | 48    | 45                       | 2M                | 16                                   | 11  | 5   |      |      |      |
| RE-265                      | 47    | 0                        | H                 | 20                                   | 12  | 3   | 2    |      | 21   |
| RE-266                      | 48    | 45                       | H                 | 39                                   | 18  | 19  | 16   | 84   | 114  |
| RE-267                      | 60    | 45                       | H                 | 25                                   | 9   | 2   | 3    | 4    | 4    |
| RE-268                      | 48    | 45                       | 2P                | 90                                   | 84  | 125 | 297  | 514  | 627  |
| RE-269                      | 55    | 45                       | H                 | 262                                  | 148 | 178 | 287  | 475  | 567  |
| RE-270                      | 59    | 45                       | 2P                | 61                                   | 73  | 105 | 166  |      | 176  |
| RE-271                      | 60    | 45                       | 2P                | 48                                   | 53  | 75  | 189  | 331  | 409  |
| RE-272                      | 64    | 45                       | H                 | 139                                  | 102 | 199 | 470  | 649  | 721  |
| RE-273                      | 62    | 45                       | H                 | 90                                   | 80  | 223 | 413  | 514  | 528  |
| RE-274                      | 58    | 45                       | 2P                | 55                                   | 64  | 121 | 256  | 426  | 542  |
| RE-275                      | 52    | 45                       | 2P                | 41                                   | 53  | 145 | 364  | 600  | 674  |
| RE-276                      | 49    | 45                       | H                 | 293                                  | 132 | 156 | 311  | 396  | 439  |
| RE-277                      | 57    | 135                      | 2P                | 72                                   | 135 | 507 | 1158 | 1562 | 1705 |
| RE-278                      | 64    | 135                      | H                 | 76                                   | 69  | 128 | 355  | 667  | 840  |
| RE-279                      | 59    | 135                      | A                 | 14                                   | 18  | 45  | 115  | 739  | 345  |
| RE-280                      | 59    | 135                      | QH                | 27                                   | 17  | 12  | 7    | 13   | 18   |
| RE-281                      | 59    | 135                      | Q                 | 89                                   | 20  | 11  | 6    |      | 3    |
| RE-282                      | 60    | 45                       | K                 | 25                                   | 27  | 210 | 4    | 3    | 3    |

Tableau A.1 : Acquisition des données: sondages électriques abrégés

| Identification<br>du relevé | Z (m) | Orientation<br>du relevé | Type de<br>courbe | Séparation des électrodes de courant |     |     |      |      |      |
|-----------------------------|-------|--------------------------|-------------------|--------------------------------------|-----|-----|------|------|------|
|                             |       |                          |                   | 4m                                   | 8m  | 30m | 80m  | 150m | 200m |
| RE-283                      | 60    | 135                      | QH                | 141                                  | 102 | 17  | 10   | 10   | 80   |
| RE-284                      | 60    | 135                      | QH                | 3699                                 | 964 | 28  | 14   | 38   | 20   |
| RE-285                      | 34    | 45                       | QH                | 49                                   | 21  | 6   | 1    | 1    | 52   |
| RE-286                      | 37    | 45                       | H                 | 16                                   | 13  | 4   | 3    | 45   | 17   |
| RE-287                      | 41    | 135                      | QH                | 25                                   | 19  | 8   | 4    | 5    | 14   |
| RE-288                      | 55    | 135                      | QH                | 216                                  | 230 | 106 | 72   | 56   | 159  |
| RE-289                      | 57    | 45                       | KH                | 72                                   | 94  | 99  |      | 26   | 38   |
| RE-290                      | 54    | 135                      | 2M                | 51                                   | 37  | 13  | 5    |      |      |
| RE-291                      | 58    | 45                       | QH                | 531                                  | 166 | 25  | 12   | 4    | 34   |
| RE-292                      | 57    | 45                       | H                 | 49                                   | 22  | 3   | 5    | 14   | 53   |
| RE-293                      | 53    | 135                      | HH                | 127                                  | 58  | 113 | 44   | 44   | 1504 |
| RE-294                      | 49    | 135                      | 2P                | 14                                   | 16  | 19  | 30   | 79   | 392  |
| RE-295                      | 47    | 135                      | Q                 | 19                                   | 14  | 6   | 5    | 2    | 0    |
| RE-296                      | 40    | 135                      | 2P                | 15                                   | 18  | 56  | 191  | 341  | 427  |
| RE-297                      | 50    | 45                       | A                 | 36                                   | 56  | 137 | 344  | 475  | 601  |
| RE-298                      | 42    | 135                      | 2P                | 15                                   | 18  | 40  | 110  | 209  | 251  |
| RE-299                      | 42    | 135                      | H                 | 20                                   | 16  | 55  | 145  | 274  | 317  |
| RE-300                      | 43    | 0                        | H                 | 94                                   | 56  | 69  | 220  | 359  | 295  |
| RE-301                      | 43    | 0                        | 2P                | 36                                   | 57  | 226 | 594  | 1499 | 1069 |
| RE-302                      | 40    | 0                        | K                 | 57                                   | 67  | 253 | 698  | 277  | 380  |
| RE-303                      | 41    | 135                      | 2P                | 14                                   | 17  | 29  | 65   | 79   | 100  |
| RE-304                      | 40    | 135                      | A                 | 19                                   | 18  | 39  | 52   | 78   | 86   |
| RE-305                      | 39    | 45                       | H                 | 29                                   | 16  | 38  | 94   | 114  | 123  |
| RE-306                      | 46    | 45                       | 2P                | 16                                   | 15  | 43  | 107  | 205  | 263  |
| RE-307                      | 48    | 45                       | H                 | 149                                  | 21  | 37  | 105  | 210  | 242  |
| RE-308                      | 47    | 135                      | HA                | 22                                   | 19  | 30  | 65   | 127  | 147  |
| RE-309                      | 48    | 45                       | 2P                | 24                                   | 24  | 33  | 68   | 135  | 182  |
| RE-310                      | 48    | 135                      | H                 | 35                                   | 21  | 23  | 42   | 484  | 226  |
| RE-311                      | 52    | 45                       | H                 | 66                                   | 32  | 68  | 266  | 303  | 302  |
| RE-312                      | 52    | 45                       | H                 | 23                                   | 17  | 43  | 116  | 227  | 305  |
| RE-313                      | 52    | 45                       | 2P                | 16                                   | 16  | 31  | 73   | 147  | 212  |
| RE-314                      | 57    | 90                       | H                 | 23                                   | 19  | 33  | 88   | 161  | 458  |
| RE-315                      | 54    | 45                       | A                 | 18                                   | 23  | 32  | 65   | 128  | 175  |
| RE-316                      | 56    | 45                       | H                 | 102                                  | 48  | 80  | 198  | 315  | 370  |
| RE-317                      | 55    | 45                       | H                 | 204                                  | 89  | 100 | 271  | 424  |      |
| RE-318                      | 57    | 45                       | H                 | 77                                   | 39  | 143 | 388  | 633  | 815  |
| RE-319                      | 43    | 45                       | H                 | 322                                  | 47  | 39  | 468  | 637  | 727  |
| RE-320                      | 54    | 45                       | A                 | 139                                  | 127 | 193 | 396  | 753  | 752  |
| RE-321                      | 57    | 45                       | H                 | 189                                  | 153 | 579 | 1604 | 2102 | 1805 |
| RE-322                      | 58    | 45                       | H                 | 64                                   | 50  | 118 | 333  | 686  | 943  |
| RE-323                      | 60    | 45                       | 2P                | 12                                   | 18  | 68  | 181  | 273  | 295  |
| RE-324                      | 44    | 135                      | QH                | 34                                   | 33  | 13  | 9    | 6    | 9    |
| RE-325                      | 43    | 45                       | H                 | 25                                   | 15  | 27  | 55   | 83   | 97   |
| RE-326                      | 46    | 135                      | 2P                | 19                                   | 19  | 74  | 78   | 97   | 107  |
| RE-327                      | 50    | 135                      | A                 | 20                                   | 21  | 39  | 54   | 88   | 94   |
| RE-328                      | 55    | 0                        | H                 | 127                                  | 130 | 131 | 93   | 67   | 83   |
| RE-329                      | 52    | 0                        | 2P                | 41                                   | 40  | 50  | 66   | 95   | 128  |

Tableau A.1 : Acquisition des données: sondages électriques abrégés

| Identification<br>du relevé | Z (m) | Orientation<br>du relevé | Type de<br>courbe | Séparation des électrodes de courant |     |     |      |      |      |
|-----------------------------|-------|--------------------------|-------------------|--------------------------------------|-----|-----|------|------|------|
|                             |       |                          |                   | 4m                                   | 8m  | 30m | 80m  | 150m | 200m |
| RE-330                      | 50    | 0                        | 2P                | 56                                   | 76  | 174 | 314  | 398  | 439  |
| RE-331                      | 55    | 0                        | 2P                | 93                                   | 101 | 87  | 152  | 220  | 307  |
| RE-332                      | 57    | 135                      | H                 | 104                                  | 54  | 49  | 77   | 144  | 199  |
| RE-333                      | 63    | 0                        | H                 | 208                                  | 147 | 189 | 381  | 1099 |      |
| RE-334                      | 50    | 45                       | A                 | 28                                   | 43  | 124 | 182  | 568  | 282  |
| RE-335                      | 60    | 45                       | H                 | 66                                   | 50  | 167 | 368  | 631  | 589  |
| RE-336                      | 49    | 45                       | H                 | 30                                   | 19  | 19  | 51   | 88   | 97   |
| RE-337                      | 49    | 135                      | HA                | 25                                   | 16  | 13  | 27   | 44   | 392  |
| RE-338                      | 66    | 135                      | H                 | 23                                   | 18  | 30  | 58   | 77   | 81   |
| RE-339                      | 66    | 0                        | A                 | 19                                   | 19  | 35  | 55   | 87   | 109  |
| RE-340                      | 66    | 45                       | A                 | 29                                   | 27  | 39  | 38   | 49   | 58   |
| RE-341                      | 58    | 135                      | 2P                | 18                                   | 18  | 22  | 30   | 66   | 78   |
| RE-342                      | 59    | 135                      | H                 | 27                                   | 24  | 33  | 57   | 96   | 122  |
| RE-343                      | 62    | 135                      | H                 | 30                                   | 20  | 30  | 61   | 99   | 121  |
| RE-344                      | 62    | 45                       | H                 | 27                                   | 16  | 33  | 72   | 132  | 165  |
| RE-345                      | 60    | 45                       | 2P                | 13                                   | 13  | 27  | 63   | 104  | 119  |
| RE-346                      | 59    | 135                      | 2P                | 16                                   | 19  | 42  | 90   | 163  | 210  |
| RE-347                      | 60    | 45                       | H                 | 34                                   | 20  | 42  | 223  |      |      |
| RE-348                      | 61    | 45                       | H                 | 64                                   | 27  | 22  | 32   | 53   | 88   |
| RE-349                      | 61    | 45                       | 2P                | 14                                   | 13  | 24  | 49   | 78   | 94   |
| RE-350                      | 62    | 135                      | 2P                | 9                                    | 12  | 27  | 59   | 105  | 136  |
| RE-351                      | 65    | 135                      | H                 | 20                                   | 12  | 29  | 57   | 101  | 128  |
| RE-352                      | 73    | 135                      | H                 | 70                                   | 58  | 45  | 35   | 46   | 43   |
| RE-353                      | 75    | 135                      | H                 | 65                                   | 34  | 43  | 88   | 154  | 185  |
| RE-354                      | 74    | 135                      | HA                | 108                                  | 49  | 107 | 110  | 137  | 204  |
| RE-355                      | 74    | 135                      | H                 | 170                                  | 157 | 206 | 137  | 113  | 142  |
| RE-356                      | 74    | 135                      | HA                | 119                                  | 73  | 96  | 98   | 116  | 137  |
| RE-357                      | 74    | 135                      | H                 | 46                                   | 32  | 79  | 99   | 109  | 138  |
| RE-358                      | 79    | 135                      | 2P                | 28                                   | 34  | 56  | 111  | 144  | 157  |
| RE-359                      | 78    | 135                      | H                 | 528                                  | 77  | 26  | 36   | 76   | 97   |
| RE-360                      | 79    | 135                      | H                 | 146                                  | 110 | 18  | 8    | 15   | 18   |
| RE-361                      | 79    | 135                      | H                 | 120                                  | 58  | 35  | 43   | 67   | 88   |
| RE-362                      | 77    | 135                      | H                 | 107                                  | 76  | 124 | 403  | 853  | 602  |
| RE-363                      | 75    | 45                       | 2P                | 27                                   | 45  | 153 | 302  | 316  | 316  |
| RE-364                      | 75    | 45                       | H                 | 46                                   | 24  | 76  | 187  | 293  | 324  |
| RE-365                      | 75    | 45                       | H                 | 91                                   | 27  | 64  | 184  | 299  | 357  |
| RE-366                      | 77    | 135                      | A                 | 161                                  | 241 | 884 | 1559 | 2639 | 2999 |
| RE-367                      | 78    | 45                       | 2P                | 106                                  | 130 | 500 | 1168 | 1583 | 1692 |
| RE-368                      | 74    | 135                      | 2P                | 211                                  | 231 | 200 | 449  | 772  | 1044 |
| RE-369                      | 74    | 135                      | K                 | 134                                  | 165 | 292 | 990  | 420  | 492  |
| RE-370                      | 64    | 135                      | 2P                | 51                                   | 70  | 195 | 500  | 651  | 805  |
| RE-371                      | 74    | 45                       | 2P                | 63                                   | 68  | 80  | 161  | 276  | 341  |
| RE-372                      | 74    | 45                       | 2P                | 74                                   | 86  | 162 | 373  | 508  | 545  |
| RE-373                      | 74    | 135                      | 2P                | 104                                  | 112 | 227 | 757  | 1128 | 1279 |
| RE-374                      | 77    | 45                       | A                 | 111                                  | 187 | 500 | 1089 | 1272 | 1222 |
| RE-375                      | 73    | 45                       | 2P                | 27                                   | 47  | 181 | 609  | 880  | 950  |
| RE-376                      | 74    | 45                       | 2P                | 76                                   | 82  | 366 | 792  | 1135 | 1247 |

Tableau A.1 : Acquisition des données: sondages électriques abrégés

| Identification<br>du relevé | Z (m) | Orientation<br>du relevé | Type de<br>courbe | Séparation des électrodes de courant |     |     |     |      |      |
|-----------------------------|-------|--------------------------|-------------------|--------------------------------------|-----|-----|-----|------|------|
|                             |       |                          |                   | 4m                                   | 8m  | 30m | 80m | 150m | 200m |
| RE-377                      | 76    | 45                       | H                 | 64                                   | 29  | 44  | 122 | 200  | 263  |
| RE-378                      | 73    | 45                       | A                 | 134                                  | 143 | 225 | 216 | 390  | 525  |
| RE-379                      | 74    | 45                       | HA                | 96                                   | 67  | 120 | 212 | 341  | 475  |
| RE-380                      | 74    | 45                       | 2P                | 100                                  | 114 | 227 | 373 | 549  | 639  |
| RE-381                      | 73    | 45                       | H                 | 133                                  | 50  | 107 | 302 | 507  | 626  |
| RE-382                      | 75    | 45                       | H                 | 107                                  | 55  | 113 | 323 | 580  | 705  |
| RE-383                      | 77    | 135                      | H                 | 122                                  | 70  | 67  | 162 | 299  | 417  |
| RE-384                      | 62    | 45                       | 2P                | 11                                   | 12  | 26  | 54  | 84   | 104  |
| RE-385                      | 59    | 135                      | 2P                | 13                                   | 12  | 29  | 78  | 136  | 165  |
| RE-386                      | 64    | 45                       | 2P                | 12                                   | 14  | 29  | 60  | 91   | 119  |
| RE-387                      | 61    | 45                       | 2P                | 15                                   | 18  | 25  | 56  | 95   | 130  |
| RE-388                      | 62    | 45                       | A                 | 14                                   | 14  | 26  | 42  | 74   | 100  |
| RE-389                      | 61    | 135                      | 2P                | 16                                   | 17  | 32  | 62  | 102  | 133  |
| RE-390                      | 61    | 135                      | A                 | 14                                   | 19  | 34  | 69  | 120  | 153  |
| RE-391                      | 59    | 45                       | 2P                | 11                                   | 15  | 40  | 109 | 196  | 242  |
| RE-392                      | 67    | 135                      | H                 | 108                                  | 80  | 103 | 95  | 139  | 188  |
| RE-393                      | 69    | 135                      | HK                | 76                                   | 67  | 137 | 227 | 142  | 164  |
| RE-394                      | 70    | 45                       | H                 | 136                                  | 159 | 71  | 85  | 132  | 152  |
| RE-395                      | 71    | 135                      | QH                | 184                                  | 75  | 62  | 37  | 57   | 68   |
| RE-396                      | 69    | 135                      | QH                | 65                                   | 47  | 38  | 31  | 33   | 39   |
| RE-397                      | 69    | 0                        | HKH               | 95                                   | 59  | 42  | 44  | 37   | 64   |
| RE-398                      | 69    | 0                        | HKH               | 57                                   | 35  | 41  | 36  | 44   | 56   |
| RE-399                      | 69    | 0                        |                   | 40                                   | 39  | 41  | 57  | 18   | 88   |
| RE-400                      | 74    | 90                       | QH                | 202                                  | 118 | 44  | 36  | 55   | 66   |
| RE-401                      | 74    | 90                       | QH                | 565                                  | 169 | 47  | 56  | 103  | 130  |
| RE-402                      | 69    | 45                       |                   | 55                                   | 43  | 31  | 11  | 202  | 42   |
| RE-403                      | 69    | 45                       | QH                | 82                                   | 30  | 27  | 12  | 20   | 22   |
| RE-404                      | 68    | 45                       | HKH               | 42                                   | 24  | 37  | 28  | 44   | 57   |
| RE-405                      | 65    | 45                       | HA                | 67                                   | 28  | 47  | 88  | 134  | 162  |
| RE-406                      | 64    | 90                       | 2P                | 29                                   | 30  | 37  | 52  | 87   | 111  |
| RE-407                      | 65    | 90                       |                   | 26                                   | 31  | 39  | 29  | 309  | 777  |
| RE-408                      | 66    | 90                       | A                 | 31                                   | 35  | 41  | 68  | 106  | 105  |
| RE-409                      | 65    | 90                       | H                 | 159                                  | 54  | 38  | 94  | 151  | 173  |
| RE-410                      | 64    | 90                       | A                 | 24                                   | 26  | 40  | 89  | 157  | 190  |
| RE-411                      | 63    | 90                       | 2P                | 24                                   | 27  | 48  | 100 | 192  | 204  |
| RE-412                      | 69    | 90                       | 2P                | 19                                   | 23  | 47  | 96  | 151  | 183  |
| RE-413                      | 69    | 90                       | KH                | 64                                   | 71  | 50  | 31  | 120  |      |
| RE-414                      | 69    | 90                       | QH                | 28                                   | 18  | 8   | 9   | 16   | 19   |
| RE-415                      | 68    | 90                       | QH                | 49                                   | 37  | 27  | 18  | 23   | 30   |
| RE-416                      | 68    | 90                       | Q                 | 73                                   | 45  | 32  | 27  | 37   | 31   |
| RE-417                      | 68    | 90                       | H                 | 44                                   | 31  | 34  | 38  | 67   | 47   |
| RE-418                      | 62    | 90                       | A                 | 23                                   | 44  | 114 | 172 | 281  | 317  |
| RE-419                      | 62    | 90                       | 2P                | 22                                   | 25  | 47  | 100 | 212  | 102  |
| RE-420                      | 62    | 90                       | A                 | 23                                   | 29  | 46  | 87  | 168  | 204  |
| RE-421                      | 65    | 90                       | 2P                | 23                                   | 25  | 25  | 39  | 67   | 85   |
| RE-422                      | 47    | 90                       | HK                | 229                                  | 71  | 142 | 248 | 250  | 135  |
| RE-423                      | 42    | 90                       | 2P                | 169                                  | 177 | 250 | 403 | 433  | 453  |

Tableau A.1 : Acquisition des données: sondages électriques abrégés

| Identification<br>du relevé | Z (m) | Orientation<br>du relevé | Type de<br>courbe | Séparation des électrodes de courant |      |      |      |      |      |
|-----------------------------|-------|--------------------------|-------------------|--------------------------------------|------|------|------|------|------|
|                             |       |                          |                   | 4m                                   | 8m   | 30m  | 80m  | 150m | 200m |
| RE-424                      | 43    | 0                        | A                 | 26                                   | 35   | 112  | 186  | 260  | 326  |
| RE-425                      | 42    | 90                       | H                 | 16                                   | 15   | 10   | 20   | 39   | 47   |
| RE-426                      | 46    | 90                       | H                 | 220                                  | 141  | 20   | 6    | 26   | 25   |
| RE-427                      | 63    | 90                       | H                 | 236                                  | 261  | 56   | 41   | 52   | 157  |
| RE-428                      | 70    | 0                        | A                 | 24                                   | 26   | 44   | 75   | 116  | 149  |
| RE-429                      | 68    | 0                        | HA                | 35                                   | 21   | 33   | 45   | 72   | 93   |
| RE-430                      | 64    | 0                        | KH                | 67                                   | 77   | 41   | 20   | 23   | 28   |
| RE-431                      | 60    | 90                       | 2M                | 201                                  | 235  | 264  | 24   | 1    | 5    |
| RE-432                      | 59    | 0                        | H                 | 58                                   | 39   | 37   | 39   | 63   | 81   |
| RE-433                      | 65    | 0                        | 2P                | 56                                   | 72   | 184  | 345  | 443  | 580  |
| RE-434                      | 63    | 90                       | 2P                | 82                                   | 100  | 190  | 366  | 475  | 498  |
| RE-435                      | 56    | 90                       | H                 | 675                                  | 340  | 128  | 181  | 248  | 282  |
| RE-436                      | 50    | 90                       | H                 | 123                                  | 65   | 152  | 279  | 480  | 519  |
| RE-437                      | 50    | 90                       | H                 | 776                                  | 129  | 151  | 480  | 932  | 6832 |
| RE-438                      | 70    | 90                       | H                 | 62                                   | 42   | 102  | 212  | 311  | 370  |
| RE-439                      | 73    | 90                       | H                 | 590                                  | 360  | 250  | 540  | 902  | 1000 |
| RE-440                      | 67    | 0                        | A                 | 57                                   | 84   | 156  | 240  | 332  | 392  |
| RE-441                      | 70    | 0                        | 2P                | 61                                   | 87   | 259  | 505  | 519  | 476  |
| RE-442                      | 65    | 90                       | 2P                | 69                                   | 99   | 252  | 382  | 684  | 733  |
| RE-443                      | 60    | 90                       | 2P                | 119                                  | 123  | 327  | 569  | 677  | 934  |
| RE-444                      | 58    | 90                       | A                 | 244                                  | 245  | 546  | 574  | 762  | 928  |
| RE-445                      | 56    | 90                       | 2P                | 100                                  | 109  | 242  | 406  | 538  | 508  |
| RE-446                      | 56    | 90                       | 2P                | 174                                  | 191  | 335  | 688  | 1163 | 1442 |
| RE-447                      | 59    | 90                       | 2P                | 174                                  | 175  | 194  | 338  | 526  | 586  |
| RE-448                      | 65    | 90                       | H                 | 874                                  | 648  | 215  | 231  | 247  | 326  |
| RE-449                      | 60    | 90                       | HK                | 863                                  | 283  | 104  | 475  | 268  | 364  |
| RE-450                      | 66    | 90                       | 1                 | 136                                  | 183  | 161  | 199  | 204  | 262  |
| RE-451                      | 79    | 0                        | K                 | 193                                  | 302  | 467  | 303  | 253  | 265  |
| RE-452                      | 80    | 0                        | K                 | 129                                  | 191  | 296  | 248  | 234  | 254  |
| RE-453                      | 84    | 90                       | KH                | 139                                  | 204  | 184  | 210  | 253  | 294  |
| RE-454                      | 90    | 90                       | 2P                | 112                                  | 135  | 391  | 459  | 456  | 464  |
| RE-455                      | 80    | 90                       | H                 | 274                                  | 214  | 94   | 187  | 293  | 351  |
| RE-456                      | 74    | 90                       | Q                 | 2709                                 | 2288 | 866  | 1030 | 291  | 390  |
| RE-457                      | 78    | 0                        | 2M                | 2391                                 | 1941 | 813  | 162  | 147  | 212  |
| RE-458                      | 76    | 90                       | K                 | 1105                                 | 1626 | 3759 | 1124 | 512  | 495  |
| RE-459                      | 75    | 0                        | 2M                | 4300                                 | 4736 | 817  | 353  | 301  | 329  |
| RE-460                      | 69    | 0                        | 2P                | 52                                   | 92   | 357  | 743  | 1025 | 1128 |
| RE-461                      | 46    | 0                        | 2P                | 27                                   | 26   | 64   | 145  | 168  | 181  |
| RE-462                      | 64    | 0                        | H                 | 30                                   | 24   | 66   | 102  | 144  | 135  |
| RE-463                      | 74    | 90                       | H                 | 1268                                 | 1298 | 370  | 179  | 403  | 448  |
| RE-464                      | 79    | 90                       | HK                | 273                                  | 247  | 329  | 527  | 478  | 330  |
| RE-465                      | 65    | 90                       | H                 | 282                                  | 135  | 164  | 292  | 330  | 345  |
| RE-466                      | 71    | 45                       | 2P                | 103                                  | 95   | 215  | 487  | 767  | 802  |
| RE-467                      | 78    | 0                        | K                 | 340                                  | 398  | 153  | 93   | 90   |      |
| RE-468                      | 70    | 90                       | K                 | 302                                  | 425  | 402  | 157  | 145  | 162  |
| RE-469                      | 86    | 0                        | H                 | 235                                  | 193  | 111  | 228  | 315  | 317  |
| RE-470                      | 93    | 90                       | H                 | 154                                  | 110  | 135  | 169  | 190  | 241  |

Tableau A.1 : Acquisition des données: sondages électriques abrégés

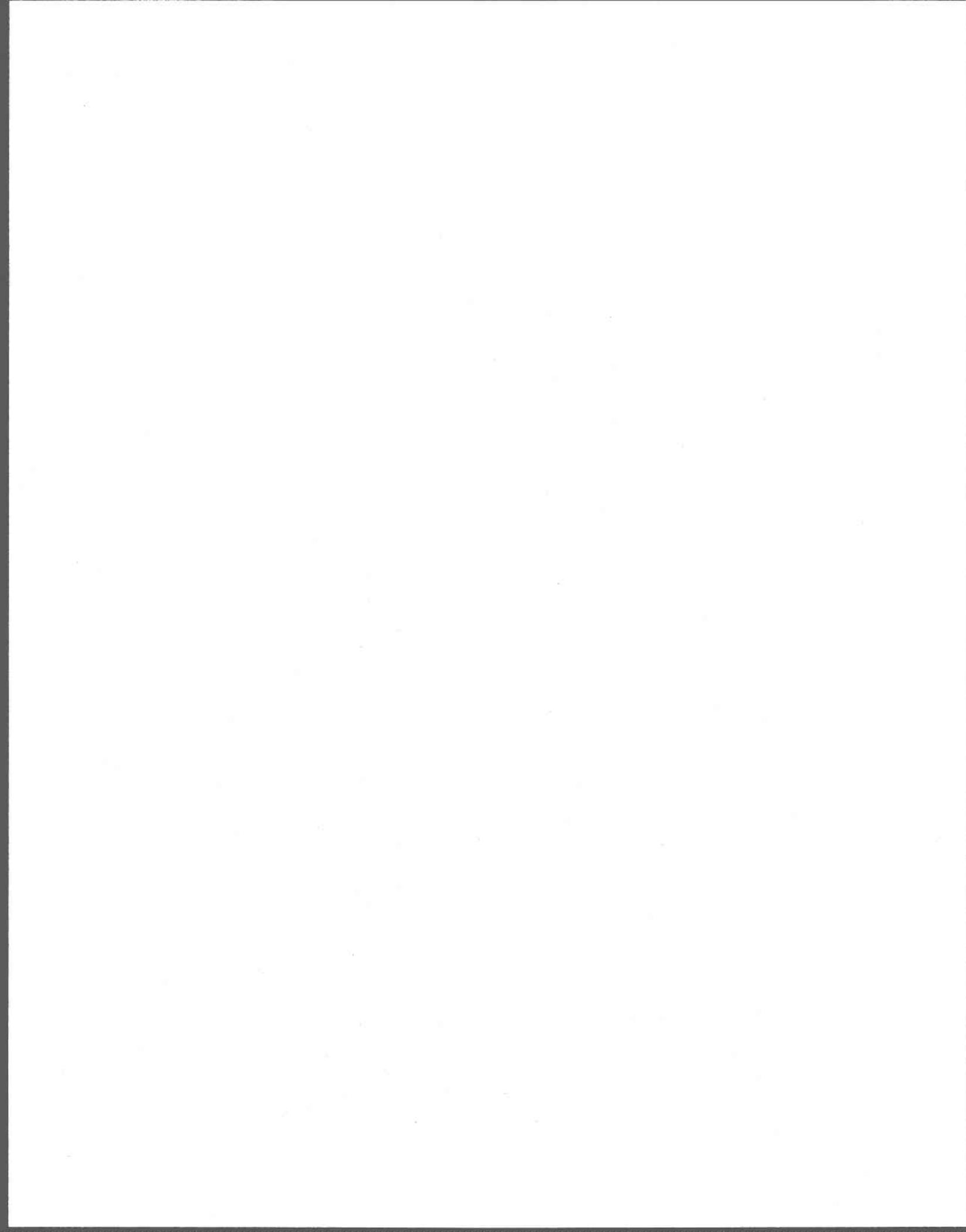
| Identification<br>du relevé | Z (m) | Orientation<br>du relevé | Type de<br>courbe | Séparation des électrodes de courant |     |     |     |      |      |
|-----------------------------|-------|--------------------------|-------------------|--------------------------------------|-----|-----|-----|------|------|
|                             |       |                          |                   | 4m                                   | 8m  | 30m | 80m | 150m | 200m |
| RE-471                      | 60    | 90                       | H                 | 101                                  | 44  | 68  | 157 | 229  | 253  |
| RE-472                      | 60    | 0                        | 2P                | 33                                   | 34  | 54  | 111 | 177  | 194  |
| RE-473                      | 80    | 45                       | H                 | 213                                  | 150 | 137 | 156 | 196  | 230  |
| RE-474                      | 62    | 135                      | H                 | 25                                   | 23  | 23  | 47  | 88   |      |
| RE-475                      | 79    | 90                       | H                 | 108                                  | 38  | 57  | 102 | 152  | 145  |
| RE-476                      | 68    | 90                       | H                 | 41                                   | 32  | 33  | 46  | 74   | 110  |
| RE-477                      | 56    | 90                       | H                 | 162                                  | 77  | 26  | 33  | 47   | 64   |
| RE-478                      | 59    | 90                       | QH                | 34                                   | 21  | 9   | 11  | 28   | 25   |
| RE-479                      | 43    | 0                        | HA                | 46                                   | 29  | 44  | 60  | 70   | 88   |
| RE-480                      | 38    | 45                       | 1                 | 171                                  | 196 | 266 | 269 | 307  | 322  |
| RE-481                      | 40    | 45                       | H                 | 90                                   | 41  | 83  | 172 | 229  | 260  |
| RE-482                      | 39    | 0                        | KH                | 25                                   | 24  | 28  | 34  | 15   | 59   |
| RE-483                      | 39    | 90                       | H                 | 59                                   | 29  | 27  | 30  | 38   | 41   |
| RE-484                      | 38    | 0                        | 2P                | 18                                   | 21  | 49  | 84  | 101  | 101  |
| RE-485                      | 38    | 0                        | H                 | 18                                   | 15  | 9   | 11  | 14   |      |
| RE-486                      | 50    | 90                       | H                 | 28                                   | 15  | 3   | 12  | 28   | 27   |
| RE-487                      | 54    | 90                       | H                 | 96                                   | 20  | 8   | 10  | 22   | 22   |
| RE-488                      | 55    | 0                        | H                 | 73                                   | 15  | 4   | 7   | 17   | 38   |
| RE-489                      | 60    | 0                        | QH                | 60                                   | 25  | 4   | 3   | 30   | 3    |
| RE-490                      | 56    | 0                        | Q                 | 151                                  | 56  | 5   | 4   |      |      |
| RE-491                      | 57    | 45                       | QH                | 246                                  | 118 | 12  | 12  | 23   | 31   |
| RE-492                      | 78    | 90                       | K                 | 153                                  | 190 | 77  | 28  | 9    | 50   |
| RE-493                      | 79    | 0                        | 2P                | 18                                   | 19  | 29  | 25  | 37   | 28   |
| RE-494                      | 79    | 90                       | 2P                | 25                                   | 23  | 31  | 39  | 66   | 84   |
| RE-495                      | 78    | 0                        | 2P                | 19                                   | 20  | 28  | 35  | 55   | 69   |
| RE-496                      | 76    | 90                       | Q                 | 7                                    | 6   | 4   | 2   | 2    | 1    |
| RE-497                      | 79    | 0                        | Q                 | 16                                   | 10  | 3   | 2   | 2    | 0,3  |
| RE-498                      | 83    | 90                       | A                 | 6                                    | 5   | 11  | 12  | 27   | 26   |
| RE-499                      | 79    | 0                        | 1                 | 29                                   | 22  | 20  | 19  | 28   | 33   |
| RE-500                      | 77    | 0                        | H                 | 25                                   | 15  | 5   | 3   | 14   | 5    |
| RE-501                      | 78    | 0                        | QH                | 24                                   | 8   | 2   | 2   | 3    | 3    |
| RE-502                      | 80    | 90                       | H                 | 15                                   | 10  | 3   | 3   | 10   | 11   |
| RE-503                      | 83    | 0                        | QH                | 52                                   | 19  | 5   | 4   | 5    | 7    |
| RE-504                      | 85    | 0                        | 1                 | 25                                   | 19  | 15  | 16  | 23   | 30   |
| RE-505                      | 88    | 90                       | 2P                | 18                                   | 18  | 18  | 26  | 62   | 81   |
| RE-506                      | 83    | 90                       | A                 | 16                                   | 18  | 26  | 26  | 84   | 104  |
| RE-507                      | 90    | 0                        | 2P                | 18                                   | 18  | 26  | 41  | 55   | 63   |
| RE-508                      | 96    | 0                        | KH                | 25                                   | 47  | 121 | 3   | 6    | 38   |
| RE-509                      | 100   | 0                        | K                 | 165                                  | 243 | 312 | 218 | 230  | 223  |
| RE-510                      | 104   | 0                        | H                 | 72                                   | 60  | 122 | 219 | 265  | 283  |
| RE-511                      | 88    | 90                       | H                 | 42                                   | 29  | 76  | 150 | 271  | 412  |
| RE-512                      | 90    | 0                        | H                 | 349                                  | 264 | 612 | 821 | 973  | 956  |
| RE-513                      | 103   | 0                        | A                 | 217                                  | 219 | 718 | 815 | 1069 | 1257 |
| RE-514                      | 103   | 0                        | H                 | 226                                  | 173 | 361 | 655 | 911  | 1141 |
| RE-515                      | 108   | 0                        | H                 | 450                                  | 320 | 332 | 597 | 843  | 940  |
| RE-516                      | 109   | 0                        | H                 | 232                                  | 158 | 161 | 277 | 426  | 577  |
| RE-517                      | 90    | 90                       | 2P                | 109                                  | 170 | 351 | 654 | 552  | 827  |

Tableau A.1 : Acquisition des données: sondages électriques abrégés

| Identification<br>du relevé | Z (m) | Orientation<br>du relevé | Type de<br>courbe | Séparation des électrodes de courant |     |      |      |      |      |
|-----------------------------|-------|--------------------------|-------------------|--------------------------------------|-----|------|------|------|------|
|                             |       |                          |                   | 4m                                   | 8m  | 30m  | 80m  | 150m | 200m |
| RE-518                      | 90    | 90                       | 2P                | 116                                  | 173 | 510  | 702  | 858  | 978  |
| RE-519                      | 80    | 0                        | H                 | 205                                  | 30  | 47   | 88   | 222  | 187  |
| RE-520                      | 79    | 0                        | 2P                | 39                                   | 35  | 33   | 55   | 104  | 112  |
| RE-521                      | 78    | 0                        | H                 | 201                                  | 48  | 57   | 82   | 691  | 943  |
| RE-522                      | 77    | 0                        | H                 | 66                                   | 59  | 124  | 272  | 473  | 535  |
| RE-523                      | 81    | 90                       | HK                | 567                                  | 446 | 1176 | 2015 | 1880 | 1266 |
| RE-524                      | 88    | 90                       | H                 | 428                                  | 379 | 283  | 300  | 482  | 636  |
| RE-525                      | 85    | 90                       | H                 | 156                                  | 111 | 147  | 236  | 351  | 477  |
| RE-526                      | 83    | 90                       | H                 | 157                                  | 24  | 36   | 43   | 90   | 42   |
| RE-527                      | 80    | 135                      | H                 | 55                                   | 31  | 326  | 369  | 702  | 736  |
| RE-528                      | 80    | 135                      | 2P                | 36                                   | 47  | 219  | 579  | 1164 | 1285 |
| RE-529                      | 80    | 135                      | H                 | 39                                   | 27  | 78   | 190  | 300  | 390  |
| RE-530                      | 85    | 90                       | 2P                | 236                                  | 311 | 1049 | 2534 | 4204 | 2714 |
| RE-531                      | 80    | 90                       | H                 | 1015                                 | 344 | 90   | 279  | 595  | 639  |
| Sondage 1                   | 90    | 90                       | 2P                | 141                                  | 178 | 487  | 1000 | 1771 | 2308 |
| Sondage 2                   | 87    | 135                      | KH                | 274                                  | 361 | 665  | 770  | 1044 | 1208 |
| Sondage 3                   | 80    | 45                       | 2P                | 19                                   | 27  | 81   | 184  | 345  | 460  |
| Sondage 4                   | 84    | 135                      | 2P                | 293                                  | 447 | 1436 | 3153 | 4679 | 5660 |
| Sondage 5                   | 76    | 0                        | H                 | 22                                   | 22  | 12   | 12   | 45   | 34   |
| Sondage 6                   | 75    | 90                       | 2P                | 17                                   | 21  | 54   | 127  | 259  | 351  |
| Sondage 7                   | 70    | 45                       | HKH               | 56                                   | 58  | 121  | 94   | 141  | 191  |
| Sondage 8                   | 69    | 135                      | A                 | 25                                   | 29  | 44   | 63   | 103  | 127  |
| Sondage 9                   | 63    | 135                      | 2P                | 19                                   | 21  | 40   | 99   | 187  | 225  |
| Sondage 10                  | 64    | 90                       | A                 | 19                                   | 23  | 36   | 60   | 99   | 127  |
| Sondage 11                  | 68    | 90                       | Q                 | 133                                  | 71  | 23   | 16   | 8    | 3    |
| Sondage 12                  | 43    | 0                        | H                 | 39                                   | 31  | 94   | 163  | 248  | 299  |
| Sondage 13                  | 87    | 90                       |                   |                                      |     |      |      |      |      |
| Sondage 14                  | 56    | 0                        | H                 | 22                                   | 20  | 15   | 8    | 8    | 11   |
| Sondage 15                  | 76    | 90                       | QH                | 131                                  | 100 | 46   | 28   | 29   | 45   |
| Sondage 16                  | 83    | 90                       | HA                | 33                                   | 22  | 45   | 80   | 126  | 184  |
| Sondage 17                  | 54    | 135                      | 2M                | 30                                   | 23  | 7    | 1    |      |      |
| Sondage 18                  | 47    | 45                       | A                 | 34                                   | 53  | 158  | 282  | 415  | 513  |
| Sondage 19                  | 45    | 135                      | 2P                | 18                                   | 18  | 23   | 40   | 64   | 77   |
| Sondage 20                  | 40    | 135                      | H                 | 21                                   | 19  | 19   | 40   | 67   | 82   |
| Sondage 24                  | 69    | 90                       | KH                | 291                                  | 281 | 382  | 46   | 8    | 13   |
| Sondage 27                  | 73    | 0                        | 2P                | 33                                   | 35  | 99   | 268  | 529  | 689  |
| Sondage 33                  | 80    | 0                        | H                 | 46                                   | 34  | 24   | 34   | 60   | 86   |
| Sondage 34                  | 79    | 45                       | H                 | 29                                   | 27  | 49   | 111  | 175  | 197  |
| Sondage 35                  | 80    | 0                        | KH                | 129                                  | 186 | 294  | 226  | 227  | 241  |
| Sondage 36                  | 67    | 45                       | H                 | 358                                  | 240 | 162  | 136  | 222  | 200  |
| Sondage 37                  | 68    | 45                       | H                 | 36                                   | 28  | 40   | 83   | 146  | 186  |
| Sondage 38                  | 45    | 135                      | H                 | 31                                   | 22  | 10   | 12   | 19   | 26   |
| Sondage 39                  | 49    | 90                       | 2P                | 27                                   | 46  | 163  | 377  | 602  | 774  |
| Sondage 40                  | 61    | 135                      | A                 | 14                                   | 17  | 34   | 59   | 99   | 132  |
| Sondage 41                  | 62    | 135                      | 2P                | 64                                   | 143 | 781  | 1544 | 1927 | 2462 |
| Sondage 42                  | 74    | 45                       | K                 | 121                                  | 264 | 1105 | 2381 | 3112 | 2255 |

## **ANNEXE A.2**

Acquisition des données: sondages  
électriques complets





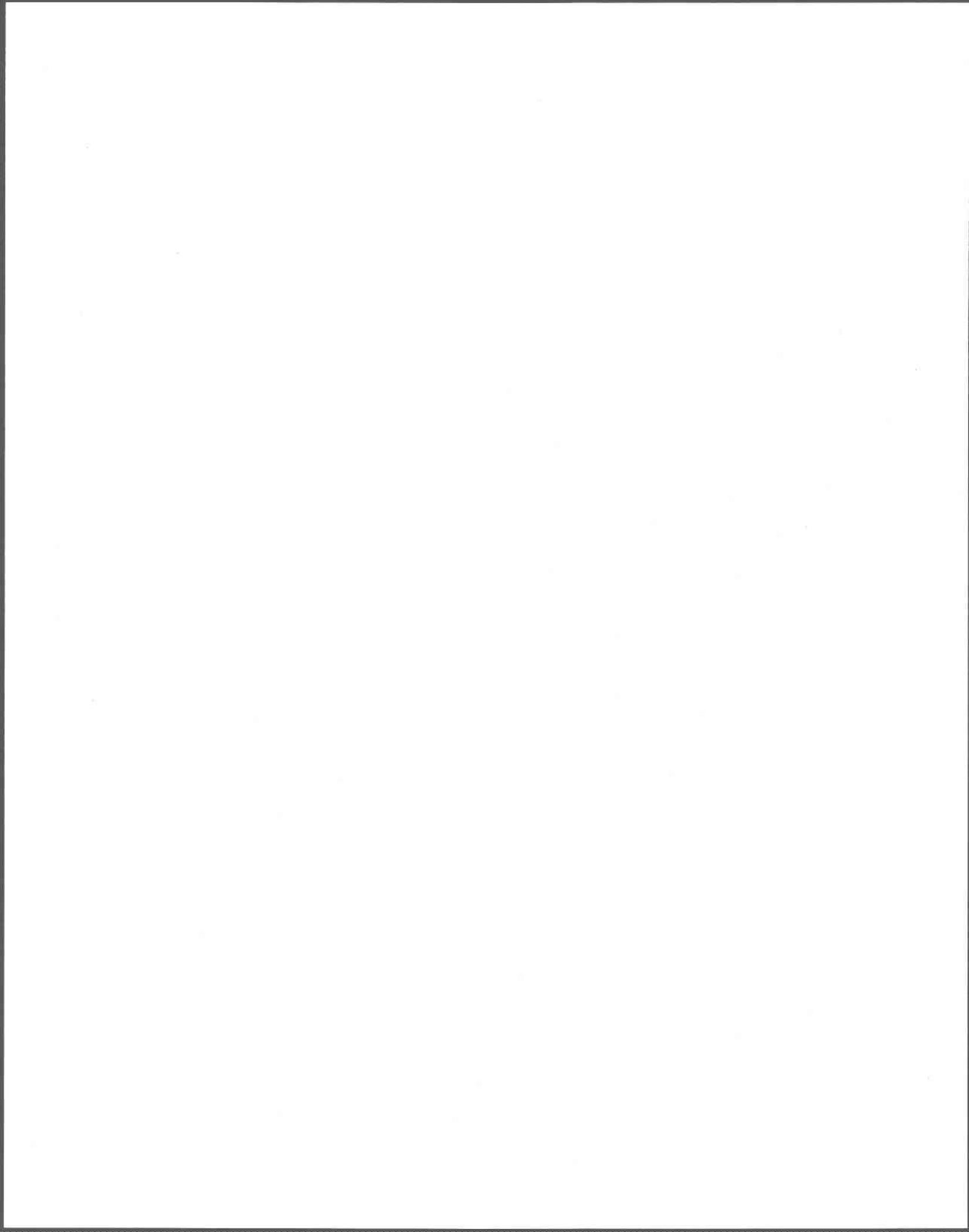
| Identification<br>du relevé | Séparation des électrodes de courant |      |      |      |      |      |      |  |  |  |
|-----------------------------|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|--|--|--|
|                             | 100m                                 | 150m | 200m | 250m | 300m | 350m | 400m |  |  |  |
| Sondage 1                   | 1252                                 | 1771 | 2308 | 2698 | 2998 | 3141 | 3058 |  |  |  |
| Sondage 2                   | 807                                  | 1044 | 1208 | 1312 | 1365 | 1343 | 1385 |  |  |  |
| Sondage 3                   | 226                                  | 345  | 460  | 568  | 663  | 768  | 870  |  |  |  |
| Sondage 4                   | 3461                                 | 4679 | 5660 | 6634 | 6464 | 6631 | 7483 |  |  |  |
| Sondage 5                   | 12                                   | 45   | 34   |      |      |      |      |  |  |  |
| Sondage 6                   | 160                                  | 259  | 351  | 435  | 513  | 704  | 724  |  |  |  |
| Sondage 7                   | 111                                  | 141  | 191  | 229  | 263  | 305  | 352  |  |  |  |
| Sondage 8                   | 73                                   | 103  | 127  | 149  | 170  | 183  | 199  |  |  |  |
| Sondage 9                   | 129                                  | 187  | 225  | 278  | 285  | 321  | 370  |  |  |  |
| Sondage 10                  | 69                                   | 99   | 127  | 151  | 173  | 196  | 211  |  |  |  |
| Sondage 11                  | 9                                    | 8    | 3    | 16   | 8    |      |      |  |  |  |
| Sondage 12                  | 182                                  | 248  | 299  | 342  | 394  | 432  | 456  |  |  |  |
| Sondage 13                  |                                      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |
| Sondage 14                  | 6                                    | 8    | 11   | 15   | 17   | 15   | 23   |  |  |  |
| Sondage 15                  | 25                                   | 29   | 45   | 21   | 47   | 14   | 37   |  |  |  |
| Sondage 16                  | 98                                   | 126  | 184  | 218  | 280  | 357  | 409  |  |  |  |
| Sondage 17                  | 1                                    |      |      |      |      |      |      |  |  |  |
| Sondage 18                  | 331                                  | 415  | 513  | 632  | 746  | 862  | 973  |  |  |  |
| Sondage 19                  | 46                                   | 64   | 77   | 89   | 105  | 91   | 141  |  |  |  |
| Sondage 20                  | 41                                   | 67   | 82   |      |      |      |      |  |  |  |
| Sondage 24                  | 19                                   | 8    | 13   | 24   |      |      |      |  |  |  |
| Sondage 27                  | 329                                  | 529  | 689  | 907  | 1003 | 978  | 1196 |  |  |  |
| Sondage 33                  |                                      | 60   | 86   | 105  | 137  | 153  | 150  |  |  |  |
| Sondage 34                  | 135                                  | 175  | 197  | 222  | 235  | 305  | 345  |  |  |  |
| Sondage 35                  | 217                                  | 227  | 241  | 275  | 302  | 341  | 378  |  |  |  |
| Sondage 36                  | 70                                   | 222  | 200  |      |      |      |      |  |  |  |
| Sondage 37                  | 100                                  | 146  | 186  | 171  | 246  | 273  | 296  |  |  |  |
| Sondage 38                  | 20                                   | 19   | 26   | 30   | 35   |      |      |  |  |  |
| Sondage 39                  | 451                                  | 602  | 774  | 991  | 1242 | 1371 | 1492 |  |  |  |
| Sondage 40                  | 66                                   | 99   | 132  | 131  | 149  | 163  | 213  |  |  |  |
| Sondage 41                  | 1742                                 | 1927 | 2462 | 2805 | 2541 | 2435 | 3497 |  |  |  |
| Sondage 42                  | 2692                                 | 3112 | 2255 | 2541 | 2421 | 2546 | 2056 |  |  |  |

## **ANNEXE A.3**

Calibration des sondages complets à l'aide  
des données de forage

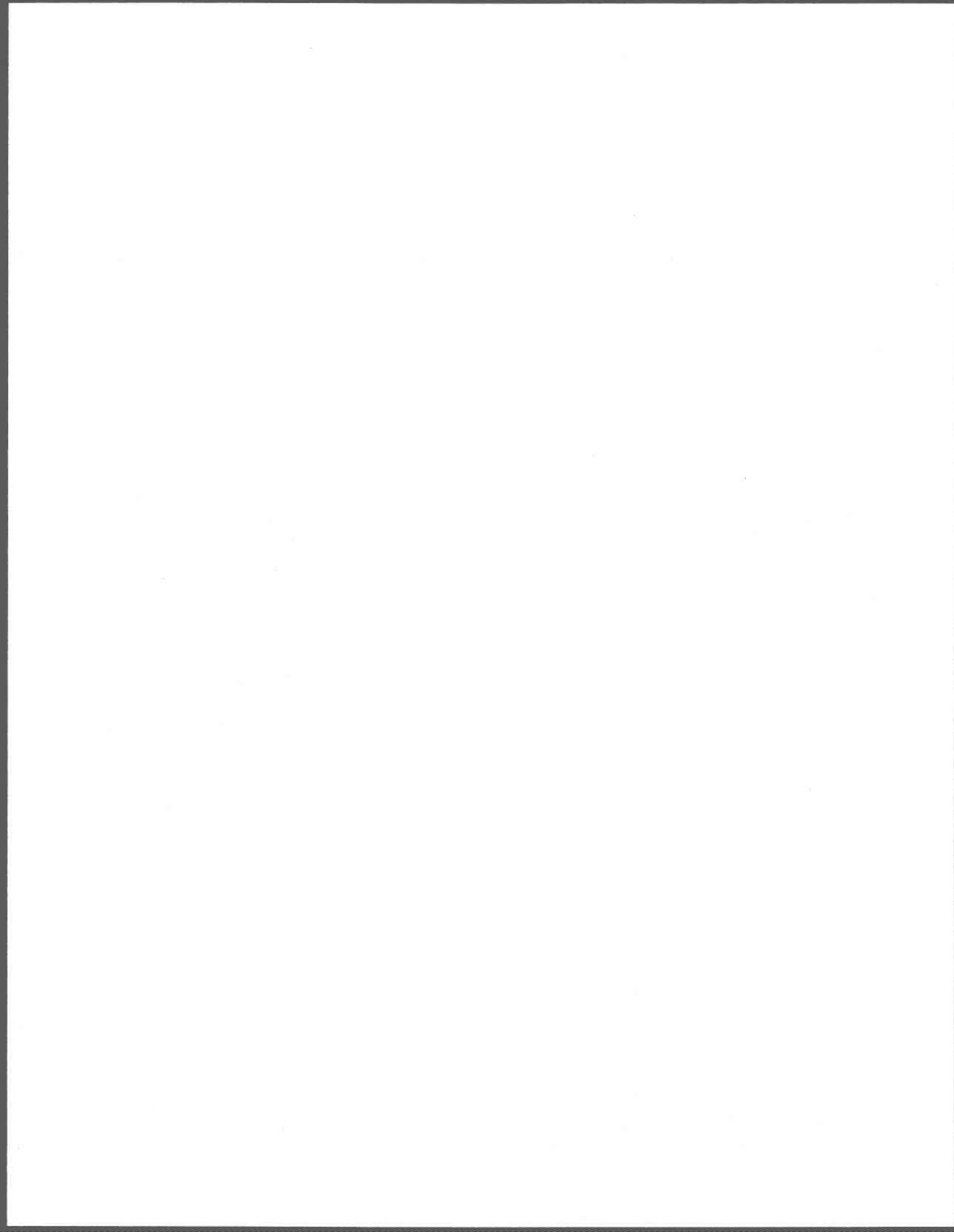


| Sondage    | Résistivités vraies  |        |      |                  |       | Type de roc |
|------------|----------------------|--------|------|------------------|-------|-------------|
|            | Sable                | Argile | Till | Sable et Gravier | Roc   |             |
| 1          |                      |        | 139  |                  | 6231  |             |
| 2          | Variations latérales |        |      |                  |       |             |
| 3          |                      |        | 19   |                  | 5000  | (Grès)      |
| 4          |                      |        | 265  |                  | 10000 | (Grès)      |
| 5          | Plus de 2000 mètres  |        |      |                  |       |             |
| 6          |                      | 17     |      |                  | 3533  | (Calcaire)  |
| 7          |                      |        | 31   | 43               | 1000  | (Calcaire)  |
|            |                      |        | 60   | 295              |       |             |
| 8          |                      | 23     |      | 451              |       |             |
|            |                      | 49     |      |                  |       |             |
| 9          | Plus de 2000 mètres  |        |      |                  |       |             |
| 10         |                      | 15     |      |                  | 550   |             |
|            |                      | 32     |      |                  |       |             |
| 11         | 170                  | 5      |      |                  |       |             |
|            |                      | 34     |      |                  |       |             |
| 12         | Plus de 2000 mètres  |        |      |                  |       |             |
| 14         |                      | 4      |      | 94               |       |             |
|            |                      | 21     |      |                  |       |             |
| 15         | Invraisemblable      |        |      |                  |       |             |
| 16         | Invraisemblable      |        |      |                  |       |             |
| 17         |                      | 2      |      |                  |       |             |
|            |                      | 32     |      |                  |       |             |
| 18         |                      | 28     | 429  |                  | 3000  |             |
| 19         |                      | 18     |      | 316              |       |             |
| 20         |                      | 13     |      |                  |       |             |
|            |                      | 21     |      |                  |       |             |
| 24         | Plus de 2000 mètres  |        |      |                  |       |             |
| 27         |                      |        | 32   |                  | 10000 | (Calcaire)  |
| 33         |                      | 21     |      |                  | 510   | (Grès)      |
|            |                      | 51     |      |                  |       |             |
| 34         |                      | 22     | 563  |                  |       |             |
|            |                      | 39     |      |                  |       |             |
| 35         | Invraisemblable      |        |      |                  |       |             |
| 36         | Variations latérales |        |      |                  |       |             |
| 37         |                      |        | 25   | 830              |       |             |
|            |                      |        | 55   |                  |       |             |
| 38         |                      | 8      | 81   |                  |       |             |
|            |                      | 32     |      |                  |       |             |
| 39         |                      |        | 19   |                  | 3544  |             |
| 40         |                      | 11     | 415  |                  |       |             |
|            |                      | 25     |      |                  |       |             |
| 41         |                      | 27     |      |                  | 6200  |             |
| 42         |                      |        | 60   |                  | 10000 |             |
| MINIMUM    | 170                  | 2      | 19   | 43               | 510   |             |
| MAXIMUM    | 170                  | 51     | 563  | 830              | 10000 |             |
| MOYENNE    | 170                  | 23     | 157  | 338              | 4964  |             |
| ECART-TYPE |                      | 13     | 184  | 284              | 3595  |             |



## **ANNEXE A.4**

### Interprétation des sondages électriques













| Identification<br>du relevé | Couche électrique # 3: Till. sable-gravier et roc altéré |                |                |                | b (moyenne) | f (moyenne) | Épaisseur      |                | Élévation      |                | C.élec.#4:Roc |                |
|-----------------------------|--|----------------|----------------|----------------|-------------|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|----------------|
|                             | b <sub>1</sub>   | r <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | r <sub>2</sub> |             |             | b <sub>3</sub> | r <sub>3</sub> | b <sub>4</sub> | r <sub>4</sub> | roc           | r <sub>1</sub> |
| RE-067                      | 5,66   | 200            |                |                | 5,66        | 200         |                | 5,66           | 77,34          | 2475           |               |                |
| RE-068                      |  |                |                |                | 0,00        |             |                | 2,90           | 75,10          | 7500           |               |                |
| RE-069                      | 5,91   | 230            |                |                | 5,91        | 230         |                | 5,91           | 79,09          | 10000          |               |                |
| RE-070                      | 2,00   | 63             |                |                | 2,00        |             |                | 2,00           | 83,00          | 10000          |               |                |
| RE-071                      | 6,88   | 140            |                |                | 6,88        | 140         |                | 6,88           | 73,12          | 12500          |               |                |
| RE-072                      |  |                |                |                | 0,00        |             |                | 4,63           | 67,37          | 1000           |               |                |
| RE-073                      |  |                |                |                | 0,00        |             |                | 6,00           | 67,00          | 14900          |               |                |
| RE-074                      | 3,96   | 768            |                | 135            | 3,96        | 768         |                | 3,96           |                |                |               |                |
| RE-075                      |  |                |                |                | 0,00        |             |                | 2,84           | 78,16          | 5364           |               |                |
| RE-076                      |  |                |                |                |             |             |                |                |                |                |               |                |
| RE-077                      | 4,00   | 86             |                |                | 4,00        | 86          |                | 4,00           | 82,00          | 7600           |               |                |
| RE-078                      |  |                |                |                | 0,00        |             |                | 2,04           | 81,96          | 8000           |               |                |
| RE-079                      |  |                |                |                | 0,00        |             |                | 3,35           | 76,65          | 1003           |               |                |
| RE-080                      |  |                |                |                | 0,00        |             |                | 4,74           | 74,26          | 10000          |               |                |
| RE-081                      |  |                |                |                | 0,00        |             |                | 2,34           | 77,66          | 3815           |               |                |
| RE-082                      | 1,23   | 140            | 3,41           | 63             | 4,64        | 78          |                | 4,64           | 78,36          | 10000          |               |                |
| RE-083                      |  |                |                |                | 0,00        |             |                | 4,81           | 79,19          | 2187           |               |                |
| RE-084                      |  |                |                |                | 0,00        |             |                | 5,60           | 72,40          | 2200           |               |                |
| RE-085                      | 3,67   | 450            |                |                | 3,67        | 450         |                | 8,14           |                |                |               |                |
| RE-086                      | 4,99   | 171            |                |                | 4,99        | 171         |                | 12,53          |                |                |               |                |
| RE-087                      |  |                |                |                | 0,00        |             |                | 7,78           | 70,22          | 6640           |               |                |
| RE-088                      |  |                |                |                |             |             |                |                |                |                |               |                |
| RE-089                      |  |                |                |                | 0,00        |             |                | 3,00           | 77,00          | 2000           |               |                |
| RE-090                      |  |                |                |                |             |             |                |                |                |                |               |                |
| RE-091                      |  |                |                |                |             |             |                |                |                |                |               |                |
| RE-092                      |  |                |                |                | 0,00        |             |                | 6,66           | 73,34          | 10000          |               |                |
| RE-093                      | 11,90  | 210            |                |                | 11,90       | 210         |                | 11,90          | 62,10          | 2148           |               |                |
| RE-094                      |  |                |                |                |             |             |                |                |                |                |               |                |
| RE-095                      |  |                |                |                | 0,00        |             |                | 4,63           | 63,37          | 3662           |               |                |
| RE-096                      |  |                |                |                | 0,00        |             |                | 4,20           | 81,80          | 7629           |               |                |
| RE-097                      |  |                |                |                | 0,00        |             |                | 4,51           | 80,49          | 5000           |               |                |
| RE-098                      |  |                |                |                | 0,00        |             |                | 5,09           | 78,91          | 2000           |               |                |
| RE-099                      |  |                |                |                | 0,00        |             |                | 4,32           | 77,68          | 2000           |               |                |



| Identification<br>du relevé | Couche électrique # 3: Till. sable-gravier et roc altéré |                |                |                | Elevation      |                |                |                | Epaisseur<br>déposés meubles |                | C.élec.#4:Roc  |                |                |
|-----------------------------|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                             | b <sub>1</sub>   | r <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | r <sub>2</sub> | b <sub>3</sub> | r <sub>3</sub> | b <sub>4</sub> | r <sub>4</sub> | IOQ                          | r <sub>1</sub> | r <sub>2</sub> | r <sub>1</sub> | r <sub>2</sub> |
| RE-100                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                         | 4,99           |                | 55,01          | 1400           |
| RE-101                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                              |                |                |                |                |
| RE-102                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                         | 9,53           |                | 40,47          | 1563           |
| RE-103                      | 4,65   | 271            |                |                |                |                |                |                | 271                          | 8,33           |                |                |                |
| RE-104                      | 6,07   | 113            |                |                |                |                |                |                | 113                          | 25,87          |                |                |                |
| RE-105                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                         | 10,64          |                | 68,36          | 1094           |
| RE-106                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                         | 1,98           |                | 81,02          | 4000           |
| RE-107                      | 2,71   | 1103           | 9,58           | 81             |                |                |                |                | 177                          | 12,29          |                | 65,71          | 1000           |
| RE-108                      | 3,47   | 900            |                |                |                |                |                |                | 900                          | 9,75           |                |                |                |
| RE-109                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                         | 3,26           |                | 77,74          | 1875           |
| RE-110                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                         | 0,84           |                | 80,16          | 10000          |
| RE-111                      | 6,82   | 500            |                |                |                |                |                |                | 500                          | 6,82           |                | 81,18          | 4964           |
| RE-112                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                         | 6,17           |                | 76,83          | 1480           |
| RE-113                      | 2,81   | 105            |                |                |                |                |                |                | 105                          | 2,81           |                | 84,19          | 1725           |
| RE-114                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                         | 5,84           |                | 70,16          | 1397           |
| RE-115                      | 7,06   | 851            |                |                |                |                |                |                | 851                          |                |                |                |                |
| RE-116                      | 6,09   | 80             |                |                |                |                |                |                | 80                           |                |                |                |                |
| RE-117                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                              |                |                |                |                |
| RE-118                      | 4,01   | 800            |                |                |                |                |                |                | 800                          | 13,97          |                |                |                |
| RE-119                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                         | 7,40           |                | 69,60          | 2000           |
| RE-120                      | 1,03   | 2474           | 7,22           | 422            |                |                |                |                | 565                          | 8,25           |                | 63,75          | 6000           |
| RE-121                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                         | 5,66           |                | 66,34          | 4000           |
| RE-122                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                         | 2,00           |                | 73,00          | 3525           |
| RE-123                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                         | 2,00           |                | 73,00          | 3125           |
| RE-124                      | 4,40   | 120            |                |                |                |                |                |                | 120                          | 5,15           |                |                |                |
| RE-125                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                         | 5,59           |                | 70,41          | 3433           |
| RE-126                      | 5,30   | 93             |                |                |                |                |                |                | 93                           | 16,33          |                |                |                |
| RE-127                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                         | 0,77           |                | 78,23          | 1493           |
| RE-128                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                         | 4,51           |                | 73,49          | 6154           |
| RE-129                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                         | 3,42           |                | 81,58          | 3000           |
| RE-130                      | 1,00   | 397            | 4,41           | 77             | 20,58          | 391            |                |                | 280                          | 25,99          |                |                |                |
| RE-131                      | 1,63   | 400            |                |                |                |                |                |                | 400                          | 16,73          |                |                |                |
| RE-132                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                         | 2,43           |                | 69,57          | 1500           |

| Identification<br>du relevé | Couche électrique # 1: Sable |                |                |                |             | Couche électrique # 2: Argile |                |                |                |                |                |                |                |                |             |             |
|-----------------------------|------------------------------|----------------|----------------|----------------|-------------|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------|-------------|
|                             | b <sub>1</sub>               | r <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | r <sub>2</sub> | b (moyenne) | r (moyenne)                   | b <sub>1</sub> | r <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | r <sub>2</sub> | b <sub>3</sub> | r <sub>3</sub> | b <sub>4</sub> | r <sub>4</sub> | b (moyenne) | r (moyenne) |
| RE-133                      | 1,34                         | 249            |                |                | 1,34        | 249                           | 8,96           | 57             |                |                |                |                |                |                | 8,96        | 57          |
| RE-134                      | 2,76                         | 1300           |                |                | 2,76        | 1300                          | 5,04           | 46             |                |                |                |                |                |                | 5,04        | 46          |
| RE-135                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |                |                |                |                | 0,00        |             |
| RE-136                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |                |                |                |                | 0,00        |             |
| RE-137                      | 0,90                         | 114            | 2,00           | 435            | 2,90        | 279                           | 12,80          | 59             |                |                |                |                |                |                | 12,80       | 59          |
| RE-138                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 5,41           | 26             |                |                |                |                |                |                | 5,41        | 26          |
| RE-139                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 6,50           | 19             |                |                |                |                |                |                | 6,50        | 19          |
| RE-140                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 4,41           | 22             | 27,70          | 8              |                |                |                |                | 32,11       | 9           |
| RE-141                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 27,52          | 24             |                |                | 55             |                |                |                | 27,52       | 24          |
| RE-142                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 4,64           | 22             | 11,78          | 10             |                |                |                |                | 16,42       | 12          |
| RE-143                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 1,64           | 28             | 12,76          | 12             |                | 32             |                |                | 14,40       | 14          |
| RE-144                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 1,41           | 26             | 13,50          | 17             |                |                |                |                | 14,91       | 18          |
| RE-145                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 1,00           | 14             | 2,19           | 25             | 4,77           | 13             |                |                | 7,96        | 16          |
| RE-146                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 3,00           | 20             | 5,00           | 67             | 13,76          | 25             |                |                | 21,76       | 31          |
| RE-147                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 1,20           | 31             | 4,30           | 13             |                |                |                |                | 5,50        | 16          |
| RE-148                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |                |                |                |                | 0,00        |             |
| RE-149                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |                |                |                |                | 0,00        |             |
| RE-150                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |                |                |                |                | 0,00        |             |
| RE-151                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |                |                |                |                | 0,00        |             |
| RE-152                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 1,02           | 41             |                |                |                |                |                |                | 1,02        | 41          |
| RE-153                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |                |                |                |                | 0,00        |             |
| RE-154                      | 1,15                         | 551            |                |                | 1,15        | 551                           | 6,00           | 22             |                |                |                |                |                |                | 6,00        | 22          |
| RE-155                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |                |                |                |                | 0,00        |             |
| RE-156                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |                |                |                |                | 0,00        |             |
| RE-157                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |                |                |                |                | 0,00        |             |
| RE-158                      | 1,03                         | 873            |                |                | 1,03        | 873                           | 2,58           | 36             |                |                |                |                |                |                | 2,58        | 36          |
| RE-159                      | 0,76                         | 861            |                |                | 0,76        | 861                           | 6,22           | 33             |                |                |                |                |                |                | 6,22        | 33          |
| RE-160                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 2,68           | 12             |                |                |                |                |                |                | 2,68        | 12          |
| RE-161                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 2,14           | 13             |                |                |                |                |                |                | 2,14        | 13          |
| RE-162                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 4,62           | 27             |                |                |                |                |                |                | 4,62        | 27          |
| RE-163                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 1,82           | 9              |                |                |                |                |                |                | 1,82        | 9           |
| RE-164                      | 1,62                         | 228            |                |                | 1,62        | 228                           | 13,75          | 39             |                |                |                |                |                |                | 13,75       | 39          |
| RE-165                      | 2,68                         | 419            |                |                | 2,68        | 419                           | 15,32          | 19             |                |                |                |                |                |                | 15,32       | 19          |

| Identification<br>du relevé | Couche électrique # 3: Till. sable-gravier et roc altéré |                |                |                | b<br>(moyenne) | r<br>(moyenne) | Épaisseur<br>dépôts meubles | Élévation      |                | C.élec.#4:Roc  |                |
|-----------------------------|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                             | b <sub>1</sub>   | r <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | r <sub>2</sub> |                |                |                             | b <sub>3</sub> | r <sub>3</sub> | b <sub>4</sub> | r <sub>4</sub> |
| RE-133                      |  |                |                |                | 0,00           |                | 10,30                       | 60,70          |                | 1500           |                |
| RE-134                      |  |                |                |                | 0,00           |                | 7,80                        | 66,20          |                | 3900           |                |
| RE-135                      | 3,43   | 287            |                |                | 3,43           | 287            | 3,43                        | 65,57          |                | 1719           |                |
| RE-136                      | 1,70   | 367            | 2,25           | 112            | 3,95           | 188            | 3,95                        | 72,05          |                | 10000          |                |
| RE-137                      | 2,55   | 530            |                |                | 2,55           | 530            | 16,25                       |                |                |                |                |
| RE-138                      | 4,80   | 250            |                |                | 4,80           | 250            | 10,21                       |                |                |                |                |
| RE-139                      |  |                |                |                | 0,00           |                | 6,50                        | 67,50          |                | 1562           |                |
| RE-140                      |  |                |                |                |                |                |                             |                |                |                |                |
| RE-141                      |  |                |                |                |                |                | 32,11                       |                |                |                |                |
| RE-142                      | 6,75   | 200            |                |                | 6,75           | 200            | 94,27                       |                |                |                |                |
| RE-143                      |  |                |                |                | 0,00           |                | 16,42                       | 59,58          |                | 1609           |                |
| RE-144                      |  |                |                |                |                |                | 14,40                       |                |                |                |                |
| RE-145                      | 5,64   | 293            |                |                | 5,64           | 293            | 20,55                       |                |                |                |                |
| RE-146                      | 5,03   | 148            |                |                | 5,03           | 148            | 12,99                       |                |                |                |                |
| RE-147                      |  |                |                |                | 0,00           |                | 21,76                       | 54,24          |                | 4172           |                |
| RE-148                      |  |                |                |                | 0,00           |                | 5,50                        | 71,50          |                | 2000           |                |
| RE-149                      | 3,64   | 90             |                |                | 3,64           | 90             | 3,64                        | 75,36          |                | 2000           |                |
| RE-150                      | 7,31   | 90             |                |                | 7,31           | 90             | 7,31                        | 72,69          |                | 9645           |                |
| RE-151                      | 1,09   | 156            |                |                | 1,09           | 156            | 1,09                        | 82,91          |                | 35000          |                |
| RE-152                      |  |                |                |                | 0,00           |                | 1,02                        | 85,98          |                | 3663           |                |
| RE-153                      |  |                |                |                |                |                |                             |                |                |                |                |
| RE-154                      |  |                |                |                | 0,00           |                | 7,15                        | 66,85          |                | 2000           |                |
| RE-155                      | 1,00   | 700            | 3,15           | 249            | 4,15           | 325            | 4,15                        | 70,85          |                | 1736           |                |
| RE-156                      | 1,11   | 627            | 3,82           | 135            | 4,93           | 201            | 4,93                        | 70,07          |                | 7500           |                |
| RE-157                      | 1,05   | 67             |                |                | 1,05           | 67             | 1,05                        | 72,95          |                | 7450           |                |
| RE-158                      |  |                |                |                | 0,00           |                | 3,61                        | 69,39          |                | 9375           |                |
| RE-159                      |  |                |                |                | 0,00           |                | 6,98                        | 63,02          |                | 4922           |                |
| RE-160                      |  |                |                |                | 0,00           |                | 2,68                        | 66,32          |                | 7450           |                |
| RE-161                      |  |                |                |                | 0,00           |                | 2,14                        | 68,86          |                | 3815           |                |
| RE-162                      |  |                |                |                | 0,00           |                | 4,62                        | 63,38          |                | 4134           |                |
| RE-163                      | 9,50   | 230            |                |                | 9,50           | 230            | 11,32                       | 55,68          |                | 1250           |                |
| RE-164                      | 3,92   | 197            |                |                | 3,92           | 197            | 19,29                       |                |                |                |                |
| RE-165                      | 3,00   | 200            |                |                | 3,00           | 200            | 21,00                       |                |                |                |                |



| Identification<br>du relevé | Couche électrique # 3: Till. sable-gravier et roc altéré |     |      |     |     |     |     |      | b (moyenne) | r (moyenne) | Épaisseur<br>dépôts meubles | Élévation<br>ROC | C.élec.#4:Roc |     |
|-----------------------------|--|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|-------------|-------------|-----------------------------|------------------|---------------|-----|
|                             | b 1  | r 1 | b 2  | r 2 | b 3 | r 3 | b 4 | r 4  |             |             |                             |                  | r 1           | r 2 |
| RE-166                      | 5,15   | 375 |      |     |     |     |     |      | 375         | 14,45       |                             |                  |               |     |
| RE-167                      | 6,14   | 98  |      |     |     |     |     |      | 98          | 26,72       |                             |                  |               |     |
| RE-168                      |  |     |      |     |     |     |     |      |             | 32,55       |                             |                  |               |     |
| RE-169                      | 7,28   | 150 |      |     |     |     |     | 7,28 | 150         | 40,82       |                             |                  |               |     |
| RE-170                      | 5,15   | 600 |      |     |     |     |     | 5,15 | 600         | 14,49       |                             |                  |               |     |
| RE-171                      |  |     |      |     |     |     |     | 0,00 |             | 9,27        | 57,73                       | 5700             |               |     |
| RE-172                      | 4,40   | 919 |      |     |     |     |     | 4,40 | 919         | 5,26        |                             |                  |               |     |
| RE-173                      | 1,26   | 148 | 2,80 | 81  |     |     |     | 4,06 | 98          | 4,06        | 65,94                       | 1000             |               |     |
| RE-174                      |  |     |      |     |     |     |     | 0,00 |             | 2,43        | 68,57                       | 3324             |               |     |
| RE-175                      |  |     |      |     |     |     |     | 0,00 |             | 3,00        | 70,00                       | 3370             |               |     |
| RE-176                      |  |     |      |     |     |     |     | 0,00 |             | 0,89        | 72,11                       | 1027             |               |     |
| RE-177                      | 1,04   | 83  |      |     |     |     |     | 1,04 | 83          | 1,04        | 73,96                       | 4000             |               |     |
| RE-178                      | 5,16   | 780 |      |     |     |     |     | 5,16 | 780         | 14,66       |                             |                  |               |     |
| RE-179                      |  |     |      |     |     |     |     | 0,00 |             | 2,25        | 66,75                       | 7450             |               |     |
| RE-180                      |  |     |      |     |     |     |     | 0,00 |             | 6,86        | 64,14                       | 5722             |               |     |
| RE-181                      |  |     |      |     |     |     |     | 0,00 |             | 2,69        | 68,31                       | 1500             |               |     |
| RE-182                      |  |     |      |     |     |     |     | 0,00 |             | 4,00        | 67,00                       | 7000             |               |     |
| RE-183                      |  |     |      |     |     |     |     | 0,00 |             | 8,89        | 60,11                       | 2930             |               |     |
| RE-184                      |  |     |      |     |     |     |     |      |             |             |                             |                  |               |     |
| RE-185                      |  |     |      |     |     |     |     | 0,00 |             | 3,48        | 68,52                       | 2441             |               |     |
| RE-186                      |  |     |      |     |     |     |     | 0,00 |             | 2,39        | 71,61                       | 3000             |               |     |
| RE-187                      |  |     |      |     |     |     |     | 0,00 |             | 3,54        | 70,46                       | 1562             |               |     |
| RE-188                      |  |     |      |     |     |     |     | 0,00 |             | 1,58        | 74,42                       | 4000             |               |     |
| RE-189                      |  |     |      |     |     |     |     | 0,00 |             | 3,88        | 65,12                       | 5960             |               |     |
| RE-190                      |  |     |      |     |     |     |     | 0,00 |             | 2,35        | 68,65                       | 1465             |               |     |
| RE-191                      |  |     |      |     |     |     |     | 0,00 |             | 3,24        | 64,76                       | 2037             |               |     |
| RE-192                      |  |     |      |     |     |     |     | 0,00 |             | 5,21        | 61,79                       | 1875             |               |     |
| RE-193                      | 3,78   | 319 |      |     |     |     |     | 3,78 | 319         | 9,93        |                             |                  |               |     |
| RE-194                      |  |     |      |     |     |     |     | 0,00 |             | 10,16       | 57,84                       | 1250             |               |     |
| RE-195                      | 3,62   | 579 |      |     |     |     |     | 3,62 | 579         | 15,68       |                             |                  |               |     |
| RE-196                      |  |     |      |     |     |     |     | 0,00 |             | 3,93        | 56,07                       | 2441             |               |     |
| RE-197                      | 3,65   | 71  |      |     |     |     |     | 3,65 | 71          | 3,65        | 51,35                       | 7000             |               |     |
| RE-198                      | 2,00   | 72  |      |     |     |     |     | 2,00 | 72          | 2,00        | 52,00                       | 5200             |               |     |



| Identification<br>du relevé | Couche électrique # 3: Till. sable-gravier et roc altéré |                |                |                |                |                |                |                | b (moyenne)<br>r (moyenne) | Epaisseur<br>dépôts meubles | Élevation<br>Ioc | C.élec.#4:Roc  |                |
|-----------------------------|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------------------|-----------------------------|------------------|----------------|----------------|
|                             | b <sub>1</sub>   | r <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | r <sub>2</sub> | b <sub>3</sub> | r <sub>3</sub> | b <sub>4</sub> | r <sub>4</sub> |                            |                             |                  | r <sub>1</sub> | r <sub>2</sub> |
| RE-199                      | 1,90   | 78             |                |                |                |                |                |                | 1,90                       | 78                          | 53,10            | 2320           | 1215           |
| RE-200                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                       |                             | 51,71            | 2930           |                |
| RE-201                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                       |                             | 51,29            | 4023           |                |
| RE-202                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                       |                             | 42,88            | 3050           |                |
| RE-203                      | 3,26   | 90             | 15,00          | 350            | 900            |                |                |                | 18,26                      | 265                         |                  |                |                |
| RE-204                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                       |                             | 55,10            | 1500           |                |
| RE-205                      | 22,50  | 200            |                |                |                |                |                |                | 22,50                      | 200                         | 35,83            | 1400           |                |
| RE-206                      | 4,11   | 900            |                |                |                |                |                |                | 4,11                       | 900                         |                  |                |                |
| RE-207                      | 1,20   | 179            | 8,00           | 73             |                |                |                |                | 9,20                       | 83                          | 60,80            | 3000           |                |
| RE-208                      | 8,10   | 210            |                |                |                |                |                |                | 8,10                       | 210                         | 61,02            | 3000           |                |
| RE-209                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                       |                             | 60,61            | 8011           |                |
| RE-210                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                       |                             | 68,02            | 10000          |                |
| RE-211                      | 0,89   | 100            | 2,14           | 280            | 4,00           | 100            |                |                | 7,03                       | 139                         | 46,97            | 2321           |                |
| RE-212                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                       |                             | 63,51            | 1000           |                |
| RE-213                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                            |                             |                  |                |                |
| RE-214                      | 6,01   | 317            |                |                |                |                |                |                | 6,01                       | 317                         |                  |                |                |
| RE-215                      | 2,32   | 90             | 6,00           | 332            | 15,00          | 110            | 600            |                | 23,32                      | 146                         |                  |                |                |
| RE-216                      | 3,41   | 19924          |                | 530            |                |                |                |                | 3,41                       | 19924                       |                  |                |                |
| RE-217                      | 3,99   | 225            |                |                |                |                |                |                | 3,99                       | 225                         |                  |                |                |
| RE-218                      |  | 915            |                |                |                |                |                |                |                            |                             |                  |                |                |
| RE-219                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                       |                             | 51,00            | 1000           |                |
| RE-220                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                       |                             | 46,59            | 3125           |                |
| RE-221                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                       |                             | 48,84            | 7030           |                |
| RE-222                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                       |                             | 44,92            | 1500           |                |
| RE-223                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                       |                             | 41,21            | 3500           |                |
| RE-224                      | 4,75   | 345            |                |                |                |                |                |                | 4,75                       | 345                         |                  |                |                |
| RE-225                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                       |                             | 41,20            | 8545           |                |
| RE-226                      | 5,15   | 246            |                |                |                |                |                |                | 5,15                       | 246                         | 51,85            | 2300           |                |
| RE-227                      | 2,05   | 375            |                |                |                |                |                |                | 2,05                       | 375                         | 47,95            | 1220           |                |
| RE-228                      | 6,90   | 470            |                |                |                |                |                |                | 6,90                       | 470                         |                  |                |                |
| RE-229                      | 1,22   | 90             | 6,32           | 220            | 35,66          | 100            | 450            |                | 43,20                      | 113                         |                  |                |                |
| RE-230                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                            |                             |                  |                |                |
| RE-231                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                       |                             | 41,49            | 5364           |                |





| Identification<br>du relevé | Couche électrique # 1: Sable |                |                |                | Couche électrique # 2: Argile |                |                |                | r (moyenne) | r (moyenne) | r (moyenne) |                |                |                |
|-----------------------------|------------------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|----------------|----------------|----------------|
|                             | b <sub>1</sub>               | r <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | r <sub>2</sub> | b <sub>1</sub>                | r <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | r <sub>2</sub> |             |             |             | b <sub>3</sub> | r <sub>3</sub> | b <sub>4</sub> |
| RE-265                      |                              |                |                |                | 0,00                          | 24             | 5,51           | 7              | 11,49       | 1           |             | 60             | 18,50          | 3              |
| RE-266                      |                              |                |                |                | 0,00                          | 46             | 21,11          | 13             |             |             |             |                | 22,43          | 14             |
| RE-267                      |                              |                |                |                | 0,00                          | 38             | 3,50           | 3              | 4,99        | 1           |             | 5              | 9,77           | 3              |
| RE-268                      |                              |                |                |                | 0,00                          |                |                |                |             |             |             |                | 0,00           |                |
| RE-269                      |                              |                |                |                | 0,00                          |                |                |                |             |             |             |                | 0,00           |                |
| RE-270                      |                              |                |                |                | 0,00                          | 60             |                |                |             |             |             |                | 6,52           | 60             |
| RE-271                      |                              |                |                |                | 0,00                          | 48             |                |                |             |             |             |                | 9,36           | 48             |
| RE-272                      |                              |                |                |                | 0,00                          |                |                |                |             |             |             |                | 0,00           |                |
| RE-273                      |                              |                |                |                | 0,00                          |                |                |                |             |             |             |                | 0,00           |                |
| RE-274                      |                              |                |                |                | 0,00                          | 58             |                |                |             |             |             |                | 6,60           | 58             |
| RE-275                      |                              |                |                |                | 0,00                          | 40             |                |                |             |             |             |                | 3,80           | 40             |
| RE-276                      | 1,21                         | 441            |                |                | 1,21                          | 62             |                |                |             |             |             |                | 4,75           | 62             |
| RE-277                      |                              |                |                |                | 0,00                          | 33             |                |                |             |             |             |                | 0,90           | 33             |
| RE-278                      |                              |                |                |                | 0,00                          | 90             | 4,83           | 50             |             |             |             |                | 5,93           | 56             |
| RE-279                      |                              |                |                |                | 0,00                          | 12             | 6,14           | 30             |             |             |             |                | 7,57           | 25             |
| RE-280                      |                              |                |                |                | 0,00                          | 36             | 11,79          | 14             | 12,22       | 3           |             | 47             | 25,11          | 7              |
| RE-281                      | 0,90                         | 231            |                |                | 0,90                          | 12             |                | 3              |             |             |             |                | 15,05          | 12             |
| RE-282                      |                              |                |                |                |                               |                |                |                |             |             |             |                |                |                |
| RE-283                      | 2,55                         | 152            |                |                | 2,55                          | 16             | 19,90          | 4              |             | 43          |             |                | 32,90          | 7              |
| RE-284                      | 1,32                         | 5759           | 4,00           | 160            | 5,32                          | 11             |                | 60             |             |             |             |                | 26,94          | 11             |
| RE-285                      |                              |                |                |                | 0,00                          | 75             | 7,37           | 12             | 28,28       | 1           |             | 4              | 36,82          | 3              |
| RE-286                      |                              |                |                |                | 0,00                          | 16             | 15,40          | 1              |             |             |             |                | 20,26          | 2              |
| RE-287                      |                              |                |                |                | 0,00                          | 27             | 5,74           | 16             | 29,77       | 2           |             | 30             | 37,01          | 4              |
| RE-288                      | 4,41                         | 220            | 12,13          | 110            | 16,54                         | 30             |                |                |             |             |             |                |                | 30             |
| RE-289                      |                              |                |                |                | 0,00                          | 51             | 12,16          | 121            | 18,05       | 12          |             | 56             | 31,11          | 33             |
| RE-290                      |                              |                |                |                | 0,00                          | 50             |                | 5              |             |             |             |                |                | 39             |
| RE-291                      | 1,19                         | 893            |                |                | 1,19                          | 62             | 17,00          | 6              |             |             |             |                | 22,63          | 12             |
| RE-292                      |                              |                |                |                | 0,00                          | 63             | 20,95          | 3              |             |             |             |                | 22,66          | 5              |
| RE-293                      |                              |                |                |                |                               |                |                |                |             |             |             |                |                |                |
| RE-294                      |                              |                |                |                | 0,00                          | 15             |                |                |             |             |             |                | 16,43          | 15             |
| RE-295                      |                              |                |                |                | 0,00                          | 20             | 28,28          | 6              |             | 1           |             |                | 30,60          | 7              |
| RE-296                      |                              |                |                |                | 0,00                          | 14             |                |                |             |             |             |                | 3,10           | 14             |
| RE-297                      |                              |                |                |                | 0,00                          | 26             | 3,42           | 50             |             |             |             |                | 4,15           | 44             |

| Identification<br>du relevé | Couche électrique # 3: Till. sable-gravier et roc altéré |                |                |                |                |                |                |                | Épaisseur<br>déposés meubles | Élévation<br>ROC | C.élec.#4:Roc  |                |
|-----------------------------|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------------------|------------------|----------------|----------------|
|                             | b <sub>1</sub>   | r <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | r <sub>2</sub> | b <sub>3</sub> | r <sub>3</sub> | b <sub>4</sub> | r <sub>4</sub> |                              |                  | r <sub>1</sub> | r <sub>2</sub> |
| RE-265                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                              | 18,50            |                |                |
| RE-266                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                         | 22,43            | 25,57          | 1379           |
| RE-267                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                              | 9,77             |                |                |
| RE-268                      | 0,85   | 113            | 2,36           | 67             | 12,00          | 150            |                |                | 15,21                        | 15,21            | 32,79          | 1500           |
| RE-269                      | 0,99   | 393            | 12,03          | 117            |                |                |                |                | 13,02                        | 13,02            | 41,98          | 1200           |
| RE-270                      | 4,90   | 220            |                |                |                |                |                |                | 4,90                         | 4,42             |                |                |
| RE-271                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                         | 9,36             | 50,64          | 2000           |
| RE-272                      | 1,3  | 184            | 2,44           | 50             |                |                |                |                | 3,74                         | 3,74             | 60,26          | 1045           |
| RE-273                      | 0,99   | 110            | 4,07           | 60             |                | 903            |                |                | 5,06                         | 5,06             |                |                |
| RE-274                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                         | 6,60             | 51,40          | 1150           |
| RE-275                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                         | 3,80             | 48,20          | 2030           |
| RE-276                      | 3,54   | 600            |                |                |                |                |                |                | 3,54                         | 3,54             |                |                |
| RE-277                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                         | 0,90             | 56,10          | 2625           |
| RE-278                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                         | 5,93             | 58,07          | 6137           |
| RE-279                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                         | 7,57             | 51,43          | 1875           |
| RE-280                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                              | 25,11            |                |                |
| RE-281                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                              | 15,95            |                |                |
| RE-282                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                              |                  |                |                |
| RE-283                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                              | 35,45            |                |                |
| RE-284                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                              | 32,26            |                |                |
| RE-285                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                              | 36,82            |                |                |
| RE-286                      | 6,11   | 70             |                |                |                |                |                |                | 6,11                         | 26,37            |                |                |
| RE-287                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                              | 37,01            |                |                |
| RE-288                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                              | 34,84            |                |                |
| RE-289                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                              | 31,11            |                |                |
| RE-290                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                              | 2,64             |                |                |
| RE-291                      | 5,13   | 88             |                |                |                |                |                |                | 5,13                         | 28,95            |                |                |
| RE-292                      | 6,32   | 256            |                |                |                |                |                |                | 6,32                         | 28,98            |                |                |
| RE-293                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                              |                  |                |                |
| RE-294                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                         | 16,43            | 32,57          | 1000           |
| RE-295                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                         | 30,60            | 36,90          | 3438           |
| RE-296                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                         | 3,10             | 45,85          | 1151           |
| RE-297                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                         | 4,15             |                |                |



| Identification<br>du relevé | Couche électrique # 3: Till. sable-gravier et roc altéré |                |                |                | b (moyenne) | r (moyenne) | Épaisseur<br>dépôts meubles | Élévation      |                | C.élec.#4:Roc  |                |
|-----------------------------|--|----------------|----------------|----------------|-------------|-------------|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                             | b <sub>1</sub>   | r <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | r <sub>2</sub> |             |             |                             | b <sub>3</sub> | r <sub>3</sub> | b <sub>4</sub> | r <sub>4</sub> |
| RE-298                      |  |                |                |                | 0,00        |             | 4,86                        | 37,14          |                | 1355           |                |
| RE-299                      |  |                |                |                | 0,00        |             | 2,65                        | 39,35          |                | 2000           |                |
| RE-300                      | 2,96   | 891            |                |                | 2,96        | 891         |                             |                |                |                |                |
| RE-301                      |  |                |                |                | 0,00        |             | 2,08                        | 40,92          |                | 8513           |                |
| RE-302                      | 4,65   | 814            |                |                | 4,65        | 814         |                             |                |                |                |                |
| RE-303                      | 4,74   | 123            |                |                | 4,74        | 123         |                             |                |                |                |                |
| RE-304                      |  | 123            |                |                |             |             | 19,18                       |                |                |                |                |
| RE-305                      | 4,70   | 225            |                |                | 4,70        | 225         |                             |                |                |                |                |
| RE-306                      |  |                |                |                | 0,00        |             | 3,51                        | 42,49          |                | 2095           |                |
| RE-307                      |  |                |                |                | 0,00        |             | 3,91                        | 44,09          |                | 2094           |                |
| RE-308                      | 5,48   | 580            |                |                | 5,48        | 580         |                             |                |                |                |                |
| RE-309                      |  |                |                |                | 0,00        |             | 11,67                       | 36,33          |                | 1000           |                |
| RE-310                      | 5,24   | 588            |                |                | 5,24        | 588         |                             |                |                |                |                |
| RE-311                      |  |                |                |                | 0,00        |             | 3,44                        | 48,56          |                | 1000           |                |
| RE-312                      |  |                |                |                | 0,00        |             | 3,42                        | 48,58          |                | 3750           |                |
| RE-313                      |  |                |                |                | 0,00        |             | 8,04                        | 43,96          |                | 1339           |                |
| RE-314                      |  |                |                |                | 0,00        |             | 7,16                        | 49,84          |                | 2500           |                |
| RE-315                      |  |                |                |                | 0,00        |             | 14,30                       | 39,70          |                | 1250           |                |
| RE-316                      |  |                |                |                | 0,00        |             | 4,77                        | 51,23          |                | 1200           |                |
| RE-317                      |  |                |                |                | 0,00        |             | 5,24                        | 49,76          |                | 2500           |                |
| RE-318                      |  |                |                |                | 0,00        |             | 2,95                        | 54,05          |                | 4800           |                |
| RE-319                      |  |                |                |                | 0,00        |             | 3,92                        | 39,08          |                | 3650           |                |
| RE-320                      | 3,65   | 128            | 8,40           | 161            | 12,05       | 150         | 12,05                       | 41,95          |                | 2115           |                |
| RE-321                      | 1,00   | 250            | 1,89           | 90             | 2,89        | 130         | 2,89                        | 54,11          |                | 3500           |                |
| RE-322                      |  |                |                |                | 0,00        |             | 4,19                        | 53,81          |                | 7266           |                |
| RE-323                      | 4,49   | 650            |                |                | 4,49        | 650         |                             |                |                |                |                |
| RE-324                      |  |                |                |                |             |             | 3,77                        |                |                |                |                |
| RE-325                      | 4,80   | 180            |                |                | 4,80        | 180         | 10,18                       |                |                |                |                |
| RE-326                      | 4,60   | 115            |                |                | 4,60        | 115         | 7,73                        |                |                |                |                |
| RE-327                      | 6,61   | 180            |                |                | 6,61        | 180         | 32,57                       |                |                |                |                |
| RE-328                      |  | 103            |                |                |             |             | 38,91                       |                |                |                |                |
| RE-329                      | 5,98   | 221            |                |                | 5,98        | 221         | 24,79                       |                |                |                |                |
| RE-330                      | 4,61   | 544            |                |                | 4,61        | 544         | 7,75                        |                |                |                |                |



| Identification<br>du relevé | Couche électrique # 3: Till. sable-gravier et roc altéré |                |                |                |                |                |                |                | Épaisseur<br>dépôts meubles |             | Élévation |                | C.élec.#4:Roc  |  |
|-----------------------------|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------------|-------------|-----------|----------------|----------------|--|
|                             | b <sub>1</sub>   | r <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | r <sub>2</sub> | b <sub>3</sub> | r <sub>3</sub> | b <sub>4</sub> | r <sub>4</sub> | b (moyenne)                 | r (moyenne) | IOC       | r <sub>1</sub> | r <sub>2</sub> |  |
| RE-331                      | 21,72  | 90             |                | 803            |                |                |                |                | 21,72                       | 90          |           |                |                |  |
| RE-332                      | 4,81   | 730            |                |                |                |                |                |                | 4,81                        | 730         |           |                |                |  |
| RE-333                      | 1,48   | 243            | 5,91           | 88             |                |                |                |                | 7,39                        | 110         | 55,61     | 5000           |                |  |
| RE-334                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                             |             |           |                |                |  |
| RE-335                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                        |             | 57,37     | 1100           |                |  |
| RE-336                      | 4,98   | 385            |                |                |                |                |                |                | 4,98                        | 385         |           |                |                |  |
| RE-337                      | 6,19   | 340            |                |                |                |                |                |                | 6,19                        | 340         |           |                |                |  |
| RE-338                      | 4,71   | 100            |                |                |                |                |                |                | 4,71                        | 100         |           |                |                |  |
| RE-339                      | 5,86   | 218            |                |                |                |                |                |                | 5,86                        | 218         |           |                |                |  |
| RE-340                      |  | 109            |                |                |                |                |                |                |                             |             |           |                |                |  |
| RE-341                      | 5,94   | 250            |                |                |                |                |                |                | 5,94                        | 250         |           |                |                |  |
| RE-342                      | 5,14   | 334            |                |                |                |                |                |                | 5,14                        | 334         |           |                |                |  |
| RE-343                      | 4,86   | 240            |                |                |                |                |                |                | 4,86                        | 240         |           |                |                |  |
| RE-344                      | 4,71   | 835            |                |                |                |                |                |                | 4,71                        | 835         |           |                |                |  |
| RE-345                      | 4,72   | 330            |                |                |                |                |                |                | 4,72                        | 330         |           |                |                |  |
| RE-346                      | 4,82   | 780            |                |                |                |                |                |                | 4,82                        | 780         |           |                |                |  |
| RE-347                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                        |             | 56,09     | 1350           |                |  |
| RE-348                      | 5,32   | 426            |                |                |                |                |                |                | 5,32                        | 426         |           |                |                |  |
| RE-349                      | 4,97   | 187            |                |                |                |                |                |                | 4,97                        | 187         |           |                |                |  |
| RE-350                      | 4,72   | 440            |                |                |                |                |                |                | 4,72                        | 440         |           |                |                |  |
| RE-351                      | 4,69   | 565            |                |                |                |                |                |                | 4,69                        | 565         |           |                |                |  |
| RE-352                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                             |             |           |                |                |  |
| RE-353                      | 4,05   | 760            |                |                |                |                |                |                | 4,05                        | 760         |           |                |                |  |
| RE-354                      | 9,26   | 169            | 22,78          | 80             |                |                | 547            |                | 6,49                        | 100         |           |                |                |  |
| RE-355                      |  | 188            |                |                |                |                |                |                |                             |             |           |                |                |  |
| RE-356                      | 33,50  | 95             |                | 200            |                |                |                |                | 3,41                        | 95          |           |                |                |  |
| RE-357                      | 4,58   | 135            |                |                |                |                |                |                | 4,58                        | 135         |           |                |                |  |
| RE-358                      | 4,72   | 181            |                |                |                |                |                |                | 4,72                        | 181         |           |                |                |  |
| RE-359                      | 5,57   | 469            |                |                |                |                |                |                | 5,57                        | 469         |           |                |                |  |
| RE-360                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                             |             |           |                |                |  |
| RE-361                      | 5,37   | 200            |                |                |                |                |                |                | 5,37                        | 200         |           |                |                |  |
| RE-362                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                        |             | 70,95     | 2500           |                |  |
| RE-363                      | 4,44   | 413            |                |                |                |                |                |                | 4,44                        | 413         |           |                |                |  |

| Identification<br>du relevé | Couche électrique # 1: Sable |                |                |                |             | Couche électrique # 2: Argile |                |                |                |                | r (moyenne) |                |                |                |             |
|-----------------------------|------------------------------|----------------|----------------|----------------|-------------|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------|----------------|----------------|----------------|-------------|
|                             | b <sub>1</sub>               | r <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | r <sub>2</sub> | b (moyenne) | b <sub>1</sub>                | r <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | r <sub>2</sub> | b <sub>3</sub> |             | r <sub>3</sub> | b <sub>4</sub> | r <sub>4</sub> | b (moyenne) |
| RE-364                      | 0,95                         | 93             |                |                | 0,95        | 93                            | 1,80           | 10             |                |                |             |                |                | 1,80           | 10          |
| RE-365                      | 1,00                         | 190            |                |                | 1,00        | 190                           | 2,28           | 11             |                |                |             |                |                | 2,28           | 11          |
| RE-366                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |             |                |                | 0,00           |             |
| RE-367                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |             |                |                | 0,00           |             |
| RE-368                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |             |                |                | 0,00           |             |
| RE-369                      |                              |                |                |                |             |                               |                |                |                |                |             |                |                |                |             |
| RE-370                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 3,26           | 47             |                |                |             |                |                | 3,26           | 47          |
| RE-371                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 12,57          | 60             |                |                |             |                |                | 12,57          | 60          |
| RE-372                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |             |                |                | 0,00           |             |
| RE-373                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |             |                |                | 0,00           |             |
| RE-374                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |             |                |                | 0,00           |             |
| RE-375                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 1,10           | 14             |                |                |             |                |                | 1,10           | 14          |
| RE-376                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 0,86           | 94             | 1,61           | 45             |             |                |                | 2,47           | 58          |
| RE-377                      | 1,15                         | 110            |                |                | 1,15        | 110                           | 3,99           | 12             |                |                |             |                |                | 3,99           | 12          |
| RE-378                      | 3,41                         | 128            | 5,97           | 463            | 9,38        | 285                           | 10,83          | 63             |                |                |             |                |                | 10,83          | 63          |
| RE-379                      | 1,05                         | 152            |                |                | 1,05        | 152                           | 1,99           | 35             |                |                |             |                |                | 1,99           | 35          |
| RE-380                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |             |                |                | 0,00           |             |
| RE-381                      | 1,10                         | 221            |                |                | 1,10        | 221                           | 2,65           | 20             |                |                |             |                |                | 2,65           | 20          |
| RE-382                      | 1,10                         | 180            |                |                | 1,10        | 180                           | 2,85           | 25             |                |                |             |                |                | 2,85           | 25          |
| RE-383                      | 1,28                         | 169            |                |                | 1,28        | 169                           | 9,00           | 40             |                |                |             |                |                | 9,00           | 40          |
| RE-384                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 6,25           | 11             |                |                |             |                |                | 6,25           | 11          |
| RE-385                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 1,14           | 15             | 3,29           | 8              |             |                |                | 4,43           | 9           |
| RE-386                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 6,24           | 12             |                |                |             |                |                | 6,24           | 12          |
| RE-387                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 9,72           | 16             |                |                |             |                |                | 9,72           | 16          |
| RE-388                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 0,97           | 20             | 1,10           | 6              | 6,00        | 36             | 7,30           | 15,37          | 23          |
| RE-389                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 7,76           | 16             |                |                |             |                |                | 7,76           | 16          |
| RE-390                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 0,88           | 9              | 10,72          | 28             |             |                |                | 11,60          | 25          |
| RE-391                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 3,80           | 11             |                |                |             |                |                | 3,80           | 11          |
| RE-392                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |             |                |                | 0,00           |             |
| RE-393                      | 1,10                         | 92             |                |                | 1,10        | 92                            | 3,00           | 45             |                |                |             |                |                | 3,00           | 45          |
| RE-394                      | 5,00                         | 154            |                |                | 5,00        | 154                           | 11,58          | 33             |                |                |             |                |                | 11,58          | 33          |
| RE-395                      | 1,00                         | 340            |                |                | 1,00        | 340                           | 2,20           | 40             | 3,31           | 146            | 12,64       | 18             |                | 18,15          | 32          |
| RE-396                      | 1,09                         | 88             |                |                | 1,09        | 88                            | 2,10           | 30             | 4,86           | 60             | 21,85       | 23             | 46             | 28,81          | 28          |

| Identification<br>du relevé | Couche électrique # 3: Till. sable-gravier et roc altéré |                |                |                |                |                |                |                | Epaisseur<br>dépôts meubles | Élévation |                | C.élec.#4:Roc  |      |
|-----------------------------|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------------|-----------|----------------|----------------|------|
|                             | b <sub>1</sub>   | r <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | r <sub>2</sub> | b <sub>3</sub> | r <sub>3</sub> | b <sub>4</sub> | r <sub>4</sub> |                             | ROC       | r <sub>1</sub> | r <sub>2</sub> |      |
| RE-364                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                        | 2,75      | 72,25          | 1125           |      |
| RE-365                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                        | 3,28      | 71,72          | 1500           |      |
| RE-366                      | 1,15   | 90             |                |                |                |                |                |                | 90                          | 1,15      | 75,85          | 2256           | 6500 |
| RE-367                      | 2,64   | 91             |                |                |                |                |                |                | 91                          | 2,64      | 75,36          | 3500           |      |
| RE-368                      | 18,86  | 210            |                |                |                |                |                |                | 210                         | 18,86     | 55,14          | 6250           |      |
| RE-369                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                        | 3,26      | 60,74          | 1688           |      |
| RE-370                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                        | 12,57     | 61,43          | 1126           |      |
| RE-371                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 4,75                        | 4,75      | 68,89          | 3511           |      |
| RE-372                      | 4,75   | 70             |                | 767            |                |                |                |                | 94                          | 5,11      | 73,19          | 1805           |      |
| RE-373                      | 5,11   | 94             |                |                |                |                |                |                | 167                         | 3,81      | 71,90          | 5284           |      |
| RE-374                      | 0,81   | 70             | 3,00           | 217            |                |                |                |                | 0,00                        | 1,10      | 71,53          | 2744           |      |
| RE-375                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                        | 2,47      | 70,86          | 1500           |      |
| RE-376                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                        | 5,14      | 52,79          | 1719           |      |
| RE-377                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                        | 20,21     | 53,94          | 1662           |      |
| RE-378                      | 17,02  | 150            |                |                |                |                |                |                | 150                         | 20,06     | 69,25          | 5500           |      |
| RE-379                      | 5,94   | 99             |                | 900            |                |                |                |                | 99                          | 3,75      | 71,05          | 4378           |      |
| RE-380                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                        | 3,95      | 66,72          | 2612           |      |
| RE-381                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                        | 10,28     | 54,57          | 1000           |      |
| RE-382                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                        | 4,43      |                |                |      |
| RE-383                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 240                         |           |                |                |      |
| RE-384                      | 4,88   | 240            |                |                |                |                |                |                | 240                         |           |                |                |      |
| RE-385                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                        |           |                |                |      |
| RE-386                      | 4,88   | 250            |                |                |                |                |                |                | 250                         | 11,12     |                |                |      |
| RE-387                      | 5,18   | 546            |                |                |                |                |                |                | 546                         | 14,90     |                |                |      |
| RE-388                      | 5,68   | 305            |                |                |                |                |                |                | 305                         | 21,05     |                |                |      |
| RE-389                      | 5,01   | 274            |                |                |                |                |                |                | 274                         | 12,77     |                |                |      |
| RE-390                      | 5,35   | 504            |                |                |                |                |                |                | 504                         | 16,95     |                |                |      |
| RE-391                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                        | 3,80      | 55,20          | 1575           |      |
| RE-392                      | 1,00   | 125            | 28,86          | 70             |                |                | 482            |                | 71                          | 29,86     |                |                |      |
| RE-393                      | 10,33  | 517            |                | 123            |                |                |                |                | 517                         | 7,59      |                |                |      |
| RE-394                      | 0,35   | 331            |                |                |                |                |                |                | 331                         | 16,93     |                |                |      |
| RE-395                      | 4,92   | 104            |                |                |                |                |                |                | 104                         | 24,07     |                |                |      |
| RE-396                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 29,90                       |           |                |                |      |

| Identification<br>du relevé | Couche électrique # 1: Sable |                |                |                |             | Couche électrique # 2: Argile |                |                |                |                | D (moyenne) | r (moyenne) |                |                |                |
|-----------------------------|------------------------------|----------------|----------------|----------------|-------------|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------|-------------|----------------|----------------|----------------|
|                             | b <sub>1</sub>               | r <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | r <sub>2</sub> | b (moyenne) | r (moyenne)                   | b <sub>1</sub> | r <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | r <sub>2</sub> |             |             | b <sub>3</sub> | r <sub>3</sub> | b <sub>4</sub> |
| RE-397                      | 1,28                         | 130            |                |                | 1,28        | 130                           | 5,36           | 35             | 12,86          | 64             | 16,22       | 19          |                | 34,44          | 33             |
| RE-398                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 1,22           | 74             | 3,50           | 23             | 10,83       | 60          | 14             | 29,09          | 32             |
| RE-399                      |                              |                |                |                |             |                               | 6,50           | 69             | 14,44          | 20             |             |             |                | 20,94          | 30             |
| RE-400                      | 1,28                         | 285            |                |                | 1,28        | 285                           | 4,00           | 70             | 16,29          | 33             |             |             |                | 20,29          | 39             |
| RE-401                      | 1,16                         | 992            |                |                | 1,16        | 992                           |                |                |                |                |             |             |                |                |                |
| RE-402                      |                              |                |                |                |             |                               | 1,00           | 11             | 5,00           | 55             | 10,83       | 5           | 34             | 16,83          | 12             |
| RE-403                      | 0,90                         | 185            |                |                | 0,90        | 185                           |                |                |                |                |             |             |                |                |                |
| RE-404                      |                              |                |                |                |             |                               | 2,32           | 10             |                |                |             |             |                | 2,32           | 10             |
| RE-405                      | 1,05                         | 123            |                |                | 1,05        | 123                           | 19,80          | 30             |                |                |             |             |                | 19,80          | 30             |
| RE-406                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |             |             |                |                |                |
| RE-407                      |                              |                |                |                |             |                               |                |                |                |                |             |             |                |                |                |
| RE-408                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 1,00           | 27             | 2,00           | 45             | 6,00        | 25          |                | 9,00           | 29             |
| RE-409                      | 1,22                         | 263            |                |                | 1,22        | 263                           | 5,94           | 18             |                |                |             |             |                | 5,94           | 18             |
| RE-410                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 2,91           | 23             | 7,62           | 32             |             |             |                | 10,53          | 29             |
| RE-411                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 7,20           | 24             |                |                |             |             |                | 7,20           | 24             |
| RE-412                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 5,59           | 19             |                |                |             |             |                | 5,59           | 19             |
| RE-413                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 1,50           | 56             | 4,49           | 118            | 11,91       | 10          |                | 17,90          | 24             |
| RE-414                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 1,32           | 35             | 6,00           | 12             | 10,45       | 3           |                | 17,77          | 6              |
| RE-415                      | 1,10                         | 67             |                |                | 1,10        | 67                            | 1,20           | 20             | 3,87           | 60             | 18,23       | 10          | 47             | 23,30          | 15             |
| RE-416                      | 1,10                         | 107            |                |                | 1,10        | 107                           | 2,00           | 27             | 4,41           | 49             | 5,93        | 15          | 36             |                | 26             |
| RE-417                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 0,95           | 61             | 13,89          | 27             |             | 66          |                |                | 26             |
| RE-418                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 0,81           | 11             |                |                |             |             |                | 0,81           | 11             |
| RE-419                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 4,89           | 21             |                |                |             |             |                | 4,89           | 21             |
| RE-420                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 1,39           | 19             | 11,52          | 40             |             |             |                | 12,91          | 37             |
| RE-421                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 19,55          | 23             |                |                |             |             |                | 19,55          | 23             |
| RE-422                      | 1,04                         | 430            |                |                | 1,04        | 430                           | 2,44           | 30             |                |                |             |             |                | 2,44           | 30             |
| RE-423                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |             |             |                | 0,00           |                |
| RE-424                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 2,18           | 22             |                |                |             |             |                | 2,18           | 22             |
| RE-425                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 4,02           | 17             | 4,40           | 3              |             |             |                | 8,42           | 7              |
| RE-426                      | 1,09                         | 254            | 4,06           | 135            | 5,15        | 155                           | 10,21          | 2              |                |                |             |             |                | 10,21          | 2              |
| RE-427                      | 4,51                         | 259            |                |                | 4,51        | 259                           | 18,05          | 20             |                |                |             |             |                | 18,05          | 20             |
| RE-428                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 0,85           | 27             | 1,10           | 16             | 14,77       | 47          |                | 16,72          | 42             |
| RE-429                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 1,22           | 50             | 1,90           | 9              | 26,63       | 47          |                | 29,75          | 41             |

| Identification<br>du relevé | Couche électrique # 3: Till, sable-gravier et roc altéré |                |                |                | b (moyenne) | r (moyenne) | Épaisseur<br>dépôts meubles | Elevation      |                | C.élec.#4:Roc  |                |
|-----------------------------|--|----------------|----------------|----------------|-------------|-------------|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                             | b <sub>1</sub>   | r <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | r <sub>2</sub> |             |             |                             | b <sub>3</sub> | r <sub>3</sub> | b <sub>4</sub> | r <sub>4</sub> |
| RE-397                      |  | 94             |                |                |             |             | 35,72                       |                |                |                |                |
| RE-398                      | 6,89   | 82             |                |                |             |             | 35,98                       |                |                |                |                |
| RE-399                      |  |                |                |                |             |             |                             |                |                |                |                |
| RE-400                      | 4,89   | 110            |                |                |             |             | 27,11                       |                |                |                |                |
| RE-401                      | 4,95   | 380            |                |                |             |             | 26,40                       |                |                |                |                |
| RE-402                      |  |                |                |                |             |             |                             |                |                |                |                |
| RE-403                      |  |                |                |                |             |             | 17,73                       |                |                |                |                |
| RE-404                      |  |                |                |                |             |             |                             |                |                |                |                |
| RE-405                      | 25,59  | 150            |                | 294            |             |             | 6,85                        |                |                |                |                |
| RE-406                      | 6,07   | 324            |                |                |             |             | 25,87                       |                |                |                |                |
| RE-407                      |  |                |                |                |             |             |                             |                |                |                |                |
| RE-408                      | 6,12   | 145            |                |                |             |             | 14,12                       |                |                |                |                |
| RE-409                      | 3,63   | 370            |                |                |             |             | 10,79                       |                |                |                |                |
| RE-410                      | 5,25   | 547            |                |                |             |             | 15,78                       |                |                |                |                |
| RE-411                      | 4,96   | 430            |                |                |             |             | 12,16                       |                |                |                |                |
| RE-412                      | 4,82   | 338            |                |                |             |             | 10,41                       |                |                |                |                |
| RE-413                      | 5,90   | 303            |                |                |             |             | 23,80                       |                |                |                |                |
| RE-414                      | 5,89   | 60             |                |                |             |             | 23,66                       |                |                |                |                |
| RE-415                      |  |                |                |                |             |             | 24,40                       |                |                |                |                |
| RE-416                      |  |                |                |                |             |             | 14,38                       |                |                |                |                |
| RE-417                      |  |                |                |                |             |             | 12,41                       |                |                |                |                |
| RE-418                      | 14,55  | 149            |                | 550            |             |             | 5,21                        |                |                |                |                |
| RE-419                      | 4,76   | 207            |                |                |             |             | 9,65                        |                |                |                |                |
| RE-420                      | 5,46   | 580            |                |                |             |             | 18,67                       |                |                |                |                |
| RE-421                      | 6,05   | 257            |                |                |             |             | 25,60                       |                |                |                |                |
| RE-422                      | 30,00  | 525            |                | 75             |             |             | 6,98                        |                |                |                |                |
| RE-423                      | 6,65   | 165            |                | 489            |             |             | 6,65                        |                |                |                |                |
| RE-424                      | 27,00  | 300            |                | 500            |             |             | 6,70                        |                |                |                |                |
| RE-425                      | 5,07   | 245            |                |                |             |             | 13,49                       |                |                |                |                |
| RE-426                      | 0,08   | 109            |                |                |             |             | 15,44                       |                |                |                |                |
| RE-427                      | 1,41   | 419            |                |                |             |             | 23,97                       |                |                |                |                |
| RE-428                      | 5,80   | 312            |                |                |             |             | 22,52                       |                |                |                |                |
| RE-429                      | 6,94   | 200            |                |                |             |             | 36,69                       |                |                |                |                |

| Identification<br>du relevé | Couche électrique # 1: Sable |                |                |                |             | Couche électrique # 2: Argille |                |                |                |                | r (moyenne) |                |                |                |             |
|-----------------------------|------------------------------|----------------|----------------|----------------|-------------|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------|----------------|----------------|----------------|-------------|
|                             | b <sub>1</sub>               | r <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | r <sub>2</sub> | b (moyenne) | b <sub>1</sub>                 | r <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | r <sub>2</sub> | b <sub>3</sub> |             | r <sub>3</sub> | b <sub>4</sub> | r <sub>4</sub> | b (moyenne) |
| RE-430                      |                              |                |                |                | 0,00        |                                | 1,22           | 58             | 4,29           | 108            | 20,84       | 13             | 40             | 26,35          | 22          |
| RE-431                      | 11,70                        | 260            |                |                | 11,70       |                                |                | 3              |                |                |             |                |                | 30,55          | 3           |
| RE-432                      |                              |                |                |                | 0,00        |                                | 1,00           | 77             | 29,55          | 33             |             |                |                | 3,68           | 34          |
| RE-433                      |                              |                |                |                | 0,00        |                                | 3,68           | 55             |                |                |             |                |                | 0,00           | 55          |
| RE-434                      |                              |                |                |                | 0,00        |                                |                |                |                |                |             |                |                | 0,00           |             |
| RE-435                      |                              |                |                |                | 0,00        |                                |                |                |                |                |             |                |                | 0,00           |             |
| RE-436                      | 1,10                         | 200            |                |                | 1,10        |                                | 2,99           | 30             |                |                |             |                |                | 2,99           | 30          |
| RE-437                      | 0,99                         | 1792           |                |                | 0,99        |                                | 2,94           | 30             |                |                |             |                |                | 2,94           | 30          |
| RE-438                      | 1,05                         | 90             |                |                | 1,05        |                                | 2,99           | 24             |                |                |             |                |                | 2,99           | 24          |
| RE-439                      |                              |                |                |                | 0,00        |                                |                |                |                |                |             |                |                | 0,00           |             |
| RE-440                      |                              |                |                |                | 0,00        |                                | 1,18           | 40             |                |                |             |                |                | 1,18           | 40          |
| RE-441                      |                              |                |                |                | 0,00        |                                | 2,65           | 57             |                |                |             |                |                | 2,65           | 57          |
| RE-442                      |                              |                |                |                | 0,00        |                                |                |                |                |                |             |                |                | 0,00           |             |
| RE-443                      |                              |                |                |                | 0,00        |                                |                |                |                |                |             |                |                | 0,00           |             |
| RE-444                      |                              |                |                |                | 0,00        |                                |                |                |                |                |             |                |                | 0,00           |             |
| RE-445                      |                              |                |                |                | 0,00        |                                |                |                |                |                |             |                |                | 0,00           |             |
| RE-446                      |                              |                |                |                | 0,00        |                                |                |                |                |                |             |                |                | 0,00           |             |
| RE-447                      |                              |                |                |                | 0,00        |                                |                |                |                |                |             |                |                | 0,00           |             |
| RE-448                      |                              |                |                |                | 0,00        |                                |                |                |                |                |             |                |                | 0,00           |             |
| RE-449                      | 1,50                         | 1200           |                |                | 1,50        |                                | 4,51           | 35             |                |                |             |                |                | 4,51           | 35          |
| RE-450                      |                              |                |                |                | 0,00        |                                |                |                |                |                |             |                |                | 0,00           |             |
| RE-451                      |                              |                |                |                | 0,00        |                                |                |                |                |                |             |                |                | 0,00           |             |
| RE-452                      |                              |                |                |                | 0,00        |                                |                |                |                |                |             |                |                | 0,00           |             |
| RE-453                      |                              |                |                |                | 0,00        |                                |                |                |                |                |             |                |                | 0,00           |             |
| RE-454                      |                              |                |                |                | 0,00        |                                |                |                |                |                |             |                |                | 0,00           |             |
| RE-455                      |                              |                |                |                | 0,00        |                                |                |                |                |                |             |                |                | 0,00           |             |
| RE-456                      |                              |                |                |                | 0,00        |                                |                |                |                |                |             |                |                | 0,00           |             |
| RE-457                      |                              |                |                |                | 0,00        |                                |                |                |                |                |             |                |                | 0,00           |             |
| RE-458                      |                              |                |                |                | 0,00        |                                |                |                |                |                |             |                |                | 0,00           |             |
| RE-459                      |                              |                |                |                | 0,00        |                                |                |                |                |                |             |                |                | 0,00           |             |
| RE-460                      |                              |                |                |                | 0,00        |                                | 1,10           | 28             |                |                |             |                |                | 1,10           | 28          |
| RE-461                      |                              |                |                |                | 0,00        |                                | 1,20           | 33             | 2,39           | 16             |             |                |                | 3,59           | 20          |
| RE-462                      |                              |                |                |                | 0,00        |                                | 1,00           | 42             | 1,91           | 13             |             |                |                | 2,91           | 20          |

| Identification<br>du relevé | Couche électrique # 3: Till. sable-gravier et roc altéré |                |                |                |                |                |                |                | Epaisseur<br>dépôts meubles | Élévation<br>ROC | C.élec.#4:Roc  |                |
|-----------------------------|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------------|------------------|----------------|----------------|
|                             | b <sub>1</sub>   | r <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | r <sub>2</sub> | b <sub>3</sub> | r <sub>3</sub> | b <sub>4</sub> | r <sub>4</sub> |                             |                  | r <sub>1</sub> | r <sub>2</sub> |
| RE-430                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                             | 26,35            |                |                |
| RE-431                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                             | 13,40            |                |                |
| RE-432                      | 7,01   | 206            |                |                |                |                |                |                | 7,01                        | 37,56            |                |                |
| RE-433                      | 4,65   | 750            |                |                |                |                |                |                | 4,65                        | 8,33             |                |                |
| RE-434                      | 4,00   | 80             | 600            |                |                |                |                |                | 4,00                        | 4,00             |                |                |
| RE-435                      | 1,55   | 873            | 18,05          | 116            | 418            |                |                |                | 19,60                       | 19,60            |                |                |
| RE-436                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                        | 4,09             | 1191           |                |
| RE-437                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                        | 3,93             | 8600           |                |
| RE-438                      | 3,54   | 684            |                |                |                |                |                |                | 7,58                        |                  |                |                |
| RE-439                      | 1,41   | 763            | 11,15          | 204            |                |                |                |                | 12,56                       | 12,56            | 2037           |                |
| RE-440                      | 16,89  | 181            |                | 600            |                |                |                |                | 4,43                        | 5,61             |                |                |
| RE-441                      | 13,17  | 1050           |                | 456            |                |                |                |                | 4,56                        | 7,21             |                |                |
| RE-442                      | 3,41   | 67             |                |                |                |                |                |                | 3,41                        | 3,41             | 1102           |                |
| RE-443                      | 4,29   | 111            |                |                |                |                |                |                | 4,29                        | 4,29             | 1265           |                |
| RE-444                      | 1,00   | 283            | 1,48           | 140            | 8,82           | 882            | 17,15          | 386            | 28,45                       | 28,45            | 1450           |                |
| RE-445                      | 4,39   | 100            |                | 600            |                |                |                |                | 4,39                        | 4,39             |                |                |
| RE-446                      | 7,76   | 175            |                |                |                |                |                |                | 7,76                        | 7,76             | 3000           |                |
| RE-447                      | 15,51  | 175            |                |                |                |                |                |                | 15,51                       | 15,51            | 1100           |                |
| RE-448                      | 2,65   | 898            | 24,31          | 182            | 425            |                |                |                | 26,96                       | 26,96            |                |                |
| RE-449                      | 3,23   | 500            |                |                |                |                |                |                | 9,24                        |                  |                |                |
| RE-450                      |  | 200            |                |                |                |                |                |                |                             |                  |                |                |
| RE-451                      | 1,22   | 136            | 4,86           | 891            | 246            |                |                |                | 6,08                        | 6,08             |                |                |
| RE-452                      | 1,47   | 99             | 4,79           | 514            | 226            |                |                |                | 6,26                        | 6,26             |                |                |
| RE-453                      | 1,10   | 97             | 2,71           | 420            | 11,58          | 105            | 407            |                | 15,39                       | 15,39            |                |                |
| RE-454                      | 1,89   | 95             |                | 475            |                |                |                |                | 1,89                        | 1,89             |                |                |
| RE-455                      | 2,43   | 300            | 12,41          | 70             | 800            |                |                |                | 14,84                       | 14,84            |                |                |
| RE-456                      | 2,43   | 2888           | 4,50           | 665            | 16,59          | 1629           | 236            |                | 23,52                       | 23,52            |                |                |
| RE-457                      | 5,87   | 2431           | 22,05          | 97             | 245            |                |                |                | 27,92                       | 27,92            |                |                |
| RE-458                      | 1,88   | 900            |                |                |                |                |                |                | 1,88                        | 1,88             | 7370           | 439            |
| RE-459                      | 4,28   | 4862           |                | 333            |                |                |                |                | 4,28                        | 4,28             |                |                |
| RE-460                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                        | 1,10             | 1884           |                |
| RE-461                      | 4,64   | 244            |                |                |                |                |                |                | 4,64                        | 8,23             |                |                |
| RE-462                      | 3,33   | 171            |                |                |                |                |                |                | 7,49                        | 7,49             |                |                |

| Identification<br>du relevé | Couche électrique # 1: Sable |                |                |                |             | Couche électrique # 2: Argile |                |                |                |                | r (moyenne) |                |                |                |                |             |
|-----------------------------|------------------------------|----------------|----------------|----------------|-------------|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------|
|                             | b <sub>1</sub>               | r <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | r <sub>2</sub> | b (moyenne) | r (moyenne)                   | b <sub>1</sub> | r <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | r <sub>2</sub> |             | b <sub>3</sub> | r <sub>3</sub> | b <sub>4</sub> | r <sub>4</sub> | b (moyenne) |
| RE-463                      | 5,63                         | 1290           |                |                | 5,63        | 1290                          | 8,10           | 49             |                |                |             |                |                |                | 8,10           | 49          |
| RE-464                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |             |                |                |                | 0,00           |             |
| RE-465                      | 1,28                         | 400            |                |                | 1,28        | 400                           | 4              | 67             |                |                |             |                |                |                | 4,00           | 67          |
| RE-466                      | 1,20                         | 123            |                |                | 1,20        | 123                           | 3,00           | 58             |                |                |             |                |                |                | 3,00           | 58          |
| RE-467                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |             |                |                |                | 0,00           |             |
| RE-468                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |             |                |                |                | 0,00           |             |
| RE-469                      | 2,95                         | 250            |                |                | 2,95        | 250                           | 4,51           | 45             |                |                |             |                |                |                | 4,51           | 45          |
| RE-470                      | 1,47                         | 185            |                |                | 1,47        | 185                           | 4,17           | 65             |                |                |             |                |                |                | 4,17           | 65          |
| RE-471                      | 1,10                         | 175            |                |                | 1,10        | 175                           | 3,26           | 18             |                |                |             |                |                |                | 3,26           | 18          |
| RE-472                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 8,32           | 33             |                |                |             |                |                |                | 8,32           | 33          |
| RE-473                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |             |                |                |                | 0,00           |             |
| RE-474                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 3,10           | 25             | 5,00           | 9              |             |                |                |                | 8,10           | 13          |
| RE-475                      | 1,05                         | 210            |                |                | 1,05        | 210                           | 2,43           | 12             |                |                |             |                |                |                | 2,43           | 12          |
| RE-476                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 1,00           | 50             | 24,12          | 30             |             |                |                |                | 25,12          | 31          |
| RE-477                      | 1,47                         | 224            |                |                | 1,47        | 224                           | 27,07          | 24             |                |                |             |                |                |                | 27,07          | 24          |
| RE-478                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 1,50           | 40             | 4,72           | 15             | 11,43       | 4              |                |                | 17,65          | 7           |
| RE-479                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 1,28           | 64             | 2,43           | 14             |             |                |                |                | 3,71           | 24          |
| RE-480                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |             |                |                |                | 0,00           |             |
| RE-481                      | 1,10                         | 159            |                |                | 1,10        | 159                           | 2,20           | 15             |                |                |             |                |                |                | 2,20           | 15          |
| RE-482                      |                              |                |                |                |             |                               |                |                |                |                |             |                |                |                |                |             |
| RE-483                      | 0,77                         | 127            |                |                | 0,77        | 127                           | 25,27          | 25             |                |                |             |                |                |                | 25,27          | 25          |
| RE-484                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 3,43           | 17             |                |                |             |                |                |                | 3,43           | 17          |
| RE-485                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 2,43           | 19             | 17,15          | 8              |             |                | 20             |                | 19,58          | 9           |
| RE-486                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 2,09           | 33             | 6,86           | 1              |             |                |                |                | 8,95           | 3           |
| RE-487                      | 1,05                         | 200            |                |                | 1,05        | 200                           | 20,74          | 7              |                |                |             |                |                |                | 20,74          | 7           |
| RE-488                      | 1,15                         | 126            |                |                | 1,15        | 126                           | 19,95          | 3              |                |                |             |                |                |                | 19,95          | 3           |
| RE-489                      |                              |                |                |                |             |                               |                |                |                |                |             |                |                |                |                |             |
| RE-490                      | 1,71                         | 189            |                |                | 1,71        | 189                           |                | 4              |                |                |             |                |                |                |                | 4           |
| RE-491                      | 1,54                         | 330            |                |                | 1,54        | 330                           | 4,41           | 40             | 11,58          | 4              |             |                |                |                | 15,99          | 9           |
| RE-492                      | 7,32                         | 171            |                |                | 7,32        | 171                           |                | 14             |                |                |             |                |                |                |                | 14          |
| RE-493                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                | 22             |                |                |             |                |                |                |                |             |
| RE-494                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 2,00           | 26             | 10,01          | 17             |             |                |                |                | 12,01          | 18          |
| RE-495                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               | 13,23          | 19             |                |                |             |                |                |                | 13,23          | 19          |

| Identification<br>du relevé | Couche électrique # 3: Till. sable-gravier et roc altéré |                |                |                |                |                |                |                |             |             | Épaisseur<br>dépos. meubles |                | Élévation      |  | C.élec.#4:Roc |  |
|-----------------------------|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------|-------------|-----------------------------|----------------|----------------|--|---------------|--|
|                             | b <sub>1</sub>   | r <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | r <sub>2</sub> | b <sub>3</sub> | r <sub>3</sub> | b <sub>4</sub> | r <sub>4</sub> | b (moyenne) | r (moyenne) | ROC                         | r <sub>1</sub> | r <sub>2</sub> |  |               |  |
| RE-463                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00        | 693         | 60,27                       | 13,73          | 1325           |  |               |  |
| RE-464                      | 2,43   | 285            | 3,00           | 120            | 22,56          | 1102           | 154            |                | 27,99       |             |                             | 27,99          |                |  |               |  |
| RE-465                      | 3,40   | 400            |                |                |                |                |                |                | 3,40        | 400         |                             | 3,68           |                |  |               |  |
| RE-466                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00        |             |                             | 4,20           | 1625           |  |               |  |
| RE-467                      | 1,00   | 271            | 2,71           | 600            |                | 90             |                |                | 3,71        | 481         |                             | 3,71           |                |  |               |  |
| RE-468                      | 1,27   | 226            | 4,07           | 926            |                | 141            |                |                | 5,34        | 636         |                             | 5,34           |                |  |               |  |
| RE-469                      | 1,78   | 473            |                |                |                |                |                |                | 1,78        | 473         |                             | 9,24           |                |  |               |  |
| RE-470                      | 3,23   | 232            |                |                |                |                |                |                | 3,23        | 232         |                             | 8,87           |                |  |               |  |
| RE-471                      | 3,52   | 436            |                |                |                |                |                |                | 3,52        | 436         |                             | 7,88           |                |  |               |  |
| RE-472                      | 5,06   | 342            |                |                |                |                |                |                | 5,06        | 342         |                             | 13,38          |                |  |               |  |
| RE-473                      | 0,90   | 302            | 30,00          | 132            |                | 350            |                |                | 30,90       | 136         |                             | 30,90          |                |  |               |  |
| RE-474                      | 5,04   | 300            |                |                |                |                |                |                | 5,04        | 300         |                             | 13,14          |                |  |               |  |
| RE-475                      | 3,49   | 200            |                |                |                |                |                |                | 3,49        | 200         |                             | 6,97           |                |  |               |  |
| RE-476                      | 6,54   | 394            |                |                |                |                |                |                | 6,54        | 394         |                             | 31,66          |                |  |               |  |
| RE-477                      | 5,24   | 143            |                |                |                |                |                |                | 5,24        | 143         |                             | 33,78          |                |  |               |  |
| RE-478                      | 5,88   | 76             |                |                |                |                |                |                | 5,88        | 76          |                             | 28,53          |                |  |               |  |
| RE-479                      | 4,66   | 81             |                |                |                |                |                |                | 4,66        | 81          |                             | 8,37           |                |  |               |  |
| RE-480                      |  | 250            |                |                |                |                |                |                |             |             |                             |                |                |  |               |  |
| RE-481                      | 3,42   | 371            |                |                |                |                |                |                |             | 371         |                             | 6,72           |                |  |               |  |
| RE-482                      |  |                |                |                |                |                |                |                |             |             |                             |                |                |  |               |  |
| RE-483                      |  |                |                |                |                |                |                |                |             |             |                             | 26,04          |                |  |               |  |
| RE-484                      | 4,63   | 114            |                |                |                |                |                |                | 4,63        | 114         |                             | 8,06           |                |  |               |  |
| RE-485                      |  |                |                |                |                |                |                |                |             |             |                             | 19,58          |                |  |               |  |
| RE-486                      | 5,12   | 145            |                |                |                |                |                |                |             | 145         |                             | 14,07          |                |  |               |  |
| RE-487                      |  |                |                |                |                |                |                |                |             |             |                             | 21,79          |                |  |               |  |
| RE-488                      | 4,93   | 157            |                |                |                |                |                |                |             | 157         |                             | 26,03          |                |  |               |  |
| RE-489                      |  |                |                |                |                |                |                |                |             |             |                             |                |                |  |               |  |
| RE-490                      |  |                |                |                |                |                |                |                |             |             |                             | 2,61           |                |  |               |  |
| RE-491                      | 4,19   | 161            |                |                |                |                |                |                |             | 161         |                             | 21,72          |                |  |               |  |
| RE-492                      |  |                |                |                |                |                |                |                |             |             |                             | 8,97           |                |  |               |  |
| RE-493                      |  |                |                |                |                |                |                |                |             |             |                             |                |                |  |               |  |
| RE-494                      | 5,38   | 429            |                |                |                |                |                |                |             | 429         |                             | 17,39          |                |  |               |  |
| RE-495                      |  | 140            |                |                |                |                |                |                |             | 140         |                             | 18,72          |                |  |               |  |



| Identification<br>du relevé | Couche électrique # 3: Till, sable-gravier et roc altéré |                |                |                |                |                |                |                | Élévation<br>ROC | C.élec.#4:Roc  |                |       |
|-----------------------------|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|----------------|----------------|-------|
|                             | b <sub>1</sub>   | r <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | r <sub>2</sub> | b <sub>3</sub> | r <sub>3</sub> | b <sub>4</sub> | r <sub>4</sub> |                  | r <sub>1</sub> | r <sub>2</sub> |       |
| RE-496                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                  | 18,06          |                |       |
| RE-497                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                  | 4,35           |                |       |
| RE-498                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                  |                |                |       |
| RE-499                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                  |                |                |       |
| RE-500                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                  |                |                |       |
| RE-501                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                  | 20,56          |                |       |
| RE-502                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                  | 15,00          |                |       |
| RE-503                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                  | 1,09           |                |       |
| RE-504                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                  |                |                |       |
| RE-505                      | 6,32   | 400            |                |                |                |                |                |                | 6,32             | 400            |                |       |
| RE-506                      | 5,72   | 500            |                |                |                |                |                |                | 5,72             | 500            |                |       |
| RE-507                      | 5,27   | 90             |                |                |                |                |                |                | 5,27             | 90             |                |       |
| RE-508                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                  |                |                |       |
| RE-509                      |  | 250            |                |                |                |                |                |                |                  |                |                |       |
| RE-510                      | 4,65   | 337            |                |                |                |                |                |                | 4,65             | 337            |                |       |
| RE-511                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                  |                | 83,90          | 2500  |
| RE-512                      | 1,00   | 496            | 2,00           | 147            |                |                |                |                | 0,00             | 225            | 87,00          | 1083  |
| RE-513                      | 3,58   | 210            |                |                |                |                |                |                | 3,58             | 210            | 99,42          | 1323  |
| RE-514                      | 1,00   | 315            | 4,37           | 128            |                |                |                |                | 5,37             | 153            | 97,63          | 1511  |
| RE-515                      | 1,00   | 662            | 10,11          | 243            |                |                |                |                | 11,11            | 269            | 96,89          | 1377  |
| RE-516                      | 1,10   | 300            | 16,08          | 132            |                |                |                |                | 17,18            | 140            | 91,82          | 1400  |
| RE-517                      | 2,44   | 99             |                | 880            |                |                |                |                | 2,44             | 99             |                |       |
| RE-518                      | 1,83   | 90             |                | 977            |                |                |                |                | 1,83             | 90             |                |       |
| RE-519                      | 3,50   | 660            |                |                |                |                |                |                | 3,50             | 660            |                |       |
| RE-520                      | 6,22   | 300            |                |                |                |                |                |                | 6,22             | 300            |                |       |
| RE-521                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00             |                | 68,14          | 2300  |
| RE-522                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00             |                | 71,46          | 1286  |
| RE-523                      | 1,10   | 761            | 2,00           | 232            |                |                |                |                | 3,10             | 360            | 77,90          | 4410  |
| RE-524                      | 1,20   | 479            | 1,50           | 300            | 4,00           | 472            | 12,60          | 120            | 19,30            | 191            | 68,70          | 2344  |
| RE-525                      | 1,28   | 199            | 10,11          | 81             |                |                |                |                | 11,39            | 90             | 73,61          | 1000  |
| RE-526                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                  |                |                |       |
| RE-527                      |  |                |                |                |                |                |                |                |                  |                |                |       |
| RE-528                      |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00             |                | 77,50          | 10000 |

| Identification<br>du relevé | Couche électrique # 1: Sable |                |                |                |             | Couche électrique # 2: Argile |                |                |                |                | b (moyenne) | r (moyenne) |                |                |
|-----------------------------|------------------------------|----------------|----------------|----------------|-------------|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------|-------------|----------------|----------------|
|                             | b <sub>1</sub>               | r <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | r <sub>2</sub> | b (moyenne) | b <sub>1</sub>                | r <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | r <sub>2</sub> | b <sub>3</sub> |             |             | r <sub>3</sub> | b <sub>4</sub> |
| RE-529                      |                              |                |                |                | 0,00        | 0,97                          | 56             | 3,00           | 16             |                |             |             | 3,97           | 22             |
| RE-530                      |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |             |             | 0,00           |                |
| RE-531                      | 1,48                         | 1500           |                |                | 1,48        | 5,21                          | 36             |                |                |                |             |             | 5,21           | 36             |
| Sondage 1                   |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |             |             | 0,00           |                |
| Sondage 2                   |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |             |             | 0,00           |                |
| Sondage 3                   |                              |                |                |                | 0,00        | 3,76                          | 19             |                |                |                |             |             | 3,76           | 19             |
| Sondage 4                   |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |             |             | 0,00           |                |
| Sondage 5                   |                              |                |                |                | 0,00        | 5                             | 23             | 31,91          | 8              |                |             |             | 36,91          | 9              |
| Sondage 6                   |                              |                |                |                | 0,00        | 4,43                          | 17             |                |                |                |             |             | 4,43           | 17             |
| Sondage 7                   |                              |                |                |                | 0,00        | 0,88                          | 60             | 1,09           | 31             |                |             |             | 1,97           | 42             |
| Sondage 8                   |                              |                |                |                | 0,00        | 2                             | 23             | 26,53          | 49             |                |             |             | 28,53          | 46             |
| Sondage 9                   |                              |                |                |                | 0,00        | 6,95                          | 19             |                |                |                |             |             | 6,95           | 19             |
| Sondage 10                  |                              |                |                |                | 0,00        | 1,13                          | 15             | 17,36          | 32             |                |             |             | 18,49          | 30             |
| Sondage 11                  | 1,54                         | 170            |                |                | 1,54        | 9,43                          | 34             |                | 5              |                |             |             |                | 29             |
| Sondage 12                  |                              |                |                |                | 0,00        | 0,8                           | 86             | 1,00           | 9              |                |             |             | 1,80           | 25             |
| Sondage 14                  |                              |                |                |                | 0,00        | 11,94                         | 21             | 30,95          | 4              |                |             |             | 42,89          | 7              |
| Sondage 15                  | 2,09                         | 145            |                |                | 2,09        | 12                            | 49             | 20,00          | 13             | 40             |             |             | 32,00          | 22             |
| Sondage 16                  |                              |                |                |                | 0,00        | 0,9                           | 60             | 1,50           | 10             | 17,36          | 55          |             | 19,76          | 46             |
| Sondage 17                  |                              |                |                |                | 0,00        | 4,27                          | 30             |                | 2              |                |             |             |                | 28             |
| Sondage 18                  |                              |                |                |                | 0,00        | 2                             | 28             |                |                |                |             |             | 2,00           | 28             |
| Sondage 19                  |                              |                |                |                | 0,00        | 16,54                         | 18             |                |                |                |             |             | 16,54          | 18             |
| Sondage 20                  |                              |                |                |                | 0,00        | 3                             | 21             | 9,85           | 13             |                |             |             | 12,85          | 15             |
| Sondage 24                  | 2,81                         | 270            | 5,41           | 695            | 8,22        | 30                            | 6              |                | 42             |                |             |             | 30,00          | 6              |
| Sondage 27                  |                              |                |                |                | 0,00        | 4,49                          | 31             |                |                |                |             |             | 4,49           | 31             |
| Sondage 33                  |                              |                |                |                | 0,00        | 1,8                           | 51             | 20,84          | 21             |                |             |             | 22,64          | 23             |
| Sondage 34                  |                              |                |                |                | 0,00        | 0,75                          | 39             | 6,24           | 22             |                |             |             | 6,99           | 23             |
| Sondage 35                  |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |             |             | 0,00           |                |
| Sondage 36                  |                              |                |                |                | 0,00        |                               |                |                |                |                |             |             | 0,00           |                |
| Sondage 37                  |                              |                |                |                | 0,00        | 0,8                           | 55             | 10,86          | 25             |                |             |             | 11,66          | 27             |
| Sondage 38                  |                              |                |                |                | 0,00        | 2,57                          | 32             | 20,79          | 8              |                |             |             | 23,36          | 10             |
| Sondage 39                  |                              |                |                |                | 0,00        | 1,64                          | 19             |                |                |                |             |             | 1,64           | 19             |
| Sondage 40                  |                              |                |                |                | 0,00        | 1,14                          | 11             | 12,90          | 25             |                |             |             | 14,04          | 23             |
| Sondage 41                  |                              |                |                |                | 0,00        | 0,6                           | 27             |                |                |                |             |             | 0,60           | 27             |

| Identification<br>du relevé | Couche électrique # 3: Ill. sable-gravier et roc altéré |                |                |                |                |                |                |                | b (moyenne) | r (moyenne) | Épaisseur<br>dépôts meubles | Élévation |                | C.elec.#4:Roc  |  |
|-----------------------------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------|-------------|-----------------------------|-----------|----------------|----------------|--|
|                             | b <sub>1</sub>  | r <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | r <sub>2</sub> | b <sub>3</sub> | r <sub>3</sub> | b <sub>4</sub> | r <sub>4</sub> |             |             |                             | IOC       | r <sub>1</sub> | r <sub>2</sub> |  |
| RE-529                      |   |                |                |                |                |                |                |                | 0,00        |             | 3,97                        | 76,03     | 2500           |                |  |
| RE-530                      | 2,43  | 205            |                |                |                |                |                |                | 2,43        | 205         | 2,43                        | 82,57     | 5000           |                |  |
| RE-531                      |   |                |                |                |                |                |                |                | 0,00        |             | 6,69                        | 73,31     | 3516           |                |  |
| Sondage 1                   | 4,26  | 139            |                |                |                |                |                |                | 4,26        | 139         | 4,26                        | 85,74     | 6231           |                |  |
| Sondage 2                   | 2,10  | 243            | 5              | 1100           | 13             | 475            |                |                | 20,10       | 548         | 20,10                       | 66,90     | 1672           |                |  |
| Sondage 3                   |   |                |                |                |                |                |                |                | 0,00        |             | 3,76                        | 76,24     | 5000           |                |  |
| Sondage 4                   | 2,44  | 265            |                |                |                |                |                |                | 2,44        | 265         | 2,44                        | 81,56     | 10000          |                |  |
| Sondage 5                   | 7,57  | 200            |                |                |                |                |                |                | 7,57        | 200         | 44,48                       |           |                |                |  |
| Sondage 6                   |   |                |                |                |                |                |                |                | 0,00        |             | 4,43                        | 70,57     | 3533           |                |  |
| Sondage 7                   | 4,79  | 295            | 15             | 43             |                |                |                |                | 20,27       | 74          | 22,24                       | 47,76     | 1000           |                |  |
| Sondage 8                   | 6,84  | 451            |                |                |                |                |                |                | 6,84        | 451         | 35,37                       |           |                |                |  |
| Sondage 9                   |   |                |                |                |                |                |                |                | 0,00        |             | 6,95                        | 56,05     | 1222           |                |  |
| Sondage 10                  | 5,95  | 550            |                |                |                |                |                |                | 5,95        | 550         | 24,44                       |           |                |                |  |
| Sondage 11                  |   |                |                |                |                |                |                |                |             |             | 8,57                        |           |                |                |  |
| Sondage 12                  | 31,26   | 244            |                | 900            |                |                |                |                | 7,19        | 244         | 6,29                        |           |                |                |  |
| Sondage 14                  | 8,10  | 94             |                |                |                |                |                |                | 8,10        | 94          | 30,39                       |           |                |                |  |
| Sondage 15                  |   |                |                |                |                |                |                |                |             |             | 34,09                       |           |                |                |  |
| Sondage 16                  |   |                |                |                |                |                |                |                | 0,00        |             | 19,76                       | 63,24     | 2315           |                |  |
| Sondage 17                  |   |                |                |                |                |                |                |                |             |             | 3,85                        |           |                |                |  |
| Sondage 18                  | 37,82   | 429            |                |                |                |                |                |                | 37,82       | 429         | 39,82                       | 7,18      | 3000           |                |  |
| Sondage 19                  | 5,78  | 316            |                |                |                |                |                |                | 5,78        | 316         | 22,82                       |           |                |                |  |
| Sondage 20                  | 5,46  | 300            |                |                |                |                |                |                | 5,46        | 300         | 18,31                       |           |                |                |  |
| Sondage 24                  |   |                |                |                |                |                |                |                |             |             | 38,22                       |           |                |                |  |
| Sondage 27                  |   |                |                |                |                |                |                |                | 0,00        |             | 4,49                        | 68,51     | 10000          |                |  |
| Sondage 33                  | 6,32  | 510            |                |                |                |                |                |                | 6,32        | 510         | 28,96                       |           |                |                |  |
| Sondage 34                  | 4,94  | 563            |                |                |                |                |                |                | 4,94        | 563         | 11,93                       |           |                |                |  |
| Sondage 35                  | 1,14  | 93             | 12             | 384            | 40             | 140            | 680            |                | 53,17       | 177         | 53,17                       |           |                |                |  |
| Sondage 36                  | 1,55  | 400            | 24             | 153            |                | 220            |                |                | 25,98       | 163         | 25,98                       |           |                |                |  |
| Sondage 37                  | 5,35  | 830            |                |                |                |                |                |                | 5,35        | 830         |                             |           |                |                |  |
| Sondage 38                  | 6,38  | 81             |                |                |                |                |                |                | 6,38        | 81          |                             |           |                |                |  |
| Sondage 39                  |   |                |                |                |                |                |                |                | 0,00        |             | 1,64                        | 47,36     | 3544           |                |  |
| Sondage 40                  | 5,56  | 415            |                |                |                |                |                |                | 5,56        | 415         | 19,60                       |           |                |                |  |
| Sondage 41                  |   |                |                |                |                |                |                |                | 0,00        |             | 0,60                        | 61,40     | 6200           |                |  |

| Identification<br>du relevé | Couche électrique # 1: Sable   |                |                |                | Couche électrique # 2: Argile |                |                |                | r (moyenne) | r (moyenne) |                |                |                |                |
|-----------------------------|--|----------------|----------------|----------------|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|-------------|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                             | b <sub>1</sub>   | r <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | r <sub>2</sub> | b <sub>1</sub>                | r <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | r <sub>2</sub> |             |             | b <sub>3</sub> | r <sub>3</sub> | b <sub>4</sub> | r <sub>4</sub> |
| <b>Sondage 42</b>           |  |                |                |                | 0,82                          | 60             |                |                |             |             |                |                | 0,82           | 60             |
| <b>Statistiques</b>         |  |                |                |                |                               |                |                |                |             |             |                |                |                |                |
| <b>Minimum</b>              |  |                |                |                |                               |                |                |                |             |             |                |                |                | 0,00           |
| <b>Maximum</b>              |  |                |                |                |                               |                |                |                |             |             |                |                |                | 47,47          |
| <b>Moyenne</b>              |  |                |                |                |                               |                |                |                |             |             |                |                |                | 7,71           |
| <b>Écart-type</b>           |  |                |                |                |                               |                |                |                |             |             |                |                |                | 8,98           |
| estimation                  |  |                |                |                |                               |                |                |                |             |             |                |                |                |                |
|                             | valeur obtenue avec la corrélation épaisseur d'argile - conductance longitudinale (sondages électriques) |                |                |                |                               |                |                |                |             |             |                |                |                |                |
|                             | valeur obtenue avec la corrélation épaisseur d'argile - épaisseur de dépôts meubles (données de forage)  |                |                |                |                               |                |                |                |             |             |                |                |                |                |

| Identification<br>du relevé | Couche électrique # 3: Till, sable-gravier et roc altéré   |                |                |                |                |                |                |                | Épaisseur<br>dépôts meubles | Élévation              |                        | C.élec.#4:Roc  |                |
|-----------------------------|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|----------------|----------------|
|                             | b <sub>1</sub>   | Γ <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | Γ <sub>2</sub> | b <sub>3</sub> | Γ <sub>3</sub> | b <sub>4</sub> | Γ <sub>4</sub> |                             | b <sub>(moyenne)</sub> | Γ <sub>(moyenne)</sub> | Γ <sub>1</sub> | Γ <sub>2</sub> |
| <b>Sondage 42</b>           |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                        |                        | 73,18                  | 10000          | 1000           |
| <b>Statistiques</b>         |  |                |                |                |                |                |                |                |                             |                        |                        |                |                |
| <b>Minimum</b>              |  |                |                |                |                |                |                |                | 0,00                        | 60                     |                        |                | 389            |
| <b>Maximum</b>              |  |                |                |                |                |                |                |                | 53,17                       | 19924                  |                        |                | 35000          |
| <b>Moyenne</b>              |  |                |                |                |                |                |                |                | 4,29                        | 385                    |                        |                | 3644           |
| <b>Écart-type</b>           |  |                |                |                |                |                |                |                | 6,34                        | 1222                   |                        |                | 3368           |
| <b>estimation</b>           | valeur obtenue avec la corrélation épaisseur d'argile - conductance longitudinale (sondages électriques) |                |                |                |                |                |                |                |                             |                        |                        |                |                |
|                             | valeur obtenue avec la corrélation épaisseur d'argile - épaisseur de dépôts meubles (données de forage)  |                |                |                |                |                |                |                |                             |                        |                        |                |                |

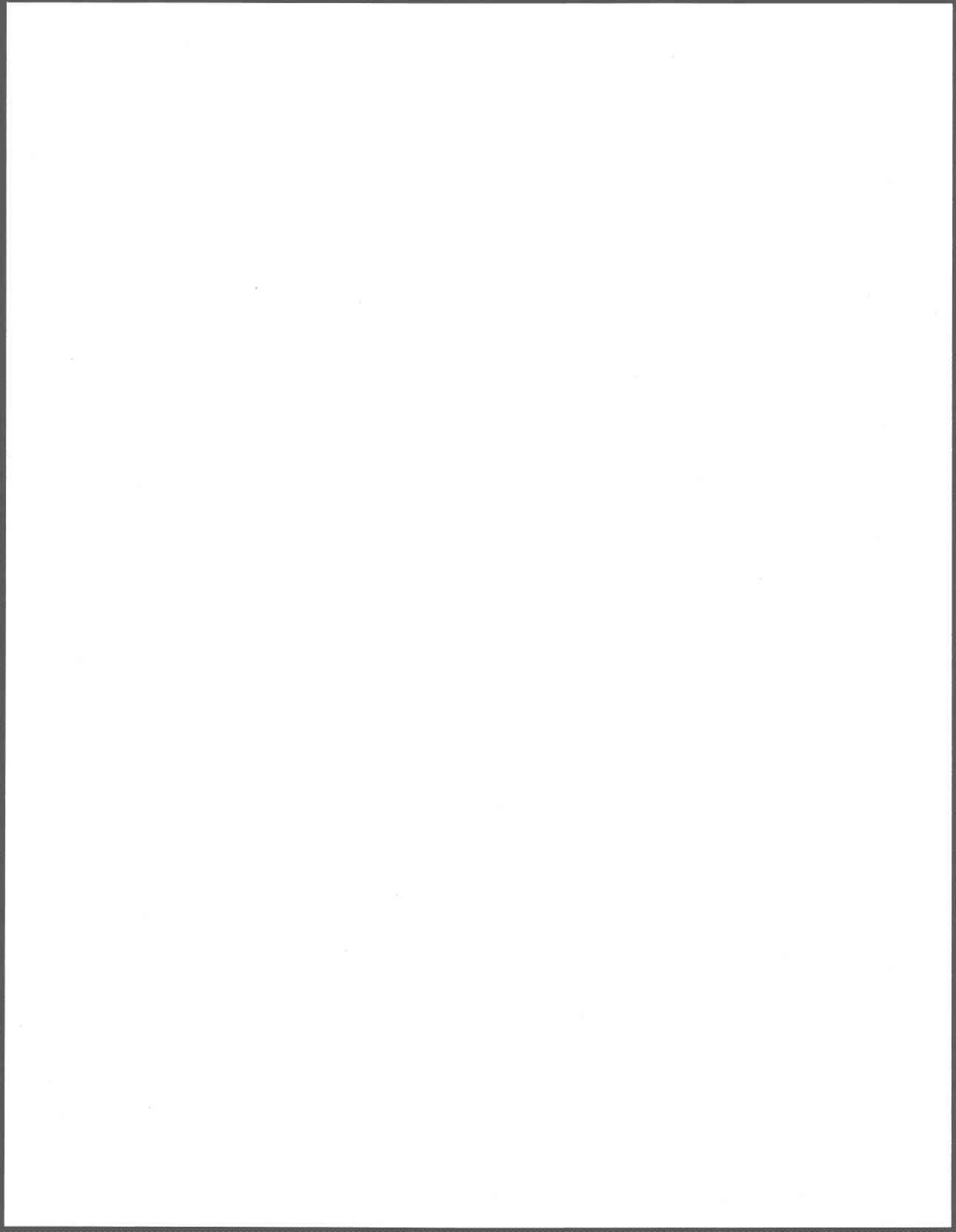
## **ANNEXE A.5**

A.5.1: Résistivité apparente pour  $AB = 80\text{m}$

A.5.2: Épaisseur d'argile, sondages  
électriques

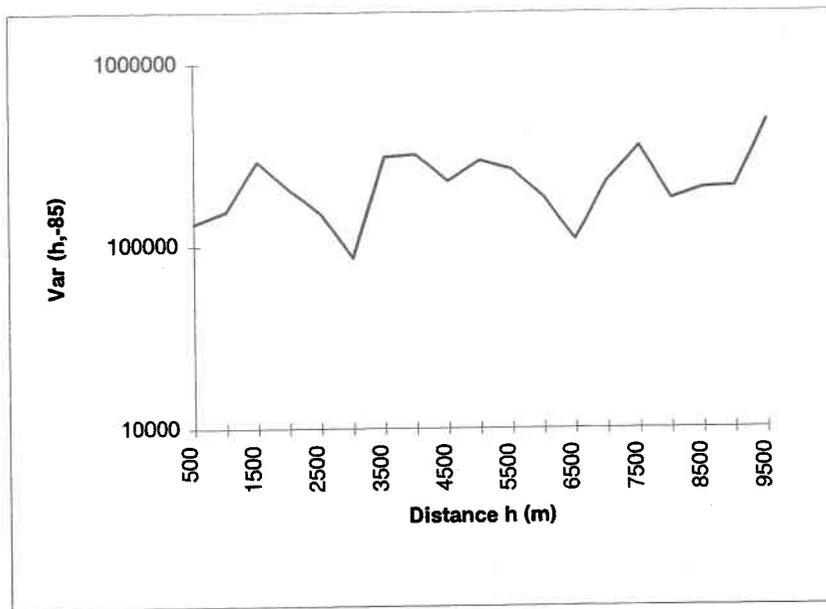
A.5.3: Résistivité de l'aquifère

A.5.4: Épaisseur d'argile, forages



Annexe A.5.1

| h(m) | n  | Var(h,-85) |
|------|----|------------|
| 500  | 15 | 132254     |
| 1000 | 15 | 154037     |
| 1500 | 27 | 289092     |
| 2000 | 33 | 204299     |
| 2500 | 42 | 150055     |
| 3000 | 53 | 85565      |
| 3500 | 40 | 306198     |
| 4000 | 51 | 314890     |
| 4500 | 38 | 224784     |
| 5000 | 62 | 292259     |
| 5500 | 67 | 261281     |
| 6000 | 71 | 184684     |
| 6500 | 71 | 107201     |
| 7000 | 77 | 224760     |
| 7500 | 70 | 349624     |
| 8000 | 65 | 179699     |
| 8500 | 83 | 204984     |
| 9000 | 71 | 209474     |
| 9500 | 70 | 482177     |



| h(m) | n  | Var(h,-75) |
|------|----|------------|
| 500  | 12 | 74730      |
| 1000 | 22 | 137238     |
| 1500 | 19 | 154495     |
| 2000 | 31 | 249064     |
| 2500 | 29 | 65787      |
| 3000 | 29 | 168537     |
| 3500 | 48 | 170827     |
| 4000 | 57 | 248864     |
| 4500 | 45 | 228785     |
| 5000 | 52 | 120590     |
| 5500 | 63 | 184138     |
| 6000 | 63 | 171086     |
| 6500 | 72 | 253978     |
| 7000 | 58 | 173191     |
| 7500 | 59 | 310071     |
| 8000 | 57 | 165769     |
| 8500 | 71 | 113482     |
| 9000 | 64 | 160933     |
| 9500 | 61 | 131721     |

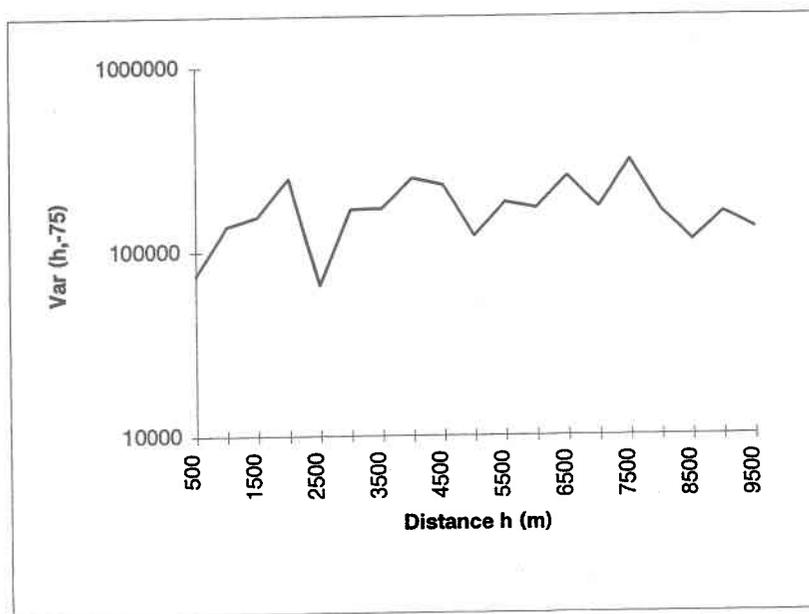
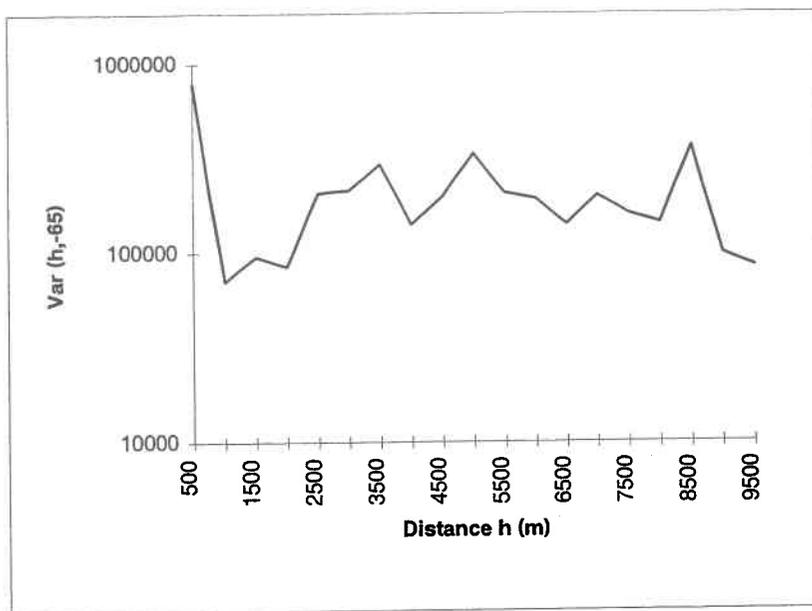


Figure A.5.1 : Variogrammes directionnels : Résistivité apparente pour  $AB = 80m$

Annexe A.5.1

| h(m) | n  | Var(h,-65) |
|------|----|------------|
| 500  | 5  | 775883     |
| 1000 | 13 | 70571      |
| 1500 | 31 | 95380      |
| 2000 | 27 | 84771      |
| 2500 | 40 | 206467     |
| 3000 | 55 | 213497     |
| 3500 | 39 | 292732     |
| 4000 | 44 | 140911     |
| 4500 | 49 | 196770     |
| 5000 | 52 | 332946     |
| 5500 | 53 | 206353     |
| 6000 | 60 | 192898     |
| 6500 | 50 | 140464     |
| 7000 | 67 | 200498     |
| 7500 | 74 | 160394     |
| 8000 | 72 | 142718     |
| 8500 | 66 | 365660     |
| 9000 | 58 | 98566      |
| 9500 | 53 | 84479      |



| h(m) | n  | Var(h,-55) |
|------|----|------------|
| 500  | 18 | 67151      |
| 1000 | 11 | 149071     |
| 1500 | 18 | 93527      |
| 2000 | 36 | 153339     |
| 2500 | 41 | 173593     |
| 3000 | 48 | 214328     |
| 3500 | 52 | 207224     |
| 4000 | 45 | 287201     |
| 4500 | 48 | 230238     |
| 5000 | 50 | 366667     |
| 5500 | 70 | 96651      |
| 6000 | 51 | 158776     |
| 6500 | 56 | 129643     |
| 7000 | 62 | 245334     |
| 7500 | 61 | 278916     |
| 8000 | 62 | 144930     |
| 8500 | 55 | 61036      |
| 9000 | 62 | 505939     |
| 9500 | 58 | 368500     |

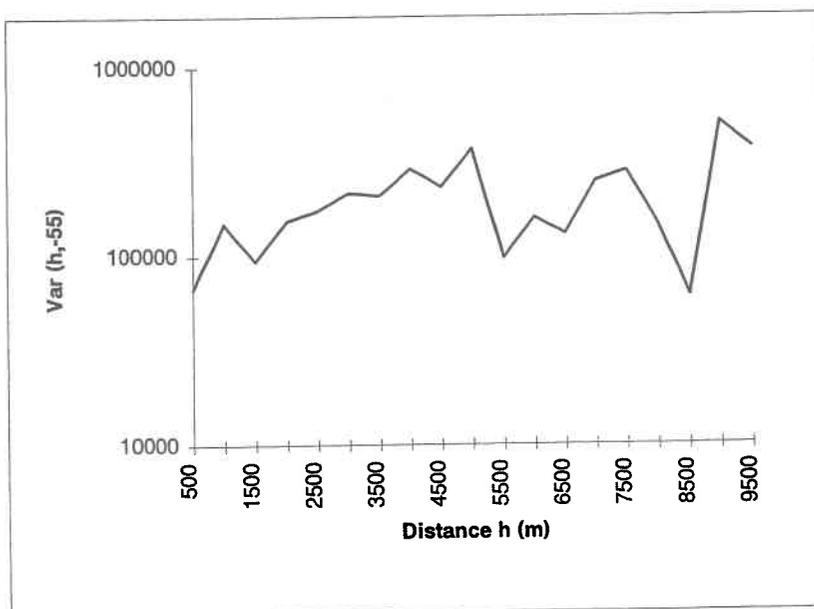
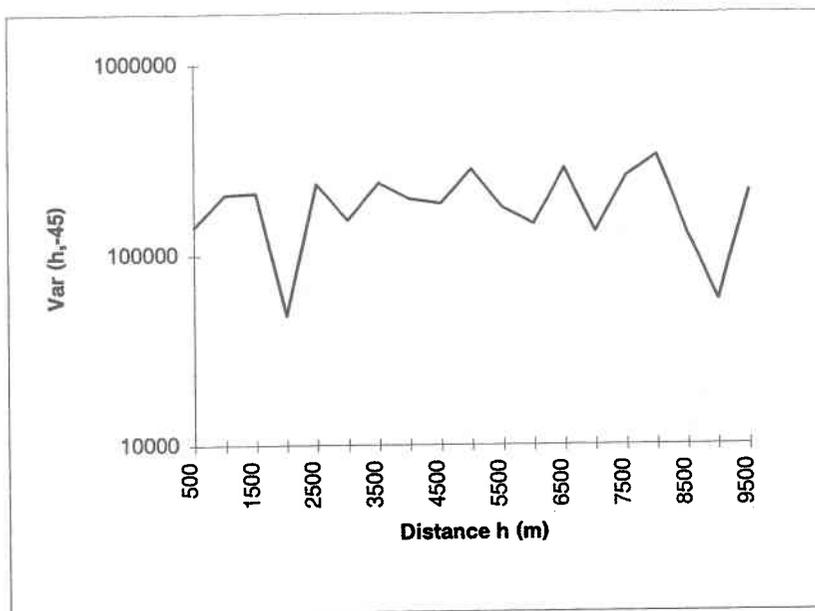


Figure A.5.1 : Variogrammes directionnels : Résistivité apparente pour AB = 80m

Annexe A.5.1

| h(m) | n  | Var(h,-45) |
|------|----|------------|
| 500  | 15 | 140769     |
| 1000 | 30 | 207145     |
| 1500 | 38 | 210764     |
| 2000 | 26 | 48019      |
| 2500 | 47 | 235061     |
| 3000 | 37 | 151777     |
| 3500 | 42 | 237501     |
| 4000 | 46 | 195845     |
| 4500 | 55 | 185244     |
| 5000 | 60 | 279612     |
| 5500 | 68 | 175924     |
| 6000 | 58 | 144034     |
| 6500 | 72 | 282494     |
| 7000 | 68 | 130895     |
| 7500 | 74 | 256811     |
| 8000 | 70 | 329703     |
| 8500 | 71 | 126497     |
| 9000 | 54 | 57285      |
| 9500 | 54 | 213268     |



| h(m) | n  | Var(h,-35) |
|------|----|------------|
| 500  | 12 | 79353      |
| 1000 | 16 | 49794      |
| 1500 | 25 | 344150     |
| 2000 | 25 | 89210      |
| 2500 | 28 | 176059     |
| 3000 | 35 | 121428     |
| 3500 | 36 | 223751     |
| 4000 | 43 | 179533     |
| 4500 | 57 | 306105     |
| 5000 | 46 | 223009     |
| 5500 | 66 | 168085     |
| 6000 | 74 | 158785     |
| 6500 | 60 | 426944     |
| 7000 | 57 | 627581     |
| 7500 | 66 | 197540     |
| 8000 | 56 | 178566     |
| 8500 | 74 | 340194     |
| 9000 | 62 | 208681     |
| 9500 | 68 | 522721     |

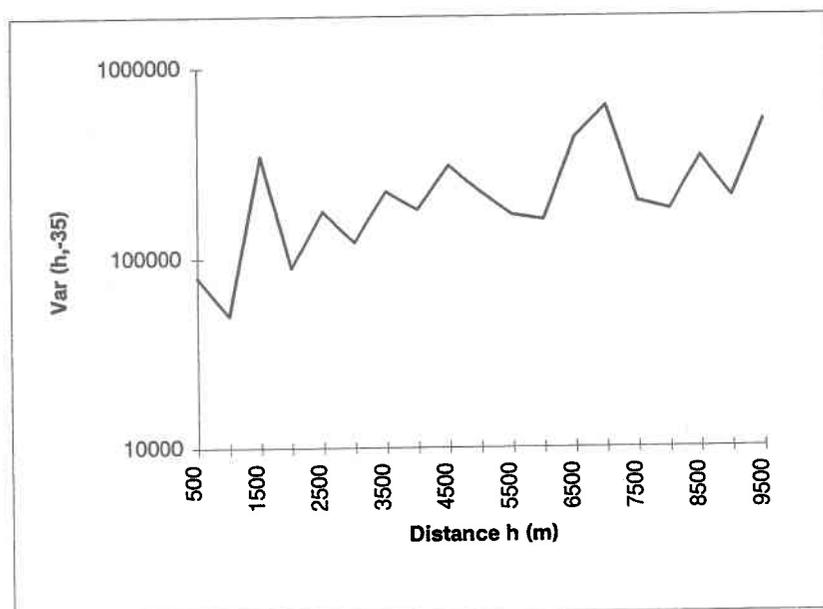
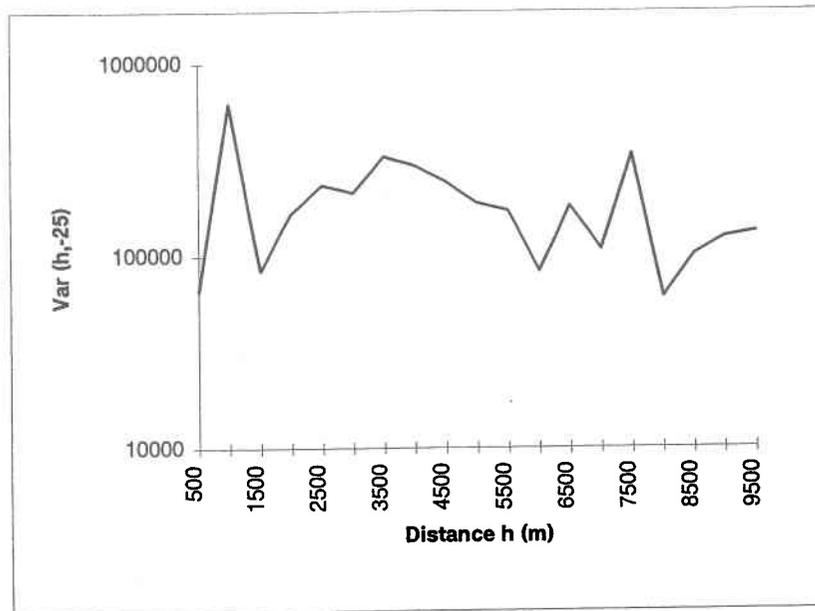


Figure A.5.1 : Variogrammes directionnels : Résistivité apparente pour AB = 80m

Annexe A.5.1

| h(m) | n  | Var(h,-25) |
|------|----|------------|
| 500  | 11 | 65362      |
| 1000 | 24 | 617438     |
| 1500 | 26 | 83616      |
| 2000 | 39 | 166541     |
| 2500 | 35 | 232568     |
| 3000 | 41 | 211731     |
| 3500 | 35 | 325781     |
| 4000 | 45 | 292470     |
| 4500 | 56 | 240656     |
| 5000 | 49 | 186687     |
| 5500 | 77 | 170532     |
| 6000 | 71 | 82531      |
| 6500 | 59 | 180191     |
| 7000 | 60 | 107249     |
| 7500 | 63 | 333838     |
| 8000 | 54 | 60329      |
| 8500 | 63 | 100495     |
| 9000 | 70 | 123722     |
| 9500 | 50 | 131330     |



| h(m) | n  | Var(h,-15) |
|------|----|------------|
| 500  | 11 | 118714     |
| 1000 | 15 | 230137     |
| 1500 | 26 | 233073     |
| 2000 | 25 | 192288     |
| 2500 | 36 | 187136     |
| 3000 | 38 | 123108     |
| 3500 | 39 | 112278     |
| 4000 | 46 | 235056     |
| 4500 | 54 | 244519     |
| 5000 | 48 | 451874     |
| 5500 | 60 | 257976     |
| 6000 | 62 | 127367     |
| 6500 | 84 | 79279      |
| 7000 | 82 | 135829     |
| 7500 | 79 | 80346      |
| 8000 | 83 | 258892     |
| 8500 | 63 | 226713     |
| 9000 | 70 | 84649      |
| 9500 | 72 | 544472     |

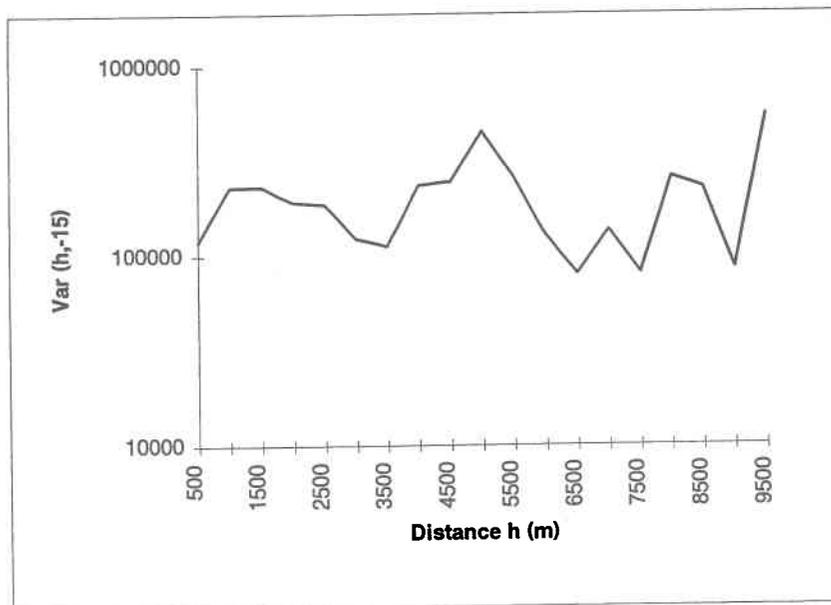
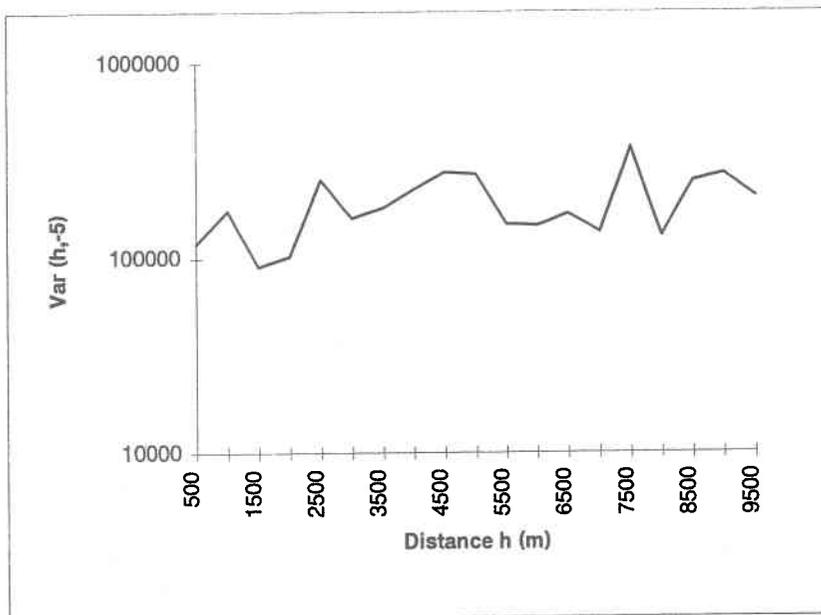


Figure A.5.1 : Variogrammes directionnels : Résistivité apparente pour AB = 80m

Annexe A.5.1

| h(m) | n  | Var(h,-5) |
|------|----|-----------|
| 500  | 11 | 118756    |
| 1000 | 22 | 175346    |
| 1500 | 21 | 90297     |
| 2000 | 43 | 102188    |
| 2500 | 44 | 251637    |
| 3000 | 35 | 159829    |
| 3500 | 48 | 180667    |
| 4000 | 48 | 224545    |
| 4500 | 52 | 275287    |
| 5000 | 66 | 267900    |
| 5500 | 69 | 148657    |
| 6000 | 65 | 145921    |
| 6500 | 82 | 167865    |
| 7000 | 87 | 135405    |
| 7500 | 93 | 368750    |
| 8000 | 80 | 129270    |
| 8500 | 62 | 247447    |
| 9000 | 84 | 269875    |
| 9500 | 76 | 206886    |



| h(m) | n  | Var(h,5) |
|------|----|----------|
| 500  | 8  | 16201    |
| 1000 | 21 | 86496    |
| 1500 | 27 | 192650   |
| 2000 | 29 | 696876   |
| 2500 | 29 | 65220    |
| 3000 | 37 | 58852    |
| 3500 | 50 | 281523   |
| 4000 | 53 | 275641   |
| 4500 | 55 | 127385   |
| 5000 | 60 | 222954   |
| 5500 | 59 | 526084   |
| 6000 | 67 | 190259   |
| 6500 | 72 | 168876   |
| 7000 | 79 | 329095   |
| 7500 | 84 | 164567   |
| 8000 | 83 | 166579   |
| 8500 | 88 | 260770   |
| 9000 | 85 | 333321   |
| 9500 | 89 | 298246   |

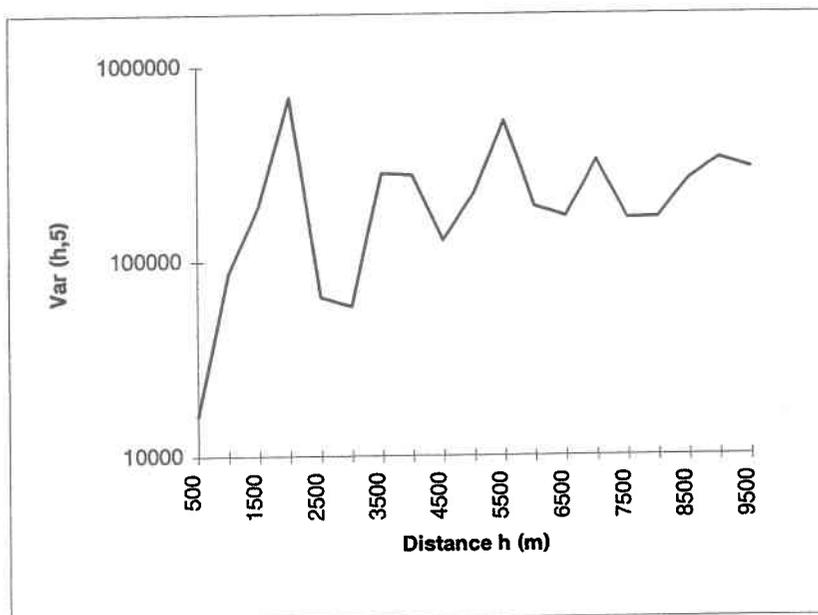
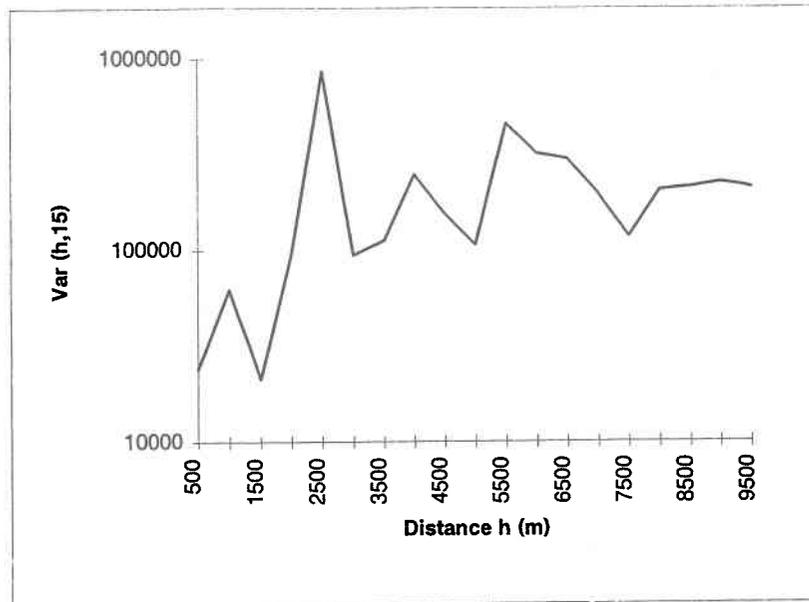


Figure A.5.1 : Variogrammes directionnels : Résistivité apparente pour AB = 80m

| h(m) | n   | Var(h,15) |
|------|-----|-----------|
| 500  | 14  | 24006     |
| 1000 | 20  | 62528     |
| 1500 | 24  | 21271     |
| 2000 | 43  | 95885     |
| 2500 | 27  | 861932    |
| 3000 | 33  | 94351     |
| 3500 | 41  | 112771    |
| 4000 | 52  | 247143    |
| 4500 | 47  | 155203    |
| 5000 | 51  | 106684    |
| 5500 | 57  | 457148    |
| 6000 | 68  | 319387    |
| 6500 | 67  | 297798    |
| 7000 | 71  | 196102    |
| 7500 | 78  | 117779    |
| 8000 | 77  | 204119    |
| 8500 | 98  | 211855    |
| 9000 | 88  | 224939    |
| 9500 | 100 | 211342    |



| h(m) | n  | Var(h,25) |
|------|----|-----------|
| 500  | 8  | 95462     |
| 1000 | 20 | 13895     |
| 1500 | 32 | 235888    |
| 2000 | 36 | 68587     |
| 2500 | 33 | 81414     |
| 3000 | 45 | 160109    |
| 3500 | 45 | 167048    |
| 4000 | 49 | 89164     |
| 4500 | 48 | 543910    |
| 5000 | 51 | 312641    |
| 5500 | 58 | 744716    |
| 6000 | 56 | 205307    |
| 6500 | 66 | 527253    |
| 7000 | 69 | 596456    |
| 7500 | 79 | 505065    |
| 8000 | 69 | 254558    |
| 8500 | 82 | 273163    |
| 9000 | 94 | 249313    |
| 9500 | 83 | 323102    |

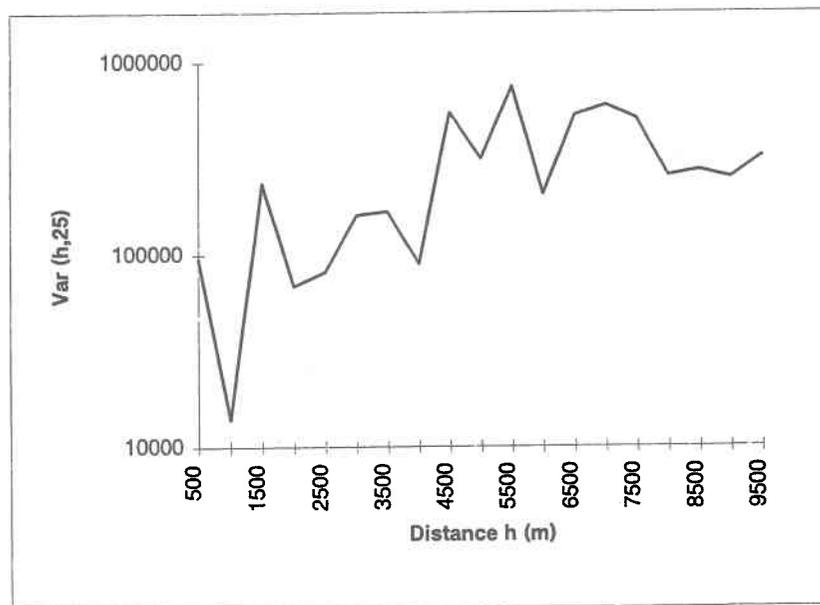
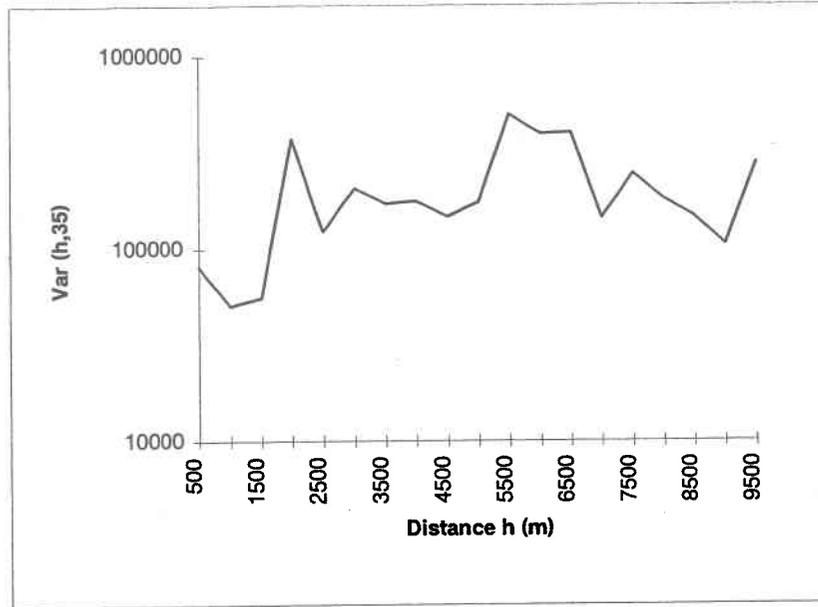


Figure A.5.1 : Variogrammes directionnels : Résistivité apparente pour AB = 80m

Annexe A.5.1

| h(m) | n   | Var(h,35) |
|------|-----|-----------|
| 500  | 13  | 80671     |
| 1000 | 20  | 50465     |
| 1500 | 17  | 55784     |
| 2000 | 47  | 371342    |
| 2500 | 37  | 123331    |
| 3000 | 43  | 207160    |
| 3500 | 56  | 172073    |
| 4000 | 57  | 177076    |
| 4500 | 57  | 147335    |
| 5000 | 51  | 174819    |
| 5500 | 75  | 495983    |
| 6000 | 67  | 394214    |
| 6500 | 86  | 399237    |
| 7000 | 81  | 144938    |
| 7500 | 84  | 246491    |
| 8000 | 72  | 181257    |
| 8500 | 75  | 147023    |
| 9000 | 76  | 105114    |
| 9500 | 103 | 278973    |



| h(m) | n   | Var(h,45) |
|------|-----|-----------|
| 500  | 16  | 99371     |
| 1000 | 25  | 62820     |
| 1500 | 31  | 151357    |
| 2000 | 21  | 256198    |
| 2500 | 45  | 107502    |
| 3000 | 47  | 228493    |
| 3500 | 66  | 89715     |
| 4000 | 60  | 127206    |
| 4500 | 65  | 189887    |
| 5000 | 83  | 194013    |
| 5500 | 67  | 384125    |
| 6000 | 69  | 456714    |
| 6500 | 82  | 471493    |
| 7000 | 93  | 201628    |
| 7500 | 91  | 172989    |
| 8000 | 89  | 116994    |
| 8500 | 88  | 141245    |
| 9000 | 98  | 124037    |
| 9500 | 101 | 358755    |

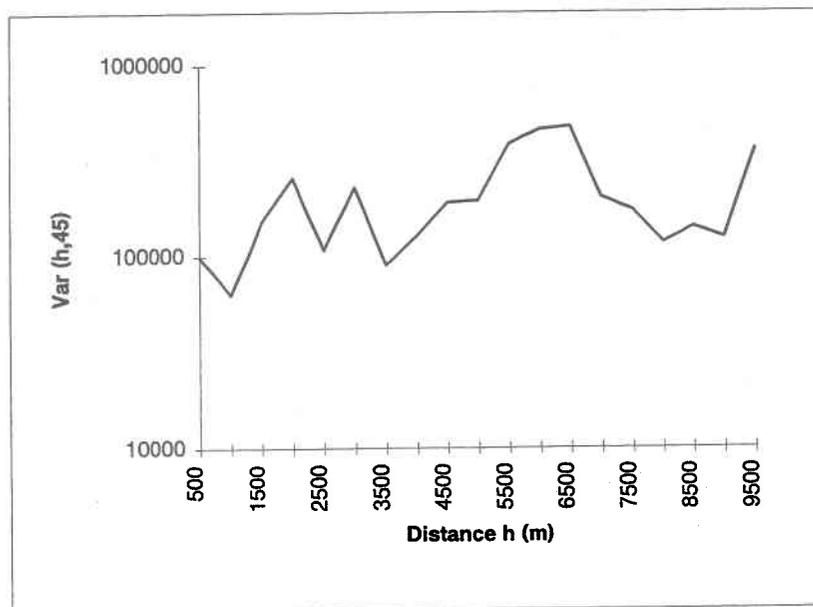
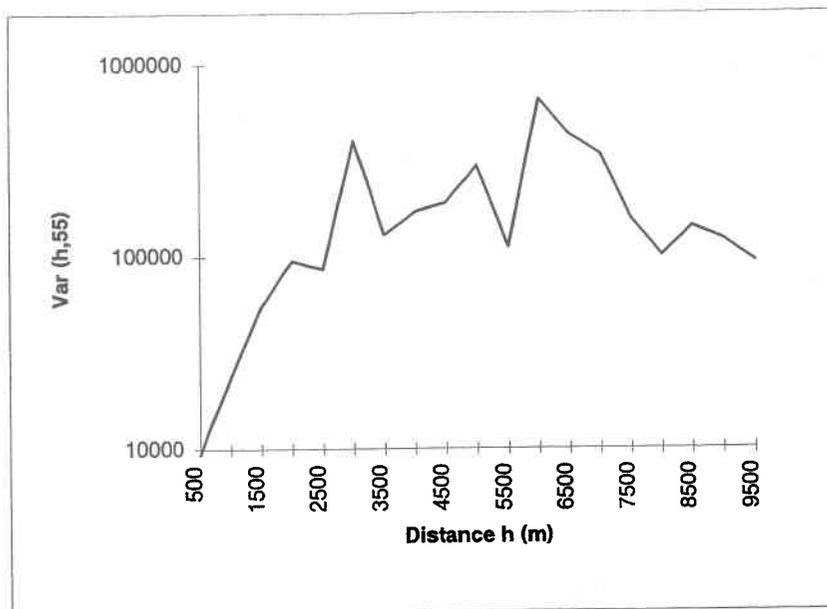


Figure A.5.1 : Variogrammes directionnels : Résistivité apparente pour AB = 80m

Annexe A.5.1

| h(m) | n   | Var(h,55) |
|------|-----|-----------|
| 500  | 14  | 9451      |
| 1000 | 19  | 23605     |
| 1500 | 22  | 54909     |
| 2000 | 45  | 94353     |
| 2500 | 42  | 85411     |
| 3000 | 42  | 399988    |
| 3500 | 45  | 129129    |
| 4000 | 42  | 168694    |
| 4500 | 54  | 188170    |
| 5000 | 52  | 294945    |
| 5500 | 63  | 110700    |
| 6000 | 78  | 654057    |
| 6500 | 75  | 428470    |
| 7000 | 84  | 339114    |
| 7500 | 77  | 154958    |
| 8000 | 79  | 99993     |
| 8500 | 74  | 141888    |
| 9000 | 91  | 121690    |
| 9500 | 102 | 93456     |



| h(m) | n  | Var(h,65) |
|------|----|-----------|
| 500  | 9  | 38265     |
| 1000 | 17 | 173426    |
| 1500 | 25 | 42160     |
| 2000 | 29 | 87995     |
| 2500 | 39 | 111430    |
| 3000 | 51 | 203006    |
| 3500 | 58 | 134296    |
| 4000 | 58 | 250416    |
| 4500 | 59 | 387841    |
| 5000 | 65 | 165883    |
| 5500 | 59 | 392406    |
| 6000 | 62 | 435775    |
| 6500 | 61 | 284714    |
| 7000 | 76 | 257074    |
| 7500 | 88 | 233167    |
| 8000 | 77 | 420797    |
| 8500 | 85 | 275219    |
| 9000 | 79 | 134114    |
| 9500 | 89 | 390028    |

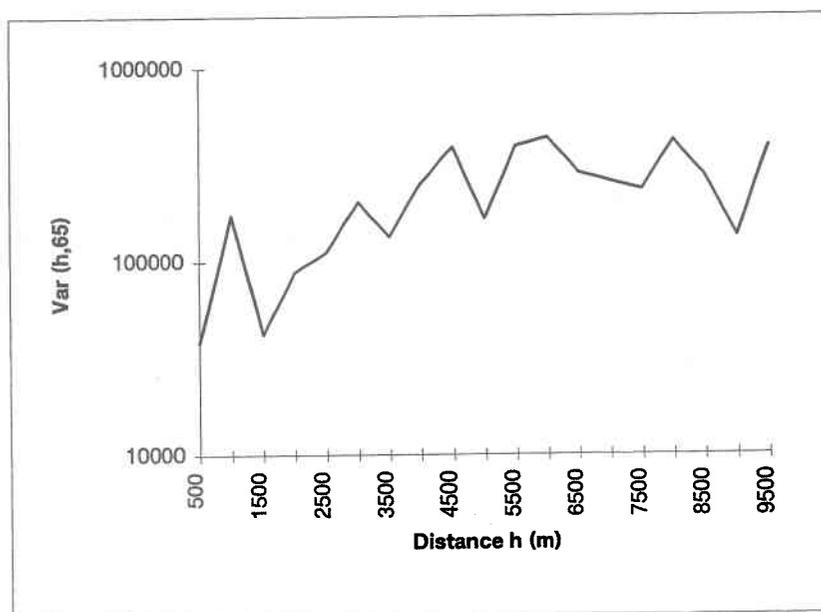
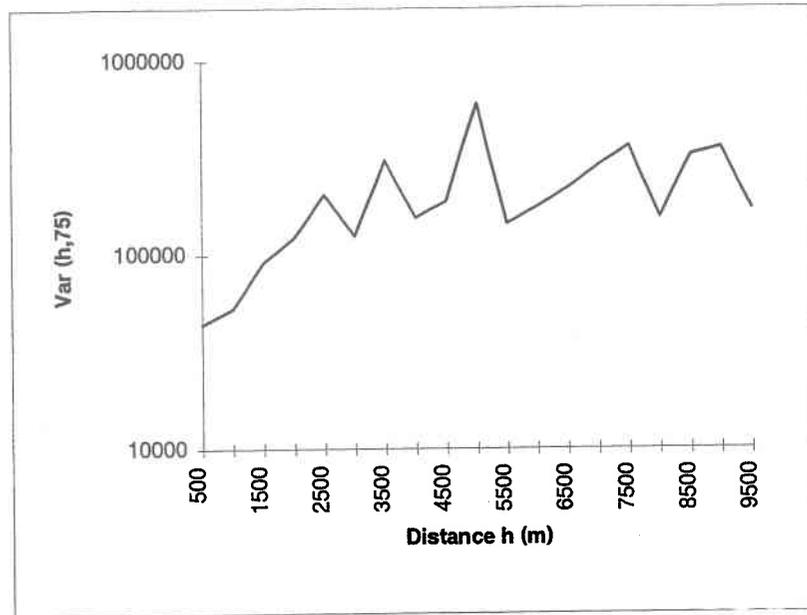


Figure A.5.1 : Variogrammes directionnels : Résistivité apparente pour AB = 80m

Annexe A.5.1

| h(m) | n  | Var(h,75) |
|------|----|-----------|
| 500  | 19 | 43915     |
| 1000 | 20 | 52556     |
| 1500 | 26 | 91266     |
| 2000 | 40 | 121762    |
| 2500 | 55 | 203957    |
| 3000 | 42 | 123867    |
| 3500 | 57 | 307497    |
| 4000 | 49 | 154045    |
| 4500 | 57 | 187207    |
| 5000 | 66 | 599772    |
| 5500 | 52 | 143247    |
| 6000 | 68 | 174863    |
| 6500 | 66 | 218322    |
| 7000 | 68 | 286834    |
| 7500 | 69 | 362104    |
| 8000 | 87 | 153556    |
| 8500 | 86 | 323742    |
| 9000 | 93 | 354149    |
| 9500 | 84 | 171236    |



| h(m) | n  | Var(h,85) |
|------|----|-----------|
| 500  | 12 | 103059    |
| 1000 | 17 | 62042     |
| 1500 | 27 | 81978     |
| 2000 | 23 | 334493    |
| 2500 | 31 | 248347    |
| 3000 | 44 | 160757    |
| 3500 | 39 | 324133    |
| 4000 | 60 | 262154    |
| 4500 | 45 | 196429    |
| 5000 | 61 | 249628    |
| 5500 | 53 | 216387    |
| 6000 | 55 | 222243    |
| 6500 | 58 | 332381    |
| 7000 | 67 | 201446    |
| 7500 | 77 | 386994    |
| 8000 | 76 | 205052    |
| 8500 | 78 | 152307    |
| 9000 | 75 | 219289    |
| 9500 | 80 | 146445    |

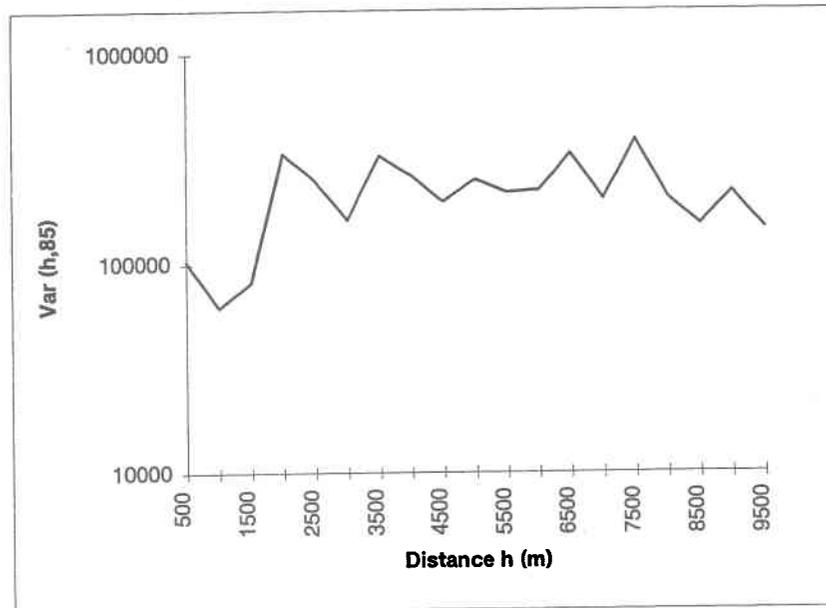
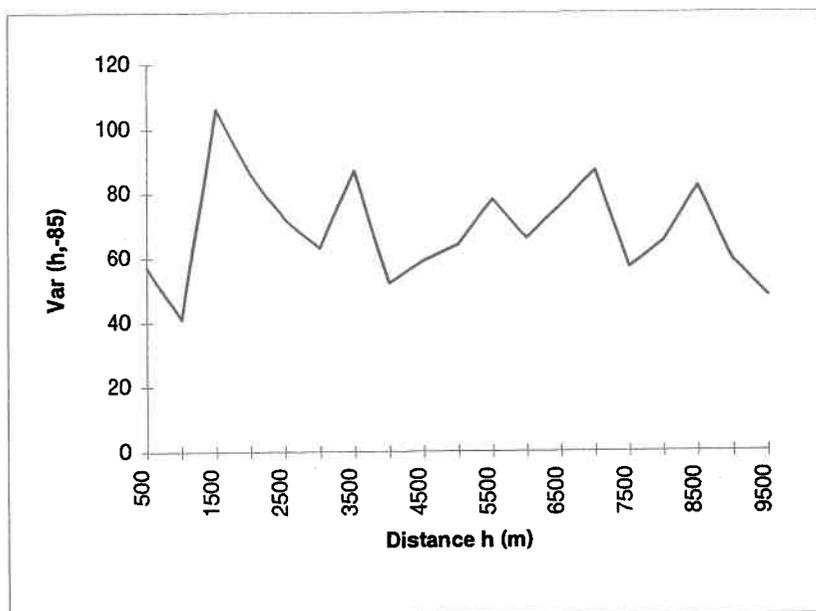


Figure A.5.1 : Variogrammes directionnels : Résistivité apparente pour AB = 80m

Annexe A.5.2

| h(m) | n  | Var(h,-85) |
|------|----|------------|
| 500  | 16 | 57         |
| 1000 | 15 | 41         |
| 1500 | 28 | 106        |
| 2000 | 33 | 86         |
| 2500 | 43 | 72         |
| 3000 | 55 | 63         |
| 3500 | 43 | 87         |
| 4000 | 55 | 52         |
| 4500 | 43 | 59         |
| 5000 | 65 | 64         |
| 5500 | 68 | 78         |
| 6000 | 75 | 66         |
| 6500 | 75 | 76         |
| 7000 | 81 | 87         |
| 7500 | 74 | 57         |
| 8000 | 71 | 65         |
| 8500 | 90 | 82         |
| 9000 | 79 | 59         |
| 9500 | 74 | 48         |



| h(m) | n  | Var(h,-75) |
|------|----|------------|
| 500  | 15 | 48         |
| 1000 | 23 | 73         |
| 1500 | 22 | 47         |
| 2000 | 32 | 37         |
| 2500 | 30 | 76         |
| 3000 | 31 | 88         |
| 3500 | 54 | 79         |
| 4000 | 60 | 77         |
| 4500 | 47 | 64         |
| 5000 | 55 | 49         |
| 5500 | 66 | 63         |
| 6000 | 65 | 80         |
| 6500 | 78 | 97         |
| 7000 | 63 | 69         |
| 7500 | 66 | 53         |
| 8000 | 63 | 95         |
| 8500 | 81 | 62         |
| 9000 | 73 | 71         |
| 9500 | 64 | 57         |

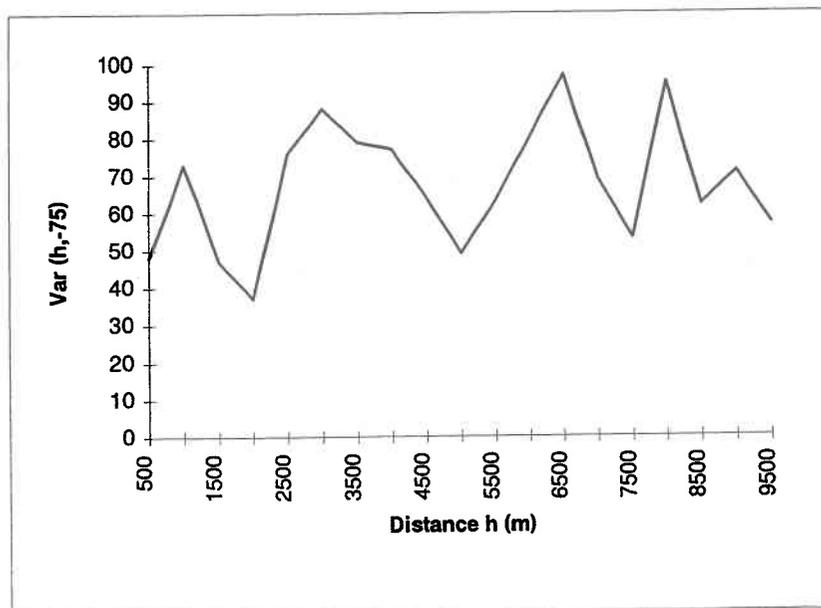
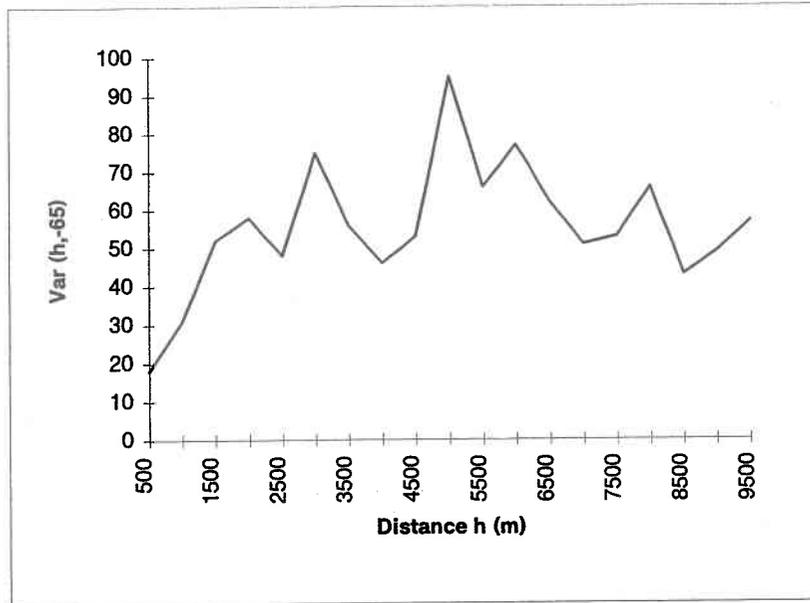


Figure A.5.2 : Variogrammes directionnels : Épaisseur d'argile, sondages électriques

Annexe A.5.2

| h(m) | n  | Var(h,-65) |
|------|----|------------|
| 500  | 5  | 18         |
| 1000 | 16 | 31         |
| 1500 | 32 | 52         |
| 2000 | 32 | 58         |
| 2500 | 45 | 48         |
| 3000 | 59 | 75         |
| 3500 | 40 | 56         |
| 4000 | 51 | 46         |
| 4500 | 54 | 53         |
| 5000 | 52 | 95         |
| 5500 | 58 | 66         |
| 6000 | 65 | 77         |
| 6500 | 52 | 62         |
| 7000 | 75 | 51         |
| 7500 | 82 | 53         |
| 8000 | 77 | 66         |
| 8500 | 70 | 43         |
| 9000 | 60 | 49         |
| 9500 | 57 | 57         |



| h(m) | n  | Var(h,-55) |
|------|----|------------|
| 500  | 19 | 11         |
| 1000 | 12 | 49         |
| 1500 | 21 | 37         |
| 2000 | 37 | 57         |
| 2500 | 44 | 41         |
| 3000 | 50 | 95         |
| 3500 | 55 | 79         |
| 4000 | 48 | 59         |
| 4500 | 50 | 39         |
| 5000 | 53 | 69         |
| 5500 | 75 | 98         |
| 6000 | 55 | 85         |
| 6500 | 60 | 111        |
| 7000 | 65 | 67         |
| 7500 | 66 | 84         |
| 8000 | 65 | 71         |
| 8500 | 63 | 71         |
| 9000 | 68 | 53         |
| 9500 | 60 | 44         |

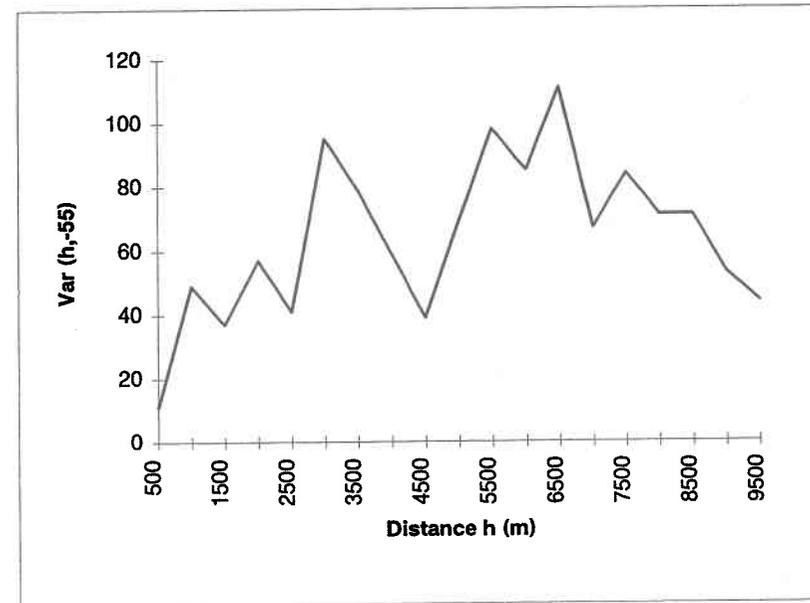
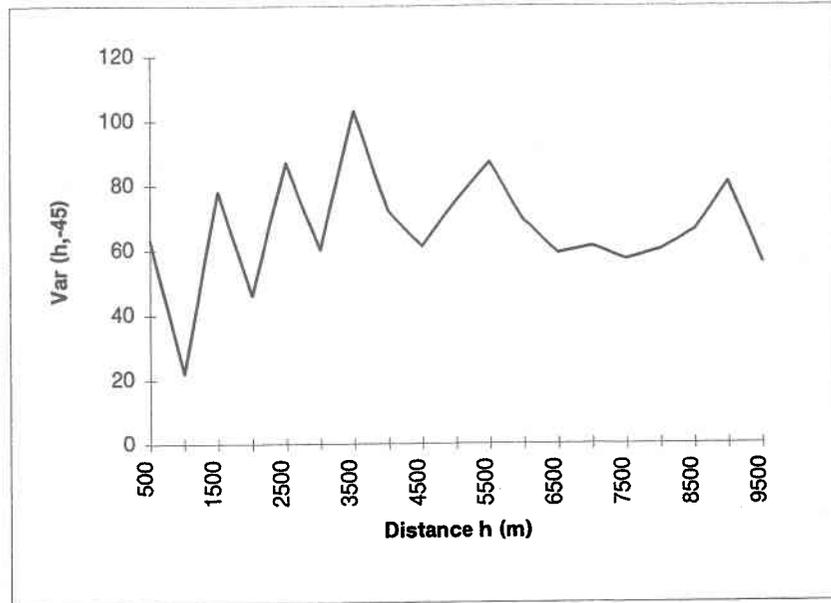


Figure A.5.2 : Variogrammes directionnels : Épaisseur d'argile, sondages électriques

Annexe A.5.2

| h(m) | n  | Var(h,-45) |
|------|----|------------|
| 500  | 15 | 63         |
| 1000 | 30 | 22         |
| 1500 | 38 | 78         |
| 2000 | 28 | 46         |
| 2500 | 50 | 87         |
| 3000 | 39 | 60         |
| 3500 | 43 | 103        |
| 4000 | 47 | 72         |
| 4500 | 57 | 61         |
| 5000 | 63 | 75         |
| 5500 | 73 | 87         |
| 6000 | 63 | 69         |
| 6500 | 79 | 59         |
| 7000 | 74 | 61         |
| 7500 | 76 | 57         |
| 8000 | 72 | 60         |
| 8500 | 73 | 66         |
| 9000 | 59 | 81         |
| 9500 | 58 | 56         |



| h(m) | n  | Var(h,-35) |
|------|----|------------|
| 500  | 14 | 10         |
| 1000 | 18 | 39         |
| 1500 | 28 | 67         |
| 2000 | 28 | 60         |
| 2500 | 31 | 21         |
| 3000 | 38 | 23         |
| 3500 | 37 | 88         |
| 4000 | 45 | 50         |
| 4500 | 59 | 66         |
| 5000 | 48 | 77         |
| 5500 | 71 | 87         |
| 6000 | 82 | 79         |
| 6500 | 64 | 68         |
| 7000 | 65 | 107        |
| 7500 | 72 | 66         |
| 8000 | 64 | 54         |
| 8500 | 78 | 75         |
| 9000 | 65 | 76         |
| 9500 | 69 | 75         |

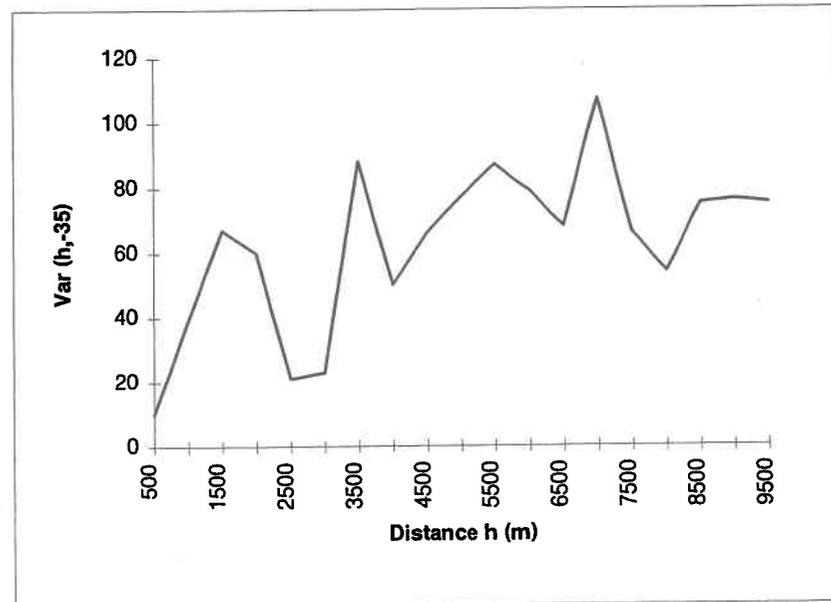
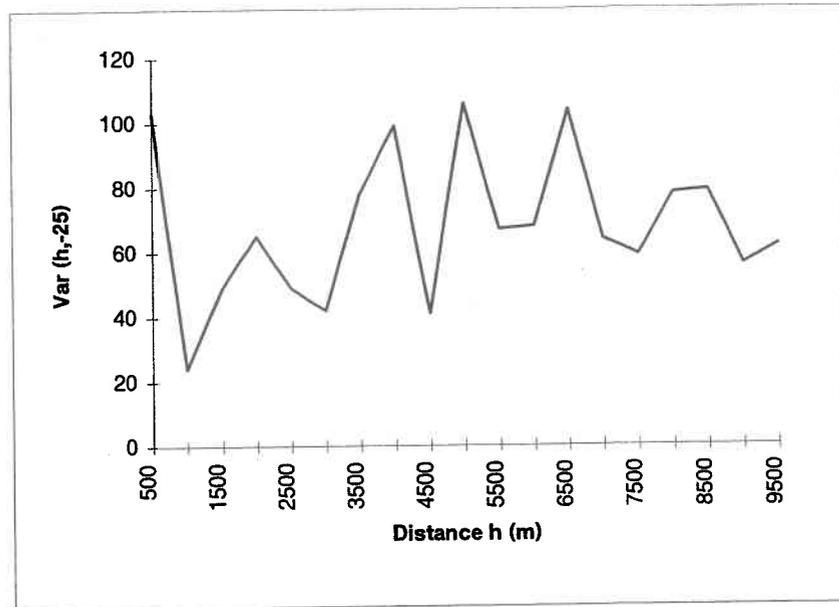


Figure A.5.2 : Variogrammes directionnels : Épaisseur d'argile, sondages électriques

Annexe A.5.2

| h(m) | n  | Var(h,-25) |
|------|----|------------|
| 500  | 13 | 103        |
| 1000 | 26 | 24         |
| 1500 | 27 | 49         |
| 2000 | 42 | 65         |
| 2500 | 39 | 49         |
| 3000 | 46 | 42         |
| 3500 | 39 | 78         |
| 4000 | 48 | 99         |
| 4500 | 57 | 41         |
| 5000 | 55 | 106        |
| 5500 | 80 | 67         |
| 6000 | 78 | 68         |
| 6500 | 68 | 104        |
| 7000 | 68 | 64         |
| 7500 | 72 | 59         |
| 8000 | 59 | 78         |
| 8500 | 67 | 79         |
| 9000 | 70 | 56         |
| 9500 | 52 | 62         |



| h(m) | n  | Var(h,-15) |
|------|----|------------|
| 500  | 12 | 45         |
| 1000 | 15 | 22         |
| 1500 | 29 | 81         |
| 2000 | 27 | 59         |
| 2500 | 41 | 38         |
| 3000 | 40 | 69         |
| 3500 | 39 | 77         |
| 4000 | 48 | 81         |
| 4500 | 55 | 76         |
| 5000 | 51 | 73         |
| 5500 | 63 | 59         |
| 6000 | 69 | 71         |
| 6500 | 91 | 76         |
| 7000 | 89 | 67         |
| 7500 | 86 | 54         |
| 8000 | 91 | 73         |
| 8500 | 67 | 51         |
| 9000 | 74 | 65         |
| 9500 | 76 | 85         |

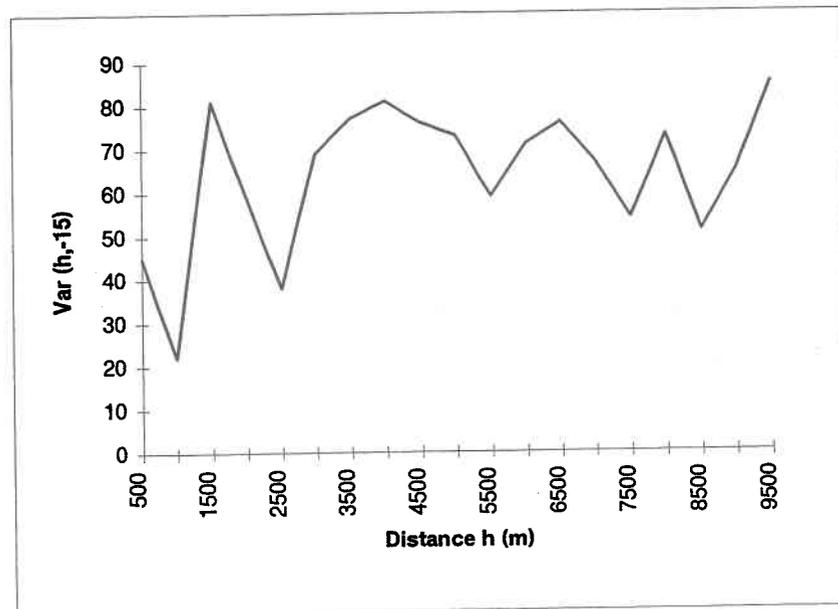
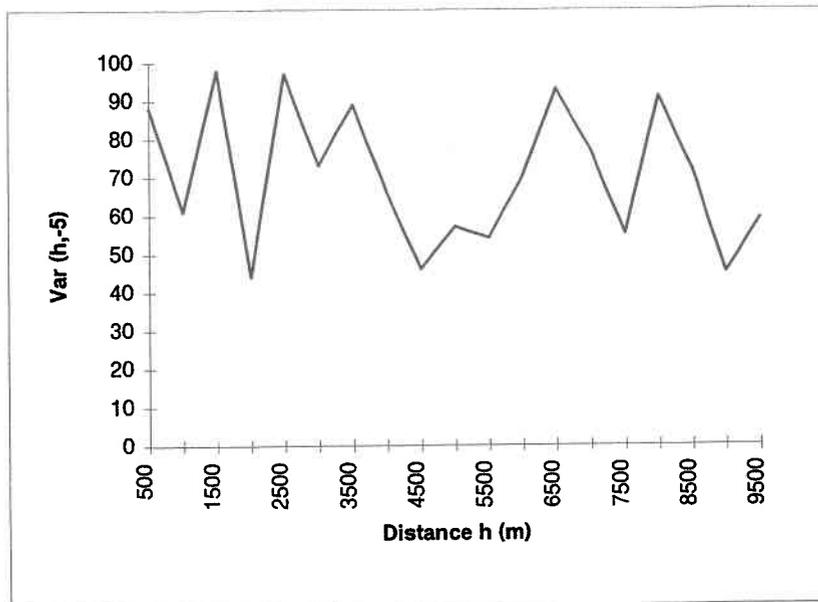


Figure A.5.2 : Variogrammes directionnels : Épaisseur d'argile, sondages électriques

Annexe A.5.2

| h(m) | n   | Var(h,-5) |
|------|-----|-----------|
| 500  | 11  | 88        |
| 1000 | 24  | 61        |
| 1500 | 24  | 98        |
| 2000 | 45  | 44        |
| 2500 | 46  | 97        |
| 3000 | 37  | 73        |
| 3500 | 51  | 89        |
| 4000 | 50  | 66        |
| 4500 | 56  | 46        |
| 5000 | 68  | 57        |
| 5500 | 70  | 54        |
| 6000 | 68  | 70        |
| 6500 | 87  | 93        |
| 7000 | 91  | 77        |
| 7500 | 101 | 55        |
| 8000 | 89  | 91        |
| 8500 | 68  | 72        |
| 9000 | 93  | 45        |
| 9500 | 77  | 59        |



| h(m) | n   | Var(h,5) |
|------|-----|----------|
| 500  | 11  | 90       |
| 1000 | 22  | 53       |
| 1500 | 30  | 82       |
| 2000 | 32  | 51       |
| 2500 | 31  | 91       |
| 3000 | 38  | 53       |
| 3500 | 55  | 102      |
| 4000 | 54  | 53       |
| 4500 | 57  | 76       |
| 5000 | 68  | 61       |
| 5500 | 63  | 84       |
| 6000 | 69  | 101      |
| 6500 | 74  | 105      |
| 7000 | 84  | 75       |
| 7500 | 88  | 62       |
| 8000 | 91  | 66       |
| 8500 | 93  | 68       |
| 9000 | 90  | 73       |
| 9500 | 107 | 67       |

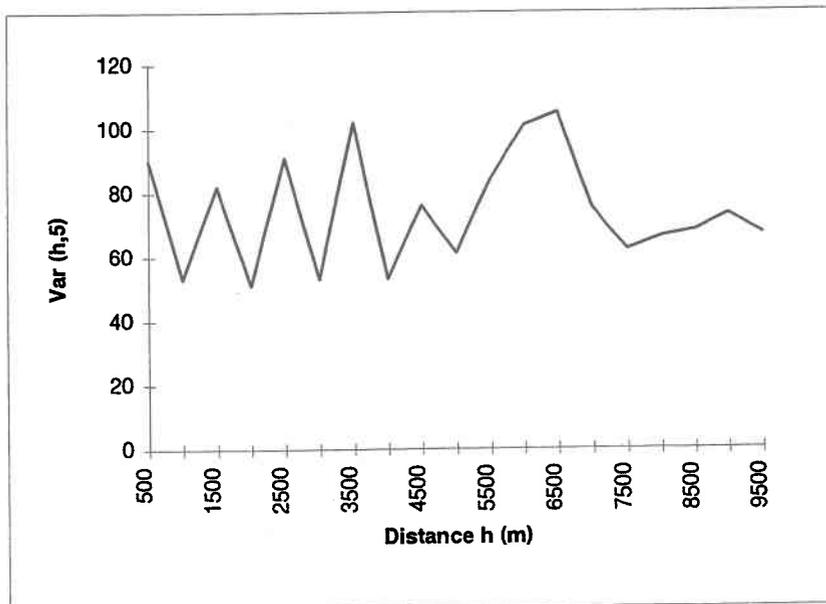
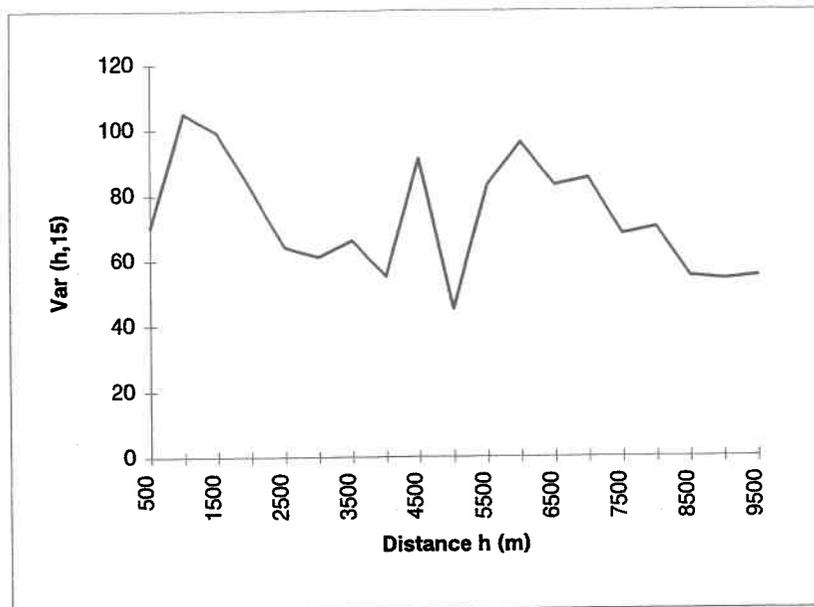


Figure A.5.2 : Variogrammes directionnels : Épaisseur d'argile, sondages électriques

Annexe A.5.2

| h(m) | n   | Var(h,15) |
|------|-----|-----------|
| 500  | 14  | 70        |
| 1000 | 22  | 105       |
| 1500 | 26  | 99        |
| 2000 | 43  | 82        |
| 2500 | 29  | 64        |
| 3000 | 33  | 61        |
| 3500 | 43  | 66        |
| 4000 | 54  | 55        |
| 4500 | 52  | 91        |
| 5000 | 53  | 45        |
| 5500 | 61  | 83        |
| 6000 | 72  | 96        |
| 6500 | 72  | 83        |
| 7000 | 73  | 85        |
| 7500 | 83  | 68        |
| 8000 | 85  | 70        |
| 8500 | 103 | 55        |
| 9000 | 89  | 54        |
| 9500 | 104 | 55        |



| h(m) | n  | Var(h,25) |
|------|----|-----------|
| 500  | 10 | 38        |
| 1000 | 21 | 43        |
| 1500 | 34 | 52        |
| 2000 | 38 | 46        |
| 2500 | 33 | 78        |
| 3000 | 46 | 73        |
| 3500 | 49 | 64        |
| 4000 | 51 | 72        |
| 4500 | 49 | 51        |
| 5000 | 54 | 74        |
| 5500 | 63 | 115       |
| 6000 | 66 | 93        |
| 6500 | 71 | 50        |
| 7000 | 72 | 105       |
| 7500 | 84 | 96        |
| 8000 | 71 | 54        |
| 8500 | 88 | 72        |
| 9000 | 99 | 55        |
| 9500 | 88 | 64        |

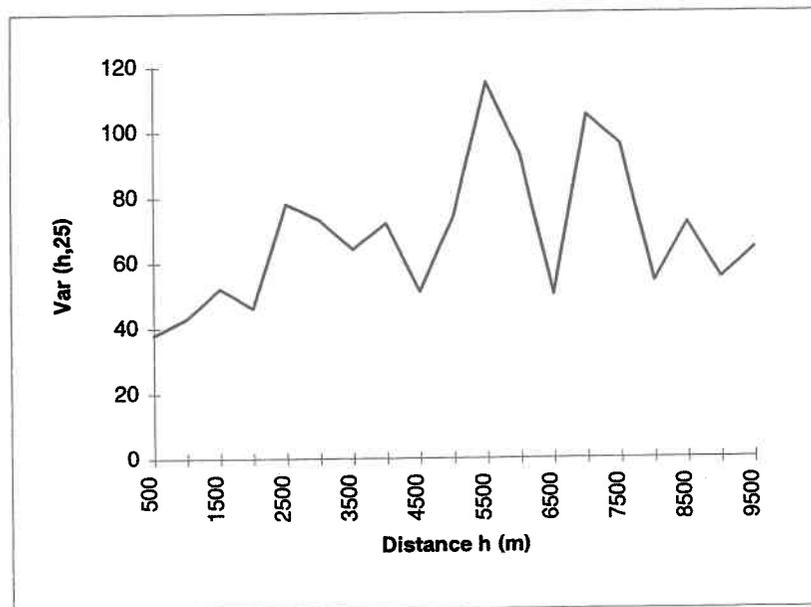
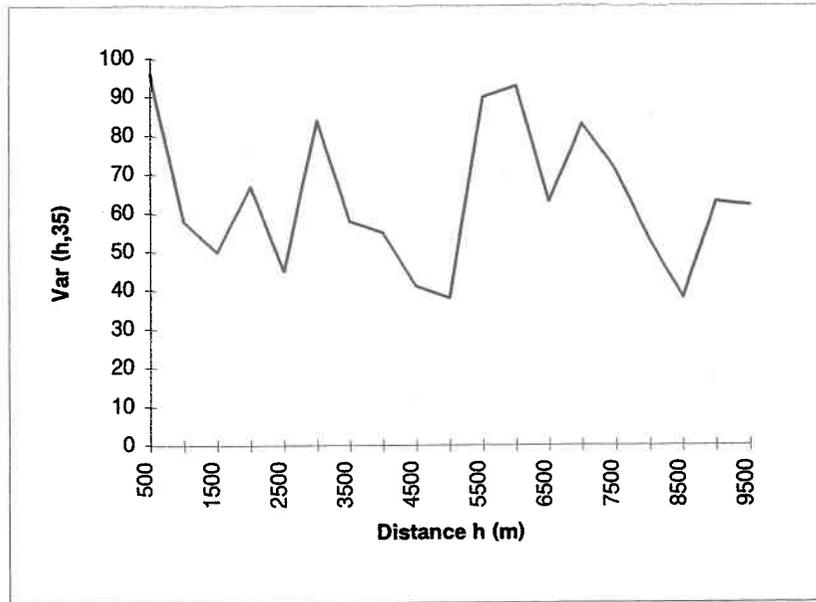


Figure A.5.2 : Variogrammes directionnels : Épaisseur d'argile, sondages électriques

Annexe A.5.2

| h(m) | n   | Var(h,35) |
|------|-----|-----------|
| 500  | 18  | 96        |
| 1000 | 23  | 58        |
| 1500 | 18  | 50        |
| 2000 | 49  | 67        |
| 2500 | 39  | 45        |
| 3000 | 45  | 84        |
| 3500 | 61  | 58        |
| 4000 | 62  | 55        |
| 4500 | 58  | 41        |
| 5000 | 55  | 38        |
| 5500 | 81  | 90        |
| 6000 | 69  | 93        |
| 6500 | 89  | 63        |
| 7000 | 84  | 83        |
| 7500 | 86  | 71        |
| 8000 | 74  | 53        |
| 8500 | 82  | 38        |
| 9000 | 82  | 63        |
| 9500 | 106 | 62        |



| h(m) | n   | Var(h,45) |
|------|-----|-----------|
| 500  | 16  | 55        |
| 1000 | 27  | 43        |
| 1500 | 32  | 49        |
| 2000 | 25  | 39        |
| 2500 | 48  | 78        |
| 3000 | 51  | 58        |
| 3500 | 70  | 61        |
| 4000 | 65  | 68        |
| 4500 | 71  | 66        |
| 5000 | 87  | 42        |
| 5500 | 71  | 83        |
| 6000 | 71  | 78        |
| 6500 | 84  | 64        |
| 7000 | 98  | 72        |
| 7500 | 97  | 55        |
| 8000 | 94  | 79        |
| 8500 | 92  | 54        |
| 9000 | 107 | 86        |
| 9500 | 108 | 74        |

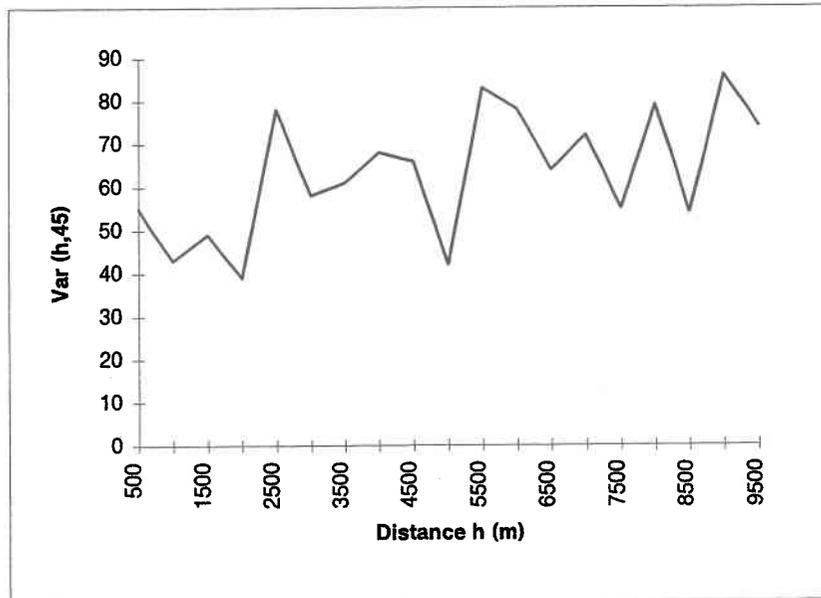
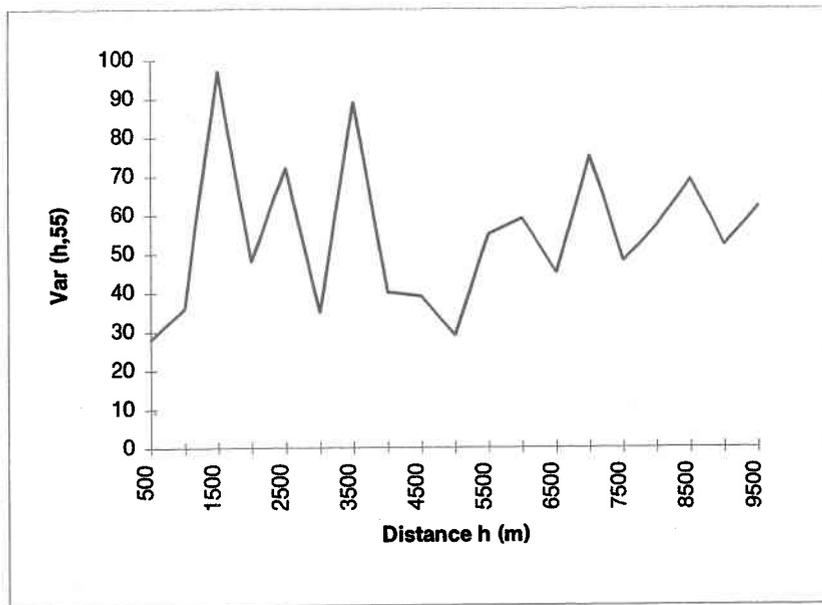


Figure A.5.2 : Variogrammes directionnels : Épaisseur d'argile, sondages électriques

Annexe A.5.2

| h(m) | n   | Var(h,55) |
|------|-----|-----------|
| 500  | 16  | 28        |
| 1000 | 19  | 36        |
| 1500 | 26  | 97        |
| 2000 | 47  | 48        |
| 2500 | 46  | 72        |
| 3000 | 47  | 35        |
| 3500 | 50  | 89        |
| 4000 | 42  | 40        |
| 4500 | 58  | 39        |
| 5000 | 58  | 29        |
| 5500 | 70  | 55        |
| 6000 | 80  | 59        |
| 6500 | 78  | 45        |
| 7000 | 92  | 75        |
| 7500 | 82  | 48        |
| 8000 | 87  | 57        |
| 8500 | 81  | 69        |
| 9000 | 98  | 52        |
| 9500 | 114 | 62        |



| h(m) | n  | Var(h,65) |
|------|----|-----------|
| 500  | 9  | 129       |
| 1000 | 17 | 69        |
| 1500 | 28 | 66        |
| 2000 | 30 | 44        |
| 2500 | 43 | 43        |
| 3000 | 53 | 57        |
| 3500 | 59 | 82        |
| 4000 | 59 | 45        |
| 4500 | 63 | 62        |
| 5000 | 73 | 84        |
| 5500 | 65 | 68        |
| 6000 | 67 | 72        |
| 6500 | 66 | 72        |
| 7000 | 78 | 67        |
| 7500 | 92 | 66        |
| 8000 | 83 | 51        |
| 8500 | 88 | 59        |
| 9000 | 85 | 57        |
| 9500 | 95 | 69        |

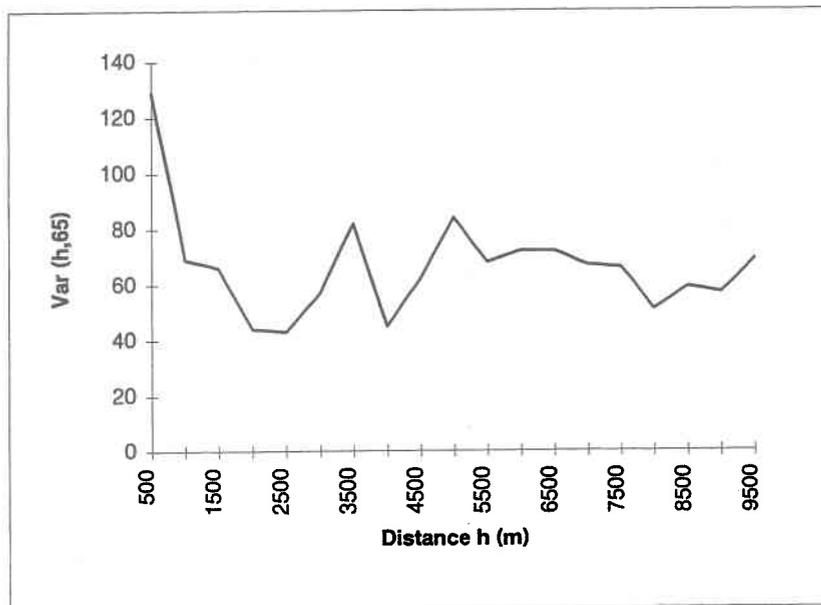
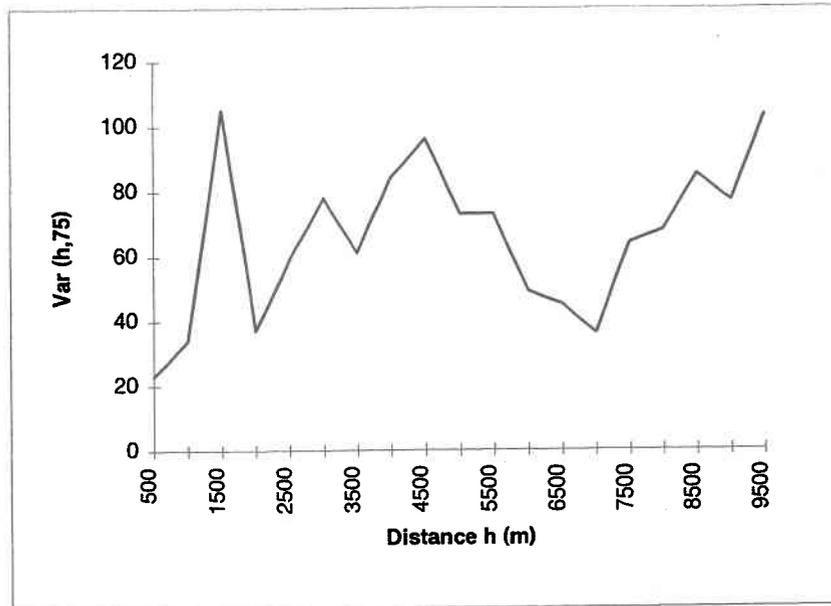


Figure A.5.2 : Variogrammes directionnels : Épaisseur d'argile, sondages électriques

Annexe A.5.2

| h(m) | n   | Var(h,75) |
|------|-----|-----------|
| 500  | 20  | 23        |
| 1000 | 22  | 34        |
| 1500 | 26  | 105       |
| 2000 | 42  | 37        |
| 2500 | 57  | 59        |
| 3000 | 47  | 78        |
| 3500 | 60  | 61        |
| 4000 | 53  | 84        |
| 4500 | 62  | 96        |
| 5000 | 72  | 73        |
| 5500 | 57  | 73        |
| 6000 | 71  | 49        |
| 6500 | 68  | 45        |
| 7000 | 72  | 36        |
| 7500 | 75  | 64        |
| 8000 | 89  | 68        |
| 8500 | 95  | 85        |
| 9000 | 105 | 77        |
| 9500 | 93  | 103       |



| h(m) | n  | Var(h,85) |
|------|----|-----------|
| 500  | 12 | 34        |
| 1000 | 18 | 50        |
| 1500 | 30 | 67        |
| 2000 | 27 | 102       |
| 2500 | 33 | 75        |
| 3000 | 49 | 84        |
| 3500 | 40 | 48        |
| 4000 | 64 | 67        |
| 4500 | 47 | 39        |
| 5000 | 64 | 86        |
| 5500 | 57 | 73        |
| 6000 | 60 | 68        |
| 6500 | 62 | 54        |
| 7000 | 71 | 47        |
| 7500 | 84 | 52        |
| 8000 | 84 | 63        |
| 8500 | 83 | 91        |
| 9000 | 81 | 75        |
| 9500 | 86 | 92        |

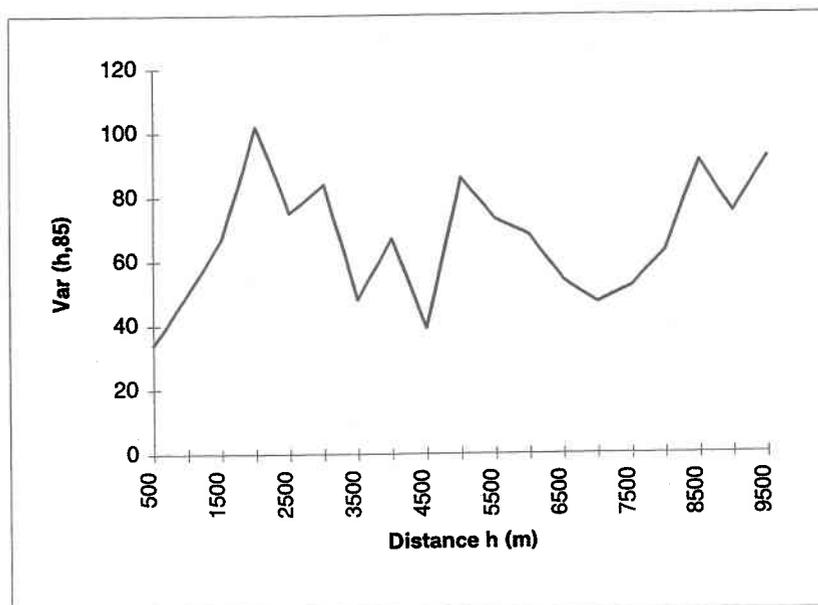
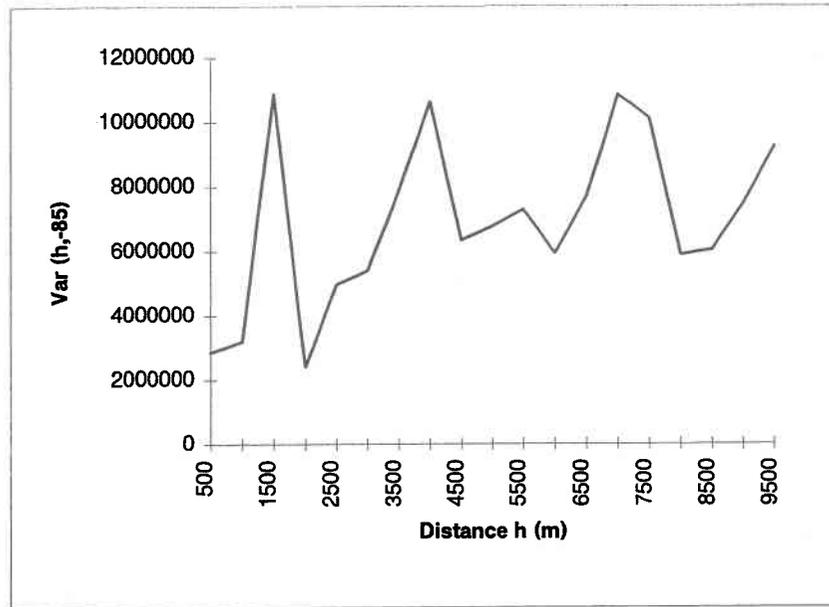


Figure A.5.2 : Variogrammes directionnels : Épaisseur d'argile, sondages électriques

Annexe A.5.3

| h(m) | n  | Var(h,-85) |
|------|----|------------|
| 500  | 16 | 2850139    |
| 1000 | 15 | 3181867    |
| 1500 | 28 | 10871600   |
| 2000 | 33 | 2408003    |
| 2500 | 43 | 4974876    |
| 3000 | 55 | 5400653    |
| 3500 | 43 | 7892588    |
| 4000 | 55 | 10620340   |
| 4500 | 43 | 6328917    |
| 5000 | 65 | 6753696    |
| 5500 | 68 | 7283842    |
| 6000 | 75 | 5929862    |
| 6500 | 75 | 7691129    |
| 7000 | 81 | 10838710   |
| 7500 | 74 | 10122450   |
| 8000 | 71 | 5872376    |
| 8500 | 90 | 6028330    |
| 9000 | 79 | 7465746    |
| 9500 | 74 | 9226634    |



| h(m) | n  | Var(h,-75) |
|------|----|------------|
| 500  | 15 | 8874359    |
| 1000 | 23 | 2138376    |
| 1500 | 22 | 6730516    |
| 2000 | 32 | 9052252    |
| 2500 | 30 | 2655898    |
| 3000 | 31 | 3215649    |
| 3500 | 54 | 6555790    |
| 4000 | 60 | 9893233    |
| 4500 | 47 | 8934327    |
| 5000 | 55 | 4388634    |
| 5500 | 66 | 7943446    |
| 6000 | 65 | 6265501    |
| 6500 | 78 | 6976620    |
| 7000 | 63 | 6972820    |
| 7500 | 66 | 7728740    |
| 8000 | 63 | 2543231    |
| 8500 | 81 | 8025715    |
| 9000 | 73 | 7735882    |
| 9500 | 64 | 10479260   |

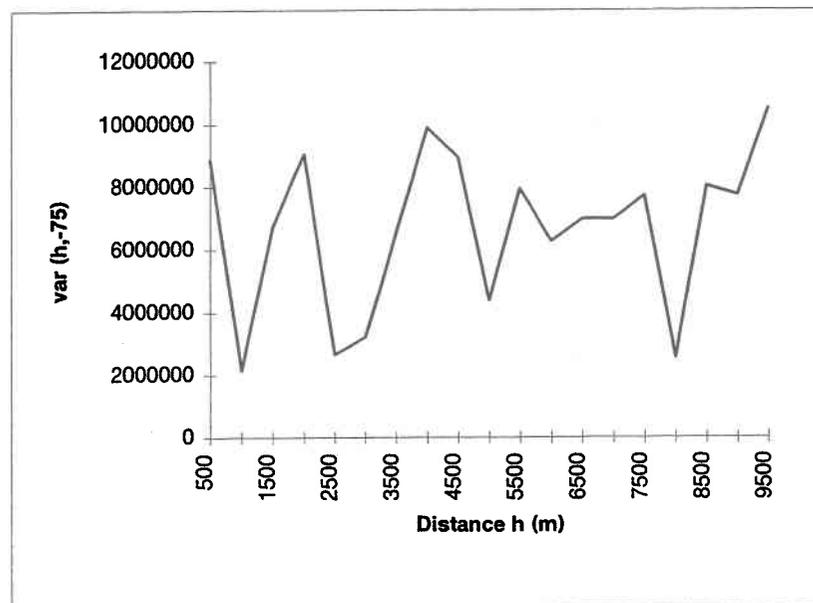
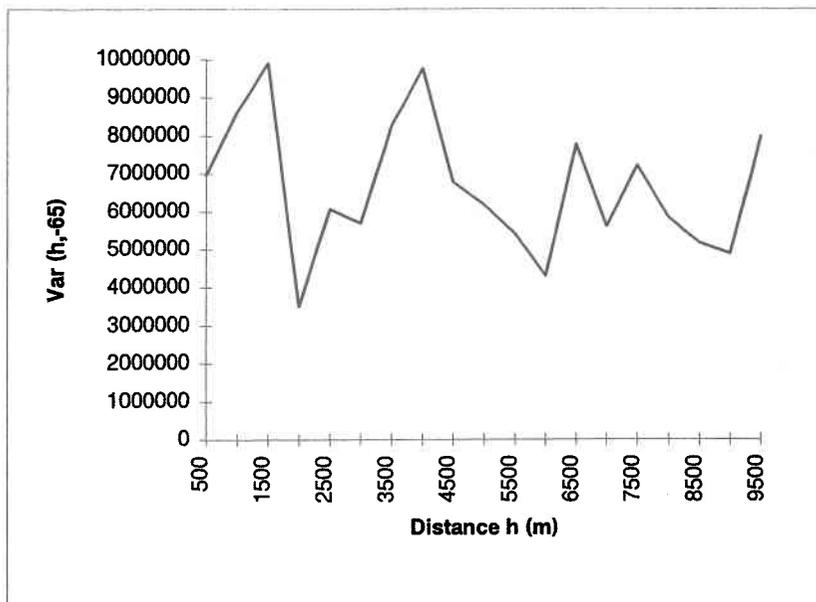


Figure A.5.3 : Variogrammes directionnels : Résistivité de l'aquifère

Annexe A.5.3

| h(m) | n  | Var(h,-65) |
|------|----|------------|
| 500  | 5  | 6957464    |
| 1000 | 16 | 8638653    |
| 1500 | 32 | 9901324    |
| 2000 | 32 | 3502788    |
| 2500 | 45 | 6063334    |
| 3000 | 59 | 5694250    |
| 3500 | 40 | 8275584    |
| 4000 | 51 | 9757115    |
| 4500 | 54 | 6774390    |
| 5000 | 52 | 6178412    |
| 5500 | 58 | 5410696    |
| 6000 | 65 | 4305768    |
| 6500 | 52 | 7774664    |
| 7000 | 75 | 5600102    |
| 7500 | 82 | 7217280    |
| 8000 | 77 | 5840599    |
| 8500 | 70 | 5167852    |
| 9000 | 60 | 4884756    |
| 9500 | 57 | 7973058    |



| h(m) | n  | Var(h,-55) |
|------|----|------------|
| 500  | 19 | 1627042    |
| 1000 | 12 | 3726438    |
| 1500 | 21 | 11425770   |
| 2000 | 37 | 7921568    |
| 2500 | 44 | 7749840    |
| 3000 | 50 | 6367814    |
| 3500 | 55 | 7650101    |
| 4000 | 48 | 10610470   |
| 4500 | 50 | 3930665    |
| 5000 | 53 | 11047890   |
| 5500 | 75 | 6712846    |
| 6000 | 55 | 2494624    |
| 6500 | 60 | 6303228    |
| 7000 | 65 | 6892464    |
| 7500 | 66 | 1641872    |
| 8000 | 65 | 8478906    |
| 8500 | 63 | 11819500   |
| 9000 | 68 | 6621125    |
| 9500 | 60 | 5578898    |

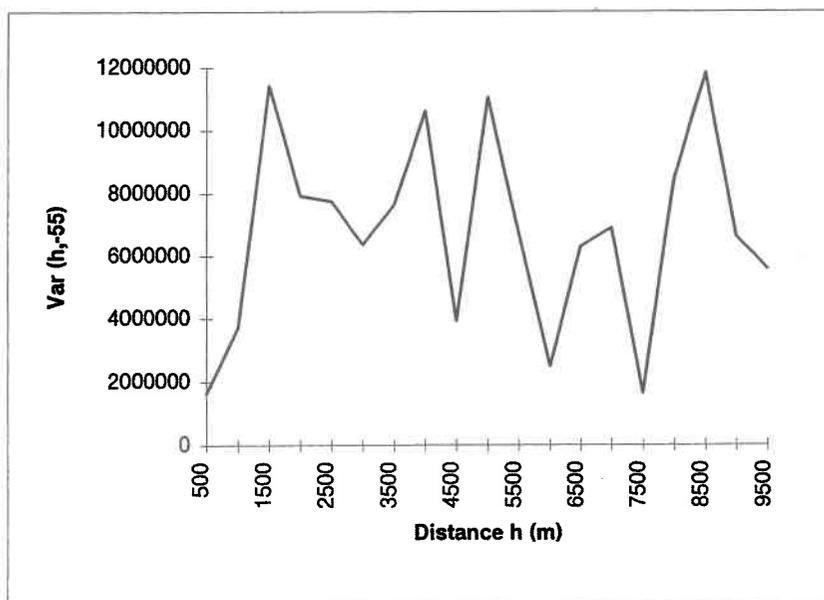
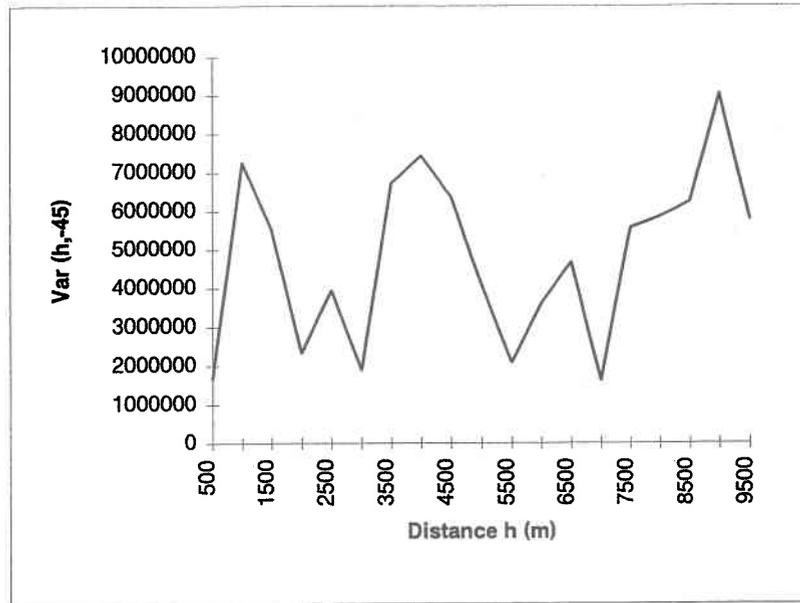


Figure A.5.3 : Variogrammes directionnels : Résistivité de l'aquifère

Annexe A.5.3

| h(m) | n  | Var(h,-45) |
|------|----|------------|
| 500  | 15 | 1661827    |
| 1000 | 30 | 7251034    |
| 1500 | 38 | 5530028    |
| 2000 | 28 | 2334948    |
| 2500 | 50 | 3936242    |
| 3000 | 39 | 1881956    |
| 3500 | 43 | 6718904    |
| 4000 | 47 | 7435916    |
| 4500 | 57 | 6372772    |
| 5000 | 63 | 4084282    |
| 5500 | 73 | 2075579    |
| 6000 | 63 | 3608675    |
| 6500 | 79 | 4673836    |
| 7000 | 74 | 1623658    |
| 7500 | 76 | 5578440    |
| 8000 | 72 | 5860002    |
| 8500 | 73 | 6245308    |
| 9000 | 59 | 9033293    |
| 9500 | 58 | 5781004    |



| h(m) | n  | Var(h,-35) |
|------|----|------------|
| 500  | 14 | 1597408    |
| 1000 | 18 | 7699916    |
| 1500 | 28 | 5970616    |
| 2000 | 28 | 8748064    |
| 2500 | 31 | 4290556    |
| 3000 | 38 | 9078451    |
| 3500 | 37 | 10973740   |
| 4000 | 45 | 5633230    |
| 4500 | 59 | 4328525    |
| 5000 | 48 | 6941314    |
| 5500 | 71 | 6425160    |
| 6000 | 82 | 4610266    |
| 6500 | 64 | 5220685    |
| 7000 | 65 | 5291916    |
| 7500 | 72 | 6683140    |
| 8000 | 64 | 8335075    |
| 8500 | 78 | 6587504    |
| 9000 | 65 | 6742866    |
| 9500 | 69 | 6730664    |

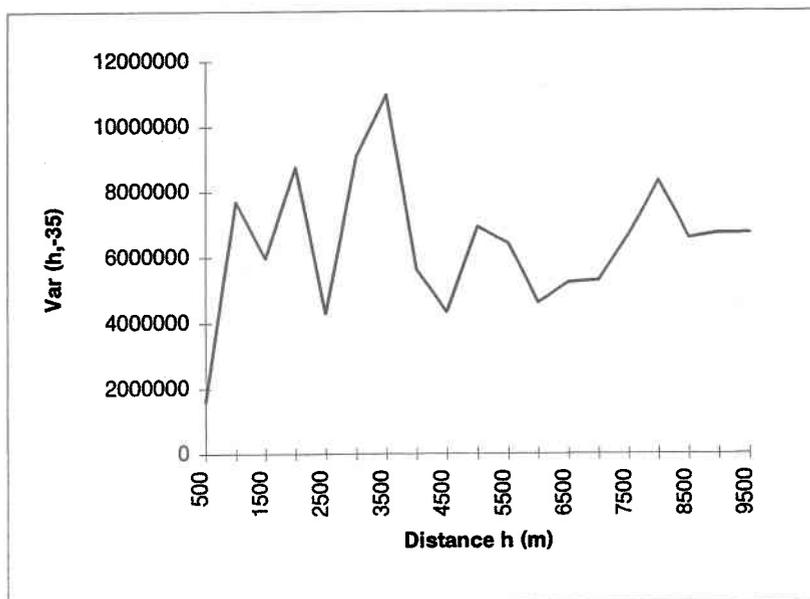
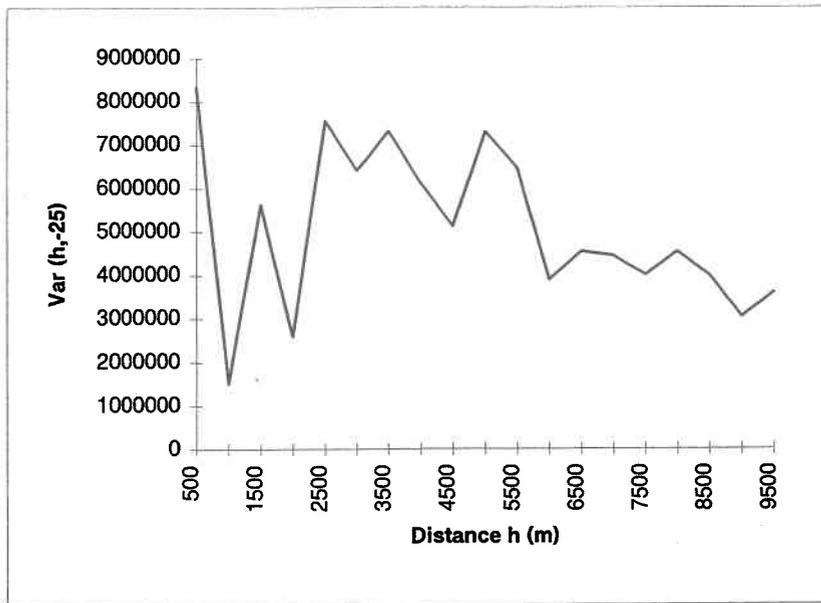


Figure A.5.3 : Variogrammes directionnels : Résistivité de l'aquifère

Annexe A.5.3

| h(m) | n  | Var(h,-25) |
|------|----|------------|
| 500  | 13 | 8329086    |
| 1000 | 26 | 1502320    |
| 1500 | 27 | 5625846    |
| 2000 | 42 | 2582472    |
| 2500 | 39 | 7554634    |
| 3000 | 46 | 6409100    |
| 3500 | 39 | 7312760    |
| 4000 | 48 | 6123938    |
| 4500 | 57 | 5126448    |
| 5000 | 55 | 7306598    |
| 5500 | 80 | 6459314    |
| 6000 | 78 | 3893250    |
| 6500 | 68 | 4534834    |
| 7000 | 68 | 4436372    |
| 7500 | 72 | 4004317    |
| 8000 | 59 | 4530018    |
| 8500 | 67 | 3995106    |
| 9000 | 70 | 3034145    |
| 9500 | 52 | 3589140    |



| h(m) | n  | Var(h,-15) |
|------|----|------------|
| 500  | 12 | 5283134    |
| 1000 | 15 | 5318698    |
| 1500 | 29 | 6949080    |
| 2000 | 27 | 4303746    |
| 2500 | 41 | 3585333    |
| 3000 | 40 | 5697226    |
| 3500 | 39 | 8043838    |
| 4000 | 48 | 6824175    |
| 4500 | 55 | 5918316    |
| 5000 | 51 | 5195790    |
| 5500 | 63 | 6666621    |
| 6000 | 69 | 7006487    |
| 6500 | 91 | 5576448    |
| 7000 | 89 | 5822268    |
| 7500 | 86 | 4893957    |
| 8000 | 91 | 5302112    |
| 8500 | 67 | 4626753    |
| 9000 | 74 | 4822440    |
| 9500 | 76 | 3770412    |

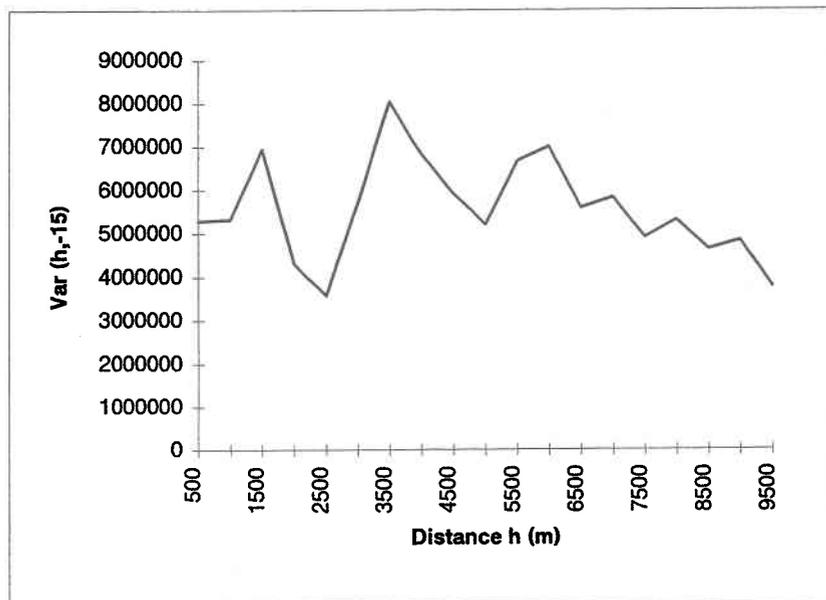
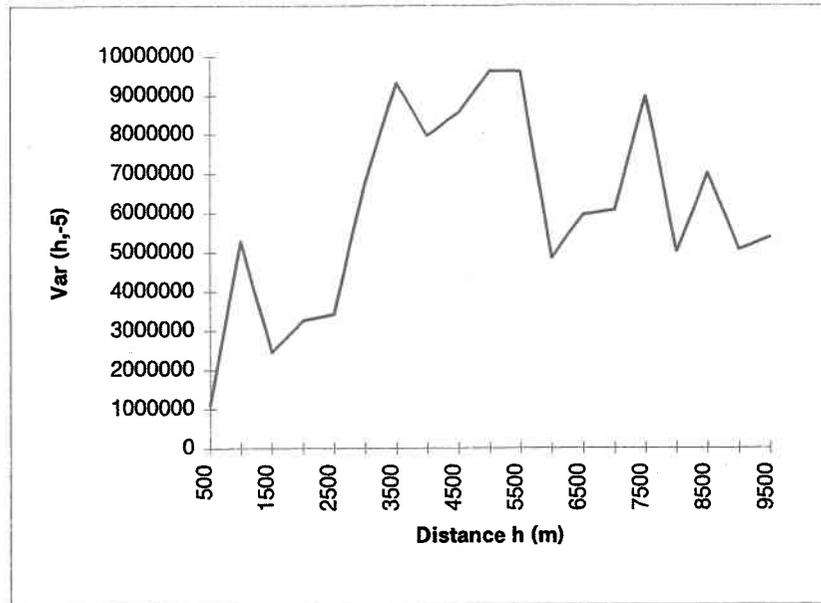


Figure A.5.3 : Variogrammes directionnels : Résistivité de l'aquifère

| h(m) | n   | Var(h,-5) |
|------|-----|-----------|
| 500  | 11  | 1097821   |
| 1000 | 24  | 5274942   |
| 1500 | 24  | 2449903   |
| 2000 | 45  | 3253104   |
| 2500 | 46  | 3417256   |
| 3000 | 37  | 6778980   |
| 3500 | 51  | 9315223   |
| 4000 | 50  | 7967967   |
| 4500 | 56  | 8565998   |
| 5000 | 68  | 9621164   |
| 5500 | 70  | 9602908   |
| 6000 | 68  | 4843648   |
| 6500 | 87  | 5948826   |
| 7000 | 91  | 6066840   |
| 7500 | 101 | 8972006   |
| 8000 | 89  | 5008695   |
| 8500 | 68  | 7002970   |
| 9000 | 93  | 5060288   |
| 9500 | 77  | 5372001   |



| h(m) | n   | Var(h,5) |
|------|-----|----------|
| 500  | 11  | 8613566  |
| 1000 | 22  | 14732100 |
| 1500 | 30  | 3014915  |
| 2000 | 32  | 6844797  |
| 2500 | 31  | 4361916  |
| 3000 | 38  | 3443323  |
| 3500 | 55  | 5569312  |
| 4000 | 54  | 5903842  |
| 4500 | 57  | 5118632  |
| 5000 | 68  | 6468094  |
| 5500 | 63  | 4747342  |
| 6000 | 69  | 3248361  |
| 6500 | 74  | 4926626  |
| 7000 | 84  | 5447447  |
| 7500 | 88  | 6993494  |
| 8000 | 91  | 4144729  |
| 8500 | 93  | 5857034  |
| 9000 | 90  | 4034460  |
| 9500 | 107 | 4906790  |

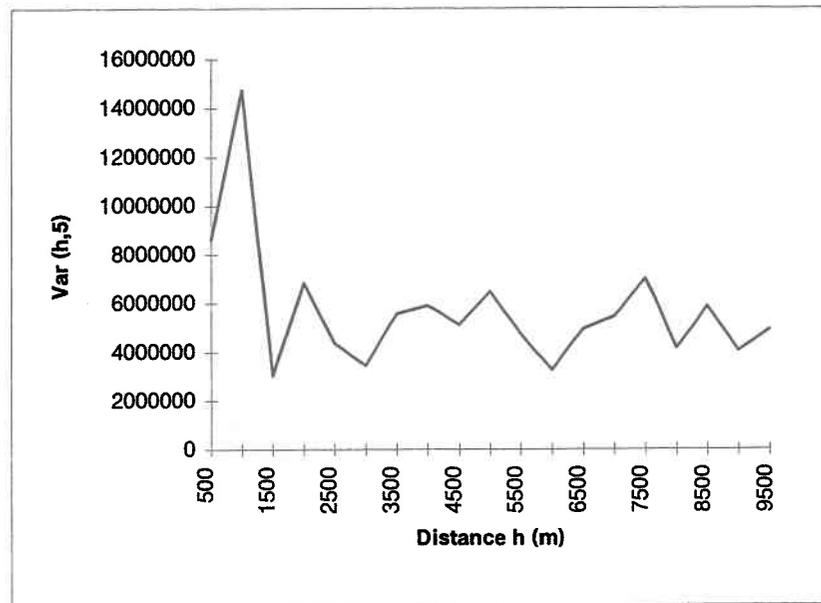
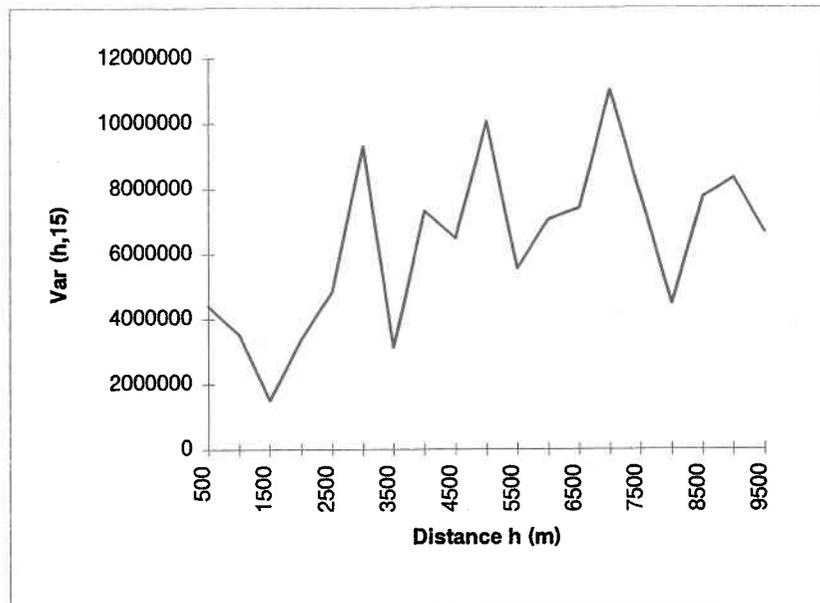


Figure A.5.3 : Variogrammes directionnels : Résistivité de l'aquifère

Annexe A.5.3

| h(m) | n   | Var(h,15) |
|------|-----|-----------|
| 500  | 14  | 4396030   |
| 1000 | 22  | 3536245   |
| 1500 | 26  | 1493485   |
| 2000 | 43  | 3374915   |
| 2500 | 29  | 4852178   |
| 3000 | 33  | 9301570   |
| 3500 | 43  | 3124938   |
| 4000 | 54  | 7323490   |
| 4500 | 52  | 6478438   |
| 5000 | 53  | 10060690  |
| 5500 | 61  | 5553638   |
| 6000 | 72  | 7053073   |
| 6500 | 72  | 7405144   |
| 7000 | 73  | 11022790  |
| 7500 | 83  | 7795722   |
| 8000 | 85  | 4472477   |
| 8500 | 103 | 7747944   |
| 9000 | 89  | 8324939   |
| 9500 | 104 | 6663598   |



| h(m) | n  | Var(h,25) |
|------|----|-----------|
| 500  | 10 | 10074540  |
| 1000 | 21 | 1705043   |
| 1500 | 34 | 5012128   |
| 2000 | 38 | 6437252   |
| 2500 | 33 | 3714070   |
| 3000 | 46 | 6408390   |
| 3500 | 49 | 5136776   |
| 4000 | 51 | 3565262   |
| 4500 | 49 | 5006176   |
| 5000 | 54 | 6510886   |
| 5500 | 63 | 2739282   |
| 6000 | 66 | 5068808   |
| 6500 | 71 | 8816118   |
| 7000 | 72 | 10234830  |
| 7500 | 84 | 6457701   |
| 8000 | 71 | 7111773   |
| 8500 | 88 | 7638062   |
| 9000 | 99 | 4506812   |
| 9500 | 88 | 3804187   |

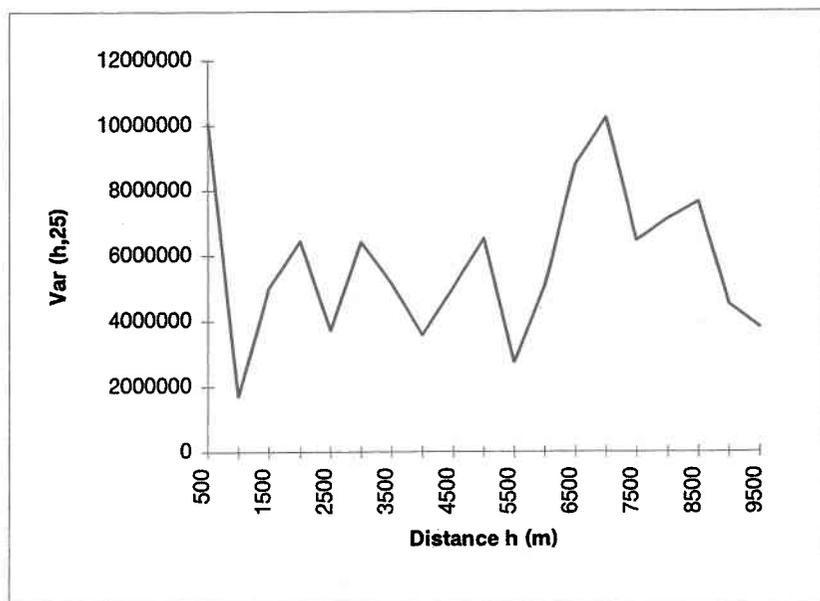
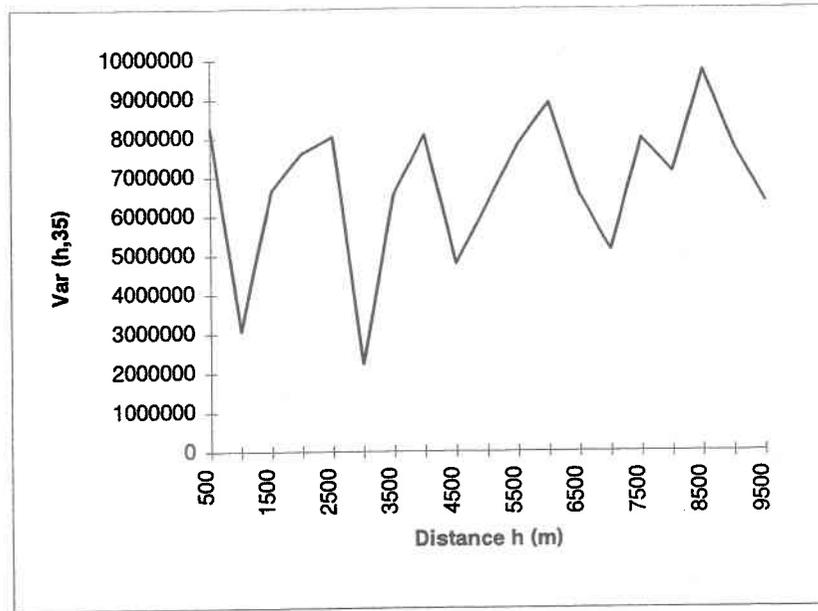


Figure A.5.3 : Variogrammes directionnels : Résistivité de l'aquifère

Annexe A.5.3

| h(m) | n   | Var(h,35) |
|------|-----|-----------|
| 500  | 18  | 8247846   |
| 1000 | 23  | 3057068   |
| 1500 | 18  | 6656248   |
| 2000 | 49  | 7607382   |
| 2500 | 39  | 8037959   |
| 3000 | 45  | 2230092   |
| 3500 | 61  | 6550362   |
| 4000 | 62  | 8085995   |
| 4500 | 58  | 4779416   |
| 5000 | 55  | 6282376   |
| 5500 | 81  | 7822574   |
| 6000 | 69  | 8901052   |
| 6500 | 89  | 6551906   |
| 7000 | 84  | 5132228   |
| 7500 | 86  | 7989118   |
| 8000 | 74  | 7121033   |
| 8500 | 82  | 9711784   |
| 9000 | 82  | 7766322   |
| 9500 | 106 | 6350792   |



| h(m) | n   | Var(h,45) |
|------|-----|-----------|
| 500  | 16  | 1282805   |
| 1000 | 27  | 5372468   |
| 1500 | 32  | 2664216   |
| 2000 | 25  | 4592318   |
| 2500 | 48  | 5118090   |
| 3000 | 51  | 2963181   |
| 3500 | 70  | 5054072   |
| 4000 | 65  | 4637282   |
| 4500 | 71  | 3561052   |
| 5000 | 87  | 6401632   |
| 5500 | 71  | 7249674   |
| 6000 | 71  | 3096581   |
| 6500 | 84  | 6435398   |
| 7000 | 98  | 7201288   |
| 7500 | 97  | 3930298   |
| 8000 | 94  | 4622254   |
| 8500 | 92  | 6459039   |
| 9000 | 107 | 4386580   |
| 9500 | 108 | 6713575   |

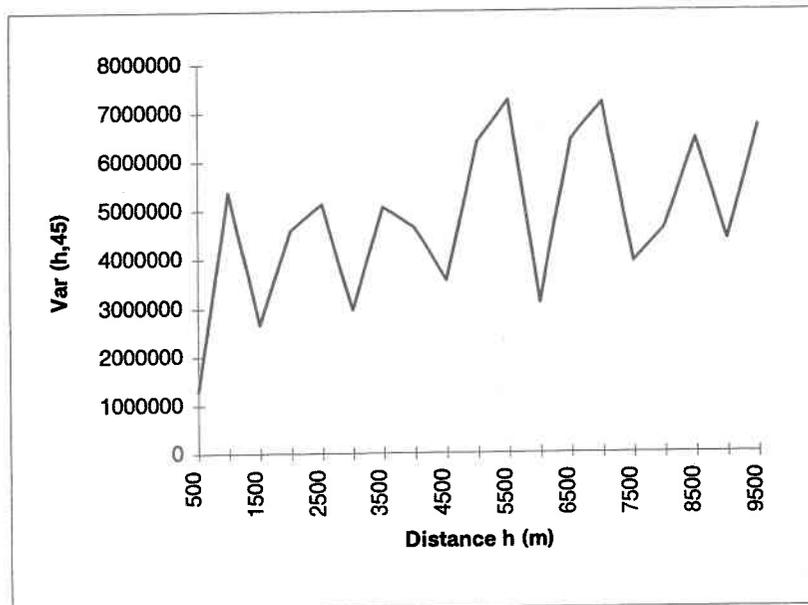
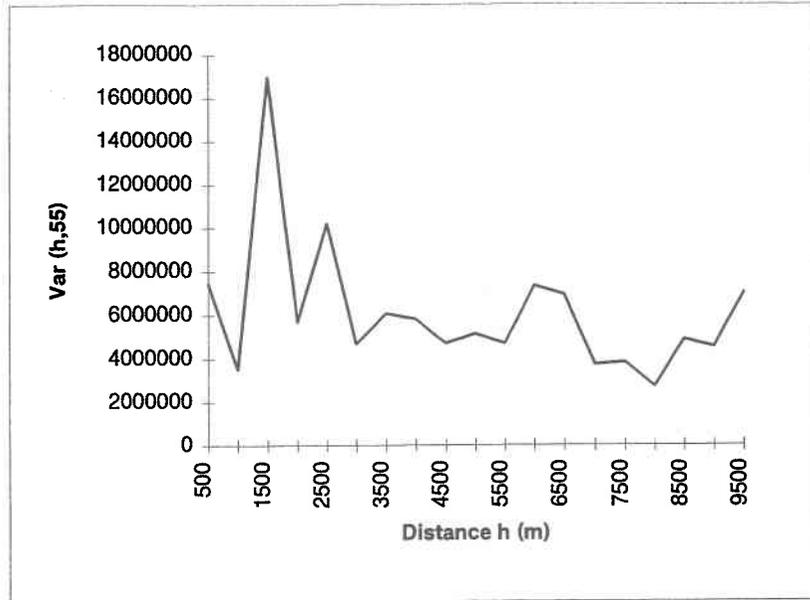


Figure A.5.3 : Variogrammes directionnels : Résistivité de l'aquifère

Annexe A.5.3

| h(m) | n   | Var(h,55) |
|------|-----|-----------|
| 500  | 16  | 7447632   |
| 1000 | 19  | 3513400   |
| 1500 | 26  | 16962770  |
| 2000 | 47  | 5682104   |
| 2500 | 46  | 10195430  |
| 3000 | 47  | 4685278   |
| 3500 | 50  | 6076723   |
| 4000 | 42  | 5796072   |
| 4500 | 58  | 4697270   |
| 5000 | 58  | 5119049   |
| 5500 | 70  | 4687622   |
| 6000 | 80  | 7332035   |
| 6500 | 78  | 6915928   |
| 7000 | 92  | 3711626   |
| 7500 | 82  | 3810976   |
| 8000 | 87  | 2707326   |
| 8500 | 81  | 4868322   |
| 9000 | 98  | 4525316   |
| 9500 | 114 | 6996933   |



| h(m) | n  | Var(h,65) |
|------|----|-----------|
| 500  | 9  | 5112444   |
| 1000 | 17 | 6609095   |
| 1500 | 28 | 4811518   |
| 2000 | 30 | 11368680  |
| 2500 | 43 | 4661624   |
| 3000 | 53 | 4547464   |
| 3500 | 59 | 4066614   |
| 4000 | 59 | 5313558   |
| 4500 | 63 | 6640014   |
| 5000 | 73 | 3851120   |
| 5500 | 65 | 8052891   |
| 6000 | 67 | 5641529   |
| 6500 | 66 | 5055577   |
| 7000 | 78 | 12249230  |
| 7500 | 92 | 9193835   |
| 8000 | 83 | 4478658   |
| 8500 | 88 | 5148626   |
| 9000 | 85 | 5941511   |
| 9500 | 95 | 7842150   |

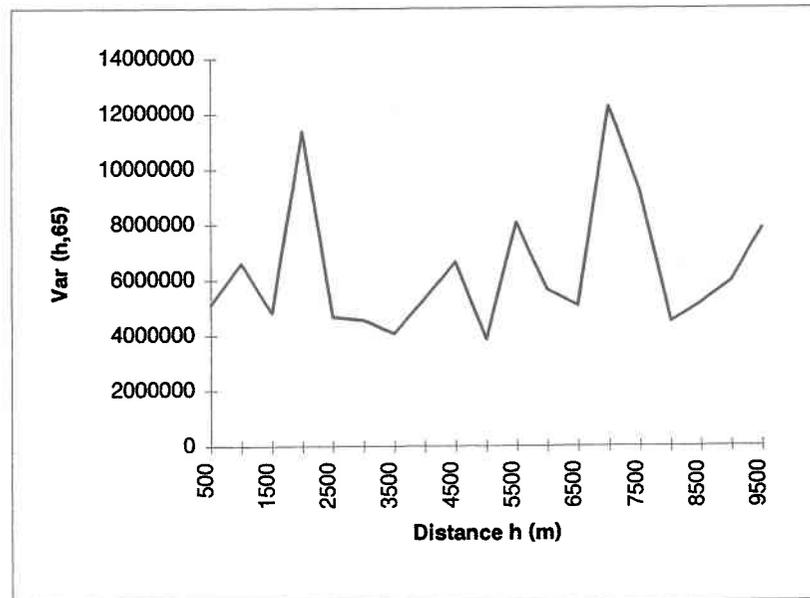
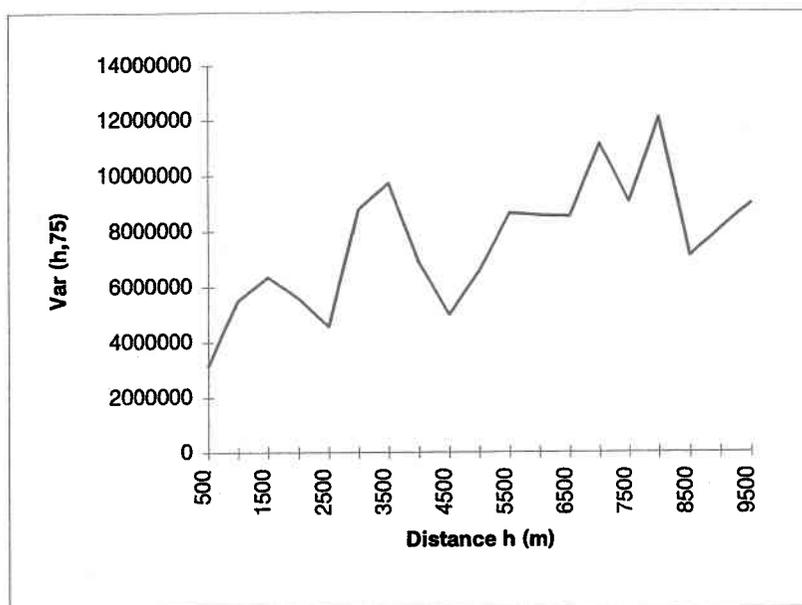


Figure A.5.3 : Variogrammes directionnels : Résistivité de l'aquifère

Annexe A.5.3

| h(m) | n   | Var(h,75) |
|------|-----|-----------|
| 500  | 20  | 3140779   |
| 1000 | 22  | 5482970   |
| 1500 | 26  | 6344231   |
| 2000 | 42  | 5562906   |
| 2500 | 57  | 4549639   |
| 3000 | 47  | 8794328   |
| 3500 | 60  | 9726860   |
| 4000 | 53  | 6870362   |
| 4500 | 62  | 4974270   |
| 5000 | 72  | 6560260   |
| 5500 | 57  | 8637546   |
| 6000 | 71  | 8560141   |
| 6500 | 68  | 8510172   |
| 7000 | 72  | 11128160  |
| 7500 | 75  | 9049000   |
| 8000 | 89  | 12074930  |
| 8500 | 95  | 7094498   |
| 9000 | 105 | 8061630   |
| 9500 | 93  | 8971287   |



| h(m) | n  | Var(h,85) |
|------|----|-----------|
| 500  | 12 | 2828236   |
| 1000 | 18 | 2166875   |
| 1500 | 30 | 7339510   |
| 2000 | 27 | 6019788   |
| 2500 | 33 | 7045832   |
| 3000 | 49 | 2989018   |
| 3500 | 40 | 6456704   |
| 4000 | 64 | 7211986   |
| 4500 | 47 | 6408038   |
| 5000 | 64 | 9256456   |
| 5500 | 57 | 10422350  |
| 6000 | 60 | 5810344   |
| 6500 | 62 | 6842426   |
| 7000 | 71 | 7006974   |
| 7500 | 84 | 10156340  |
| 8000 | 84 | 7186526   |
| 8500 | 83 | 7164646   |
| 9000 | 81 | 10312170  |
| 9500 | 86 | 5283904   |

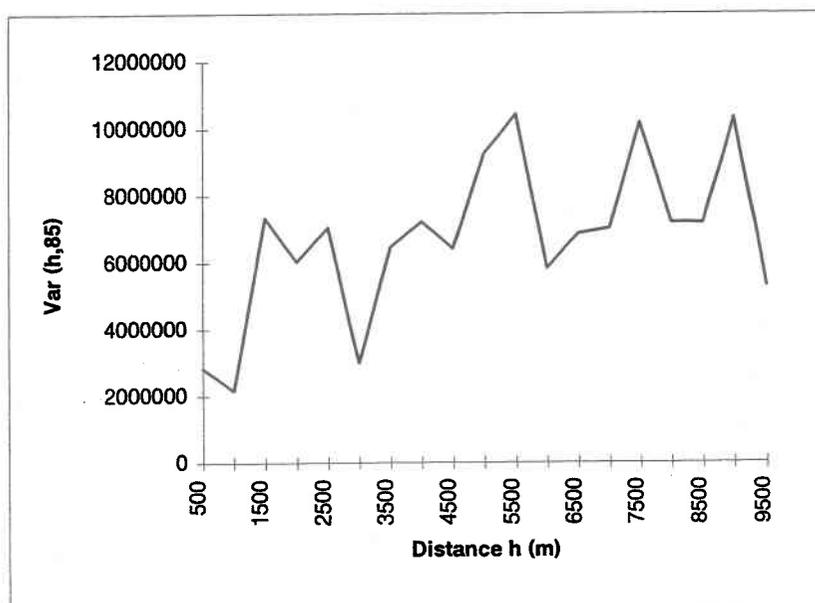
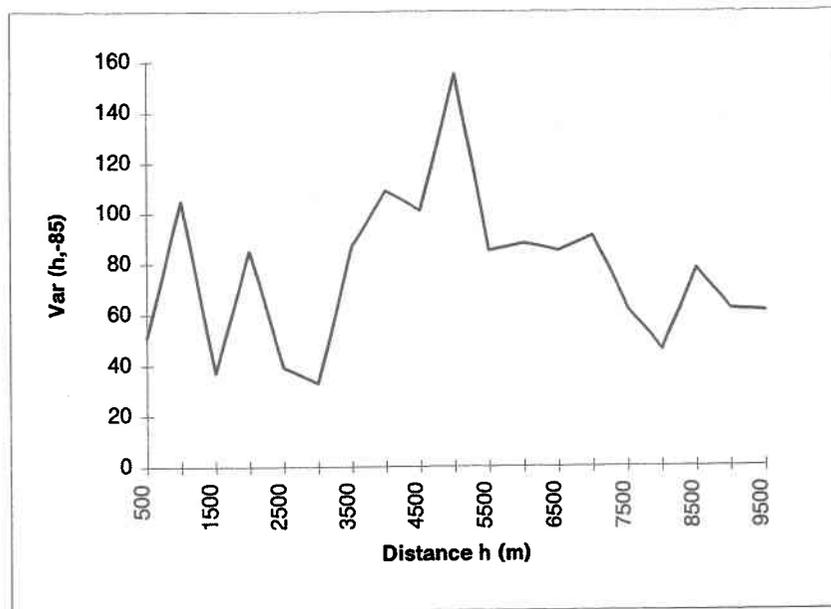


Figure A.5.3 : Variogrammes directionnels : Résistivité de l'aquifère

Annexe A.5.4

| h (m) | n   | Var(h,-85) |
|-------|-----|------------|
| 500   | 90  | 51         |
| 1000  | 98  | 105        |
| 1500  | 141 | 37         |
| 2000  | 175 | 85         |
| 2500  | 195 | 39         |
| 3000  | 194 | 33         |
| 3500  | 242 | 87         |
| 4000  | 220 | 109        |
| 4500  | 292 | 101        |
| 5000  | 322 | 155        |
| 5500  | 252 | 85         |
| 6000  | 281 | 88         |
| 6500  | 345 | 85         |
| 7000  | 296 | 91         |
| 7500  | 487 | 62         |
| 8000  | 390 | 46         |
| 8500  | 421 | 78         |
| 9000  | 402 | 62         |
| 9500  | 427 | 61         |



| h (m) | n   | Var(h,-75) |
|-------|-----|------------|
| 500   | 86  | 102        |
| 1000  | 94  | 62         |
| 1500  | 97  | 41         |
| 2000  | 115 | 42         |
| 2500  | 161 | 37         |
| 3000  | 171 | 62         |
| 3500  | 262 | 103        |
| 4000  | 194 | 111        |
| 4500  | 278 | 134        |
| 5000  | 297 | 88         |
| 5500  | 306 | 88         |
| 6000  | 395 | 56         |
| 6500  | 319 | 70         |
| 7000  | 374 | 74         |
| 7500  | 389 | 54         |
| 8000  | 416 | 62         |
| 8500  | 390 | 60         |
| 9000  | 451 | 64         |
| 9500  | 423 | 59         |

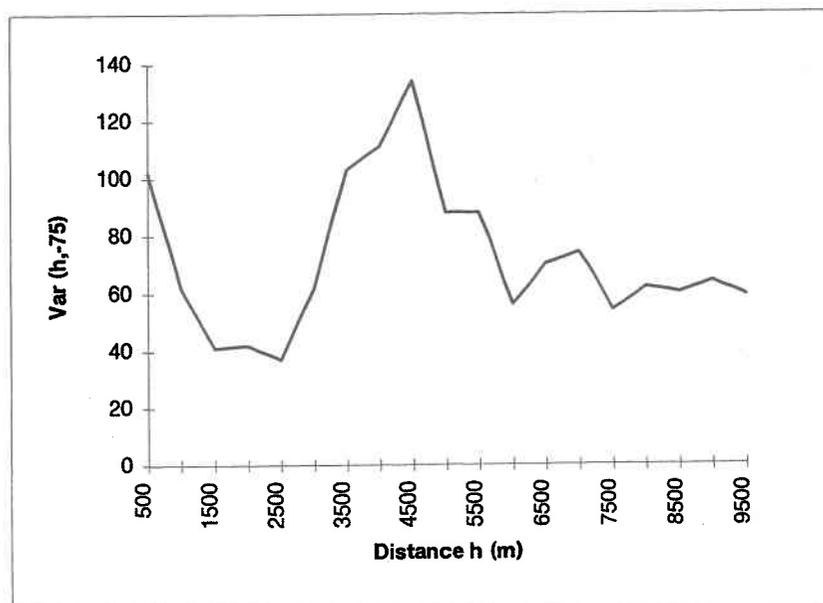
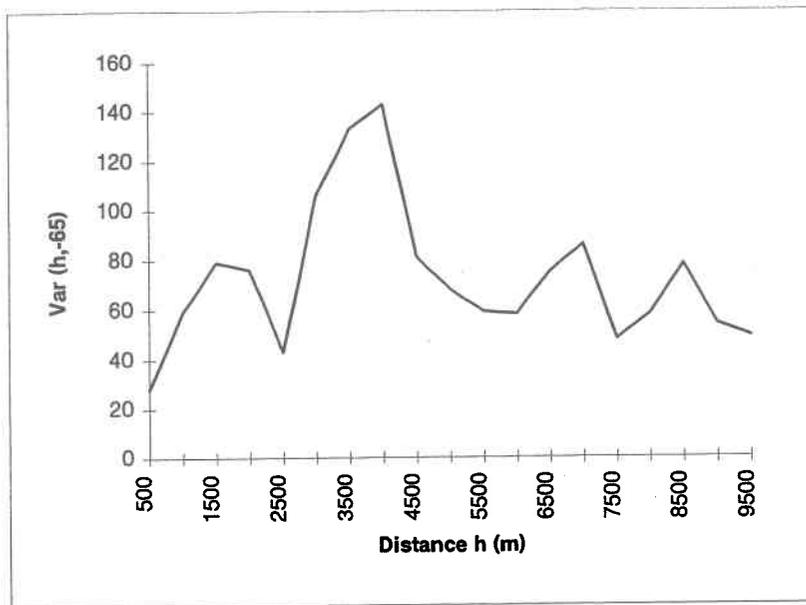


Figure A.5.4 : Variogrammes directionnels : Épaisseur d'argile, forages

Annexe A.5.4

| h (m) | n   | Var(h,-65) |
|-------|-----|------------|
| 500   | 72  | 28         |
| 1000  | 97  | 59         |
| 1500  | 115 | 79         |
| 2000  | 146 | 76         |
| 2500  | 153 | 43         |
| 3000  | 173 | 106        |
| 3500  | 222 | 133        |
| 4000  | 206 | 143        |
| 4500  | 212 | 81         |
| 5000  | 254 | 68         |
| 5500  | 193 | 59         |
| 6000  | 252 | 58         |
| 6500  | 338 | 75         |
| 7000  | 319 | 86         |
| 7500  | 379 | 48         |
| 8000  | 395 | 58         |
| 8500  | 444 | 78         |
| 9000  | 437 | 54         |
| 9500  | 484 | 49         |



| h(m) | n   | Var(h,-55) |
|------|-----|------------|
| 500  | 113 | 31         |
| 1000 | 110 | 90         |
| 1500 | 133 | 68         |
| 2000 | 135 | 139        |
| 2500 | 136 | 38         |
| 3000 | 207 | 154        |
| 3500 | 195 | 109        |
| 4000 | 205 | 147        |
| 4500 | 253 | 59         |
| 5000 | 258 | 52         |
| 5500 | 260 | 52         |
| 6000 | 239 | 70         |
| 6500 | 246 | 47         |
| 7000 | 302 | 51         |
| 7500 | 289 | 42         |
| 8000 | 292 | 66         |
| 8500 | 325 | 63         |
| 9000 | 383 | 61         |
| 9500 | 514 | 42         |

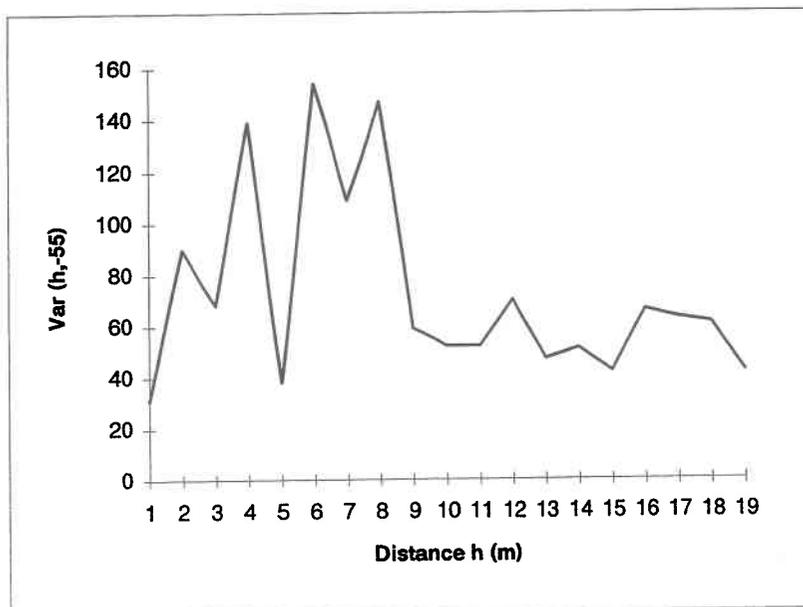
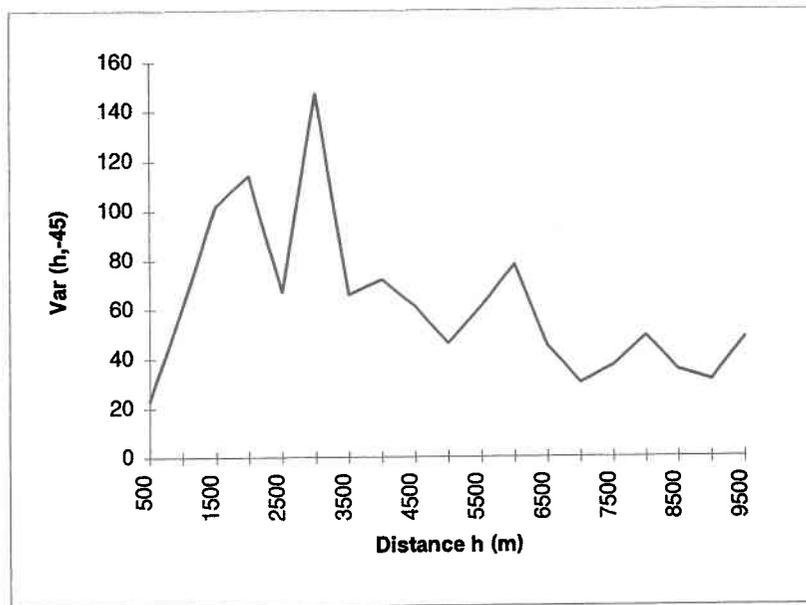


Figure A.5.4 : Variogrammes directionnels : Épaisseur d'argile, forages

Annexe A.5.4

| h(m) | n   | Var(h,-45) |
|------|-----|------------|
| 500  | 130 | 23         |
| 1000 | 157 | 61         |
| 1500 | 187 | 102        |
| 2000 | 211 | 114        |
| 2500 | 199 | 67         |
| 3000 | 247 | 147        |
| 3500 | 258 | 66         |
| 4000 | 239 | 72         |
| 4500 | 245 | 61         |
| 5000 | 292 | 46         |
| 5500 | 282 | 61         |
| 6000 | 303 | 78         |
| 6500 | 254 | 45         |
| 7000 | 338 | 30         |
| 7500 | 336 | 37         |
| 8000 | 275 | 49         |
| 8500 | 262 | 35         |
| 9000 | 277 | 31         |
| 9500 | 316 | 48         |



| h(m) | n   | Var(h,-35) |
|------|-----|------------|
| 500  | 115 | 40         |
| 1000 | 159 | 59         |
| 1500 | 182 | 59         |
| 2000 | 200 | 136        |
| 2500 | 208 | 113        |
| 3000 | 286 | 190        |
| 3500 | 269 | 100        |
| 4000 | 290 | 75         |
| 4500 | 253 | 158        |
| 5000 | 276 | 65         |
| 5500 | 323 | 79         |
| 6000 | 411 | 60         |
| 6500 | 389 | 42         |
| 7000 | 406 | 56         |
| 7500 | 392 | 45         |
| 8000 | 395 | 61         |
| 8500 | 403 | 76         |
| 9000 | 456 | 36         |
| 9500 | 504 | 34         |

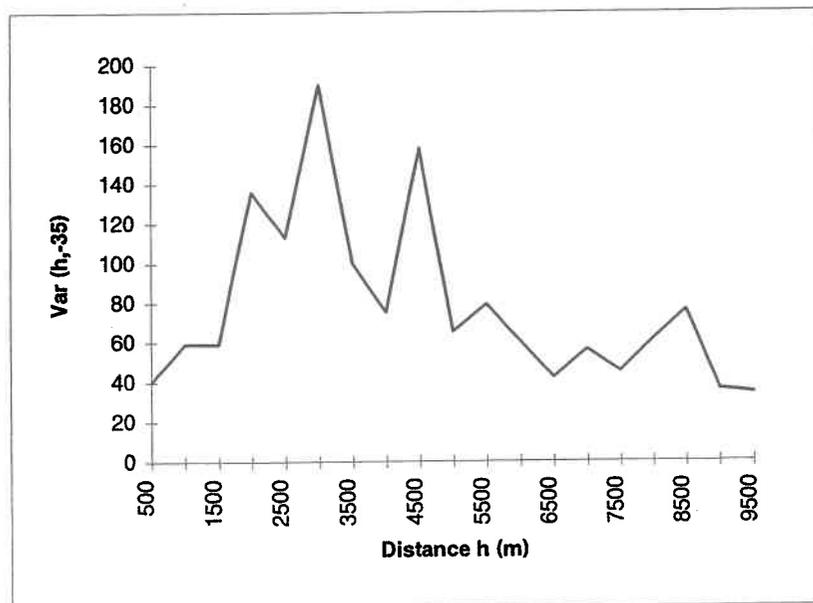
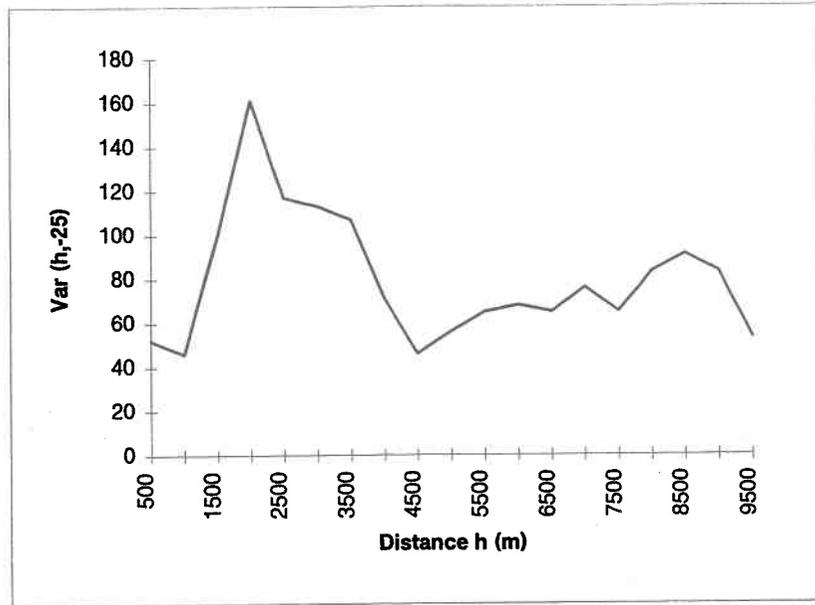


Figure A.5.4 : Variogrammes directionnels : Épaisseur d'argile, forages

Annexe A.5.4

| h(m) | n   | Var(h,-25) |
|------|-----|------------|
| 500  | 122 | 52         |
| 1000 | 156 | 46         |
| 1500 | 159 | 100        |
| 2000 | 173 | 161        |
| 2500 | 249 | 117        |
| 3000 | 257 | 113        |
| 3500 | 230 | 107        |
| 4000 | 210 | 71         |
| 4500 | 282 | 46         |
| 5000 | 250 | 56         |
| 5500 | 280 | 65         |
| 6000 | 348 | 68         |
| 6500 | 333 | 65         |
| 7000 | 385 | 76         |
| 7500 | 385 | 65         |
| 8000 | 365 | 83         |
| 8500 | 308 | 91         |
| 9000 | 344 | 83         |
| 9500 | 448 | 53         |



| h(m) | n   | Var(h,-15) |
|------|-----|------------|
| 500  | 103 | 43         |
| 1000 | 139 | 57         |
| 1500 | 168 | 118        |
| 2000 | 192 | 76         |
| 2500 | 222 | 82         |
| 3000 | 188 | 80         |
| 3500 | 206 | 152        |
| 4000 | 247 | 90         |
| 4500 | 289 | 106        |
| 5000 | 299 | 90         |
| 5500 | 243 | 87         |
| 6000 | 332 | 122        |
| 6500 | 375 | 109        |
| 7000 | 341 | 79         |
| 7500 | 339 | 101        |
| 8000 | 352 | 74         |
| 8500 | 336 | 119        |
| 9000 | 358 | 90         |
| 9500 | 401 | 85         |

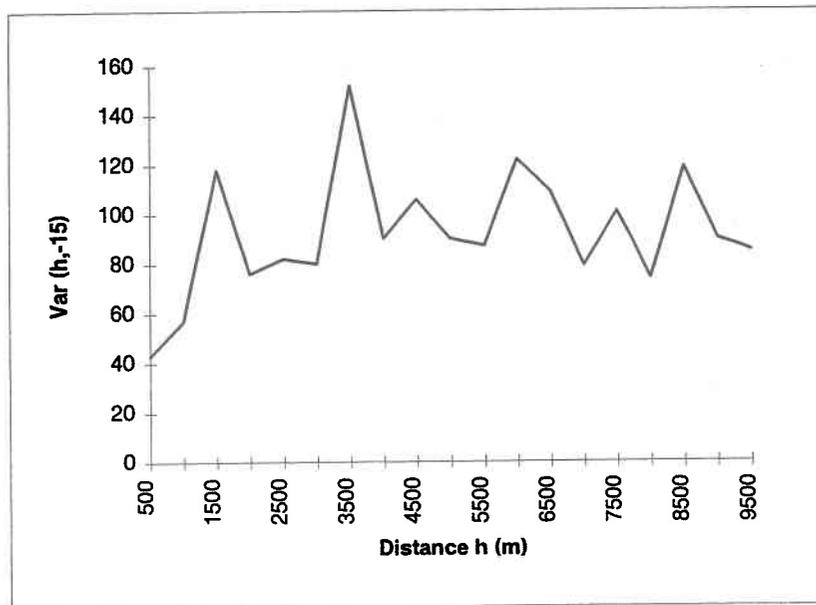
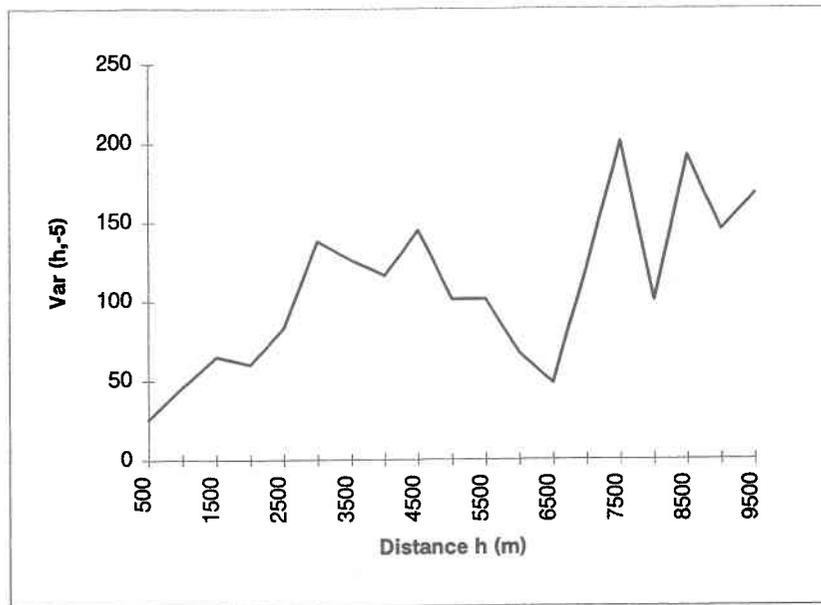


Figure A.5.4 : Variogrammes directionnels : Épaisseur d'argile, forages

Annexe A.5.4

| h(m) | n   | Var(h,-5) |
|------|-----|-----------|
| 500  | 81  | 26        |
| 1000 | 122 | 46        |
| 1500 | 142 | 65        |
| 2000 | 163 | 60        |
| 2500 | 160 | 83        |
| 3000 | 206 | 138       |
| 3500 | 219 | 126       |
| 4000 | 269 | 116       |
| 4500 | 272 | 145       |
| 5000 | 294 | 101       |
| 5500 | 300 | 101       |
| 6000 | 334 | 67        |
| 6500 | 280 | 48        |
| 7000 | 356 | 121       |
| 7500 | 376 | 201       |
| 8000 | 439 | 100       |
| 8500 | 418 | 192       |
| 9000 | 489 | 145       |
| 9500 | 428 | 168       |



| h(m) | n   | Var(h,5) |
|------|-----|----------|
| 500  | 127 | 16       |
| 1000 | 161 | 47       |
| 1500 | 178 | 55       |
| 2000 | 193 | 44       |
| 2500 | 258 | 65       |
| 3000 | 250 | 81       |
| 3500 | 288 | 92       |
| 4000 | 317 | 109      |
| 4500 | 298 | 126      |
| 5000 | 293 | 70       |
| 5500 | 304 | 73       |
| 6000 | 380 | 83       |
| 6500 | 426 | 75       |
| 7000 | 469 | 76       |
| 7500 | 503 | 143      |
| 8000 | 457 | 122      |
| 8500 | 522 | 94       |
| 9000 | 517 | 114      |
| 9500 | 453 | 126      |

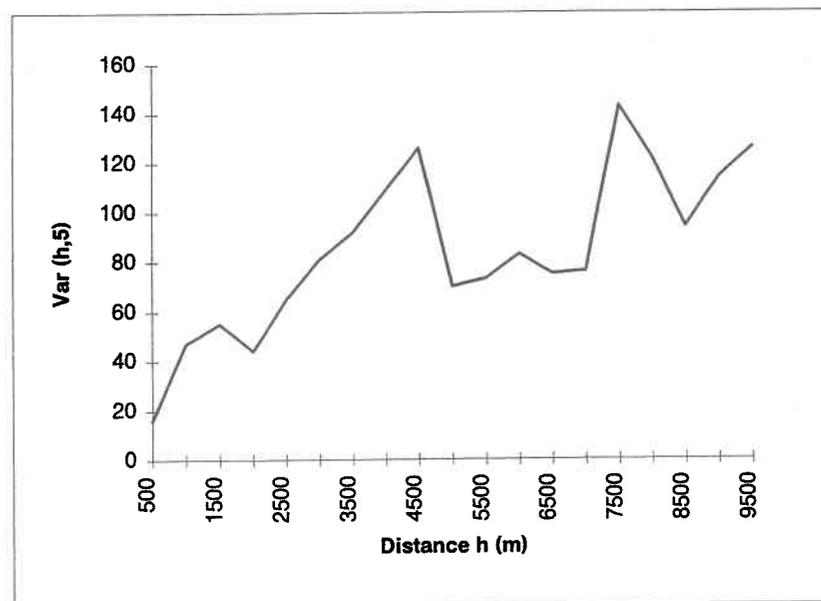
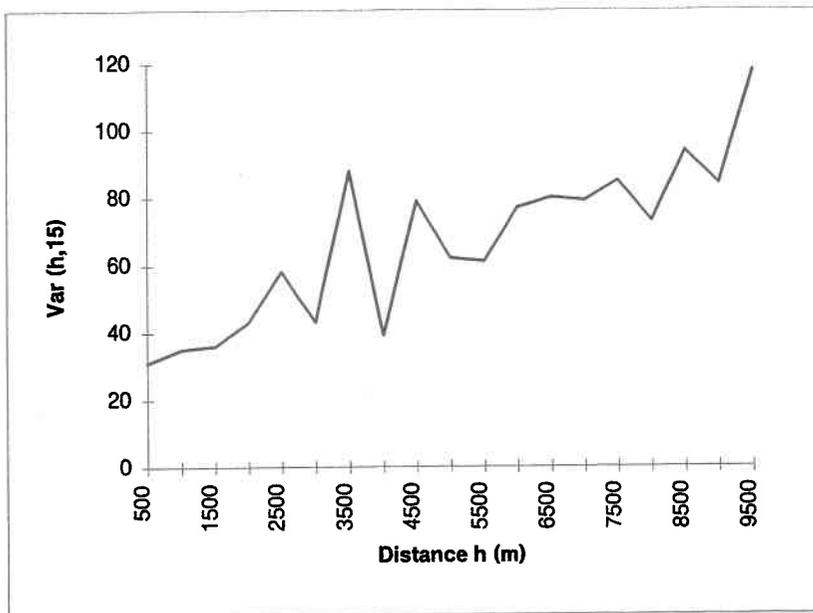


Figure A.5.4 : Variogrammes directionnels : Épaisseur d'argile, forages

Annexe A.5.4

| h(m) | n   | Var(h,15) |
|------|-----|-----------|
| 500  | 111 | 31        |
| 1000 | 119 | 35        |
| 1500 | 165 | 36        |
| 2000 | 219 | 43        |
| 2500 | 245 | 58        |
| 3000 | 266 | 43        |
| 3500 | 287 | 88        |
| 4000 | 264 | 39        |
| 4500 | 338 | 79        |
| 5000 | 308 | 62        |
| 5500 | 376 | 61        |
| 6000 | 355 | 77        |
| 6500 | 398 | 80        |
| 7000 | 418 | 79        |
| 7500 | 515 | 85        |
| 8000 | 585 | 73        |
| 8500 | 485 | 94        |
| 9000 | 411 | 84        |
| 9500 | 404 | 118       |



| h(m) | n   | Var(h,25) |
|------|-----|-----------|
| 500  | 83  | 18        |
| 1000 | 114 | 41        |
| 1500 | 96  | 30        |
| 2000 | 138 | 50        |
| 2500 | 154 | 44        |
| 3000 | 217 | 69        |
| 3500 | 250 | 78        |
| 4000 | 352 | 38        |
| 4500 | 307 | 53        |
| 5000 | 417 | 65        |
| 5500 | 407 | 62        |
| 6000 | 444 | 75        |
| 6500 | 472 | 60        |
| 7000 | 422 | 75        |
| 7500 | 435 | 64        |
| 8000 | 369 | 86        |
| 8500 | 372 | 69        |
| 9000 | 411 | 79        |
| 9500 | 448 | 86        |

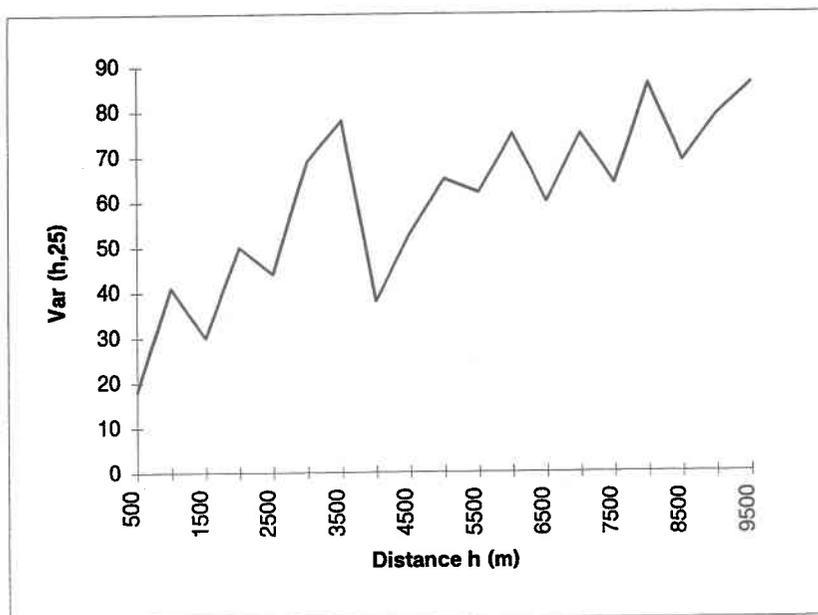
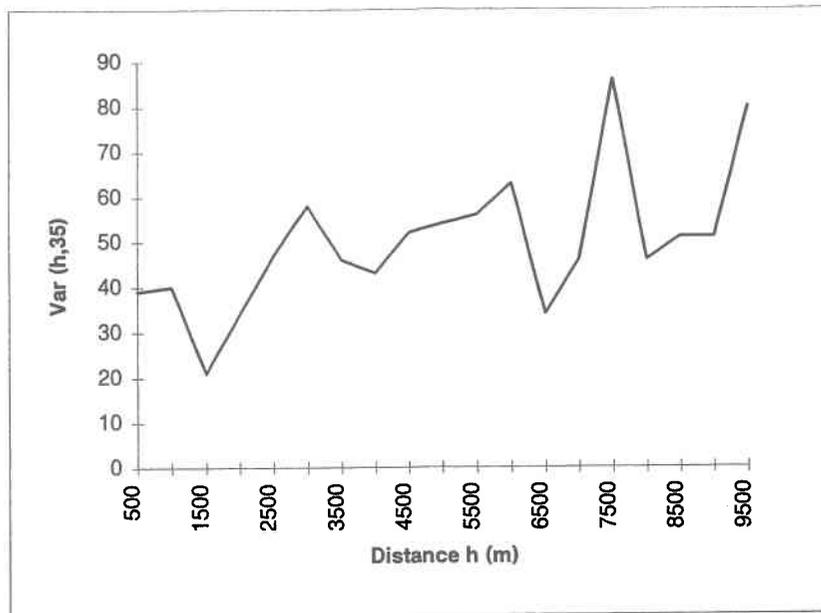


Figure A.5.4 : Variogrammes directionnels : Épaisseur d'argile, forages

Annexe A.5.4

| h(m) | n   | Var(h,35) |
|------|-----|-----------|
| 500  | 116 | 39        |
| 1000 | 113 | 40        |
| 1500 | 143 | 21        |
| 2000 | 146 | 34        |
| 2500 | 196 | 47        |
| 3000 | 188 | 58        |
| 3500 | 327 | 46        |
| 4000 | 295 | 43        |
| 4500 | 371 | 52        |
| 5000 | 409 | 54        |
| 5500 | 442 | 56        |
| 6000 | 469 | 63        |
| 6500 | 584 | 34        |
| 7000 | 514 | 46        |
| 7500 | 442 | 86        |
| 8000 | 446 | 46        |
| 8500 | 505 | 51        |
| 9000 | 507 | 51        |
| 9500 | 471 | 80        |



| h(m) | n   | Var(h,45) |
|------|-----|-----------|
| 500  | 103 | 49        |
| 1000 | 120 | 29        |
| 1500 | 155 | 34        |
| 2000 | 200 | 56        |
| 2500 | 252 | 43        |
| 3000 | 226 | 52        |
| 3500 | 338 | 41        |
| 4000 | 292 | 35        |
| 4500 | 332 | 34        |
| 5000 | 318 | 47        |
| 5500 | 458 | 46        |
| 6000 | 492 | 62        |
| 6500 | 394 | 65        |
| 7000 | 417 | 34        |
| 7500 | 471 | 52        |
| 8000 | 495 | 48        |
| 8500 | 622 | 63        |
| 9000 | 553 | 74        |
| 9500 | 623 | 99        |

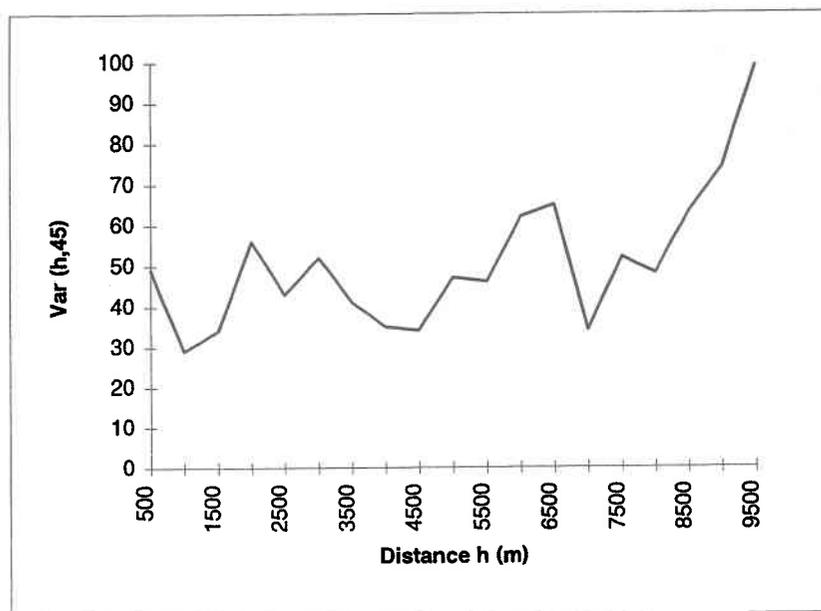
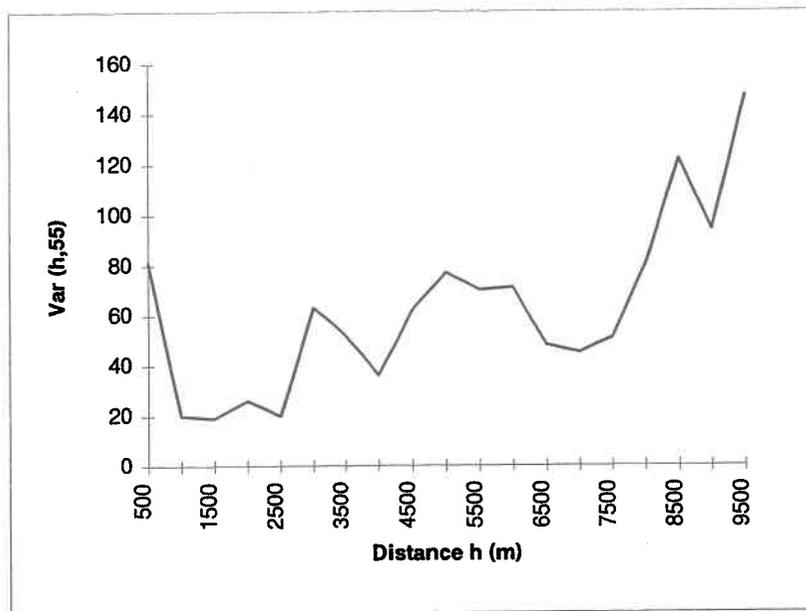


Figure A.5.4 : Variogrammes directionnels : Épaisseur d'argile, forages

Annexe A.5.4

| h(m) | n   | Var(h,55) |
|------|-----|-----------|
| 500  | 110 | 81        |
| 1000 | 121 | 20        |
| 1500 | 165 | 19        |
| 2000 | 191 | 26        |
| 2500 | 263 | 20        |
| 3000 | 277 | 63        |
| 3500 | 334 | 52        |
| 4000 | 278 | 36        |
| 4500 | 337 | 62        |
| 5000 | 332 | 77        |
| 5500 | 480 | 70        |
| 6000 | 373 | 71        |
| 6500 | 416 | 48        |
| 7000 | 361 | 45        |
| 7500 | 407 | 51        |
| 8000 | 507 | 80        |
| 8500 | 505 | 122       |
| 9000 | 537 | 94        |
| 9500 | 575 | 147       |



| h(m) | n   | Var(h,65) |
|------|-----|-----------|
| 500  | 71  | 28        |
| 1000 | 119 | 41        |
| 1500 | 107 | 31        |
| 2000 | 186 | 41        |
| 2500 | 246 | 39        |
| 3000 | 306 | 40        |
| 3500 | 328 | 38        |
| 4000 | 379 | 71        |
| 4500 | 281 | 88        |
| 5000 | 290 | 59        |
| 5500 | 484 | 61        |
| 6000 | 440 | 42        |
| 6500 | 404 | 35        |
| 7000 | 279 | 69        |
| 7500 | 322 | 95        |
| 8000 | 333 | 72        |
| 8500 | 387 | 104       |
| 9000 | 437 | 125       |
| 9500 | 557 | 146       |

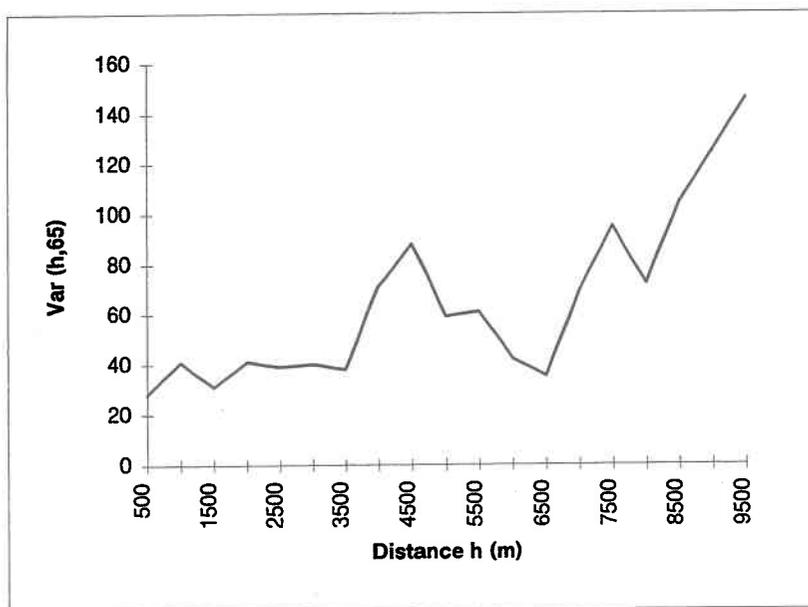
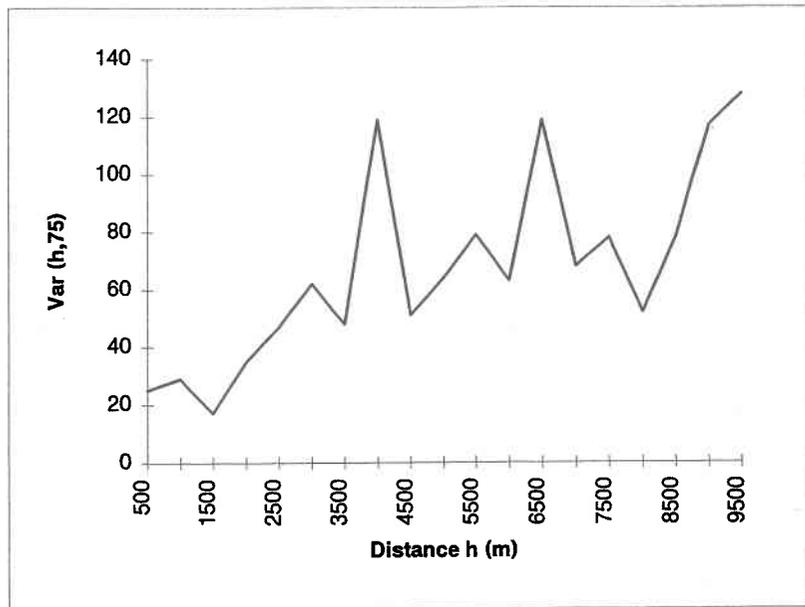


Figure A.5.4 : Variogrammes directionnels : Épaisseur d'argile. forages

Annexe A.5.4

| h(m) | n   | Var(h,75) |
|------|-----|-----------|
| 500  | 86  | 25        |
| 1000 | 115 | 29        |
| 1500 | 115 | 17        |
| 2000 | 169 | 35        |
| 2500 | 223 | 47        |
| 3000 | 250 | 62        |
| 3500 | 257 | 48        |
| 4000 | 304 | 119       |
| 4500 | 283 | 51        |
| 5000 | 319 | 64        |
| 5500 | 343 | 79        |
| 6000 | 432 | 63        |
| 6500 | 360 | 119       |
| 7000 | 370 | 68        |
| 7500 | 309 | 78        |
| 8000 | 430 | 52        |
| 8500 | 434 | 78        |
| 9000 | 404 | 117       |
| 9500 | 452 | 128       |



| h(m) | n   | Var(h,85) |
|------|-----|-----------|
| 500  | 49  | 36        |
| 1000 | 102 | 50        |
| 1500 | 125 | 36        |
| 2000 | 140 | 97        |
| 2500 | 242 | 26        |
| 3000 | 254 | 37        |
| 3500 | 241 | 68        |
| 4000 | 243 | 157       |
| 4500 | 292 | 142       |
| 5000 | 393 | 68        |
| 5500 | 267 | 79        |
| 6000 | 343 | 159       |
| 6500 | 325 | 181       |
| 7000 | 350 | 105       |
| 7500 | 383 | 115       |
| 8000 | 369 | 69        |
| 8500 | 383 | 50        |
| 9000 | 384 | 77        |
| 9500 | 435 | 89        |

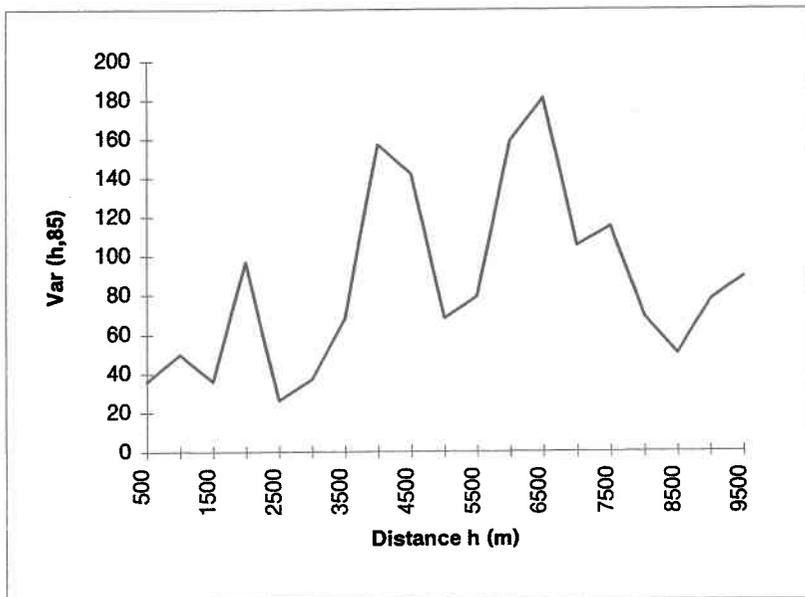
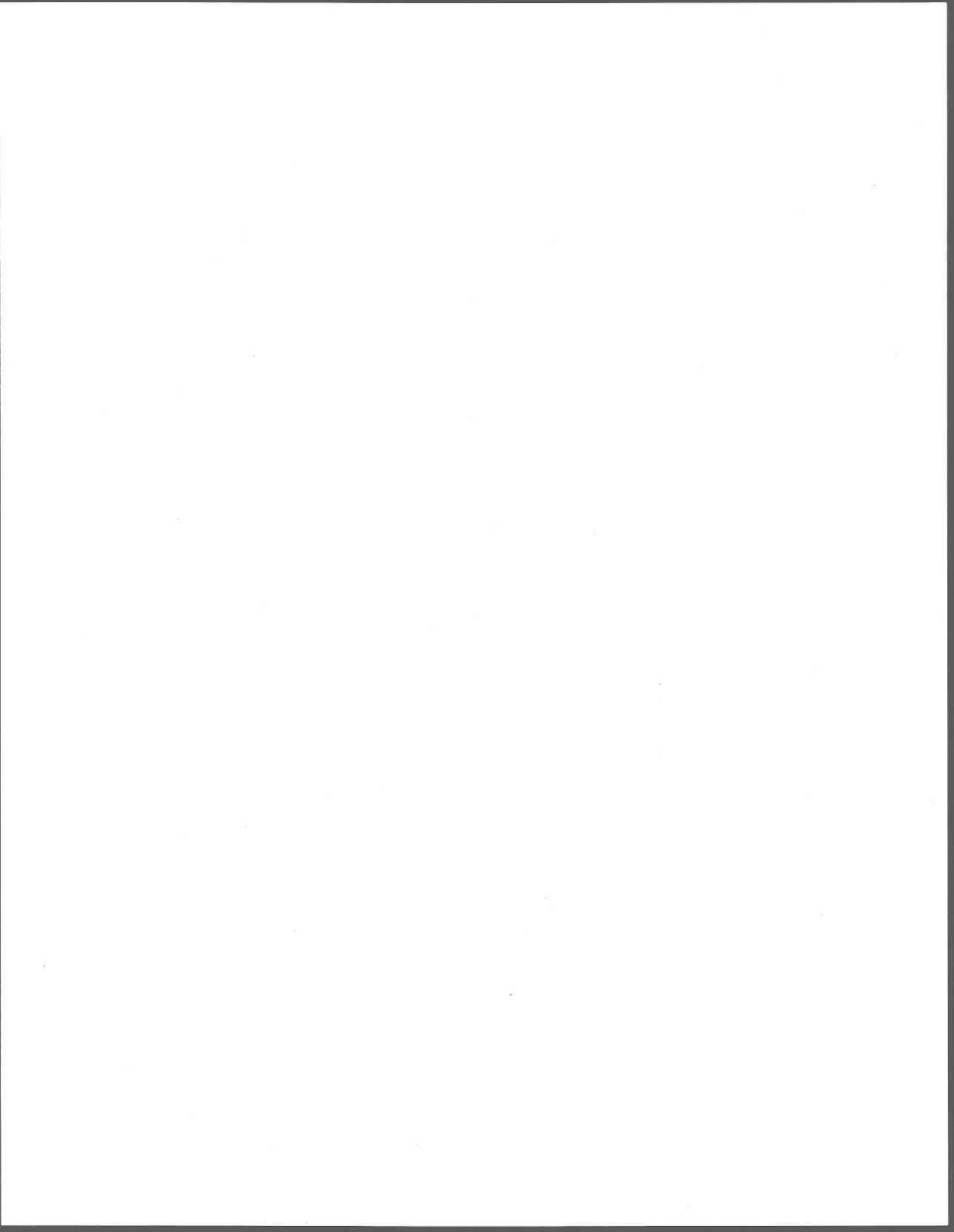


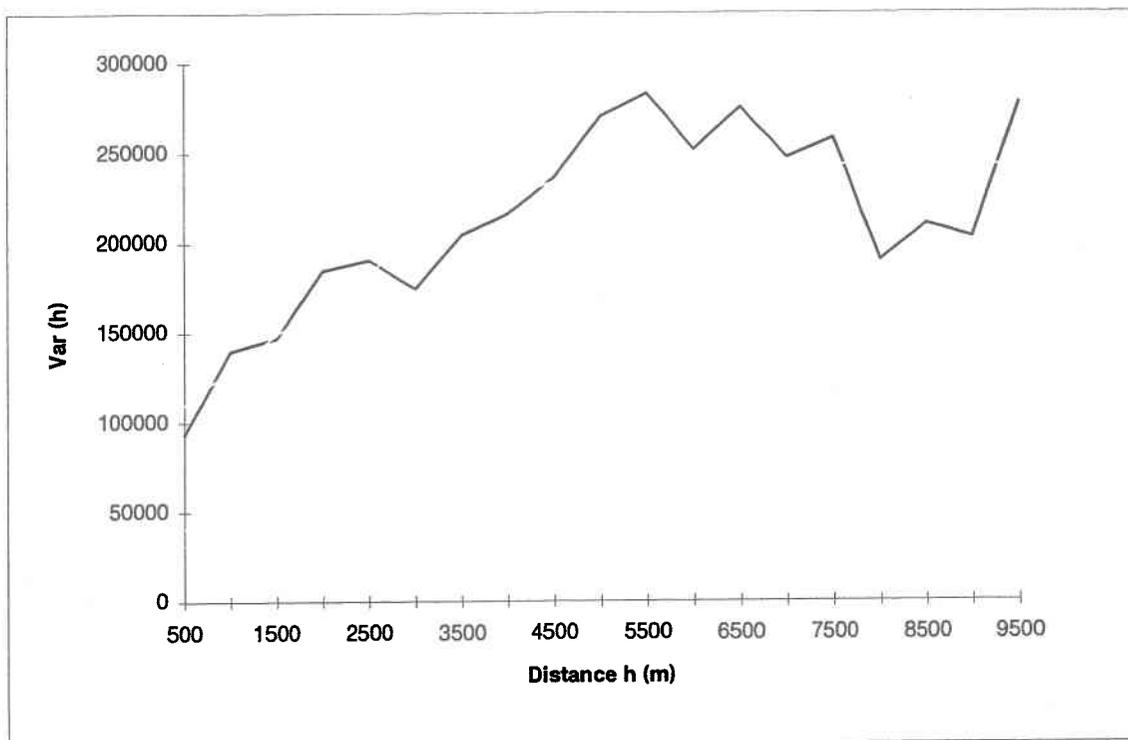
Figure A.5.4 : Variogrammes directionnels : Épaisseur d'argile, forages

## **ANNEXE A.6**

### **Variogrammes omnidirectionnels**



Annexe A.6



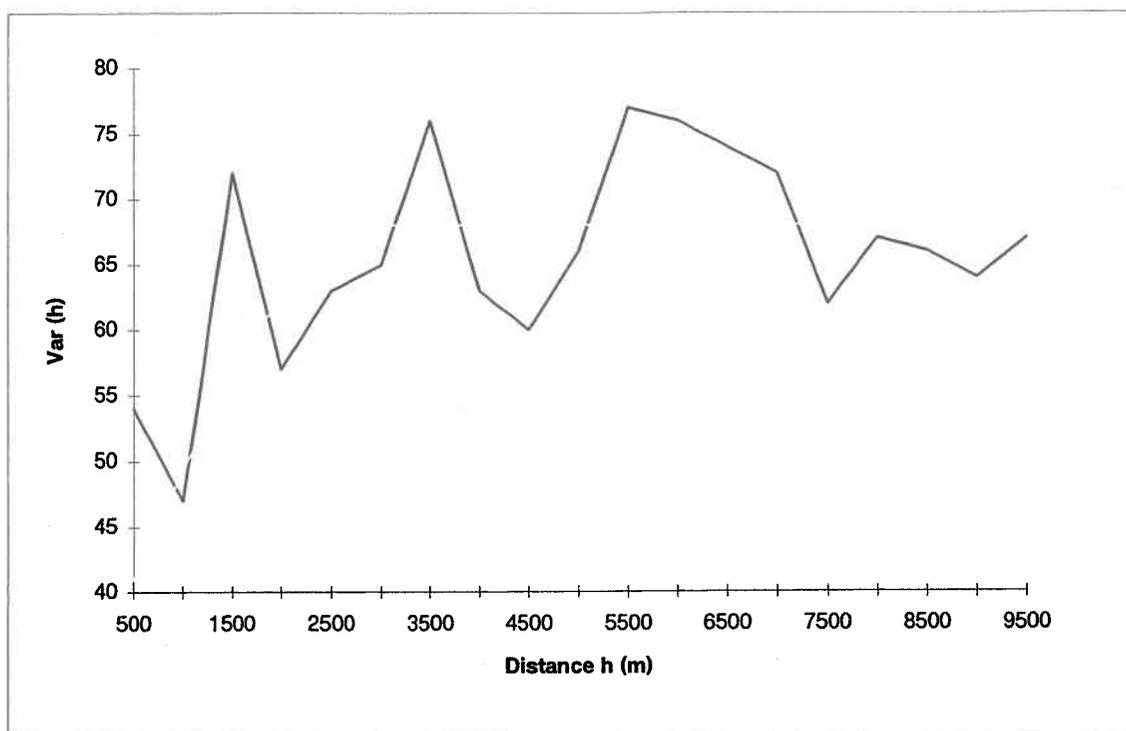
| h(m) | n    | Var(h) | Modèle | Erreur <sup>2</sup> |
|------|------|--------|--------|---------------------|
| 500  | 223  | 93186  | 109757 | 274588635           |
| 1000 | 347  | 139638 | 129695 | 98856839            |
| 1500 | 462  | 146914 | 148998 | 4341841             |
| 2000 | 598  | 184691 | 167346 | 300857196           |
| 2500 | 680  | 190610 | 184421 | 38299013            |
| 3000 | 755  | 174628 | 199906 | 638999842           |
| 3500 | 836  | 204148 | 213483 | 87139459            |
| 4000 | 905  | 215794 | 224832 | 81694254            |
| 4500 | 941  | 235778 | 233637 | 4582842             |
| 5000 | 1025 | 269568 | 239579 | 899339658           |
| 5500 | 1136 | 282574 | 242340 | 1618801106          |
| 6000 | 1165 | 251457 | 242500 | 80227849            |
| 6500 | 1239 | 274651 | 242500 | 1033686801          |
| 7000 | 1306 | 247028 | 242500 | 20502784            |
| 7500 | 1366 | 257658 | 242500 | 229764964           |
| 8000 | 1308 | 189888 | 242500 | 2768022544          |
| 8500 | 1362 | 209879 | 242500 | 1064129641          |
| 9000 | 1374 | 202550 | 242500 | 1596002500          |
| 9500 | 1393 | 277102 | 242500 | 1197298404          |

C            153000  
 Co          89500  
 a            5650

25170

Figure A.6 : Variogrammes omnidirectionnels

Annexe A.6



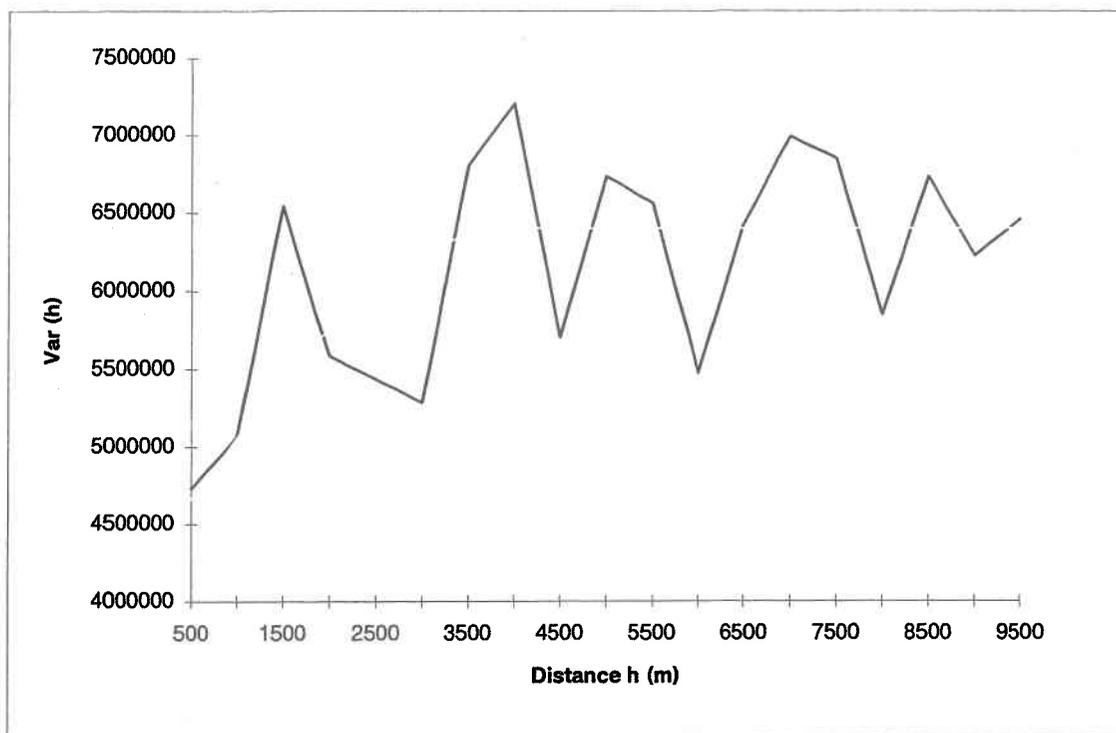
| h(m) | n    | Var(h) | Modèle | Erreur <sup>2</sup> |
|------|------|--------|--------|---------------------|
| 500  | 246  | 54     | 41     | 171                 |
| 1000 | 370  | 47     | 49     | 5                   |
| 1500 | 499  | 72     | 57     | 233                 |
| 2000 | 637  | 57     | 63     | 32                  |
| 2500 | 728  | 63     | 67     | 13                  |
| 3000 | 804  | 65     | 68     | 9                   |
| 3500 | 888  | 76     | 68     | 64                  |
| 4000 | 956  | 63     | 68     | 25                  |
| 4500 | 995  | 60     | 68     | 64                  |
| 5000 | 1094 | 66     | 68     | 4                   |
| 5500 | 1212 | 77     | 68     | 81                  |
| 6000 | 1245 | 76     | 68     | 64                  |
| 6500 | 1318 | 74     | 68     | 36                  |
| 7000 | 1395 | 72     | 68     | 16                  |
| 7500 | 1466 | 62     | 68     | 36                  |
| 8000 | 1409 | 67     | 68     | 1                   |
| 8500 | 1462 | 66     | 68     | 4                   |
| 9000 | 1477 | 64     | 68     | 16                  |
| 9500 | 1488 | 67     | 68     | 1                   |

C 36  
 Co 32  
 a 3000

6,79

Figure A.6 : Variogrammes omnidirectionnels

Annexe A.6



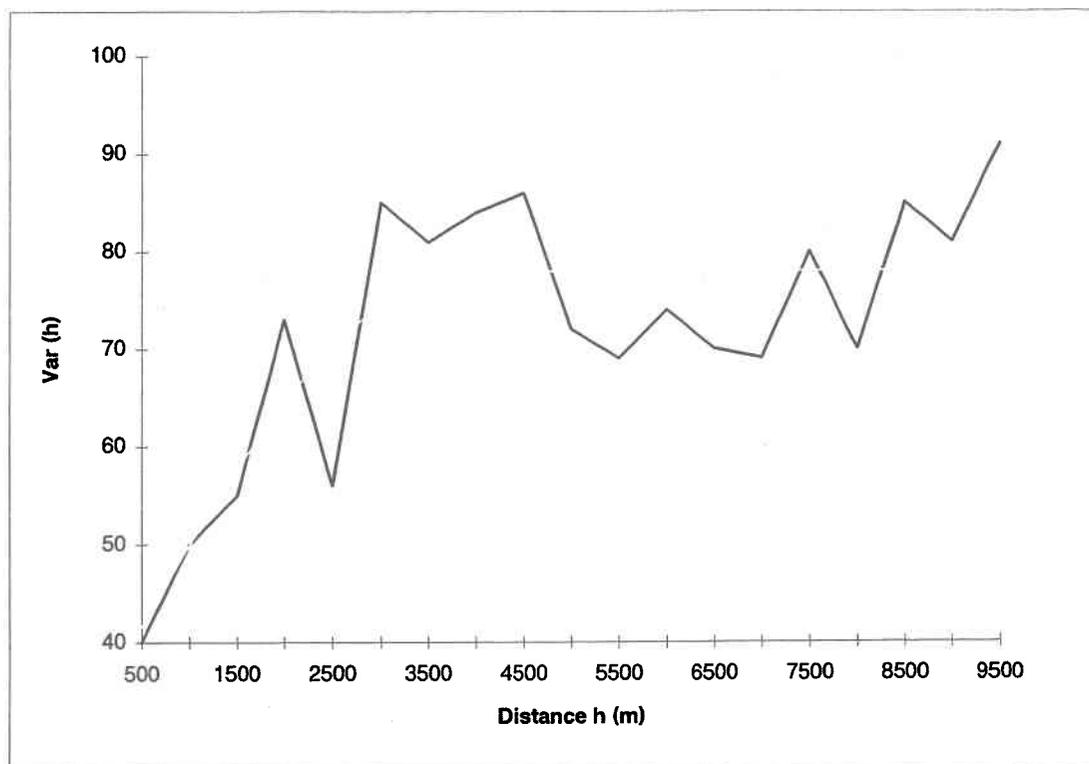
| h(m) | n    | Var(h)  | Modèle  | Erreur <sup>2</sup> |
|------|------|---------|---------|---------------------|
| 500  | 246  | 4729502 | 4661196 | 4665676298          |
| 1000 | 370  | 5062908 | 5058801 | 16869736            |
| 1500 | 499  | 6542087 | 5429222 | 1238469251824       |
| 2000 | 637  | 5583028 | 5758867 | 30919463167         |
| 2500 | 728  | 5432770 | 6034146 | 361652960082        |
| 3000 | 804  | 5283712 | 6241466 | 917292025273        |
| 3500 | 888  | 6808050 | 6367235 | 194318056918        |
| 4000 | 956  | 7206132 | 6400000 | 649848801424        |
| 4500 | 995  | 5703344 | 6400000 | 485329582336        |
| 5000 | 1094 | 6735574 | 6400000 | 112609909476        |
| 5500 | 1212 | 6559682 | 6400000 | 25498341124         |
| 6000 | 1245 | 5471865 | 6400000 | 861434578225        |
| 6500 | 1318 | 6421616 | 6400000 | 467251456           |
| 7000 | 1395 | 6991396 | 6400000 | 349749228816        |
| 7500 | 1466 | 6850805 | 6400000 | 203225148025        |
| 8000 | 1409 | 5846908 | 6400000 | 305910760464        |
| 8500 | 1462 | 6733392 | 6400000 | 111150225664        |
| 9000 | 1477 | 6225906 | 6400000 | 30308720836         |
| 9500 | 1488 | 6459472 | 6400000 | 3536918784          |

C            2150000  
 Co          4250000  
 a            3900

556606

Figure A.6 : Variogrammes omnidirectionnels

Annexe A.6



| h(m) | n    | Var(h) | Modèle | Erreur <sup>2</sup> |
|------|------|--------|--------|---------------------|
| 500  | 1768 | 40     | 42     | 3                   |
| 1000 | 2216 | 50     | 50     | 0                   |
| 1500 | 2573 | 55     | 58     | 7                   |
| 2000 | 3092 | 73     | 65     | 71                  |
| 2500 | 3762 | 56     | 70     | 206                 |
| 3000 | 4163 | 85     | 75     | 106                 |
| 3500 | 4753 | 81     | 77     | 14                  |
| 4000 | 4804 | 84     | 78     | 37                  |
| 4500 | 5215 | 86     | 78     | 64                  |
| 5000 | 5621 | 72     | 78     | 36                  |
| 5500 | 6000 | 69     | 78     | 81                  |
| 6000 | 6623 | 74     | 78     | 16                  |
| 6500 | 6658 | 70     | 78     | 64                  |
| 7000 | 6717 | 69     | 78     | 81                  |
| 7500 | 7159 | 80     | 78     | 4                   |
| 8000 | 7310 | 70     | 78     | 64                  |
| 8500 | 7522 | 85     | 78     | 49                  |
| 9000 | 7758 | 81     | 78     | 9                   |
| 9500 | 8363 | 91     | 78     | 169                 |

C 45  
 Co 33  
 a 3900

7,54

Figure A.6 : Variogrammes omnidirectionnels