

**PROSPECTION GÉOPHYSIQUE SUR LE
SITE ARCHÉOLOGIQUE DE L'HÔPITAL
DES SŒURS HOSPITALIÈRES,
SECTEUR DE LA CÔTE À GIGNAC**

(VILLE DE QUÉBEC)

Rapport de recherche N° R-951

Avril 2007



Prospection géophysique sur le site archéologique de l'hôpital des sœurs Hospitalières, secteur de la côte à Gignac

(Ville de Québec)



Rapport préparé par

Marc Richer-LaFlèche, Yves Monette

et Bruno Boussicault

Institut National de la Recherche Scientifique
Centre Eau, Terre et Environnement
(INRS-ETE)

Rapport de recherche N° R-951

Avril 2007

ISBN 978-2-89146-550-2

Résumé

Ce rapport de recherche rend compte de travaux de prospection géophysique de la sub-surface effectués sur le site probable de l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières situé au pied de la côte à Gignac (chemin du Foulon) dans l'arrondissement de Sillery de la ville de Québec.

Diverses méthodes de caractérisation de la sub-surface ont été déployées sur ce site afin de localiser les vestiges de l'hôpital sœurs Hospitalières, construit en **1640** et démolie suite à un incendie survenu en **1663**. Les méthodes utilisées incluent un levé d'induction électromagnétique multi-fréquence, un levé magnétométrique, un levé géoradar ainsi qu'un levé de tomographie géo-électrique.

Les levés d'induction électromagnétique mettent en évidence la présence d'un domaine électriquement plus résistif à l'ouest du périmètre d'étude. Ce domaine représente la zone où se tenait jadis le bâtiment Irving (détruit en 2006). Ce secteur a récemment fait l'objet d'une décontamination en hydrocarbures nécessitant l'excavation des sols et remblais contaminés et son remplacement par du remblai non contaminé. À l'opposé, le secteur du périmètre triangulaire situé vers l'est et localisé en grande partie sur le stationnement actuel est marqué par une plus forte conductivité électrique. Les levés d'induction électromagnétiques montrent une très grande variabilité de conductivité électrique et de susceptibilité magnétique des matériaux présents sous l'aire du stationnement actuel. Une structure dominante recoupe le périmètre du levé géophysique d'un bout à l'autre. Les valeurs observées suggèrent la présence d'une importante canalisation dans ce secteur. Les données de susceptibilité magnétique mesurées par induction suggèrent la présence d'un égout pluvial localisé à l'Ouest de l'ancien bâtiment de la compagnie Irving.

Quant au levé géoradar, il a permis de localiser des anisotropies verticales situées sur les lignes 0 à 4 pouvant être associées à des fondations d'un ancien bâtiment. Ce secteur anomalique devrait faire l'objet de sondages archéologiques car la position spatiale de ces anomalies coïncident avec la position présumée de l'hôpital des sœurs Hospitalières déterminée à partir de documents historiques.

Remerciements

De nombreuses personnes ont participé de près ou de loin à la bonne marche des travaux et nous tenons à les remercier. D'abord nos remerciements vont à monsieur William Moss et madame Céline Cloutier, respectivement archéologue principal et archéologue de la Ville de Québec, pour nous avoir permis d'effectuer cette étude et pour l'intérêt qu'ils ont manifesté tout au long des travaux. La prospection géophysique de sites archéologiques n'est pas courante au Québec, ni au Canada, mais le potentiel des méthodes magnétiques, électromagnétique, géoradar et de tomographie géoélectrique, est depuis longtemps reconnu ailleurs dans le monde.

Merci André Nault, arpenteur pour la Ville de Québec pour son aide lors de la mise en place du dispositif de lignes et stations.

Table des matières

Résumé	iii
Remerciements	iii
Table des matières.....	v
Liste des figures	vii
1. Mandat	1
2. Problématique.....	3
3. Localisation et milieu physique.....	5
4. Historique du site de l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières.....	9
4.1 Description de l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières.....	9
5. Photographies de terrain	11
6. Méthodologie.....	15
6.1 Levés électromagnétiques	15
<i>Sonde GEM-2 de Geophex.....</i>	<i>15</i>
Levé GÉORADAR.....	18
<i>Élimination du bruit de fond</i>	<i>22</i>
<i>Accentuation du signal de retour pour compenser l'atténuation du signal radar.....</i>	<i>22</i>
7. Présentation des données	25
7.1 Présentation et interprétation des données magnétométriques	25
7.3 Présentation et interprétation des résultats du levé Géoradar de 500 MHz.....	50
8. Conclusions et recommandations	59
9. Références bibliographiques	61
Annexe A	63

Liste des figures

Figure 1.	Plan de localisation du site de l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières, arrondissement de Sillery (Ville de Québec, Qc). Notez l'emplacement de l'ancien bâtiment de la compagnie Irving (bordé de citernes) et l'emplacement probable de l'église selon les reconstitutions provenant de documents historiques. Source : plan du service d'aménagement de la Ville de Québec.....	6
Figure 2.	Photo satellite du site de l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières. Notez la localisation approximative du périmètre (en rouge) des levés géophysiques de précision réalisés dans le cadre de ce projet ainsi que la localisation de l'ancien bâtiment Irving. Source : Google Earth.....	7
Figure 3.	Plan du réseau de lignes à l'intérieur du périmètre du site probable de l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières. Les lignes tomo 1 et tomo 2 correspondent aux sections géoélectriques (tomographie de résistivité électrique).....	8
Figure 4.	Photographie montrant le bâtiment de la compagnie Irving avant sa démolition en 2006. La position du bâtiment est indiquée sur la figure 3. Photographie tirée du rapport de Slater et Chrétien (2006).....	8
Figure 5.	Photographies montrant différents éléments interférents lors du levé géophysique sur le site probable de l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières. A) et B) vues vers l'est du terrain C) et E) réservoir d'essence vide en bordure du talus D) viaduc et chemin de fer du CN bordant le sud du périmètre F) ancienne clôture galvanisée.	12
Figure 6.	Photographies montrant différents aspects du périmètre du site de la côte à Gignac. A) photographie du périmètre (prise du haut du viaduc du Canadien National), B) C) et D) mise en place du dispositif de tomographie géoélectrique en décembre 2006.	13
Figure 7.	La sonde d'induction électromagnétique GEM-2 multifréquences couplée à un système de positionnement DGPS sub-métrique (photo : quai de la Garde côtière du Canada, Port de Québec).Opérateur : Yves Monette.....	15
Figure 8.	Variations diurnes du champ magnétique total enregistré à la station de base installée sur le site de la côte à Gignac.	17
Figure 9.	Système Géoradar RAMAC de la compagnie <i>Mala</i> . Le système comporte une antenne blindée, une roue de précision (évaluation des distances) ainsi qu'un moniteur permettant de visualiser les spectres radar en temps réel.	18
Figure 10.	Géoradar RAMAC X3M de la compagnie MALA (Suède) composé d'une antenne blindée de 500 MHz et de son moniteur permettant une visualisation des acquisitions en temps réel.	19
Figure 11.	Évolution du signal radar lors de sa pénétration dans le sol. Notez la réflexion de l'onde lors du passage d'un horizon à l'autre. Cette réflexion témoigne d'un contraste de permittivité diélectrique entre les différents matériaux. Le diagramme du centre montre le signal enregistré par l'appareil (en volt). Notez également la diminution normale (atténuation) du signal avec l'accroissement de la profondeur.	21
Figure 12.	Exemple de filtrage des données géoradar RAMAC 500 MHz lors du levé sur le site de la côte à Gignac. Notez l'augmentation du gain exponentiel et du gain total du haut vers le bas. La dernière figure montre l'effet de l'ajout d'un filtre de type moyenne mobile calculée sur 3 points. Un filtre DC a été appliqué sur l'ensemble des figures de données filtrées.	23

Figure 13. Carte du champ magnétique total mesuré lors du levé magnétométrique couplé à un système de positionnement par satellite. Notez les très forts contrastes liés à la présence du viaduc métallique du Canadien National.	26
Figure 14. Carte du champ magnétique total (données filtrées) du levé magnétométrique couplé CDGPS. Notez les très forts contrastes liés à la présence du viaduc métallique du Canadien National et à certaines structures métalliques observées sur le terrain (vestiges d'anciennes clôtures).	27
Figure 15. Carte du gradient magnétique mesuré lors du levé magnétométrique couplé au CDGPS. Notez les très forts contrastes liés à la présence du viaduc métallique du Canadien National et à certaines structures métalliques observées sur le terrain (vestiges d'anciennes clôtures).	28
Figure 16. Carte des données filtrées du gradient magnétique mesuré lors du levé magnétométrique couplé au CDGPS. Notez les très forts contrastes liés à la présence du viaduc métallique du Canadien National et à certaines structures métalliques observées sur le terrain (vestiges d'anciennes clôtures).	29
Figure 17. Cartes montrant la distribution des données brutes (gauche) et filtrées (droite) du champ magnétique total mesuré dans le périmètre d'étude. Notez la présence d'objets métalliques et les très grandes variations des valeurs. Ceci démontre que le site est fortement impacté par la présence d'objets et structures métalliques (ex. viaduc du chemin de fer).	30
Figure 18. Cartes montrant la distribution des données brutes (gauche) et filtrées (droite) du gradient magnétique mesuré dans le périmètre d'étude. Notez la présence d'objets métalliques dans la partie sud du levé. La carte des données filtrées montre en plus la présence probable d'une conduite d'eau (égout ?) ainsi que plusieurs objets métalliques formant des dipôles magnétiques sur la carte (ex. ligne 0, stations 20 à 23).	31
Figure 19. Carte montrant l'importance de l'interférence électromagnétique liée à la circulation de courants électriques de 60Hz dans la ligne de transport située en bordure de la côte à Gignac.	33
Figure 20. Photographie montrant l'épaisseur de remblais dans la zone Sud-Ouest de la propriété Irving. Cette excavation a été comblée par un remblai non contaminé qui montre actuellement une très faible conductivité électrique.	35
Figure 21. Carte de conductivité électrique apparente mesurée lors du levé couplé au positionnement DGPS. Les données sont mesurées pour une fréquence d'induction de 4050 Hz. Notez la faible conductivité au Sud de l'ancien bâtiment Irving et les fortes conductivités observées sous le stationnement actuel situé plus à l'Est.	36
Figure 22. Carte de conductivité électrique apparente mesurée lors du levé couplé au positionnement DGPS. Les données sont mesurées pour une induction à une fréquence de 7290 Hz. Notez la faible conductivité électrique au Sud de l'ancien bâtiment Irving et les fortes conductivités observées sous le stationnement actuel situé plus à l'Est. Les fortes anomalies ponctuelles correspondent à des objets métalliques.	37
Figure 23. Carte de conductivité électrique apparente mesurée lors du levé couplé au positionnement DGPS. Les données sont mesurées pour une fréquence d'induction de 18270 Hz. Notez la faible conductivité au Sud de l'ancien bâtiment Irving et les fortes conductivités observées sous le stationnement actuel situé plus à l'Est. Les fortes anomalies ponctuelles correspondent à des objets métalliques.	38

Figure 24. Carte de la conductivité apparente mesurée par induction électromagnétique à l'aide de la sonde GEM-2 (fréquence d'induction de 4050 Hz). Notez que le levé a été réalisé en suivant le réseau de lignes du périmètre.....	40
Figure 25. Carte de la conductivité apparente mesurée par induction électromagnétique à l'aide de la sonde GEM-2 (fréquence d'induction de 7290 Hz).....	41
Figure 26. Carte de la conductivité apparente mesurée par induction électromagnétique à l'aide de la sonde GEM-2 (fréquence d'induction de 18270 Hz).....	42
Figure 27. Carte de la conductivité apparente mesurée par induction électromagnétique à l'aide de la sonde GEM-2 (fréquence d'induction de 30300 Hz.	43
Figure 28. Carte de susceptibilité magnétique mesurée par la sonde GEM2 pour une fréquence d'induction de 4050 Hz. Notez que sur cette figure les données supérieures à 35 ont été éliminées afin de mieux mettre en évidence les contrastes pouvant être associées à des structures archéologiques comme des fondations. Les données de susceptibilité ont été multipliées par 1000.....	45
Figure 29. Carte de susceptibilité magnétique mesurée par la sonde GEM2 pour une fréquence d'induction de 7290 Hz. Notez que sur cette figure les données supérieures à 35 ont été éliminées afin de mieux mettre en évidence les contrastes pouvant être associées à des structures archéologiques comme des fondations. Les données de susceptibilité ont été multipliées par 1000.....	46
Figure 30. Carte de susceptibilité magnétique mesurée par la sonde GEM2 pour une fréquence d'induction de 18270 Hz. Notez que sur cette figure les données supérieures à 35 ont été éliminées afin de mieux mettre en évidence les contrastes pouvant être associées à des structures archéologiques comme des fondations. Les données de susceptibilité ont été multipliées par 1000.....	47
Figure 31. Carte de localisation de l'égout pluvial situé à l'Ouest de l'ancien bâtiment Irving. Plan et photo tirés de Slater et Chrétien (2006).	48
Figure 32. Carte de susceptibilité magnétique mesurée par la sonde GEM2 pour une fréquence d'induction de 4050 Hz. Notez que sur cette figure les données supérieures à 10000 ont été éliminées afin de mieux mettre en évidence les contrastes pouvant être associées à des structures archéologiques comme des fondations. Les données de susceptibilité sont multipliées par 1 ^E 6.....	49
Figure 33. Plan de localisation des sections du levé géoradar 500 MHz réalisé à l'intérieur du périmètre du réseau de lignes et stations. Les numéros de fichiers des sections sont indiqués sur le plan. Notez que les sections correspondantes aux fichiers 1 à 42 ont été réalisées du Sud vers le Nord. Les sections correspondantes aux fichiers 45 à 58 ont été réalisées du Nord vers le Sud. Les étoiles sur le plan correspondent aux anomalies géoradar suggérant la présence d'une fondation.....	51
Figure 34. Spectres géoradars des lignes 0 à 2 du périmètre du site de l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières. Ces diagrammes montrent la présence de structures verticales solidement enracinées correspondant probablement à des vestiges d'une fondation d'un bâtiment.	52
Figure 35. Spectres géoradars des lignes 3 et 4 du périmètre du site de l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières. Ces diagrammes montrent la présence de structures verticales solidement enracinées correspondant probablement à des vestiges d'une fondation d'un ancien bâtiment.....	53
Figure 36. Section tomographique de résistivité électrique Tomo 1 réalisée à l'intérieur du périmètre d'étude. Notez que le Sud est à gauche de la section. Inversions numériques réalisées par le logiciel RS2DINV.	56

Figure 37. Section tomographique de résistivité électrique Tomo 2 réalisée à l'intérieur du périmètre d'étude. Notez que le Sud est à gauche de la section. Inversions numériques réalisées par le logiciel RS2DINV.57

Levés géophysiques sur le site de l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières (secteur de la côte à Gignac, arrondissement de Sillery, Ville de Québec).

1. Mandat

Suite à des discussions avec M. William Moss, archéologue principal de la Ville de Québec, nous avons élaboré un plan d'intervention pour permettre une caractérisation du site de l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières situé dans le secteur de la côte à Gignac de l'ancienne ville de Sillery (Ville de Québec) (Figures 1 et 2).

Il a été convenu que le périmètre triangulaire, représenté sur la **figure 3**, soit systématiquement couvert par des levés magnétométriques, électromagnétiques (GEM-2), géoradar (antennes de 500 MHz) ainsi que par deux sections tomographiques de résistivité électrique.

Les intervenants de l'INRS-ETE ont eu la responsabilité d'établir un réseau de lignes parallèles espacées de 2 m. Ce dispositif a permis de réaliser les levés de précision dans un cadre géométrique précis grâce à la participation de M. André Nault de la Ville de Québec.

2. Problématique

Selon les travaux des historiens et archéologues consultés, le terrain de la compagnie Irving est localisé dans un secteur occupé depuis le 17^e siècle et même antérieurement pour ce qui est d'occupations amérindiennes préhistoriques. Les vestiges de l'hôpital des sœurs Hospitalières, construit vers 1640, seraient probablement enfouis sous le sol de la surface indiquée par le périmètre du levé (Figure 3).

Compte tenu du potentiel archéologique du site, confirmé par des documents historiques, les chercheurs de l'INRS-Eau, Terre et Environnement ont proposé la réalisation de levés géophysiques de sub-surface pour vérifier la présence d'anomalies pouvant révéler des éléments ou structures anthropiques potentiellement associées à la présence de l'hôpital. Plus spécifiquement, l'objectif premier était de délimiter avec précision la localisation des fondations de l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières.

L'approche géophysique consiste en l'utilisation de techniques non destructives qui permettent une reconnaissance rapide des propriétés du terrain. Lors de l'étude du site de l'hôpital des sœurs Hospitalières, nous avons réalisé des levés magnétométriques, électromagnétiques, géoradar et géo-électriques. Ces méthodes complémentaires couvrent un large spectre des propriétés physiques des matériaux de la sub-surface.

Notons que dans le cas de prospections archéo-géophysiques de fondations anciennes recouvertes de remblais, les propriétés physiques suivantes peuvent être modifiées. Premièrement, les murs de pierre sont des structures électriquement très résistives et donc peu conductrices. Ces matériaux devraient produire des anomalies peu conductrices lors de levés d'induction électromagnétique (levé GEM-2 de *Geophex*). Dépendamment de la nature des pierres et de la proportion de mortier utilisées lors de la construction des fondations, les matériaux devraient montrer une susceptibilité magnétique différente de celle des sols et remblais adjacents. En plus de la conductivité électrique, les contrastes de permittivité diélectrique devraient être élevés entre le remblai et les fondations de l'église, ce qui suggère l'utilisation systématique du géoradar.

3. Localisation et milieu physique

Le site probable de l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières est localisé sur la rive nord du St-Laurent, à l'intérieur des limites actuelles de l'arrondissement de Sillery, de la ville de Québec. Plus précisément, le secteur étudié est localisé sur un plateau de l'anse Union. Ce plateau, d'une altitude moyenne de 9m, occupe la partie ouest de la pointe Saint-Joseph.

Le terrain de la compagnie Irving (Figure 1) occupe une superficie de 4350 m² (Slater et Chrétien 2006) et est bordé au nord par le chemin de la côte à Gignac (Figures 2 et 3) et au Sud par le talus du chemin de fer du Canadien National.

Au 17^{ième} siècle, la limite de l'estran n'était qu'à 30m de la limite sud du périmètre d'étude. Actuellement, la rive du fleuve est située à environ 150m de cette limite (plan 04005a04.dgn du service d'aménagement du territoire de la ville de Québec). Ceci démontre l'importance des perturbations anthropiques ayant affecté le secteur de l'Anse Union depuis l'arrivée des premiers européens.

Les photographies aériennes montrent bien les caractéristiques géographiques actuelles du secteur (Figures 1 et 2). Le terrain peut être subdivisé en deux entités. Le stationnement de forme triangulaire qui borde la côte à Gignac et la zone sans recouvrement bitumineux qui occupe l'espace des anciens bâtiments de la compagnie Irving (vers l'ouest). Cette dernière a fait l'objet d'une réhabilitation en 2006 en raison d'une importante contamination aux hydrocarbures. En l'occurrence, ce secteur a été systématiquement excavé et remblayé dans un objectif de réhabilitation du site.

La surface du stationnement actuel est limitée au sud par un pont ferroviaire érigé vers 1910 (Slater et Chrétien 2006) (Figures 1 et 3). Cette structure, majoritairement aérienne, est constituée d'une structure métallique massive pouvant compliquer l'interprétation des données géophysiques.

La figure 3 montre un plan du réseau de lignes réalisé sur le site présumé de l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières. Ce plan souligne la forme du périmètre ainsi que la position des lignes. Le périmètre d'étude est bordé au nord par une ligne de transport électrique de 60 Hz (Figure 3) qui peut influencer localement certaines données géophysiques.

L'examen de la carte de potentiel archéologique de l'environnement de l'hôpital des sœurs Hospitalières (plan 04005a04.dgn) montre la présence de deux égouts pluviaux recoupant la propriété Irving. Quoique le positionnement absolu de ces égouts demeure imprécis, le premier situé à l'Ouest suit la limite de la propriété tandis que le second passe au centre du périmètre d'étude (sous le stationnement). Étant donné que ces structures souterraines peuvent avoir des impacts considérables sur les données géophysiques, il est important de souligner leurs présences.

La figure 4 montre une photo de l'ancien bâtiment de la compagnie Irving prise en 2006. Ce bâtiment est actuellement détruit mais nous avons tout de même jugé opportun de localiser sa présence sur nos plans.



Figure 1. Plan de localisation du site de l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières, arrondissement de Sillery (Ville de Québec, Qc). Notez l'emplacement de l'ancien bâtiment de la compagnie Irving (bordé de citernes) et l'emplacement probable de l'église selon les reconstitutions provenant de documents historiques. Source : plan du service d'aménagement de la Ville de Québec.



Figure 2. Photo satellite du site de l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières. Notez la localisation approximative du périmètre (en rouge) des levés géophysiques de précision réalisés dans le cadre de ce projet ainsi que la localisation de l'ancien bâtiment Irving. Source : Google Earth.

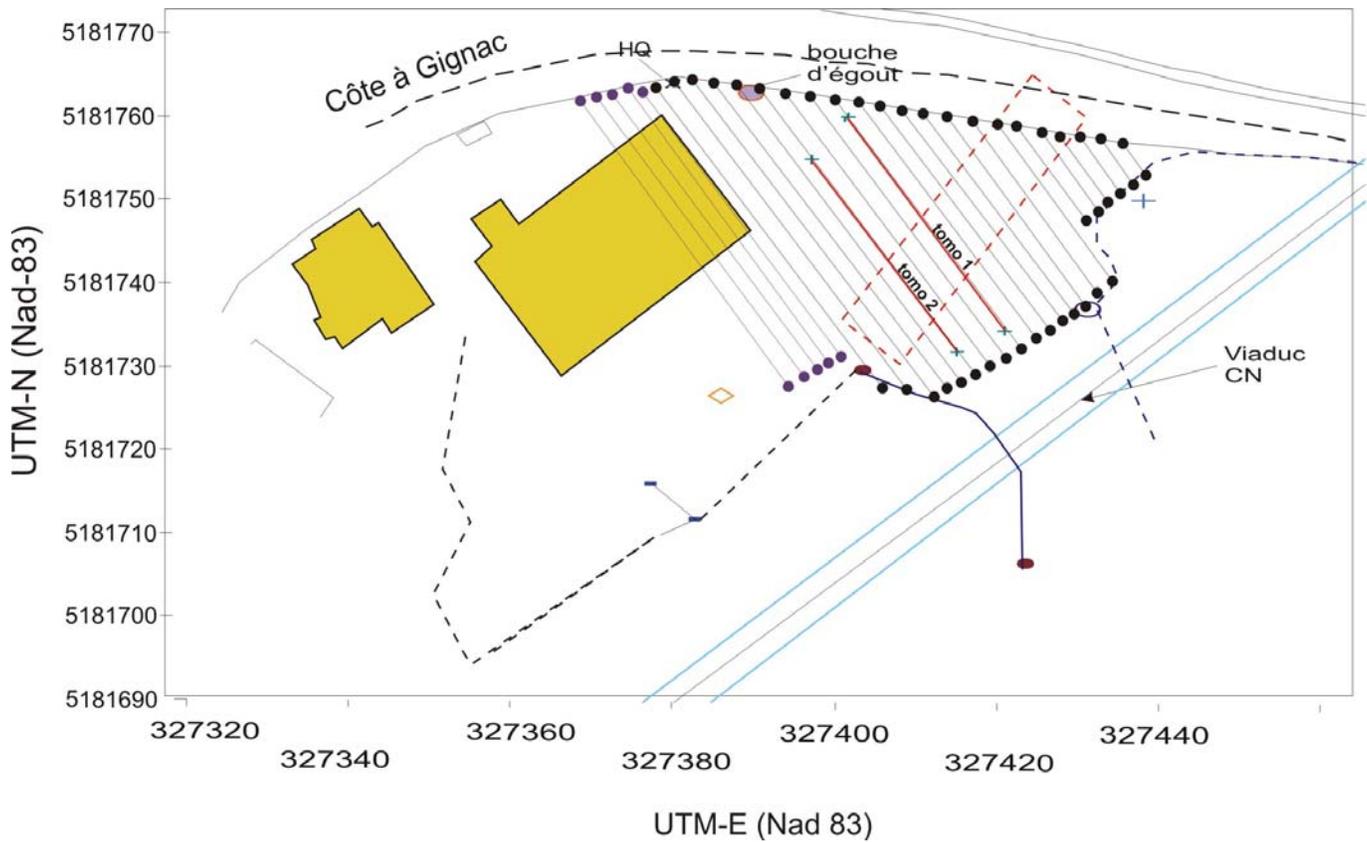


Figure 3. Plan du réseau de lignes à l'intérieur du périmètre du site probable de l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières. Les lignes tomo 1 et tomo 2 correspondent aux sections géoélectriques (tomographie de résistivité électrique).



Figure 4. Photographie montrant le bâtiment de la compagnie Irving avant sa démolition en 2006. La position du bâtiment est indiquée sur la figure 3. Photographie tirée du rapport de Slater et Chrétien (2006).

4. Historique du site de l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières

Le présent projet de recherche fait partie d'un plus vaste programme d'intervention archéologique motivé par la Ville de Québec de mettre en valeur les vestiges de l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières, probablement situé sur le site actuel de la propriété de la compagnie Irving.

Le site étudié dans le cadre de ce projet ainsi que son secteur environnant ont fait l'objet d'occupations multiples remontant à plusieurs milliers d'années. Entre autre, les travaux de Gaumont (1961) cités dans le rapport de Slater et Chrétien (2006) font état d'une occupation amérindienne préhistorique (site CeEt-1) et ce bien avant l'arrivée de Jacques Cartier en Nouvelle-France.

En 1637 le Père Lejeune établit une mission du côté Est de la pointe. Ce site, connu sous le nom de la mission des Jésuites, est le premier établissement connu de type européen dans le secteur de la pointe Saint-Joseph. Vers 1640, les sœurs Hospitalières s'établissent du côté Ouest de la pointe Saint-Joseph et plus spécifiquement dans le secteur de l'actuelle propriété Irving. L'hôpital ne fut en activité que 4 ans et en 1644 les sœurs Hospitalières quittèrent le site pour des raisons de sécurité (Scott, 1902; Gaumont, 1961). Par la suite l'hôpital fut transformé et connu sous l'appellation de manoir de Monceaux. Ce dernier est détruit par un incendie en 1663 et reconstruit peu de temps après. Finalement vers 1737 le domaine de Monceaux ne présente que des bâtiments abandonnés et hors de service (Lamontagne, 1952).

Pour plus d'informations historiques, le lecteur peut consulter la liste chronologique détaillée contenue en pages 4 et 5 du rapport de Slater et Chrétien (2006).

4.1 Description de l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières

Contrairement à d'autres sites archéologiques de la région de Québec, les documents historiques disponibles ne présentent pas de plans techniques permettant de juger des caractéristiques architecturales de l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières. La dimension et la position du bâtiment indiqué sur les plans de ce rapport ne sont rapportées qu'à titre indicatif. Il est probable que la position réelle des ruines du bâtiment recherché ne coïncide pas avec le périmètre rectangulaire indiqué sur les plans.

5. Photographies de terrain

Les figures 5 et 6 présentent des photographies de terrain montrant des éléments significatifs et potentiellement interférent lors des travaux géophysiques sur le site de la côte à Gignac.

Dans l'ensemble, les photographies présentées aux figures 5 et 6 montrent un terrain relativement plat en partie recouvert d'un revêtement d'asphalte. Ce secteur, n'ayant pas été affecté par les travaux d'excavation lors de la décontamination du site, est plus propice à la préservation d'artéfacts archéologiques.

Compte tenu de la présence d'une falaise et d'un talus naturel en arrière des maisons (Figure 6 A et C), il est hautement probable que la roche mère soit présente en relativement grande profondeur sous le stationnement actuel. Dans ce cas, les variations des paramètres géophysiques mesurés devraient principalement refléter des hétérogénéités dans les sols et remblais du secteur. Toutefois, il est aussi possible que l'épaisseur de recouvrement soit plus modeste en raison d'une dynamique hydraulique (érosion fluviale) relativement agressive dans ce secteur lorsque les eaux du St-Laurent étaient de niveau plus élevé lors de la fonte des glaciers. Dans ce cas, l'influence de la roche mère devra être tenue en considération lors de l'interprétation des données géophysiques.



Figure 5. Photographies montrant différents éléments interférents lors du levé géophysique sur le site probable de l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières. A) et B) vues vers l'est du terrain C) et E) réservoir d'essence vide en bordure du talus D) viaduc et chemin de fer du CN bordant le sud du périmètre F) ancienne clôture galvanisée.



Figure 6. Photographies montrant différents aspects du périmètre du site de la côte à Gignac. A) photographie du périmètre (prise du haut du viaduc du Canadien National), B) C) et D) mise en place du dispositif de tomographie géoélectrique en décembre 2006.

6. Méthodologie

6.1 Levés électromagnétiques

Sonde GEM-2 de *Geophex*

Dans un premier temps, nous avons réalisé un levé d'induction électromagnétique à l'aide d'une sonde GEM-2 de *Geophex* (Figure 7). Cette sonde a la particularité de pouvoir émettre plusieurs fréquences simultanément (de 300Hz à 96000Hz) et de mesurer simultanément les champs magnétiques secondaires associés à la circulation de courants de Foucault dans le sol. Cette caractéristique permet théoriquement d'investiguer des profondeurs variables des matériaux présents en sub-surface. Ainsi, les faibles fréquences pénètrent plus profondément et les hautes plus superficiellement. Dans le cas présent, nous avons choisi quatre fréquences d'induction électromagnétique (4050 Hz, 7290 Hz, 18270 et 30300 Hz). En plus de ces fréquences, la sonde mesure les perturbations électromagnétiques associées à la circulation de courants dans les lignes de transport électrique. Pour le site de l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières, l'impact de la ligne de transport électrique longeant le chemin de la côte à Gignac peut être mesuré sur une distance de 5 mètres de part et d'autre de la ligne de transport électrique.

La sonde GEM-2 est compacte et légère. La distance entre l'émetteur T_x et le récepteur R_x est seulement de 1,83 m. La sonde GEM-2 possède un port de communication DB9 (RS232) permettant l'acquisition d'un signal GPS simultanément à l'enregistrement des données instrumentales. Dans le meilleur des cas, la sonde GEM-2 peut acquérir les données à une fréquence de 30 Hz (jusqu'à 30 mesures par seconde). Dans le cas présent nous avons augmenté le nombre d'itérations pour chaque mesure ($n=6$) ce qui augmente la stabilité du signal mesuré par la sonde. Ainsi, la sonde GEM2 mesurait une valeur au 1/10 de seconde.



Figure 7. La sonde d'induction électromagnétique GEM-2 multifréquences couplée à un système de positionnement DGPS sub-métrique (photo : quai de la Garde côtière du Canada, Port de Québec). Opérateur : Yves Monette.

6.2 Levé magnétométrique

Dans ce projet, nous avons utilisé un magnétomètre-gradimètre de type GSM-19 (v 7.0- déc. 2006) de type walking mag and grad (GEM Systems). Les options de l'appareil permettent une opération en mode continu (*walking mag and walking grad*) et ou discontinu (*mobile mag and grad*). L'appareil utilise le principe de l'effet Overhauser pour accentuer la polarisation des protons. Contrairement aux magnétomètres classiques à protons, la cellule de ce magnétomètre contient un radical libre ainsi qu'un générateur de radiofréquence (RF) qui permet de perturber le couplage électron-proton. En saturant les lignes de résonance des électrons libres, la polarisation des protons est plus efficace. Ce phénomène se traduit par la production de signaux plus intenses et ce malgré la présence de détecteurs sensiblement plus petits (utilisant moins d'énergie). De plus, le système de détection de l'appareil est plus tolérant à de fortes variations du champ magnétique.

Pour accentuer les contrastes magnétiques et localiser avec précision la présence de fines structures magnétiques, nous avons mesuré le gradient magnétique en utilisant un deuxième détecteur Overhauser situé à 1 m au dessus du premier. L'utilisation simultanée de deux capteurs superposés permet de calculer la différence des deux signaux, usuellement nommé 'pseudogradient'. Ce paramètre est normalement considéré indépendant des variations temporelles du champ magnétique terrestre. Ainsi, l'approche gradiométrique est une méthode qui permet de visualiser directement les données magnétiques sans devoir effectuer de corrections pour les fluctuations diurnes du champ magnétique terrestre. Les données gradiométriques peuvent être comparées d'une zone à l'autre.

Les données du champ magnétique total, mesurées par le premier détecteur, ont été corrigées pour tenir compte de l'effet de dérive du champ magnétique terrestre lors du levé. Pour ce faire, nous avons utilisé une station de base (magnétomètre) de type GSM-19 fonctionnant en mode automatique. Ces données ont été utilisées pour corriger les fluctuations reliées aux variations diurnes du champ magnétique terrestre. L'examen des banques de données permet également de constater qu'aucune tempête magnétique significative n'a perturbé le levé magnétométrique. Dans l'ensemble, les variations observées sont de l'ordre de 15 à 16 nanotesla (nT) pour une période d'acquisition (Figure 8). Ces variations peuvent être considérées comme négligeables par rapport aux contrastes du champ magnétique total observés sur le site de la côte à Gignac. Toutefois par rigueur scientifique, les données magnétométriques ont été corrigées pour les différentes journées d'acquisition.

Dans des conditions idéales, la sensibilité de l'appareil est de 0,01 nT et en fonction d'écart considérables de température cette sensibilité peut atteindre 0,2 nT.

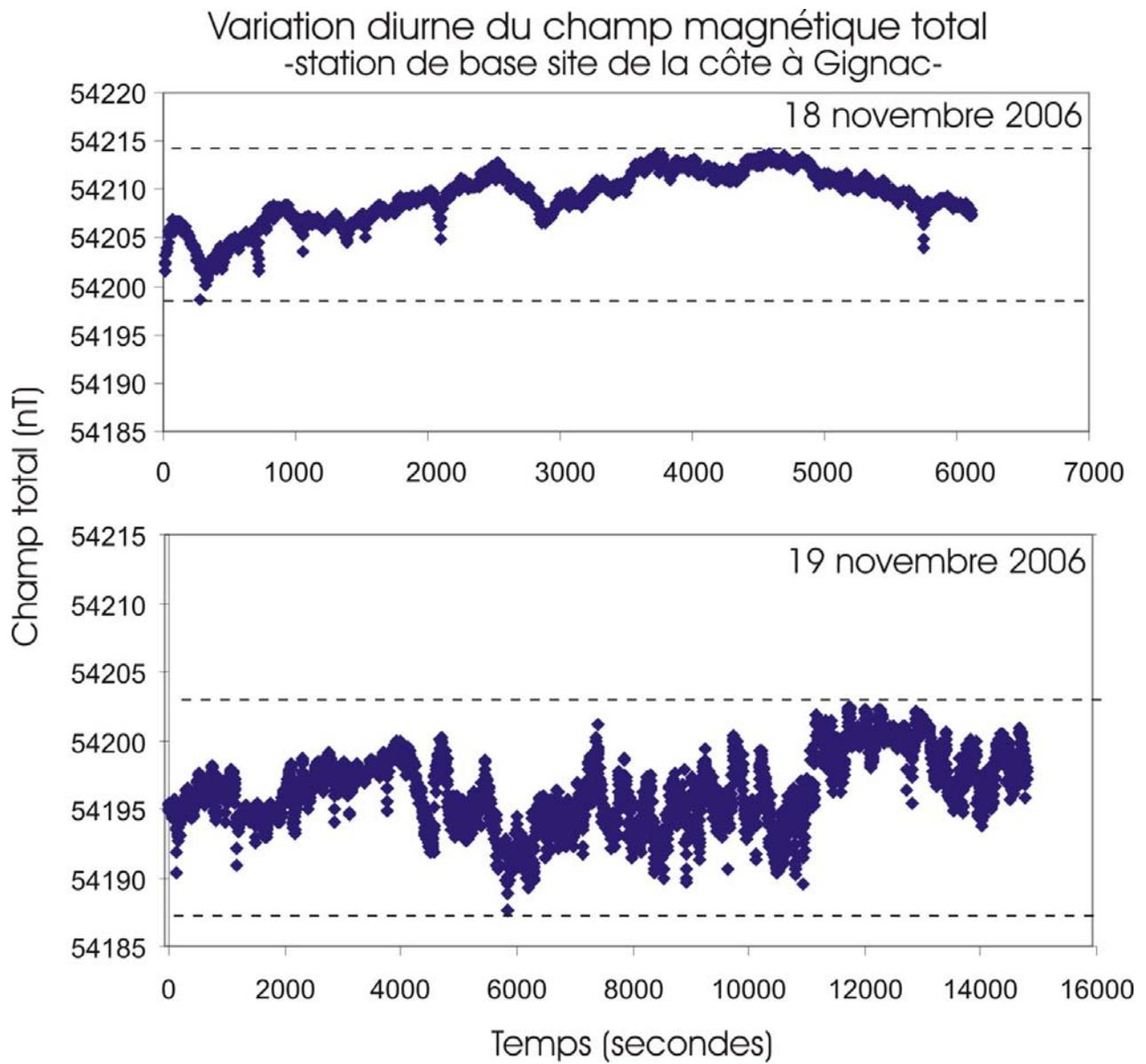


Figure 8. Variations diurnes du champ magnétique total enregistré à la station de base installée sur le site de la côte à Gignac.

Levé GÉORADAR

Dans le cadre du levé sur le site présumé de l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières, nous avons utilisé un système géoradar RAMAC de la compagnie *Mala* (Suède). Le système utilisé comportait une antenne blindée de 500 MHz. Le blindage de l'antenne minimise les interférences électromagnétiques provenant de sources anthropiques en milieu urbain. L'antenne de 500 MHz a été sélectionnée dans le but de maximiser l'investigation de la sub-surface entre 0,25 et 3 m de profondeur. À plus basse fréquence, notez que la résolution aurait été insuffisante pour localiser des objets et structures enfouies superficiellement et d'un autre côté, les antennes de très haute fréquence utilisées en génie civil ne permettent pas d'investiguer une profondeur de plus de 50 cm. Les figures 9 et 10 montrent des systèmes géoradar RAMAC de *Mala*.



Figure 9. Système Géoradar RAMAC de la compagnie *Mala*. Le système comporte une antenne blindée, une roue de précision (évaluation des distances) ainsi qu'un moniteur permettant de visualiser les spectres radar en temps réel.

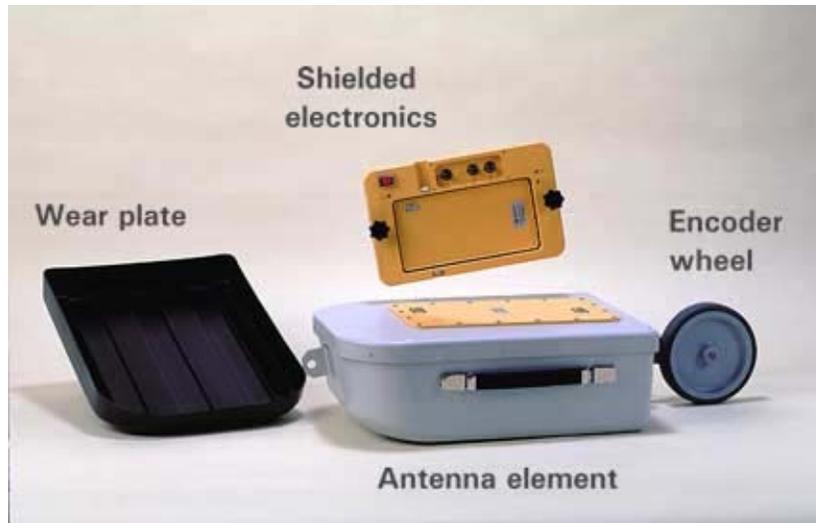


Figure 10. Géoradar RAMAC X3M de la compagnie MALA (Suède) composé d'une antenne blindée de 500 MHz et de son moniteur permettant une visualisation des acquisitions en temps réel.

La méthode de prospection au géoradar est une technique d'investigation de la sub-surface particulièrement efficace en raison de sa capacité de reproduire des informations structurales en fonction de la profondeur. Les applications communes du géoradar touchent la détection de câble, de tuyauterie, d'obus et mines anti-personnelles, de vides souterrains (cavernes, tunnels) ainsi que la prospection de site archéologique.

Le géoradar, ou GPR (*ground penetrating radar*) est une méthode géophysique existant depuis une trentaine d'année et développée pour la prospection de sub-surface. Il utilise des impulsions électromagnétiques de hautes fréquences (entre 10 et 2000 mégahertz) émises par une antenne spéciale optimisée pour permettre une reconnaissance de la géométrie des différentes unités naturelles et des objets anthropiques contenus dans le sous-sol. Quand les ondes frappent la limite entre deux matériaux différents ou entre un matériau et le vide, elles sont renvoyées à un récepteur (antenne) (Figure 11). Les résultats sont présentés sous forme d'une coupe transversale où la profondeur relative est estimée en temps aller-retour des ondes. Les ondes EM ne pénètrent pas aussi profond que les ondes acoustiques (ex. sismiques) mais donnent une mesure de plus haute résolution. Le radar détecte des cibles qui ont une impédance électrique contrastée par rapport au sol environnant.

Les spectres directement obtenus à partir de l'appareillage sont pertinents pour une localisation immédiate de structures enfouies. Dans de très nombreux cas, l'imagerie doit être rehaussée afin d'accentuer certains caractères propres aux couches plus profondes. Pour ce faire, des filtres sont appliqués aux données primaires afin de corriger certaines dérives instrumentales. Compte tenu de l'atténuation rapide de la propagation des ondes électromagnétiques dans le sol, les données doivent souvent être corrigées afin d'augmenter l'intensité du signal en appliquant un gain exponentiel en fonction de l'accroissement de la profondeur.

La profondeur d'investigation du géoradar est fonction de la longueur d'onde utilisée (antenne) et de la nature des matériaux dans le sol. La pénétration du signal radar est inversement proportionnelle à la fréquence d'émission de l'antenne. Ainsi une antenne de 1000 MHz permet de sonder des structures à moins de 1 m de profondeur tandis qu'une antenne de 10 MHz peut sonder à 50m de profondeur. Notez que la résolution du levé décroît en fonction de la diminution de la fréquence ce qui limite l'utilisation du signal provenant de sources très profondes. Pour des couches géologique continues (stratigraphiques) cette résolution est suffisante mais pour localiser de petites structures anthropiques, la résolution devient rapidement insuffisante et la discrimination des éléments ou structures anthropiques s'avère difficile.

Le signal radar se propage bien dans les matériaux sableux, graveleux et les remblais mais devient inutilisable en présence d'horizons riches en minéraux argileux. Ces derniers sont électriquement très conducteurs ce qui empêche la pénétration verticale des ondes électromagnétiques dans les couches plus profondes du sol. Lors de la rencontre de ces matériaux argileux, les ondes sont soit réfléchies ou, le plus souvent, dispersées latéralement. Dans le cas du Québec, certaines régions sont recouvertes de dépôts argileux accumulés dans les anciennes mers postglaciaires du Québec méridional (Champlain, Goldthwait et LaFlamme) et ces dernières peuvent limiter sinon empêcher l'utilisation de ce type d'instrument.

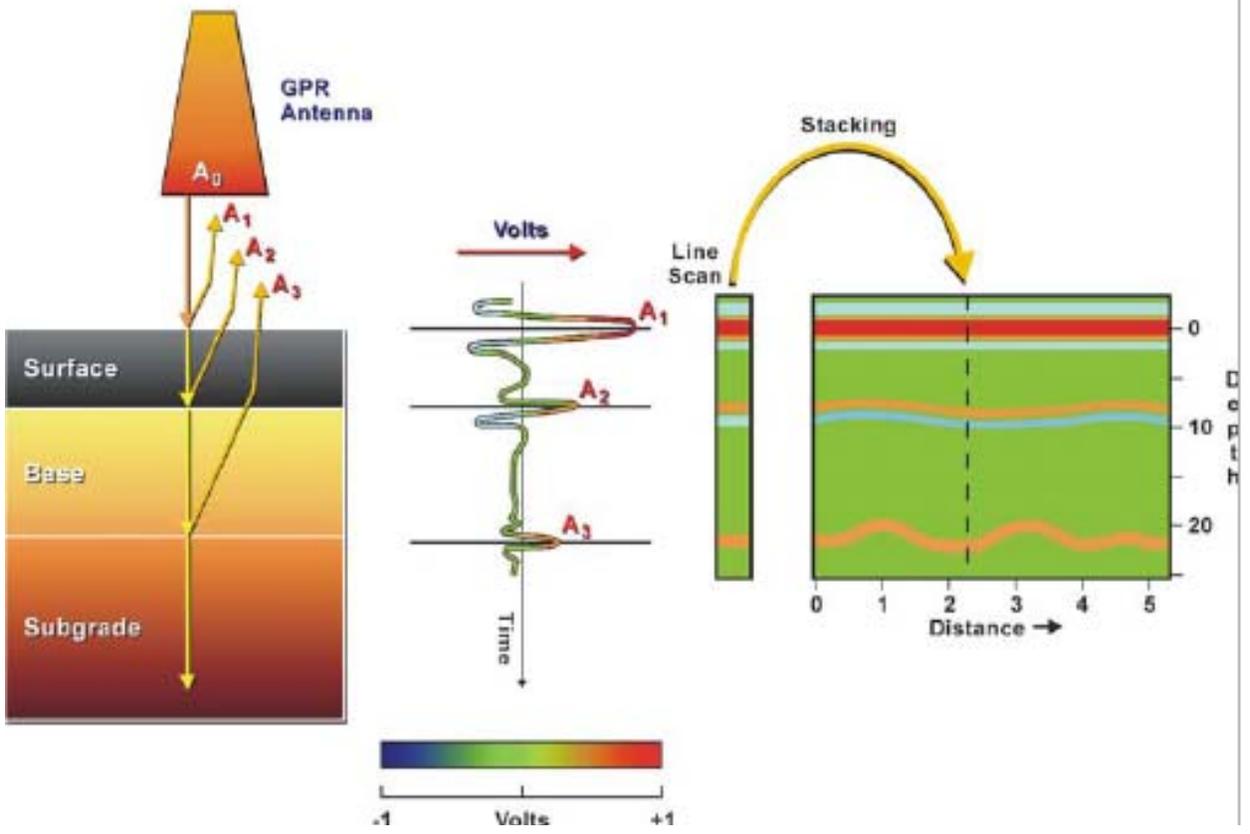


Figure 11. Évolution du signal radar lors de sa pénétration dans le sol. Notez la réflexion de l'onde lors du passage d'un horizon à l'autre. Cette réflexion témoigne d'un contraste de permittivité diélectrique entre les différents matériaux. Le diagramme du centre montre le signal enregistré par l'appareil (en volt). Notez également la diminution normale (atténuation) du signal avec l'accroissement de la profondeur.

Élimination du bruit de fond

La majorité des levés de géoradar présentent des lignes horizontales causées par de nombreux facteurs (ex. Conyers et Goodman, 1997). Les premières lignes les moins profondes sont généralement causées par l'espace physique entre l'antenne et le récepteur ainsi que par l'enregistrement du signal radar initial lorsque l'antenne essaie de coupler l'énergie radar avec le sol. Dans certains cas, une partie des premières bandes horizontales est reliée à des interférences provenant d'ondes de transmission de signaux de télévision, d'ondes FM, d'ondes de transmissions téléphoniques (cellulaires) et de systèmes de télécommunication des forces policières. Dans certains cas, les lignes de transport électrique de haute tension peuvent interférer avec les données géoradar.

Pour minimiser les risques d'interférences en milieu urbain, il est fortement recommandé d'utiliser des antennes géoradar blindées (*shielded antenna*). Le blindage consiste en une cage métallique fermée de tous les cotés à l'exception du coté du sol. Ainsi, la majorité des ondes électromagnétiques aériennes sont bloquées par la présence d'une cage de Faraday.

La majorité des logiciels de traitement de données géoradar ont la possibilité d'éliminer automatiquement le bruit de fond instrumental. Dans certains cas, cette procédure peut éliminer des réflecteurs horizontaux correspondant à des structures réelles dans le sol. Dans ce cas, l'analyste doit demeurer vigilant. Dans le cas présent nous n'avons pas procédé à la soustraction du bruit de fond.

Accentuation du signal de retour pour compenser l'atténuation du signal radar.

Comme toutes ondes électromagnétiques, les ondes émises par l'antenne du géoradar sont rapidement atténuées en fonction de l'accroissement de la profondeur dans le sol et de la conductivité électrique des matériaux rencontrés. Pour compenser ce phénomène physique, des filtres numériques permettent d'amplifier le signal d'une façon progressive en accentuant de plus en plus le signal de retour provenant de sources plus profondes (Figure 12). Les intervenants qui utilisent les données de géoradar appliquent majoritairement ce type de correction.

Dans le cas présent nous avons modélisé l'effet de l'augmentation des gains linéaire et exponentiel dans le cas de la ligne 0 du dispositif du périmètre du site de l'hôpital des sœurs Hospitalières. Ce filtrage des données montre un spectre géoradar plus continu en profondeur pour un gain total supérieur à 10. Notez que pour les données présentées sur la figure 12, le gain linéaire a été fixé à 50 et le gain exponentiel à une valeur variable entre 10 et 100. Le dernier spectre géoradar de la figure 12 montre l'effet de l'ajout d'un filtre de type moyenne mobile affectant 3 données à la fois (3 x 3).

Dans l'ensemble, les spectres géoradar du site de la côte à Gignac se portent particulièrement bien pour l'ajout de filtres amplifiant le signal de retour des ondes radar. Dans d'autres cas, l'application de ces filtres peut fortement augmenter le bruit de fond ce qui rend impossible l'interprétation des données (ex. terrains fortement argileux).

Site de l'hôpital général de Sillery

Filtrage des données géoradar 500 MHz

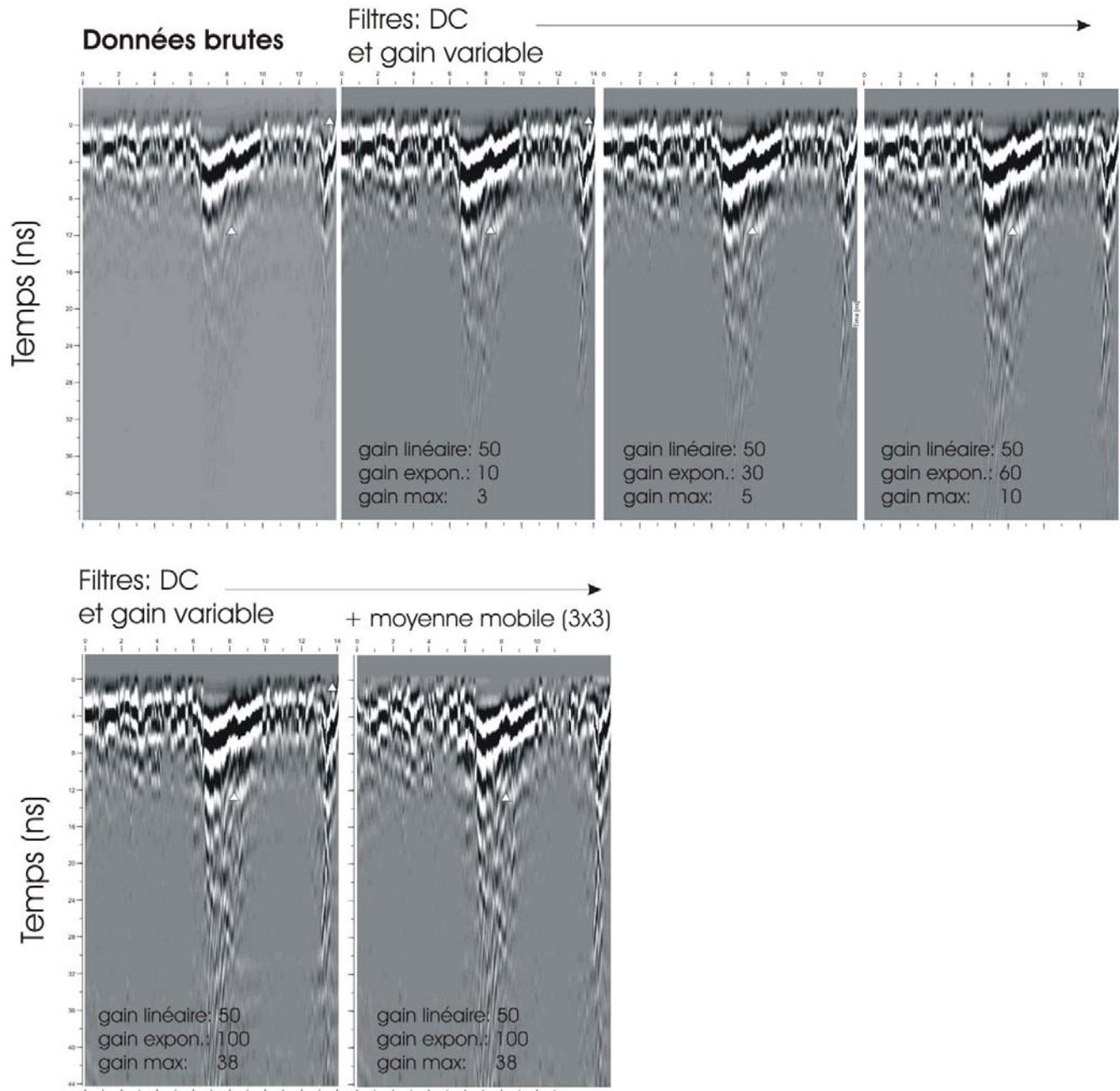


Figure 12. Exemple de filtrage des données géoradar RAMAC 500 MHz lors du levé sur le site de la côte à Gignac. Notez l'augmentation du gain exponentiel et du gain total du haut vers le bas. La dernière figure montre l'effet de l'ajout d'un filtre de type moyenne mobile calculée sur 3 points. Un filtre DC a été appliqué sur l'ensemble des figures de données filtrées.

7. Présentation des données

7.1 Présentation et interprétation des données magnétométriques

7.1.1. LEVÉ MAGNÉTOMÉTRIQUE COUPLÉ AU SYSTÈME DE POSITIONNEMENT DGPS

La figure 13 présente les résultats du levé magnétométrique réalisé à l'aide d'un couplage avec un CDGPS de Novatel. Ce nouveau GPS, équipé du système de correction DGPS canadien, a été spécialement conçu pour être utilisé avec un magnétomètre. En conséquence, il ne contient pas de pièces de fer susceptibles de perturber la lecture du champ magnétique terrestre. Sa résolution spatiale est de plus sub-métrique ce qui permet son utilisation lors de levés magnétométriques sur le terrain.

Pour réaliser ce levé, l'opérateur a marché systématiquement la surface de l'ancienne propriété Irving (Figures 1 et 3). Ce levé inclut donc une surface beaucoup plus grande que le périmètre triangulaire retenu pour l'étude détaillée. Les anomalies significatives présentes sur la figure des données brutes mettent en évidence la signature du viaduc métallique du Canadien National dans la partie Sud-Est de la carte (Figure 13) ainsi que des objets fortement paramagnétiques. Ces derniers sont des poteaux métalliques servant à retenir les anciennes clôtures de la compagnie *Irving* (ex. Figure 5c et f). Le vestige de clôture localisé à la coordonnée 327378 E et 581714 N est un bon exemple de perturbation magnétique associée à des poteaux métalliques et un grillage de clôture (Figure 13). L'anomalie localisée à la coordonnée 327412 E et 5181727 N correspond à un imposant tuyau métallique bordant le mur de béton qui retient le talus du viaduc du CN.

Les données filtrées du champ magnétique total (figure 14) permettent de mieux visualiser l'effet des différentes perturbations magnétiques sur le terrain. Cette dernière permet de mieux voir les contrastes dans les secteurs d'intérêt de la propriété. Ainsi, d'autres anomalies ponctuelles sont visibles sur l'ensemble de la surface du levé. Par exemple, des matériaux magnétiques au coin nord-ouest de l'ancien bâtiment Irving.

Notez que compte tenu des forts contrastes magnétiques reliés à la présence d'éléments fortement paramagnétiques comme le chemin de fer et le viaduc, les contrastes subtils comme ceux qui seraient normalement associés à la présence de fondations en pierre et mortier (ex. anomalies de 10 nT) ne peuvent être visualisés.

Site de la Côte-à-Gignac Champ magnétique total

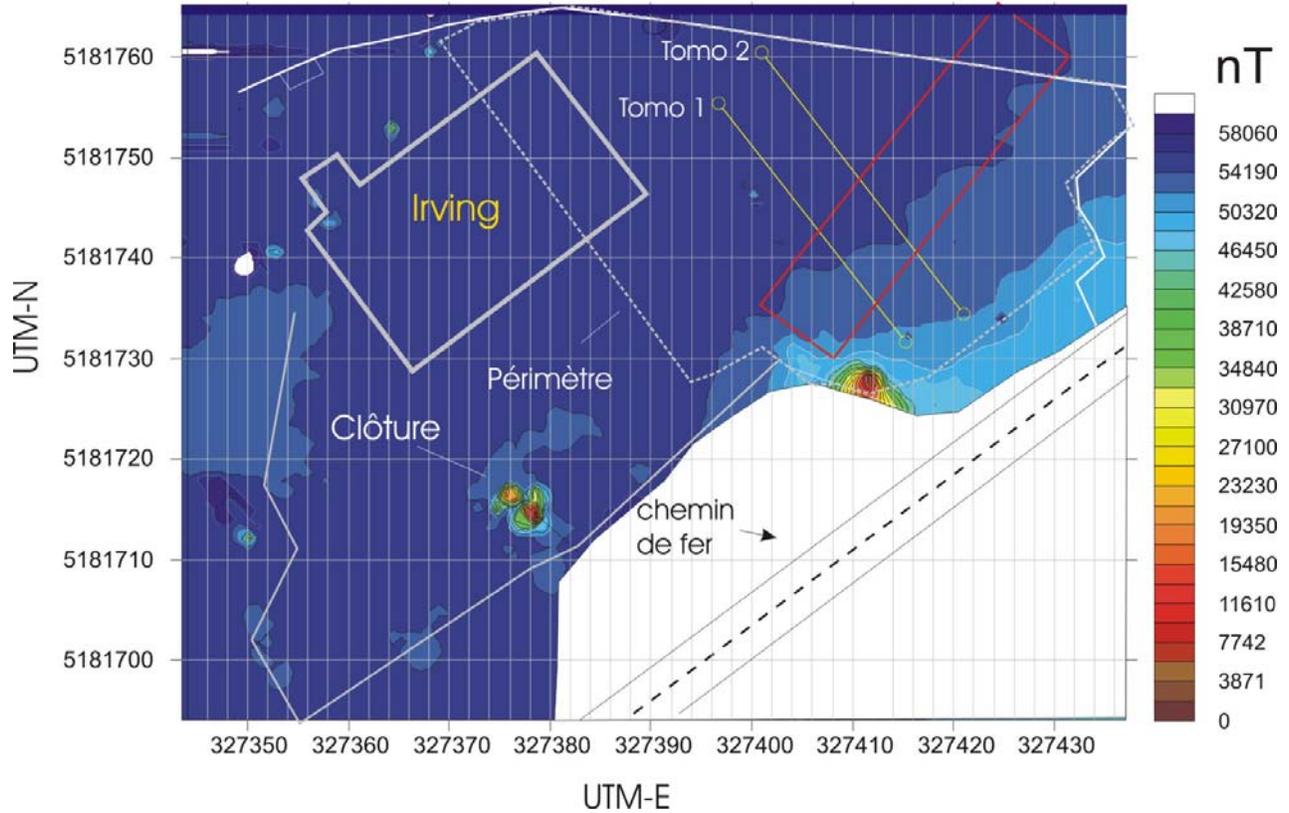


Figure 13. Carte du champ magnétique total mesuré lors du levé magnétométrique couplé à un système de positionnement par satellite. Notez les très forts contrastes liés à la présence du viaduc métallique du Canadien National.

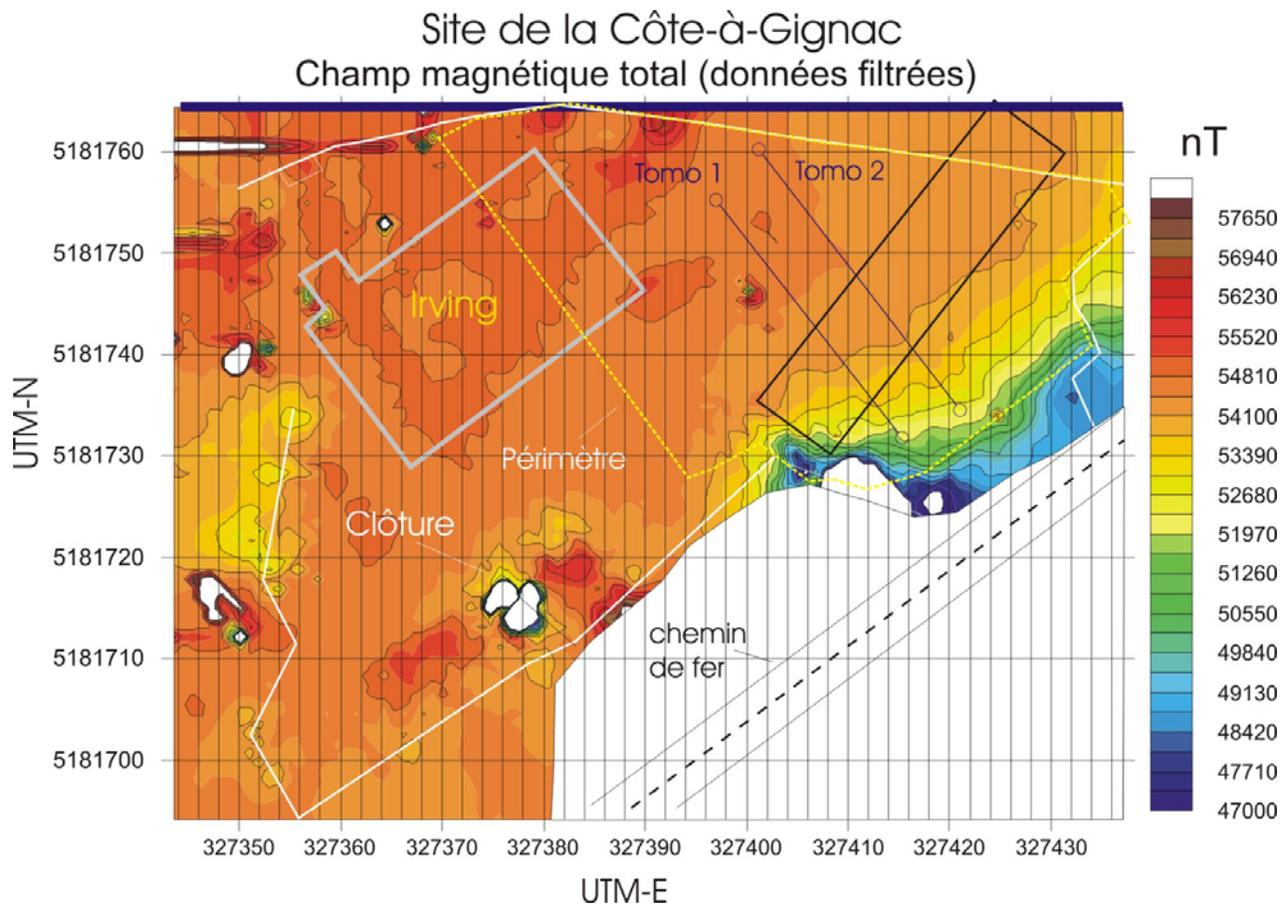


Figure 14. Carte du champ magnétique total (données filtrées) du levé magnétométrique couplé CDGPS. Notez les très forts contrastes reliés à la présence du viaduc métallique du Canadien National et à certaines structures métalliques observées sur le terrain (vestiges d'anciennes clôtures).

7.1.2. DONNÉES DU GRADIENT MAGNÉTIQUE

Les figures 15 et 16 présentent les données du gradient magnétique mesurées à l'aide des deux senseurs magnétiques. Ces données, exprimées en nT/m, ne sont pas affectées par les variations diurnes du champ magnétique terrestre ce qui permet une utilisation directe des résultats. Dans l'ensemble, ces figures soulignent la présence des mêmes structures métalliques que pour les cartes du champ magnétique total. Toutefois, notez que pour les cartes du gradient magnétique, les anomalies sont mieux définies que pour celles du champ magnétique total.

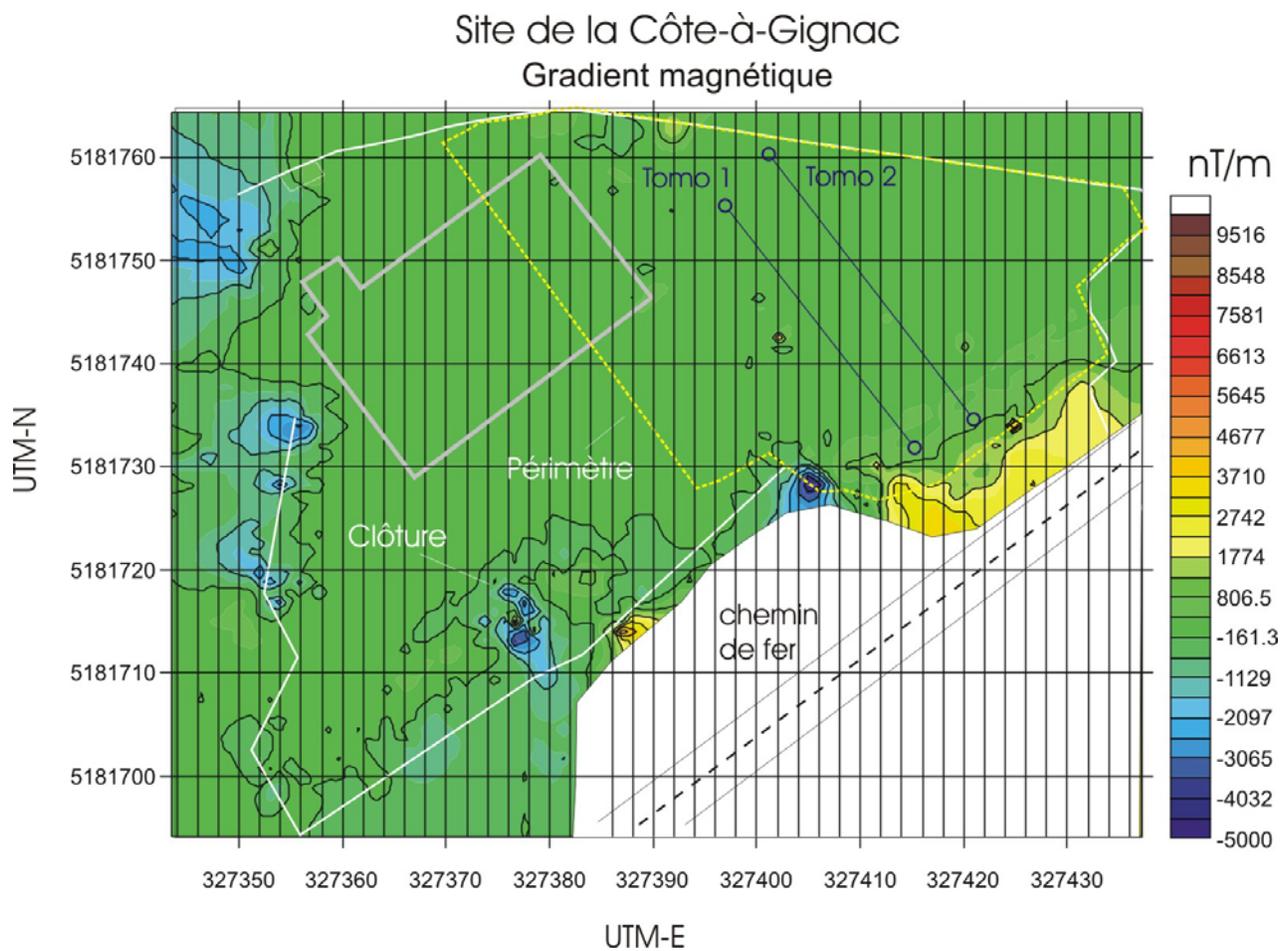


Figure 15. Carte du gradient magnétique mesuré lors du levé magnétométrique couplé au CDGPS. Notez les très forts contrastes reliés à la présence du viaduc métallique du Canadien National et à certaines structures métalliques observées sur le terrain (vestiges d’anciennes clôtures).

Site de la Côte-à-Gignac
Gradient magnétique (données filtrées)

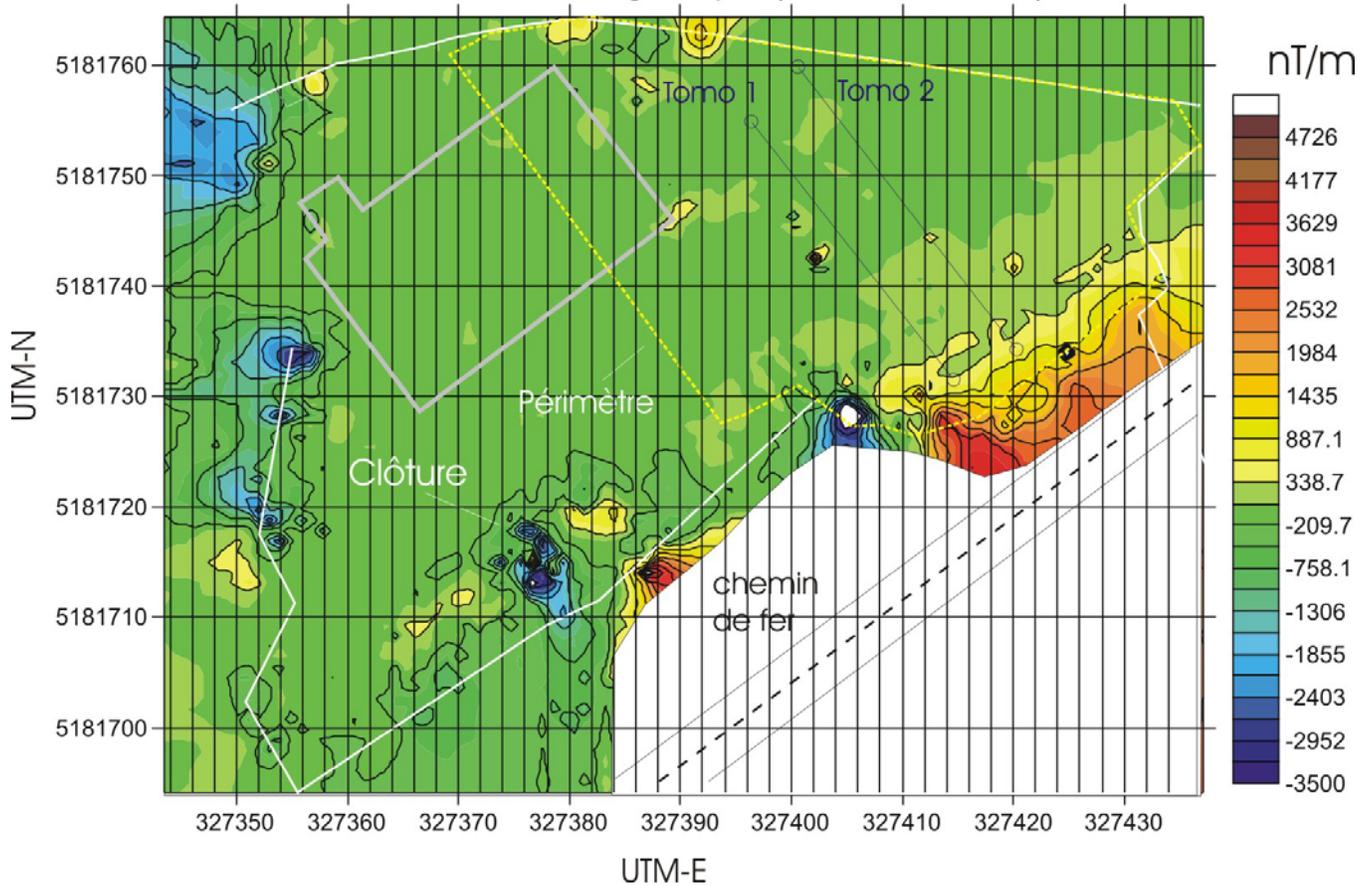


Figure 16. Carte des données filtrées du gradient magnétique mesuré lors du levé magnétométrique couplé au CDGPS. Notez les très forts contrastes reliés à la présence du viaduc métallique du Canadien National et à certaines structures métalliques observées sur le terrain (vestiges d'anciennes clôtures).

7.1.3 LEVÉ MAGNÉTOMÉTRIQUE DE PRÉCISION DANS LE PÉRIMÈTRE DE LIGNES ET STATIONS

Données du champ magnétique total

La figure 17 montre les variations du champ magnétique total (en nT) mesurées dans le périmètre d'étude. Ces données sont présentées dans un premier temps pour l'ensemble des données comprises entre 100 et 60000 nT. Cette figure montre entre autre la présence d'une très forte perturbation magnétique située dans le coin inférieur gauche de la figure. Ce secteur correspond à la structure de béton passant sous le viaduc. En plus du béton armé, ce secteur est caractérisé par la présence d'un important tuyau d'acier planté dans le sol. Cette observation explique l'importance de l'anomalie magnétique observée. Un alignement de petites anomalies est présent sur les deux figures du champ total (brutes et filtrées) (Figure 17). Ces anomalies s'alignent sur la ligne 20 (entre les stations 0 et 25). Ces dernières semblent former des dipôles magnétiques traduisant la présence d'objets métalliques enfouis dans le sol (sous le revêtement bitumineux). Ces objets métalliques pourraient correspondre à d'anciens piquets de clôture ou à des éléments d'une conduite d'eau (égouts ?). Les données filtrées du champ magnétique total montrent en plus une zone de diminution de l'intensité du champ magnétique orientée parallèlement à la voir ferrée (zone en rouge sur le plan).

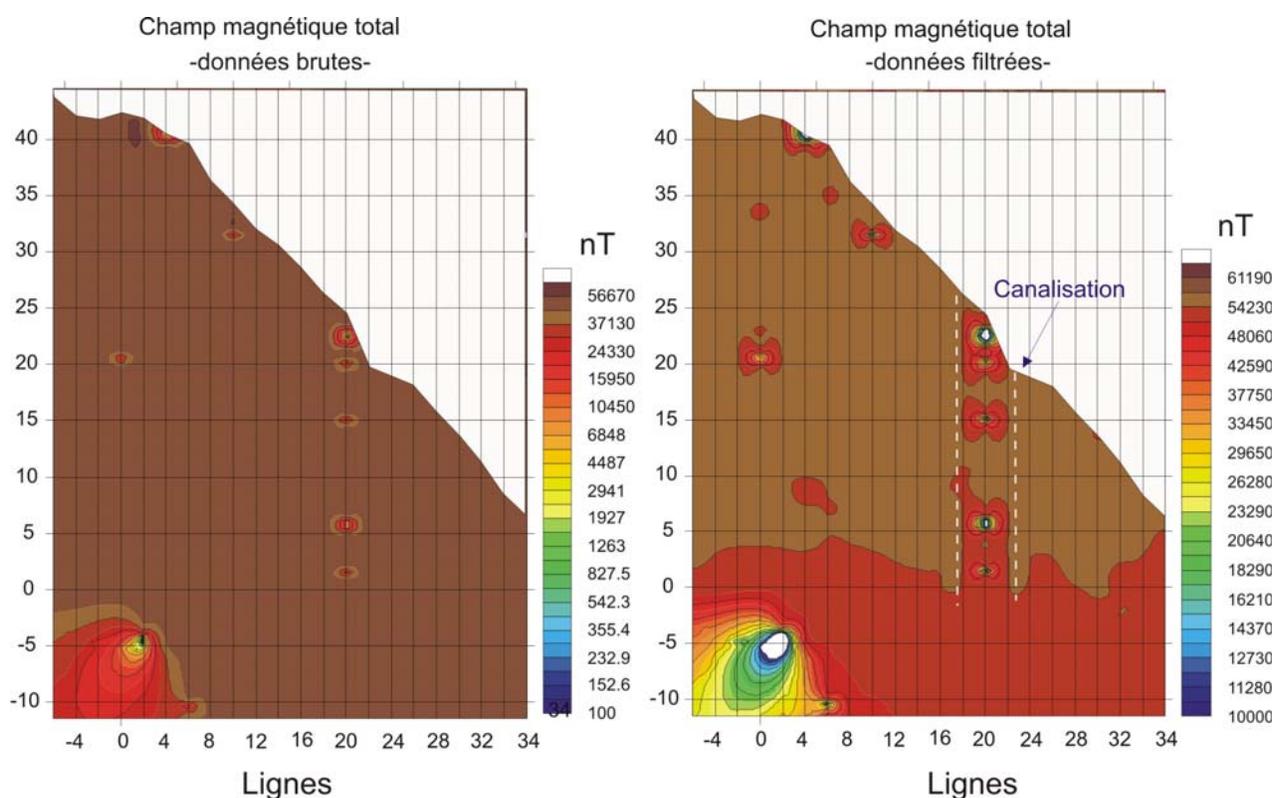


Figure 17. Cartes montrant la distribution des données brutes (gauche) et filtrées (droite) du champ magnétique total mesuré dans le périmètre d'étude. Notez la présence d'objets métalliques et les très grandes variations des valeurs. Ceci démontre que le site est fortement impacté par la présence d'objets et structures métalliques (ex. viaduc du chemin de fer).

Données du gradient magnétique

Les données de gradient magnétique présentées à la figure 18 montrent une large gamme de variations. Ces données montrent plus spécifiquement la présence d'anomalies ponctuelles le long des lignes 0, 4 et 6 ainsi qu'un linéament à gradient magnétique négatif orienté le long de la ligne 20. Ces anomalies sont nécessairement anthropiques et liées à la présence de matériaux métalliques enfouis sous le stationnement. Ces anomalies sont dans l'ensemble influencées par la présence de dipôles magnétiques expliquant la juxtaposition de zones à gradients positif et négatif. L'influence du chemin de fer et du viaduc métallique est souligné par la présence d'une bande de gradient magnétique positif (en rouge) au sud de la carte. Une forte anomalie ponctuelle est présente sur la ligne 10 à l'intersection de la station 33. Cette dernière est possiblement liée à une canalisation visible à partir de la surface.

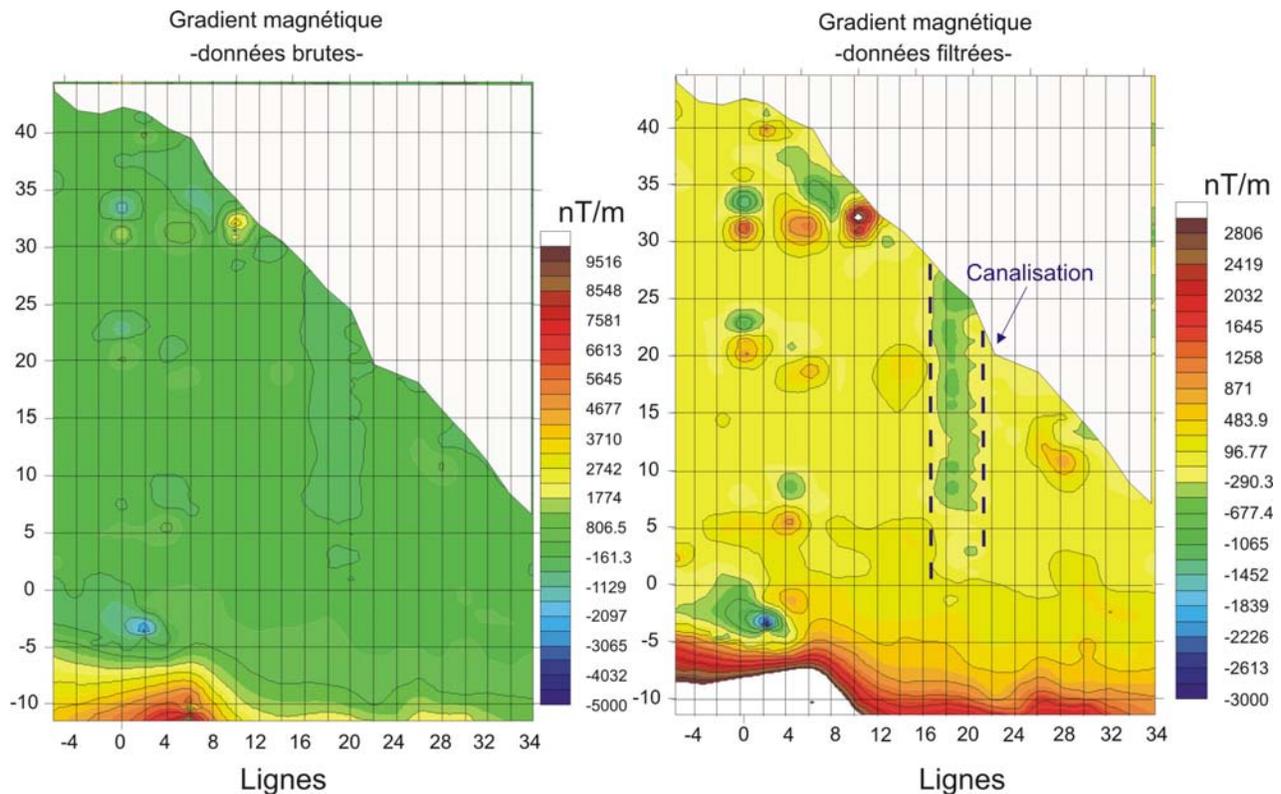


Figure 18. Cartes montrant la distribution des données brutes (gauche) et filtrées (droite) du gradient magnétique mesuré dans le périmètre d'étude. Notez la présence d'objets métalliques dans la partie sud du levé. La carte des données filtrées montre en plus la présence probable d'une conduite d'eau (égout ?) ainsi que plusieurs objets métalliques formant des dipôles magnétiques sur la carte (ex. ligne 0, stations 20 à 23).

7.2 Levé d'induction électromagnétique GEM-2

7.2.1 LEVÉ D'INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE GEM2 COUPLÉ AU SYSTÈME DE POSITIONNEMENT DGPS

Tout comme pour les données de levés magnétométriques présentées précédemment, nous débutons la présentation des données de conductivité électrique en montrant les résultats du levé couplé au système de positionnement GPS (DGPS minimax CSI). Ce levé avait pour principal objectif l'obtention de plans de conductivité électrique apparente de l'ensemble de la surface occupée par l'ancienne propriété Irving.

Ces données permettent de visualiser les contrastes de conductivité électrique en passant du périmètre triangulaire(localisé dans la partie Est) au secteur de sols et remblais de la partie Ouest. Notez que ces sols et remblais ont été variablement contaminés dans le passé et qu'ils ont fait l'objet d'une restauration impliquant l'excavation des sols et remblais et le remplacement par du remblai non contaminé. Ces interventions majeures ont certainement bouleversées les signatures magnétiques et électriques primaires de ces unités pédologiques.

Interférences reliées aux lignes de transport d'électricité

Avant d'interpréter les données provenant du levé d'induction électromagnétique GEM-2 (multifréquences) nous avons évalué l'intensité du signal EM relié à la circulation du courant dans la ligne de transport électrique bordant la côte à Gignac.

La figure 19 montre très clairement une accentuation du signal *Power Line* de la sonde GEM-2 en se rapprochant du chemin de la côte à Gignac. Cette perturbation correspond à la présence d'une ligne de transport d'électricité située dans la partie nord de la zone des levés géophysiques. L'intensité du signal passe de 0.007 au Sud-Ouest à 0.12 Gauss dans la partie Nord du site. La zone potentiellement interférée occupe une bande linéaire d'environ 10m de part et autre de la ligne électrique Cette observation montre qu'il faut faire attention à l'interprétation des données géophysiques dans ce secteur.

Notez que les données de conductivités électriques mesurées dans la zone de perturbation électromagnétique peuvent être interférées ce qui rend l'interprétation des données plus complexe. Sachant que les courants électriques circulant dans les lignes de transport électrique au Canada oscillent à une fréquence de 60Hz, nous avons sélectionné des fréquences d'induction moins susceptibles d'être interférées. Plus spécifiquement, nous avons fait attention de ne pas sélectionner des fréquences d'induction qui sont des multiples de 60 Hz (ex. 600 Hz)..

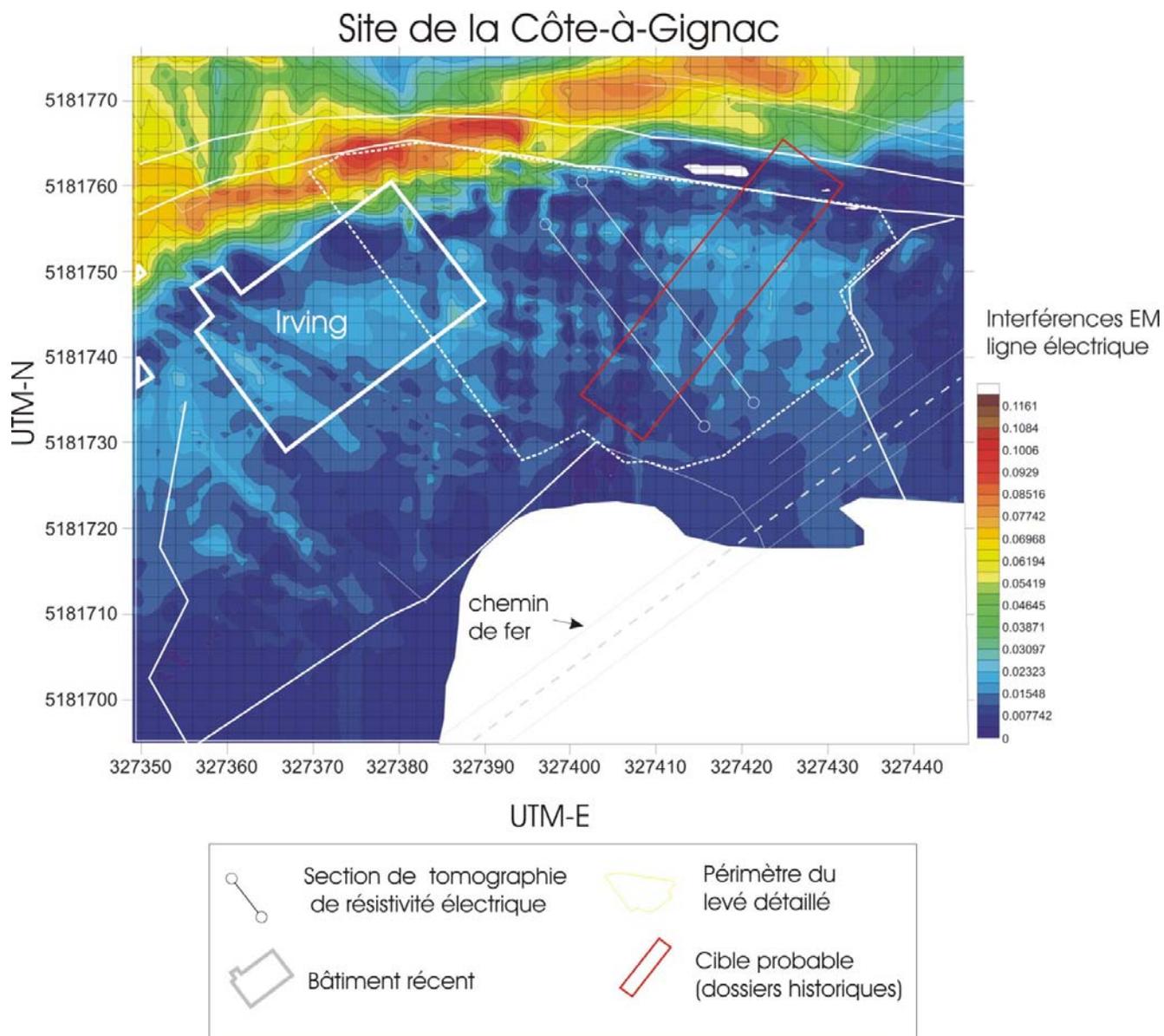


Figure 19. Carte montrant l'importance de l'interférence électromagnétique reliée à la circulation de courants électriques de 60Hz dans la ligne de transport située en bordure de la côte à Gignac.

Conductivité apparente mesurée par la sonde GEM-2.

Les figures 21 à 23 montrent les valeurs de conductivité apparente mesurées avec couplage DGPS pour des fréquences d'induction de 4050, 7290 et 18270 Hz. Ces fréquences ont été sélectionnées pour investiguer des profondeurs variables dans les sols et remblais du site de la côte à Gignac. De plus, nous avons vérifié par calcul que notre sélection de fréquence permettait de minimiser les interférences reliées à la circulation d'électricité dans la ligne électrique de 60 Hz d'Hydro-Québec.

Compte tenu de l'objectif archéologique du projet, nous n'avons pas jugé opportun de sélectionner de basses fréquences (ex. 350 Hz) pouvant investiguer jusqu'à 30-40m de profondeur. Le domaine de fréquences sélectionné permet une investigation de quelques dizaines de cm à possiblement 10 mètres (profondeur qui est fonction de la fréquence d'induction et de la résistivité du roc et du remblai).

Pour une fréquence d'induction de 4050 Hz, la carte de la figure 21 montre des valeurs de conductivité normales situées entre 0 et 300 mS/m. Les plus faibles valeurs sont observées dans la partie Ouest et Sud-Ouest (en bleu sur la carte) tandis que les valeurs de conductivité électrique les plus élevées sont surtout observées sous le stationnement et plus spécifiquement dans la partie centrale du périmètre triangulaire qui fait l'objet des levés de haute résolution.

Dans la partie Ouest et Sud-Ouest de l'ancienne propriété Irving, les zones de plus fortes conductivités (sup. à 225 mS/m) correspondent généralement à la présence de clôtures métalliques ou de poteaux métalliques solidement ancrés dans le sol (ex. UTM-E : 327380 / UTM-N : 5181720). Malgré la présence de ces structures métalliques, notez que la conductivité électrique apparente des sols et remblais de l'extrémité Sud-Ouest ressemble à celle des matériaux présents sous le stationnement (périmètre triangulaire). Ceci laisse supposer que les matériaux présents au Sud-Ouest pourraient être apparentés à ceux présents sous le stationnement. Ces deux zones sont séparées une zone très peu conductrice (en bleu foncé) qui semble correspondre au secteur excavé lors de la réhabilitation du site. Notez que des valeurs de conductivité inférieures à 5 mS/m dans du remblai sont atypiques pour la région de Québec. Compte tenu qu'un remblai de 2 à 4,5 m d'épaisseur est présent dans ce secteur et que la nappe phréatique devrait être en contact avec ces matériaux, la conductivité électrique devrait être plus élevée dans ce secteur (Figure 20). Cette observation soulève une question pour ce qui est de l'efficacité de la décontamination du site. En effet, la littérature scientifique montre de nombreux exemples démontrant que la conductivité électrique des sols diminue fortement lors d'une contamination par des hydrocarbures.



Figure 20. Photographie montrant l'épaisseur de remblais dans la zone Sud-Ouest de la propriété Irving. Cette excavation a été comblée par un remblai non contaminé qui montre actuellement une très faible conductivité électrique.

D'un autre côté, la partie centrale du périmètre triangulaire montre la présence de matériaux beaucoup plus conducteurs. Les valeurs de conductivités électriques dépassent facilement les 175 mS/m. Ce secteur semble avoir été perturbé par des travaux d'aménagement du site antérieurs à la construction du stationnement. Le secteur plus conducteur pourrait correspondre entre autre à une ancienne canalisation. En effet, la carte de compilation du service d'aménagement de la Ville de Québec montre la présence d'un égout pluvial plus ou moins bien localisé dans ce secteur.

La figure 21 montre de plus la présence d'une forte anomalie conductrice localisée à l'extrémité Nord-Est de l'ancien bâtiment Irving (UTM-E : 327380 / UTM-N : 5181758). L'examen visuel du site montre la présence de tige d'acier solidement fixée dans une dalle de béton armé. L'anomalie très conductrice située en bordure du chemin de la côte à Gignac (UTM-E : 327416 / UTM-N : 5181762) correspond à une bouche d'égout.

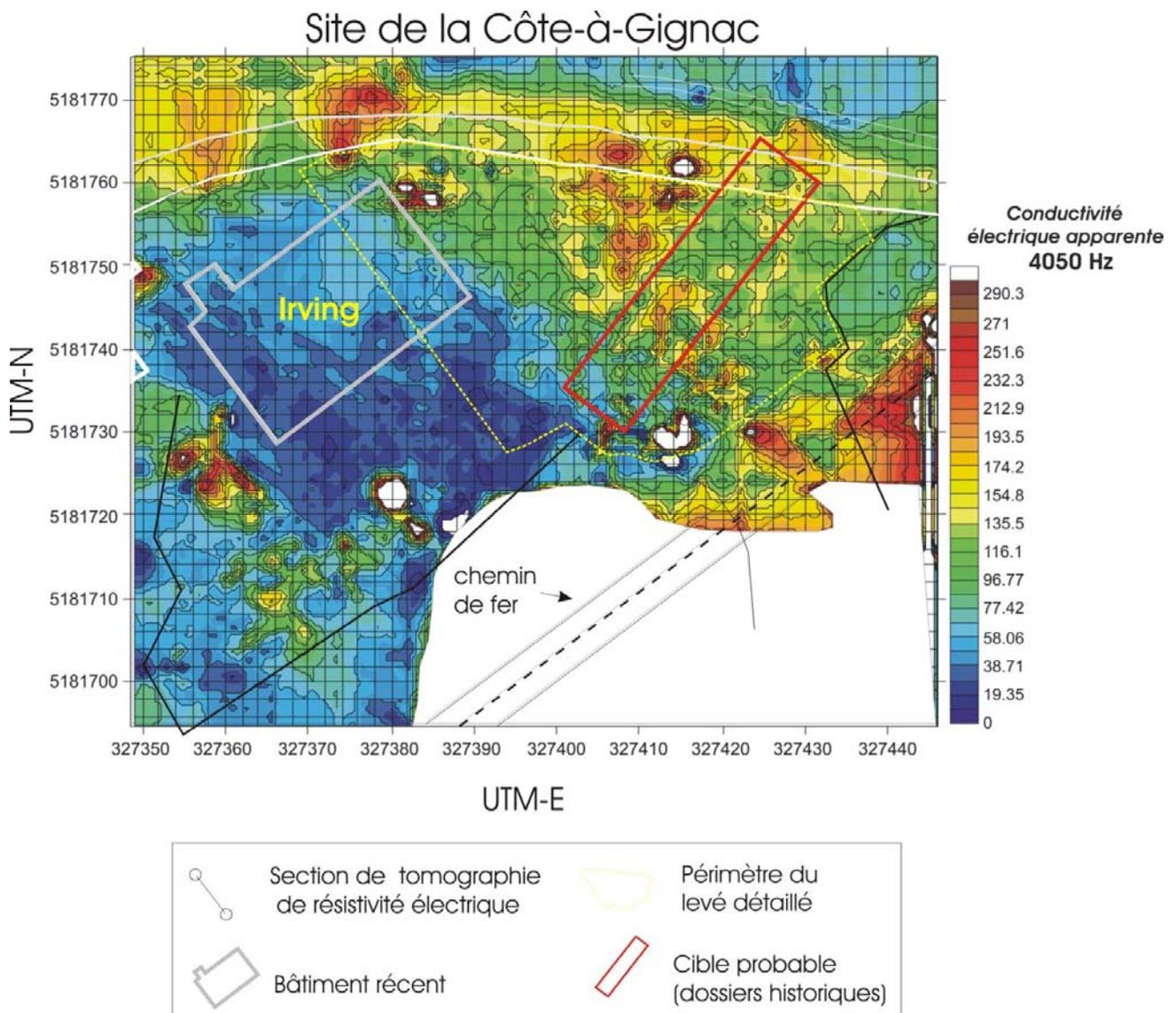


Figure 21. Carte de conductivité électrique apparente mesurée lors du levé couplé au positionnement DGPS. Les données sont mesurées pour une fréquence d'induction de 4050 Hz. Notez la faible conductivité au Sud de l'ancien bâtiment Irving et les fortes conductivités observées sous le stationnement actuel situé plus à l'Est.

La figure 22 montre des variations de conductivité électrique apparente mesurées pour une fréquence d'induction de 7290 Hz. Les contrastes de valeurs de conductivités observés sur la figure 21 sont semblables à ceux obtenus pour une fréquence d'induction de 4050 Hz. L'examen attentif de la figure 22 montre les mêmes structures que la figure 21. Toutefois, la forme des anomalies est plus franche pour une induction à 7290 Hz. Compte tenu que les anomalies observées à une fréquence de 7290 Hz sont semblables à celles de 4050 Hz, les éléments responsables de ces anomalies sont probablement présents à de plus faibles profondeurs dans les sols et remblais (note : l'induction à une fréquence de 7290 Hz ne peut pénétrer aussi profondément qu'une induction à une fréquence de 4050 Hz).

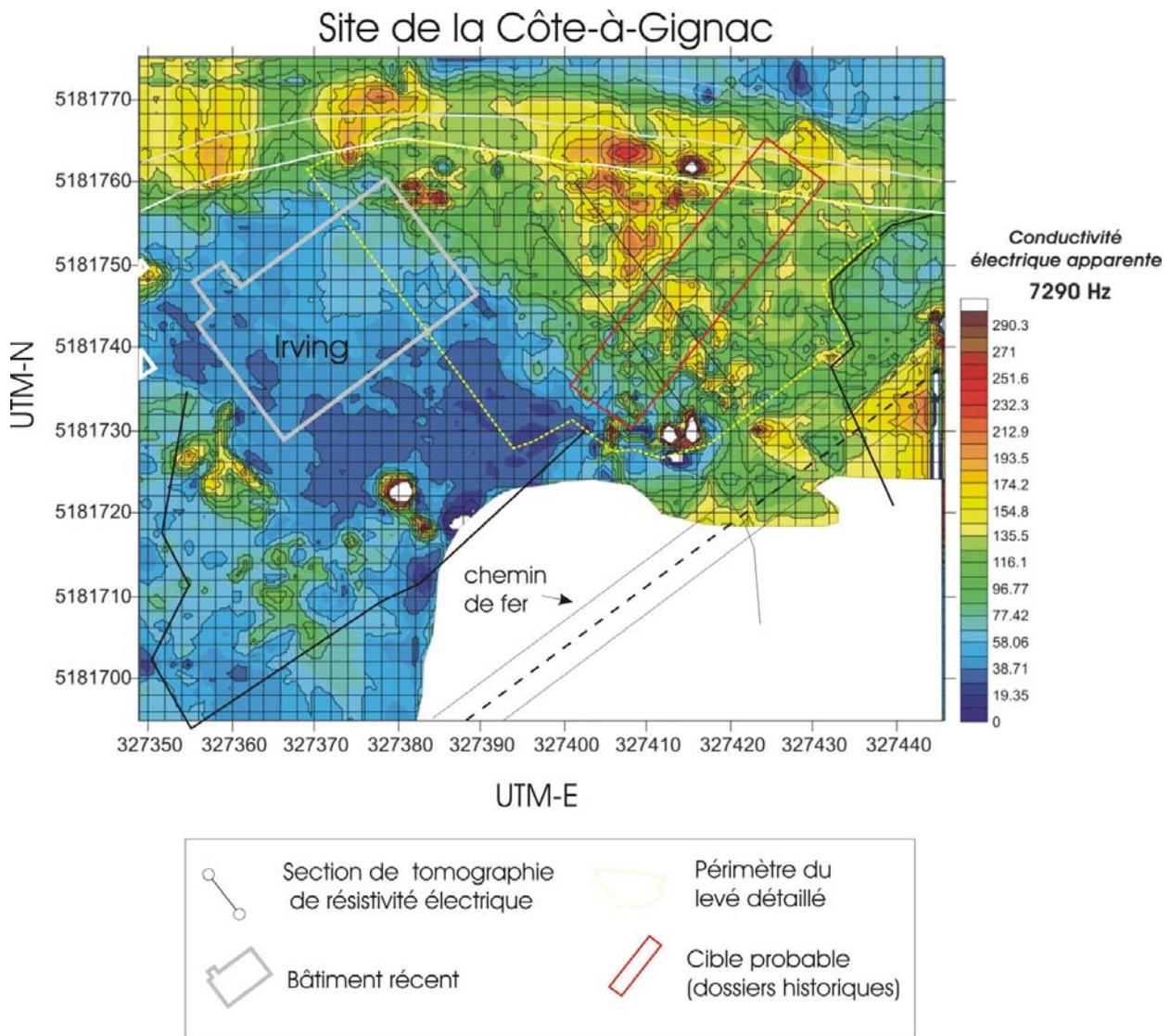


Figure 22. Carte de conductivité électrique apparente mesurée lors du levé couplé au positionnement DGPS. Les données sont mesurées pour une induction à une fréquence de 7290 Hz. Notez la faible conductivité électrique au Sud de l'ancien bâtiment Irving et les fortes conductivités observées sous le stationnement actuel situé plus à l'Est. Les fortes anomalies ponctuelles correspondent à des objets métalliques.

Pour une induction à plus haute fréquence (18270 Hz) et donc de pénétration beaucoup plus modeste, la carte de distribution des valeurs de conductivité électrique est beaucoup plus homogène (Figure 23). Les grandes subdivisions existent encore (ex. la zone peu conductrice de la partie centrale au sud de l'ancien bâtiment Irving). A l'opposé, l'anomalie fortement conductrice présente à l'extrémité sud-ouest de l'ancien bâtiment Irving (UTM-E : 327356 / UTM-N : 5181727) n'est pratiquement plus visible. Ceci suggère que les matériaux conducteurs enfouis dans ce secteur sont présents sous la zone d'investigation de 18270 Hz.

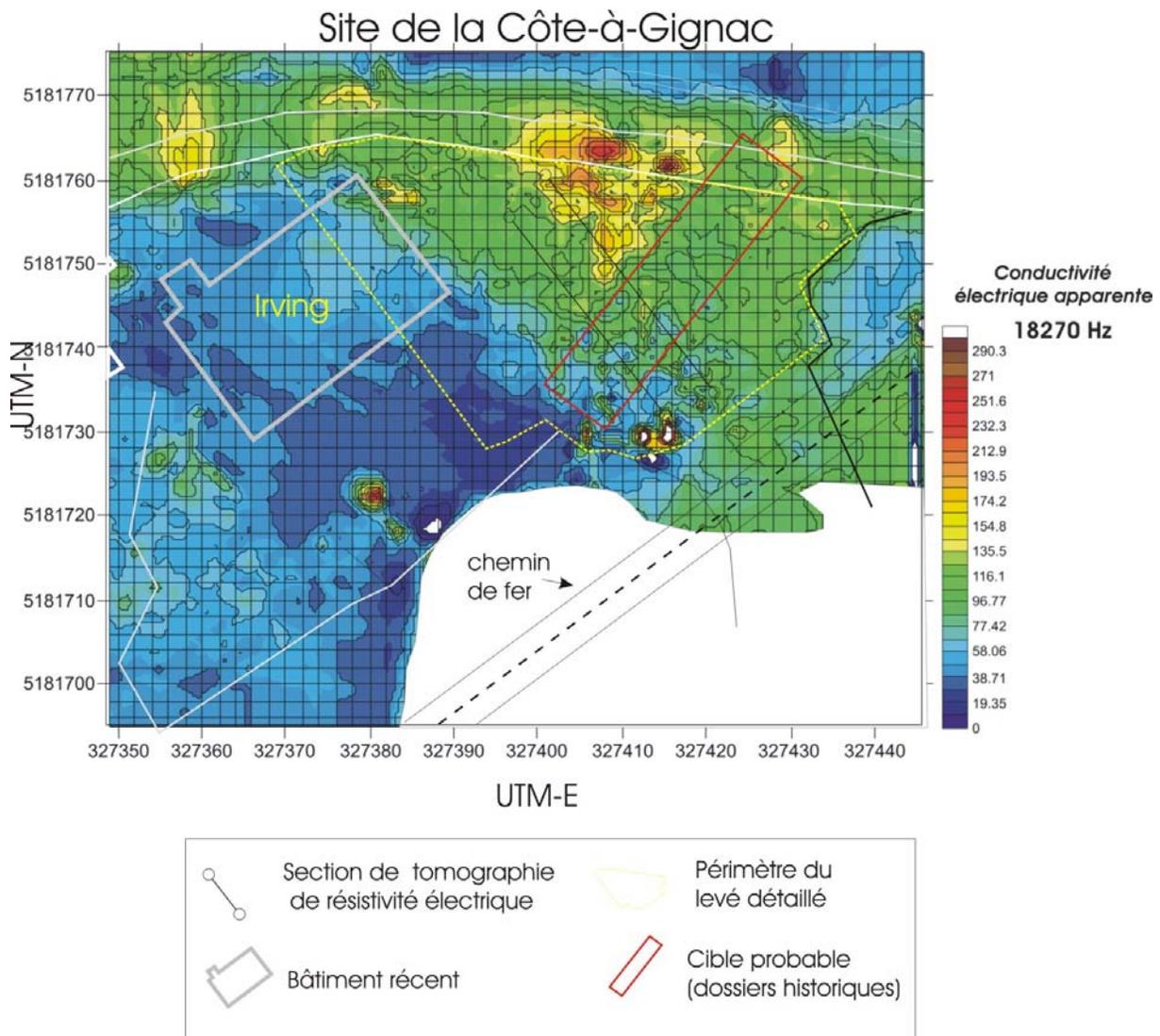


Figure 23. Carte de conductivité électrique apparente mesurée lors du levé couplé au positionnement DGPS. Les données sont mesurées pour une fréquence d'induction de 18270 Hz. Notez la faible conductivité au Sud de l'ancien bâtiment Irving et les fortes conductivités observées sous le stationnement actuel situé plus à l'Est. Les fortes anomalies ponctuelles correspondent à des objets métalliques.

La conductivité relativement uniforme observée dans le périmètre triangulaire pourrait s'expliquer par la présence d'un remblai relativement uniforme présent sous le revêtement bitumineux du stationnement actuel (environ 100 mS/m). Ce remblai semble plus ancien que celui plus électriquement conducteur présent sous le chemin de la côte à Gignac (valeurs de 135-170 mS/m).

7.2.2. LEVÉ D'INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE GEM2 RÉALISÉ DANS LE PÉRIMÈTRE DE LIGNES ET STATIONS

Tel que demandé par M. William Moss de la Ville de Québec, un périmètre de forme triangulaire a été positionné sur le terrain pour délimiter la surface du levé de précision devant être réalisé le long d'un réseau de lignes espacées de 2 m. Ce réseau est présenté à la figure 3.

Notez que le haut des cartes sur les figures 24 à 27 correspond en fait au Nord-Ouest géographique. Sur ces plans, le périmètre est limité vers le Nord par le chemin de la côte à Gignac et vers le sud par le viaduc du chemin de fer.

Pour la réalisation de ce levé, nous avons ajouté une quatrième fréquence d'induction. Cette dernière, de 30300 Hz, permet de visualiser les propriétés électriques de la proche surface et plus spécifiquement à moins de 50cm de profondeur.

Plusieurs éléments anomaliques sont facilement identifiables et récurrents sur les figures 24. à 26 (4050, 7290 et 18270 Hz). Par exemple, l'anomalie associée au domaine plus résistif (moins conducteur) du côté Ouest est bien visible sur l'ensemble de ces cartes et plus spécifiquement sur les plans des données filtrées qui permettent de rehausser les contrastes de conductivité électrique. Ces matériaux résistifs correspondent à ceux documentés au voisinage de l'ancien bâtiment Irving (zone de réhabilitation des sols contaminés sur les figures 21 à 23). Les figures 24 à 26 montrent en plus la présence d'un linéament orienté parallèlement au réseau de lignes du périmètre. Cette zone linéaire hautement anomalique est centrée entre les lignes 16 à 20 et recoupe l'ensemble du périmètre (du nord au sud). L'intensité de l'anomalie semble diminuer en fonction de l'augmentation de la fréquence d'induction (ex. carte de la figure 24 vs figure 26). Ceci suggère que les matériaux responsables de l'anomalie de conductivité électrique sont surtout présents en profondeur. L'anomalie de conductivité électrique observée pourrait correspondre à une canalisation d'égout ou d'eau de ruissellement passant sous le stationnement. Ce point est suggéré par le plan de compilation de la Ville de Québec.

Trois anomalies ponctuelles et hautement conductrices sont présentes sur les cartes des figures 24 à 26. La première située entre les lignes 4 et 6 (stations 32 à 35) correspond aux vestiges du mur de béton armé et de la dalle de béton associés à l'extrémité Nord-Est de l'ancien bâtiment Irving. La seconde anomalie est présente en bordure du chemin de la côte à Gignac. (Ligne 28, station 14). Cette anomalie semble correspondre à une bouche de canalisation. La troisième anomalie est présente sur la ligne 26 et à l'intersection de la station -10. Cette dernière est associée à la présence d'un puit métallique (possiblement un piézomètre de monitoring de la contamination de l'eau).

Notez que sur l'ensemble des cartes des figures 24 à 26, le coin inférieur gauche est caractérisé par une très forte anomalie de conductivité électrique associée au mur de béton armé sur lequel repose une partie du viaduc du CN. Les fortes valeurs de conductivité associées à cette structure ont été filtrées (élimination des fortes valeurs) pour permettre de visualiser les contrastes de conductivité dans les autres secteurs.

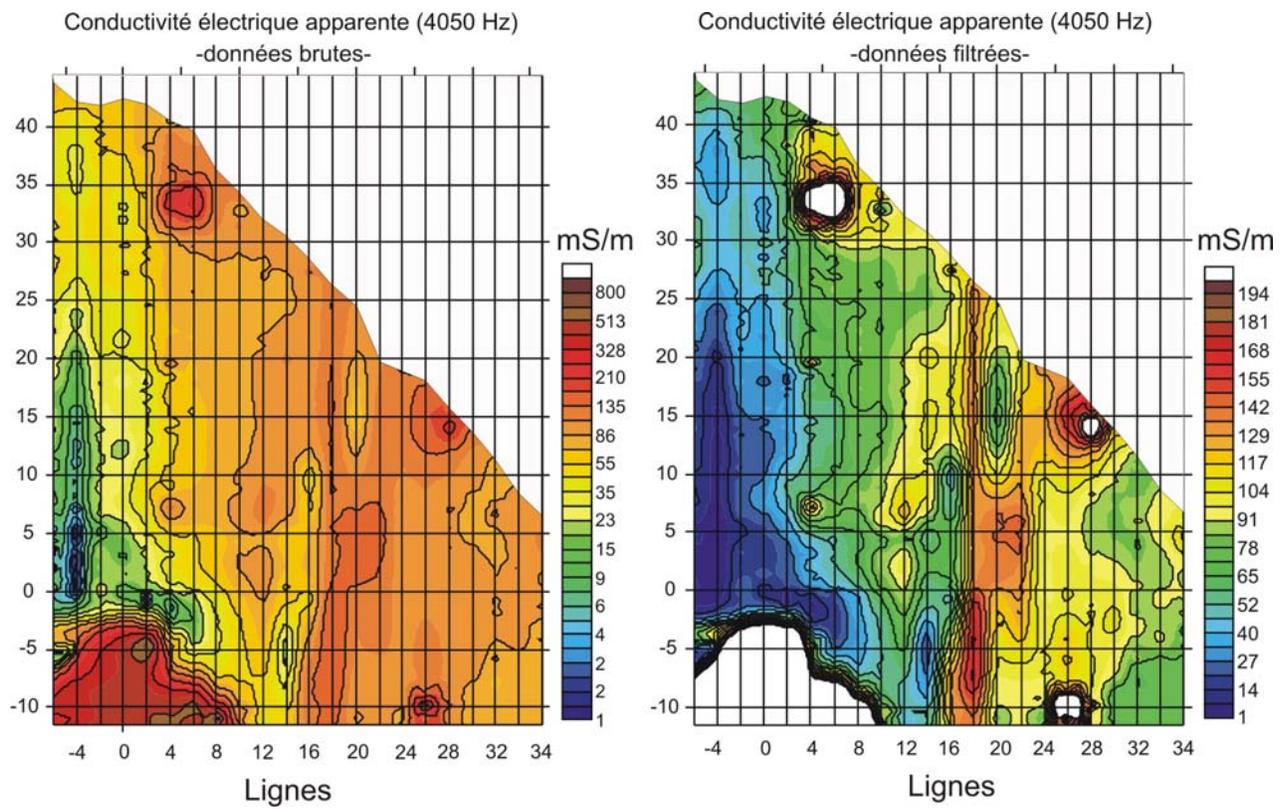


Figure 24. Carte de la conductivité apparente mesurée par induction électromagnétique à l'aide de la sonde GEM-2 (fréquence d'induction de 4050 Hz). Notez que le levé a été réalisé en suivant le réseau de lignes du périmètre.

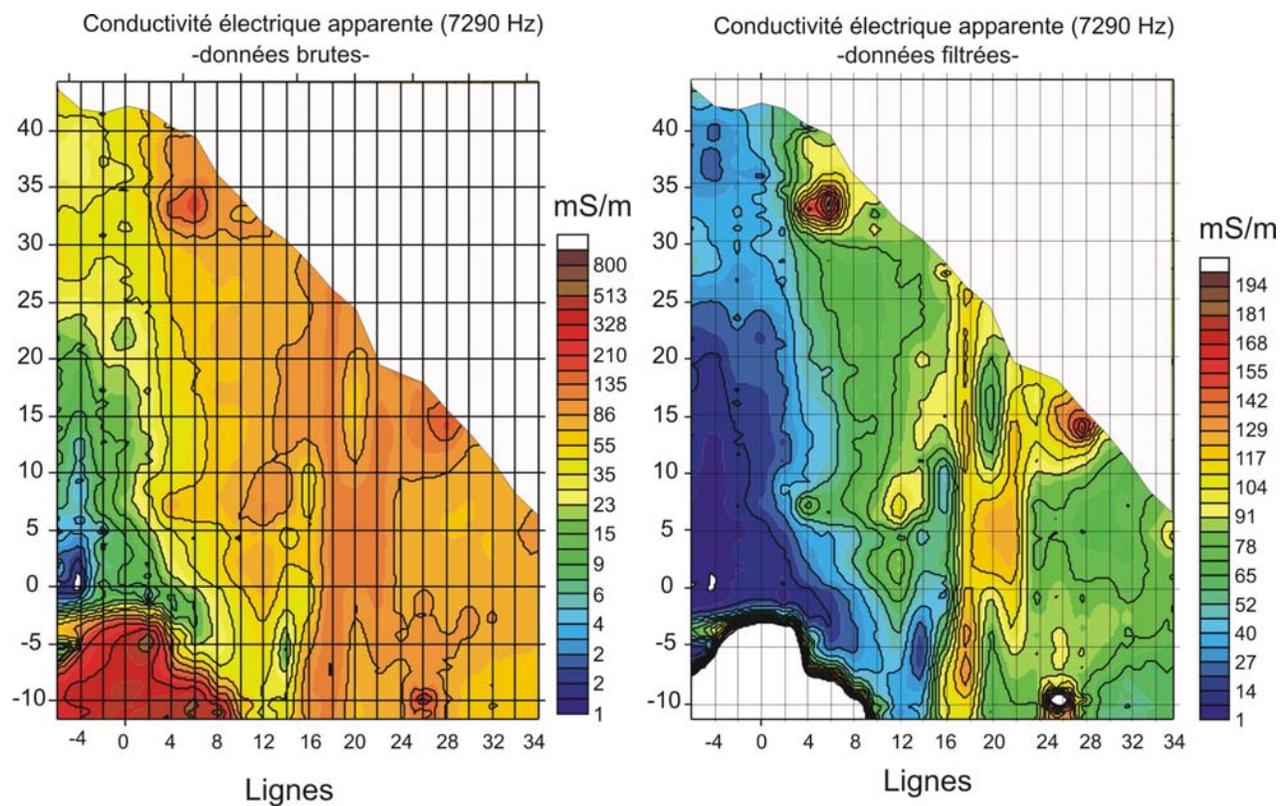


Figure 25. Carte de la conductivité apparente mesurée par induction électromagnétique à l'aide de la sonde GEM-2 (fréquence d'induction de 7290 Hz).

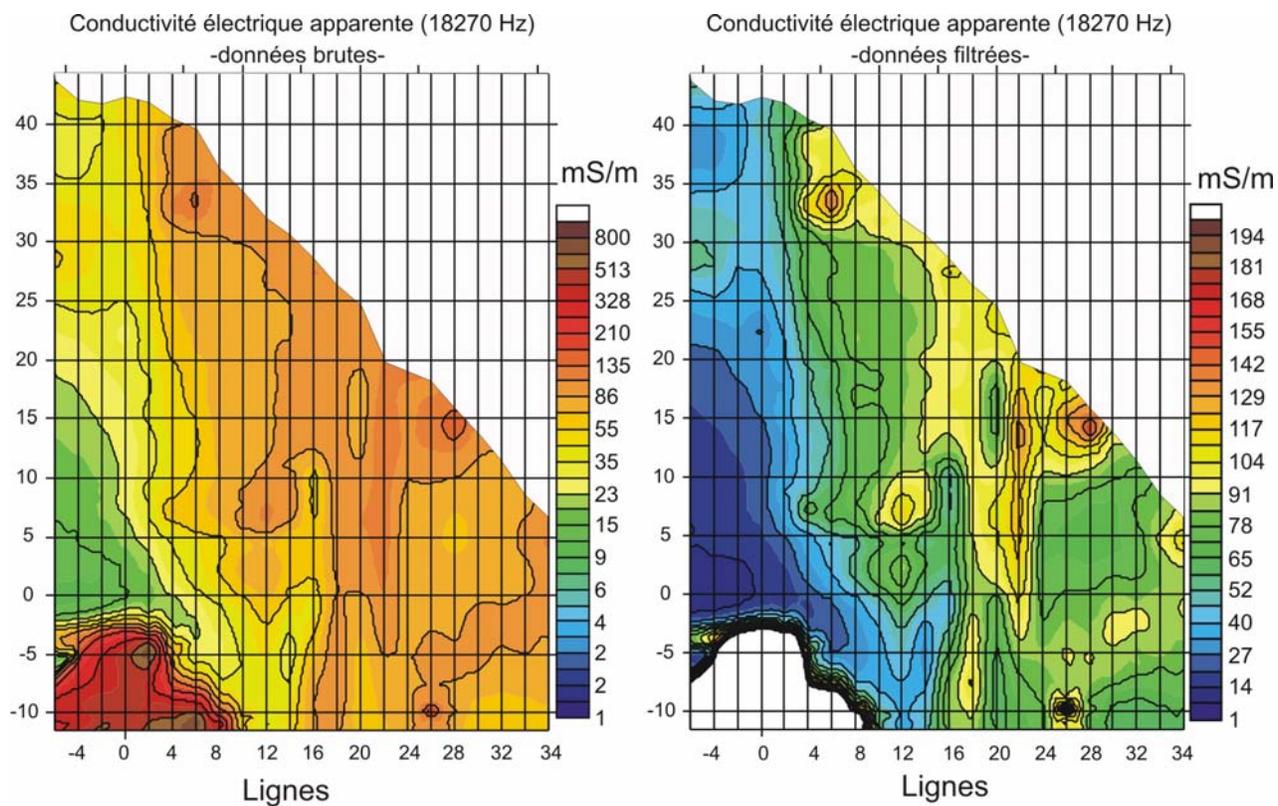


Figure 26. Carte de la conductivité apparente mesurée par induction électromagnétique à l'aide de la sonde GEM-2 (fréquence d'induction de 18270 Hz).

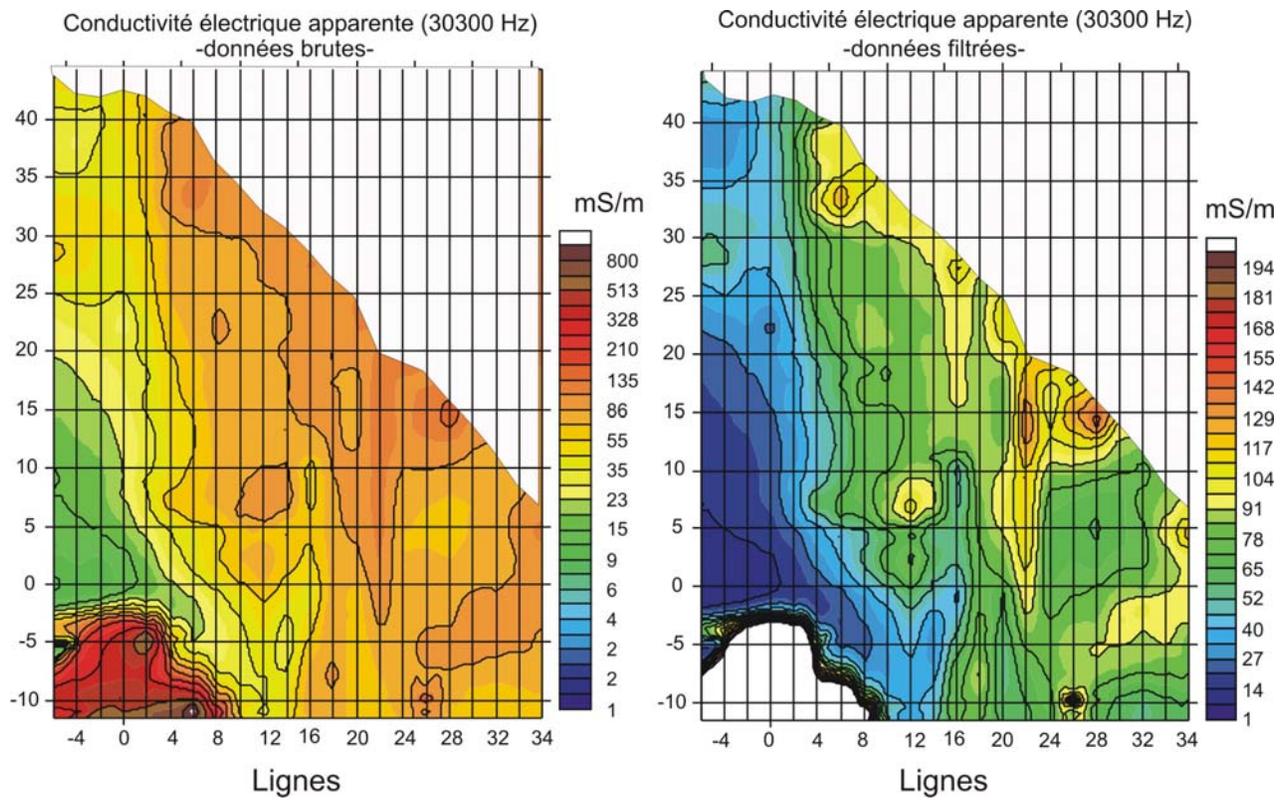


Figure 27. Carte de la conductivité apparente mesurée par induction électromagnétique à l'aide de la sonde GEM-2 (fréquence d'induction de 30300 Hz).

7.2.3 Susceptibilité magnétique mesurée par la sonde GEM2.

7.2.3.1. SUSCEPTIBILITÉ MAGNÉTIQUE MESURÉE LORS DU LEVÉ D'INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE GEM2 COUPLÉ AU SYSTÈME DE POSITIONNEMENT DGPS

Afin d'évaluer les contrastes de susceptibilité magnétique nous présentons en plan les variations des valeurs mesurées par la sonde GEM-2 pour différentes fréquences d'induction (Figures 28 à 30). Dans un premier temps, les données du levé couplé au DGPS sont présentées pour obtenir une vue d'ensemble du site. Par la suite, les données mesurées à l'intérieur du périmètre seront présentées.

Dans l'ensemble, les cartes de susceptibilité magnétique des fréquences d'induction de 4050, 7290 et 18270 Hz montrent des tendances similaires. Les contrastes deviennent toutefois mieux définis vers les hautes fréquences ce qui suggère que la variabilité de ce paramètre est dominée par la présence de matériaux relativement peu profonds et contrastés pour ce qui est des valeurs de susceptibilité magnétique.

Les figures 28 à 30 montrent entre autre une susceptibilité magnétique plus élevée des matériaux présents dans le secteur ouest. Ce secteur anciennement occupé par le bâtiment de la compagnie Irving, a fait l'objet de travaux de décontamination. L'utilisation d'un remblai uniforme suite à la décontamination du site pourrait expliquer cette signature géophysique. A l'opposé, les matériaux présents sous le stationnement actuel montrent une très faible susceptibilité magnétique. Ces derniers sont recoupés par une structure orientée Nord-Ouest - Sud-Est à haute susceptibilité magnétique qui recoupe la partie centrale du dispositif (valeurs en blanc sur la carte). Cette structure, visible pour les fréquences d'induction de 7290 et 18270 Hz, est certainement de nature anthropique. Elle pourrait correspondre à l'égout pluvial indiqué sur le plan de compilation de la ville de Québec.

Les cartes des figures 28 et 29 montrent également la présence d'une structure à faible susceptibilité magnétique recoupant le côté Est de l'ancien bâtiment Irving (suivant la ligne UTM-E 327384). Cette structure semble se terminer à angle droit au sud près de la ligne équivalente au UTM-N 5181716. D'autres linéaments significatifs sont observés sous l'ancien bâtiment Irving. Ces structures linéaires, orientées NO - SE, semblent restreintes à l'intérieur du périmètre de l'ancien bâtiment (Figures 28, 29 et 30).

Les cartes des figures 28 à 30 montrent la présence d'une importante structure marquée par une forte susceptibilité magnétique passant du côté Ouest de l'ancien bâtiment Irving.. Cette structure semble correspondre en partie à un égout pluvial observé lors de l'excavation du terrain en 2006 (Figure 31).

Finalement les cartes des figures 28 à 30 montrent la présence de valeurs de très hautes susceptibilités magnétiques au voisinage du viaduc métallique du CN ainsi qu'en bordure des vestiges de clôture bordant les parties Sud et Ouest du site.

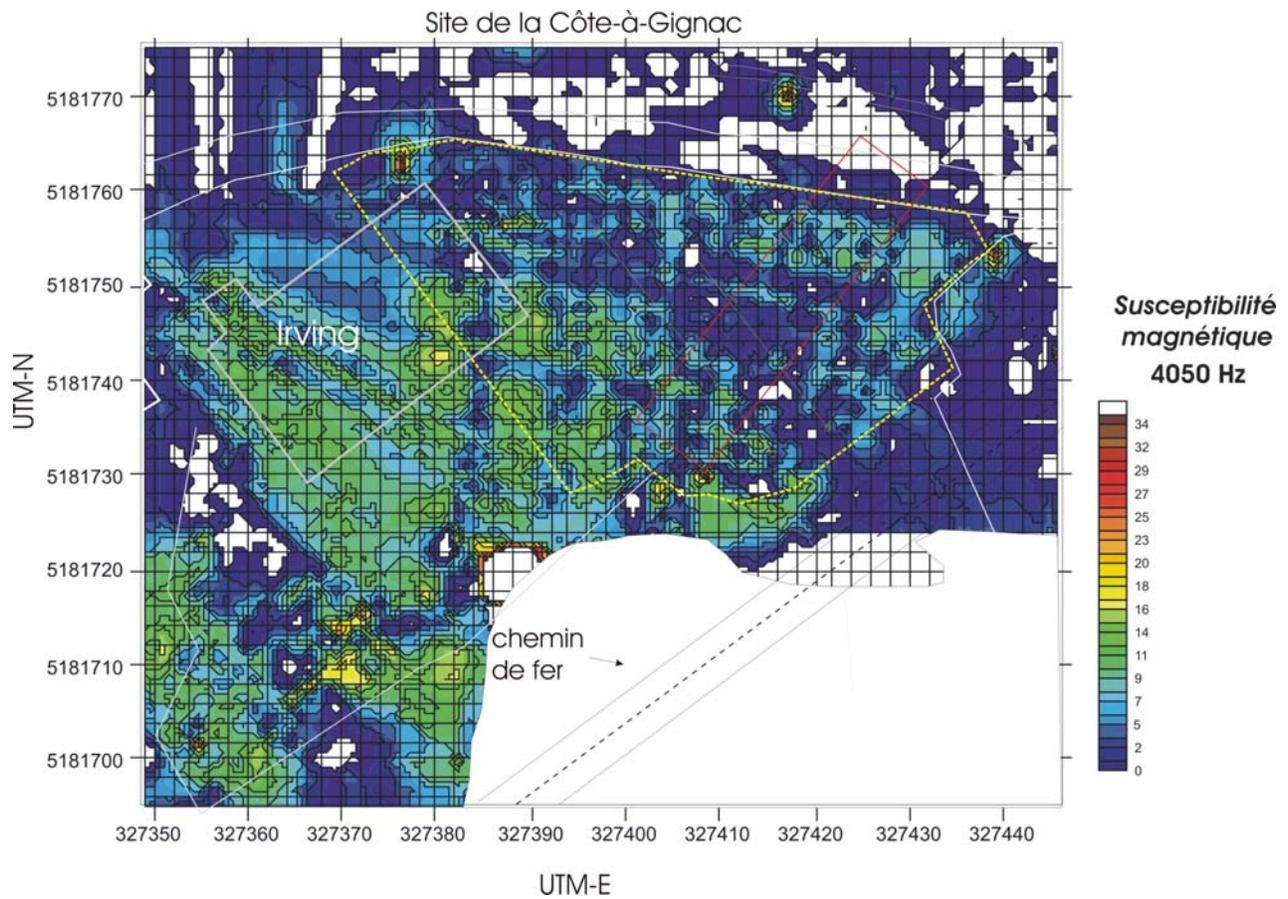


Figure 28. Carte de susceptibilité magnétique mesurée par la sonde GEM2 pour une fréquence d'induction de 4050 Hz. Notez que sur cette figure les données supérieures à 35 ont été éliminées afin de mieux mettre en évidence les contrastes pouvant être associées à des structures archéologiques comme des fondations. Les données de susceptibilité ont été multipliées par 1000.

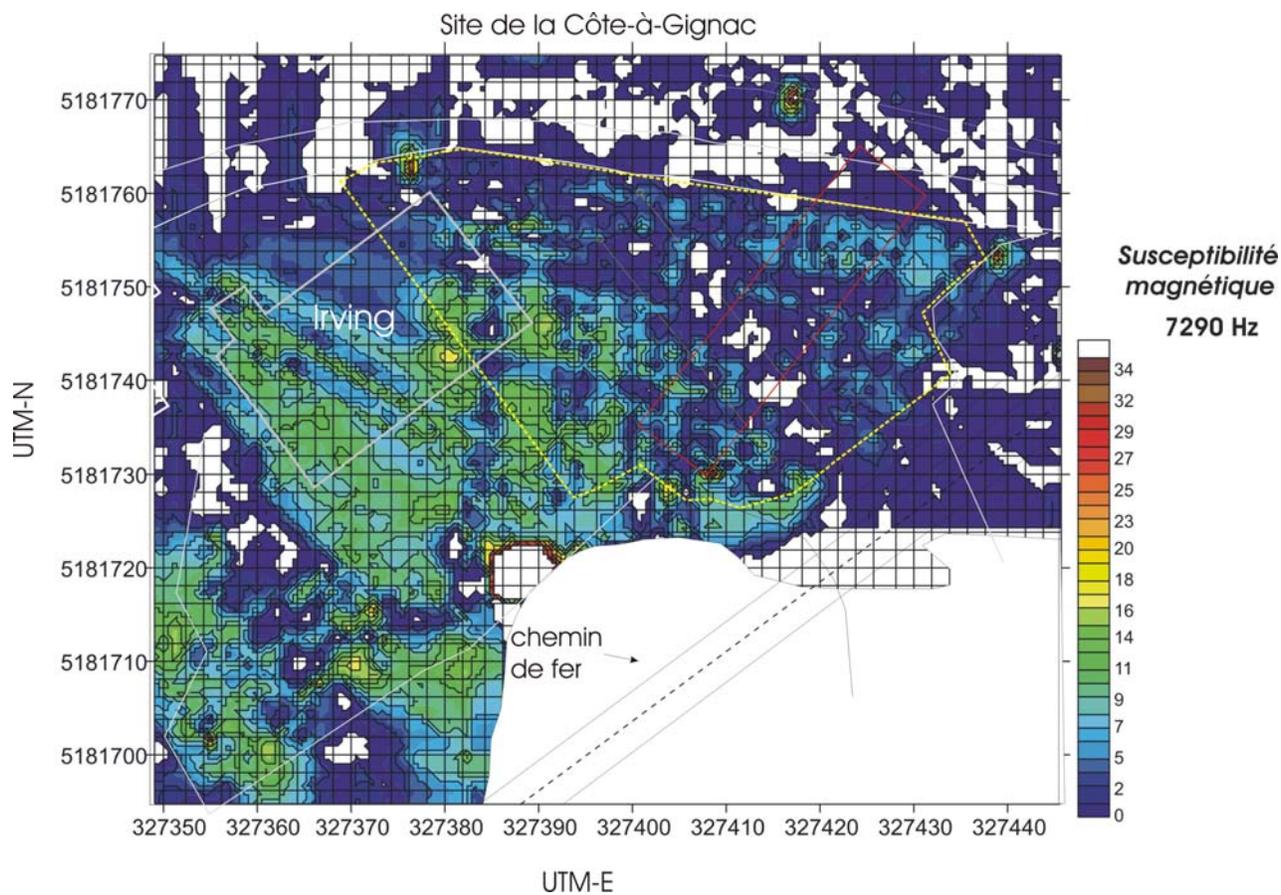


Figure 29. Carte de susceptibilité magnétique mesurée par la sonde GEM2 pour une fréquence d'induction de 7290 Hz. Notez que sur cette figure les données supérieures à 35 ont été éliminées afin de mieux mettre en évidence les contrastes pouvant être associées à des structures archéologiques comme des fondations. Les données de susceptibilité ont été multipliées par 1000.

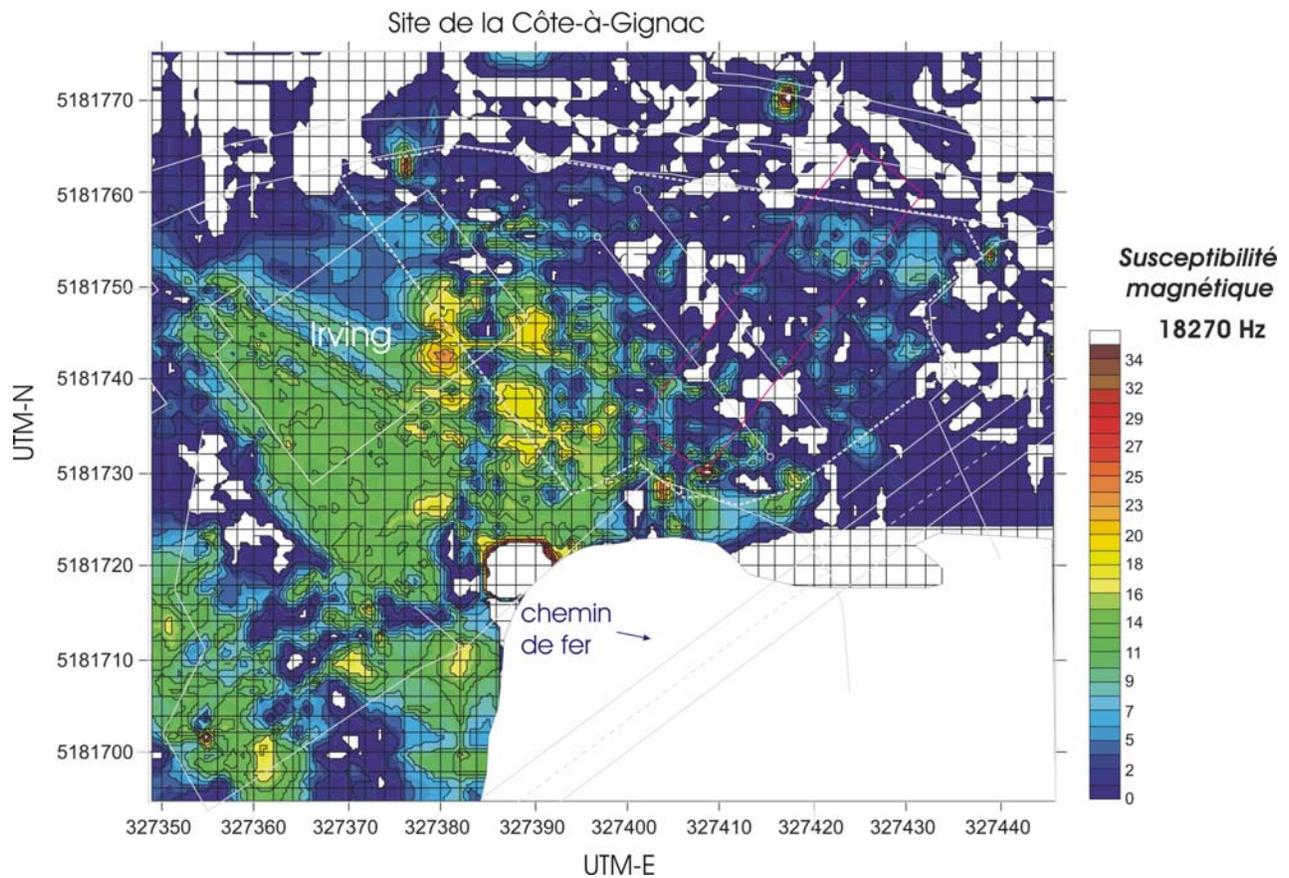


Figure 30. Carte de susceptibilité magnétique mesurée par la sonde GEM2 pour une fréquence d'induction de 18270 Hz. Notez que sur cette figure les données supérieures à 35 ont été éliminées afin de mieux mettre en évidence les contrastes pouvant être associées à des structures archéologiques comme des fondations. Les données de susceptibilité ont été multipliées par 1000.

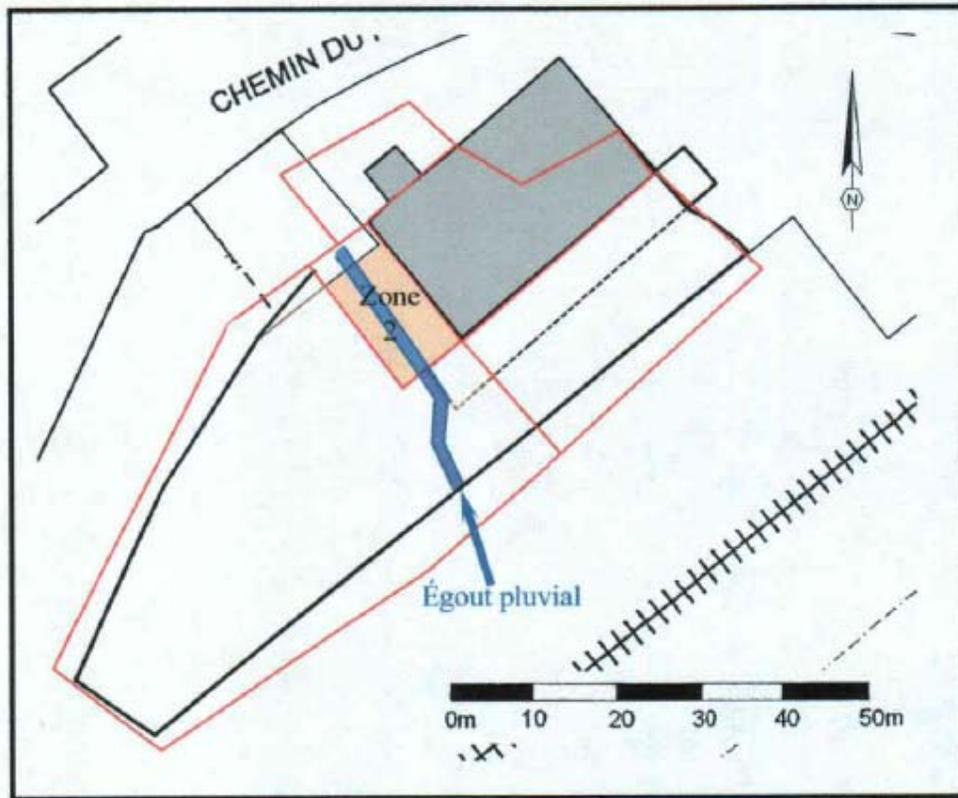


Figure 31. Carte de localisation de l'égout pluvial situé à l'Ouest de l'ancien bâtiment Irving. Plan et photo tirés de Slater et Chrétien (2006).

7.2.3.2 SUSCEPTIBILITÉ MAGNÉTIQUE MESURÉE LORS DU LEVÉ D'INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE GEM2 DANS LE PÉRIMÈTRE DE LIGNES ET STATIONS

Les données de susceptibilité magnétique sont présentées pour la fréquence d'induction de 4050 Hz. Ces dernières montrent de fortes anisotropies linéaires localisées dans la partie centrale du dispositif de lignes. La localisation spatiale de ces anisotropies correspond à celle d'anomalies de conductivité électrique apparente et de gradient magnétique observées dans le périmètre (Figures 17, 18, 24, 25 et 26).

Il est plus que probable que cette structure soit d'origine anthropique. Compte tenu de l'importance de l'anomalie et des informations contenues dans le plan de localisation de la Ville de Québec, il pourrait s'agir d'un égout pluvial.

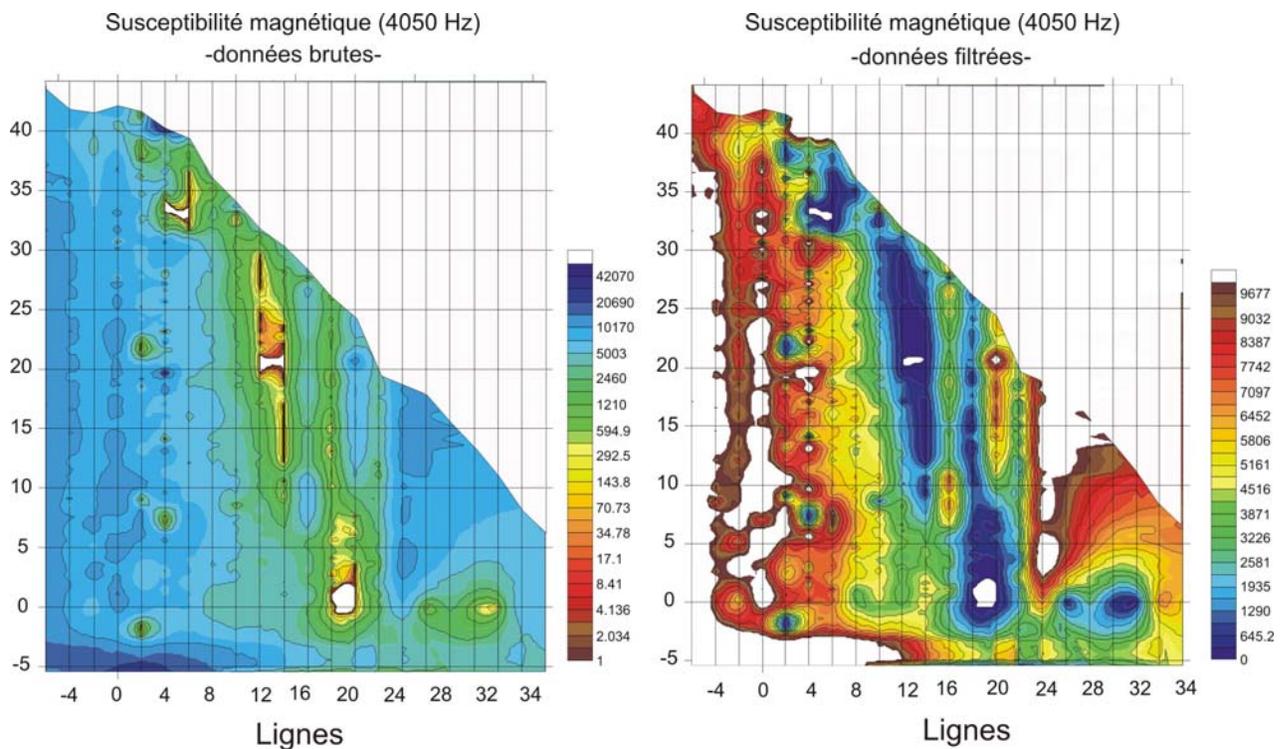


Figure 32. Carte de susceptibilité magnétique mesurée par la sonde GEM2 pour une fréquence d'induction de 4050 Hz. Notez que sur cette figure les données supérieures à 10000 ont été éliminées afin de mieux mettre en évidence les contrastes pouvant être associées à des structures archéologiques comme des fondations. Les données de susceptibilité sont multipliées par 10^6 .

7.3 Présentation et interprétation des résultats du levé Géoradar de 500 MHz.

La figure 33 présente un plan montrant les différentes lignes ayant fait l'objet du levé Géoradar sur le site de la côte à Gignac. Ces levés ont été réalisés sur l'ensemble de la surface du périmètre au moyen d'une antenne de 500 MHz. Comme mentionné plus haut, l'antenne de 500 MHz permet d'investiguer les contrastes de permittivité diélectrique des matériaux présents entre 0 et 3 m sous la surface du sol (ou le remblai).

Les lignes situées au Nord-Ouest de la ligne de base (fichiers 1 à 42) ont été réalisées en partant de la ligne de base et en se dirigeant vers le Nord-Ouest (Figure 33). Les lignes courtes situées au Sud-Est de la ligne de base ont été réalisées en partant de la ligne de base et en se dirigeant vers le Sud-Est.

Certaines zones restreintes, localisées sur les lignes 35 et 36 (fichiers 26 et 27), n'ont pas fait l'objet de mesures en raison de la présence de dépressions remplies d'eau.

Les spectres géoradars présentés dans l'annexe A ont été modifiés après avoir appliqué un filtre DC ainsi qu'un filtre pour compenser l'atténuation du signal en fonction de la profondeur (et du temps). Pour ce faire, nous avons fixé un gain linéaire de 50 ainsi qu'un gain exponentiel de 15. Rappelons que l'énergie de propagation de l'onde radar s'atténue rapidement en fonction de la distance parcourue par les ondes électromagnétiques dans le sol. Ce phénomène implique que les horizons ou réflecteurs situés plus en profondeur sont difficilement discernables. Pour l'interprétation des résultats, l'amplification du signal est donc nécessaire. Toutefois, soulignons que la procédure d'amplification du signal entraîne aussi une augmentation proportionnelle du bruit de fond, ce qui limite la profondeur d'investigation d'un levé géoradar.

Le levé géoradar avec antenne de 500 MHz a été réalisé telle que convenu à l'intérieur du périmètre de lignes et stations. Ce levé montre la présence d'une structure linéaire localisée dans la partie Sud du périmètre (Annexe A : fichiers 34 à 38 et lignes 0 à 4) et plus spécifiquement à environ 5 m au Nord-Ouest de la ligne de base (Figures 33, 34 et 35). Les spectres géoradars montrent dans ce secteur la présence d'une anisotropie subverticale laissant supposer la présence d'une fondation (ex. figures 34 et 35). Comme le souligne la figure 6, après amplification du signal géoradar la structure responsable du spectre géoradar observé semble avoir une certaine continuité verticale. Ceci est compatible avec la présence d'une fondation à cet endroit.

Les anomalies géoradar semblent se terminer vers la ligne 4 (fichier 38) car les levés géoradars réalisés sur les lignes subséquentes n'ont pas montrés la présence de cette structure (Annexe A). Si cette dernière est apparentée à l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières, il semble évident qu'elle soit en grande partie démolie. Dans l'hypothèse où l'élément détecté au géoradar serait un vestige du mur Nord de l'ancien hôpital, le reste du bâtiment (mur Sud) pourrait être localisé sous l'actuel viaduc du CN.

Plan de localisation des lignes du levé géoradar

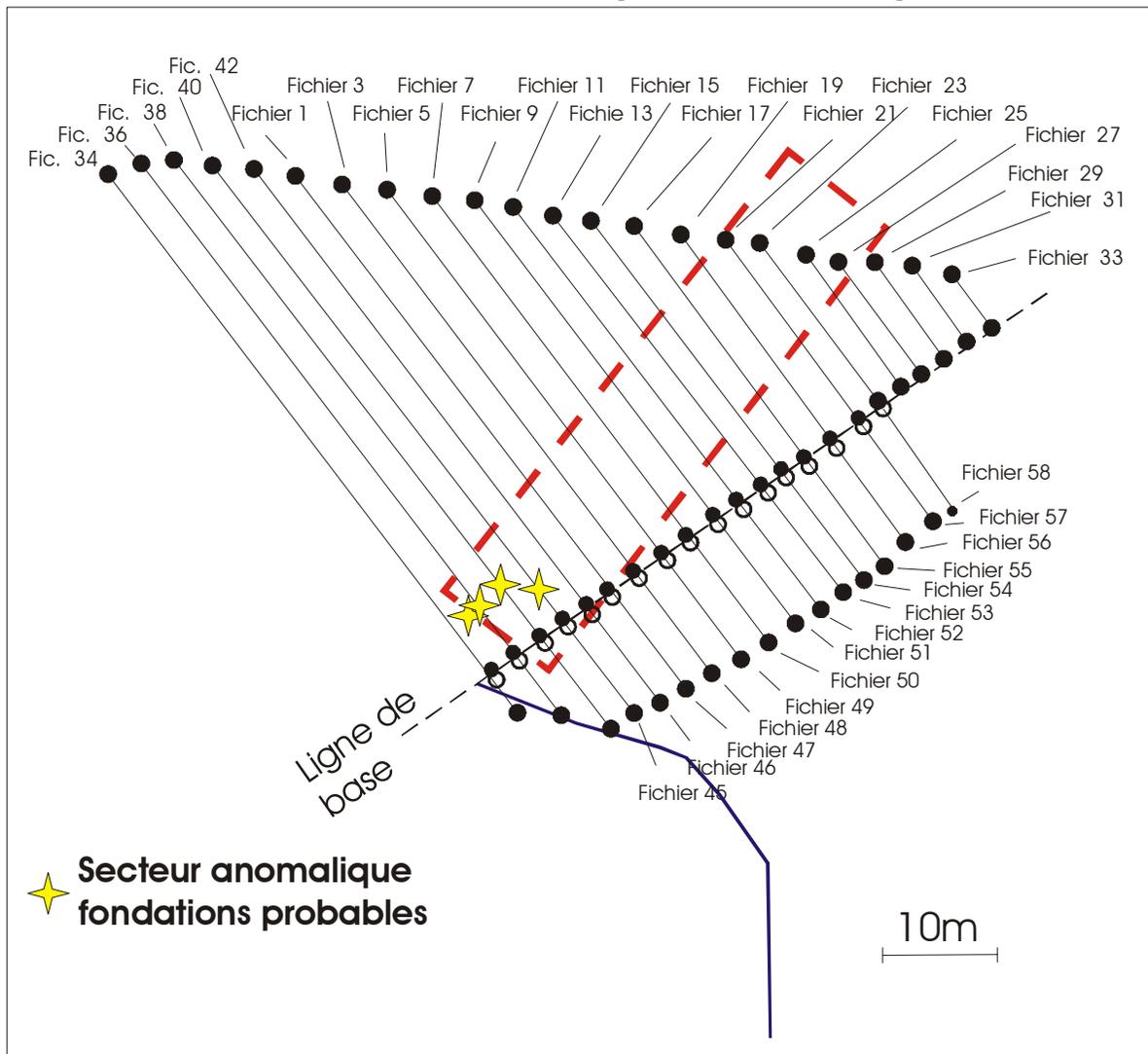


Figure 33. Plan de localisation des sections du levé géoradar 500 MHz réalisé à l'intérieur du périmètre du réseau de lignes et stations. Les numéros de fichiers des sections sont indiqués sur le plan. Notez que les sections correspondantes aux fichiers 1 à 42 ont été réalisées du Sud vers le Nord. Les sections correspondantes aux fichiers 45 à 58 ont été réalisées du Nord vers le Sud. Les étoiles sur le plan correspondent aux anomalies géoradar suggérant la présence d'une fondation.

Site de l'hôpital général de Sillery

Levé géoradar 500 Mhz

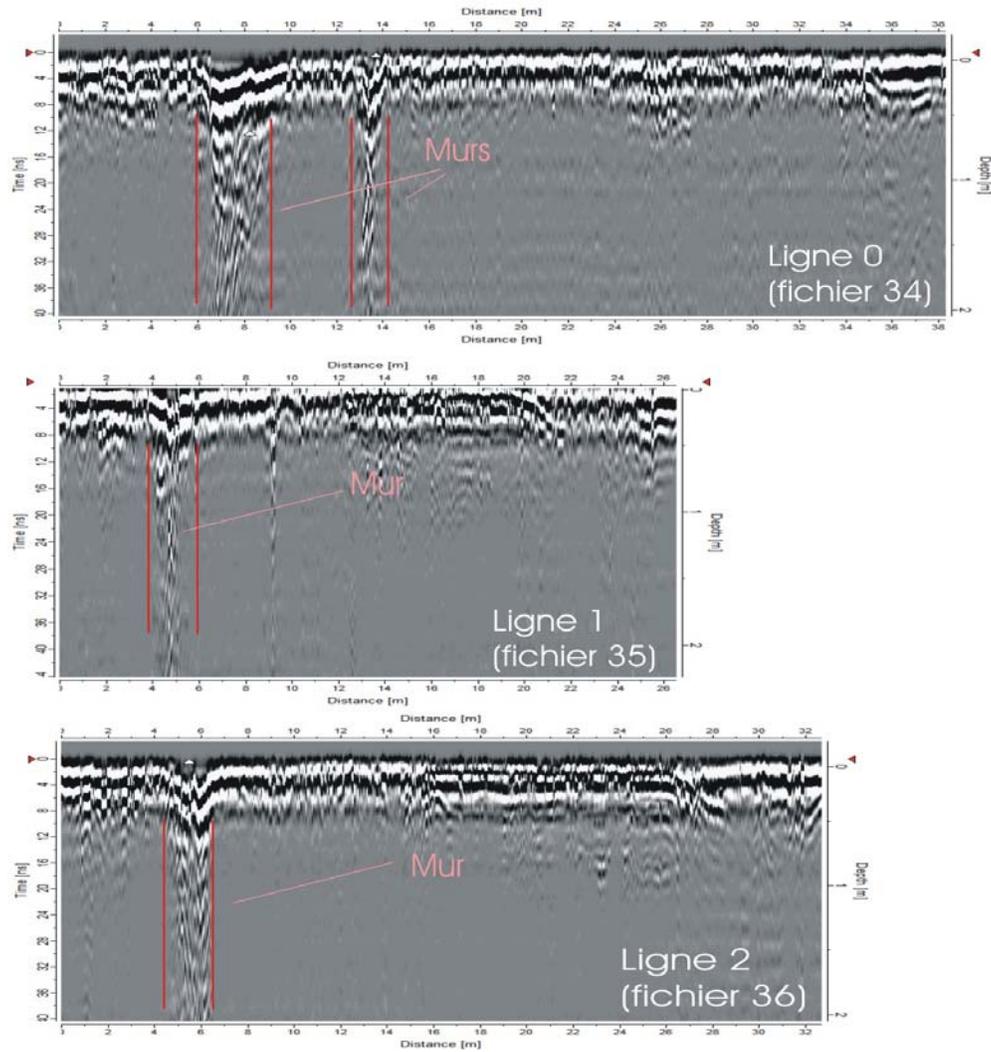


Figure 34. Spectres géoradars des lignes 0 à 2 du périmètre du site de l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières. Ces diagrammes montrent la présence de structures verticales solidement enracinées correspondant probablement à des vestiges d'une fondation d'un bâtiment.

Site de l'hôpital général de Sillery

Levé géoradar 500 Mhz

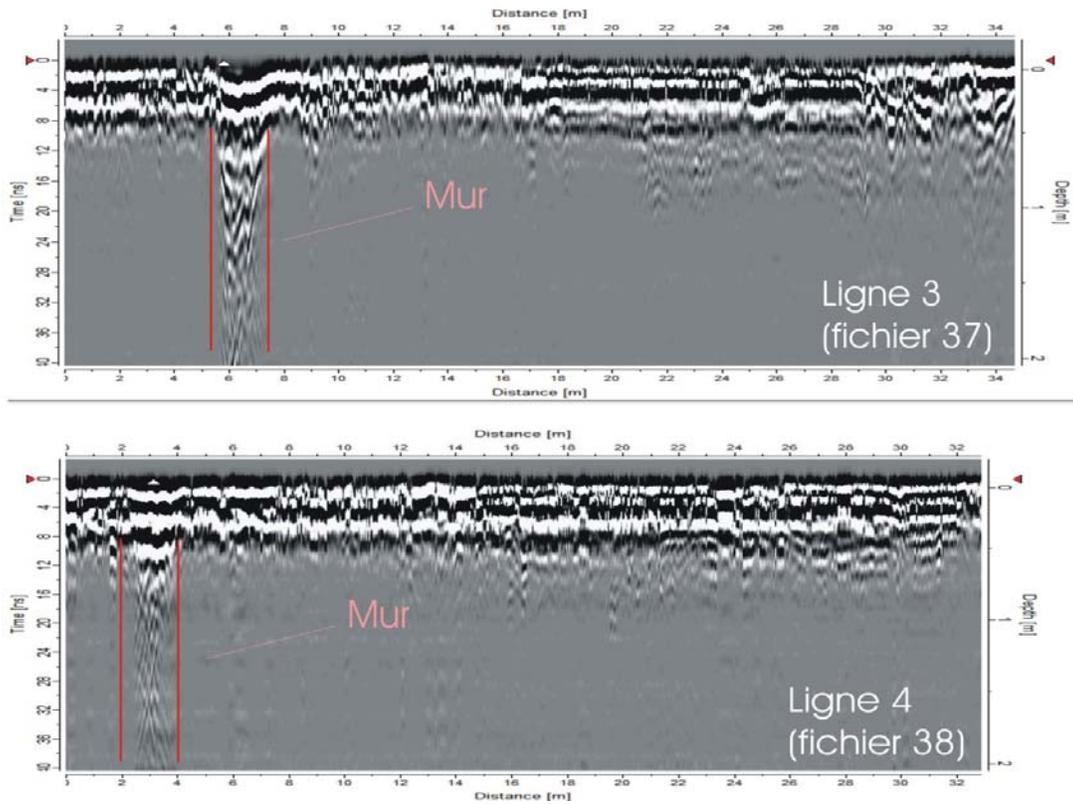


Figure 35. Spectres géoradars des lignes 3 et 4 du périmètre du site de l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières. Ces diagrammes montrent la présence de structures verticales solidement enracinées correspondant probablement à des vestiges d'une fondation d'un ancien bâtiment.

7.4 Tomographie de résistivité électrique

Levé de tomographie géoélectrique (Terrameter, SAS 4000-système Lund de Abem):

À la suite des levés magnétométriques, d'induction électromagnétique et de Géoradar, nous avons réalisé deux coupes tomographiques géoélectriques à l'aide d'un dispositif de 60 électrodes espacées de 0,50 m (système ABEM Lund-Terrameter SAS 4000). Après inversion des données de résistivité, à l'aide du logiciel RS2DINV, ce dispositif a permis d'obtenir une imagerie détaillée des différentes formations présentes entre la surface et 6 m de profondeur pour ce qui est de la partie centrale du dispositif. Notez que dans un contexte de déploiement maximal des câbles (5m entre les électrodes), ce dispositif aurait pu atteindre une pénétration de l'ordre d'une trentaine de mètres. Dans le cas présent, les observations de terrain ne laissent pas entrevoir une possibilité d'une épaisseur considérable de dépôts meubles. Conséquemment, dans ce projet, nous avons opté pour la résolution de coupes tomographiques de très haute résolution spatiale ce qui explique la faible distance entre les électrodes (50 cm). Cette procédure permet de détecter de fines perturbations stratigraphiques ou discordantes qui ne pourraient être observées autrement.

Tout comme la sismique réflexion, la tomographie géoélectrique est généralement admise comme méthode permettant de visualiser les variations d'épaisseur d'unités montrant des contrastes de résistivité électrique. Dans le cas de sols et remblais recouvrant un socle rocheux relativement peu profond, les conditions sont réunies pour offrir un maximum de contraste des propriétés électriques.

Afin de vérifier l'expression en profondeur des contrastes de résistivité électrique (ou de conductivité électrique apparente) observés sur le site probable de l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières nous avons réalisé 2 sections de 30m (60 électrodes). Ces dernières ont été réalisées à l'intérieur du périmètre de lignes et stations. Ces sections permettent d'obtenir des coupes bidimensionnelles permettant d'évaluer les contrastes de résistivité électrique et par le fait même les variations d'épaisseur des dépôts meubles (Figures 36 et 37).

Les figures 36 et 37 montrent les résultats de calculs d'inversion des données de résistivité électrique calculés par les méthodes d'inversion normale ou robuste et ce pour des cellules de tailles variables. Dans le cas présent, l'inversion robuste est la méthode d'inversion des résultats la plus appropriée pour modéliser les coupes tomographiques. Une variante de ce modèle, celle utilisant des cellules 50% plus petites que l'espace inter-electrode, donne une image mieux définie.

Dans l'ensemble, les deux coupes tomographiques du secteur tendent à démontrer que l'épaisseur de dépôts meubles (sol et remblai) est variable.

Comme le suggère la diminution de résistivité électrique en fonction de la profondeur observée sur la section tomographique de la figure 36, il est probable que des shales (roches argilitiques) constituent l'unité de roches mères (valeurs de résistivité en bleu sur les sections) observée dans les sections. Compte tenu du fort pendage de la foliation de ces roches et de la friabilité de ces dernières, il est évident que ces shales doivent contenir une proportion significative d'eau ce qui rehausse la conductivité électrique de ces matériaux (très forte diminution de la résistivité électrique). Dans le cas où le remblai aurait été en contact avec des calcaires, des grès ou du granite, le socle rocheux aurait été marqué par de très fortes résistivités électriques pouvant excéder les 1000 ohm.m. Ce phénomène n'est pas observé dans les deux sections réalisées sur le site de la côte à Gignac (Figures 36 et 37).

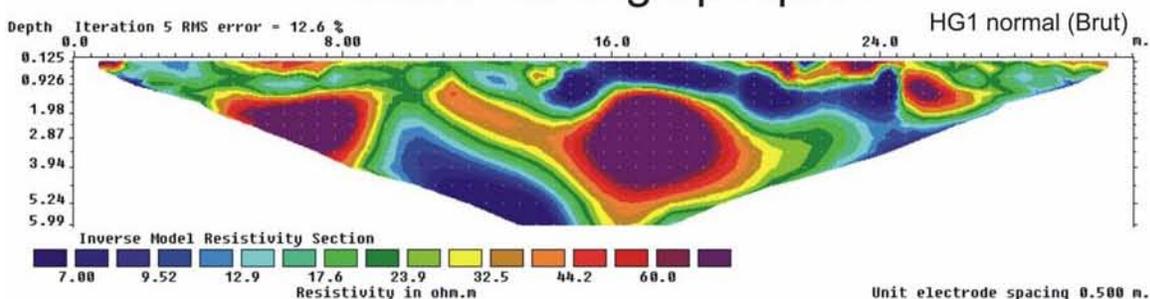
La section tomographique Tomo 1 débute à la coordonnée 327421.31 E et 5181734.64 N (UTM Nad 83) et se termine à la coordonnée 327401.69 E et 5181763.58 N. La section montre de forts contrastes de résistivités électriques (Figure 36). Entre 5 et 8 m du début de la coupe, la section montre la présence d'une unité plus résistive (en orangé sur la figure 36) en contact franc et abrupte avec des matériaux moins résistifs. Cette importante discontinuité laisse supposer la présence de matériaux distincts par rapport aux remblais normalement observés ailleurs sur la section (matériaux avec une résistivité représentée en bleu sur la section). L'unité présente entre 5 et 8 m pourrait correspondre à une fondation où à une accumulation d'autres matériaux plus résistifs que ceux observés plus au nord de la section. Le sommet de l'unité plus résistive est à environ 80 cm de la surface. Ceci permet donc une vérification ultérieure par sondage archéologique.

Compte tenu de la géométrie du levé tomographique réalisé, nous n'avons pas eu la possibilité d'investiguer en profondeur l'extension de cette zone anomalique. Le levé réalisé dans le cadre de ce projet ne permet pas de descendre à plus de 3,5 m dans ce secteur. Pour améliorer la pénétration du levé, il aurait fallu réaliser une troisième section tomographique en déplaçant le dispositif de 15 à 20 m vers le Sud (en dehors de la propriété).

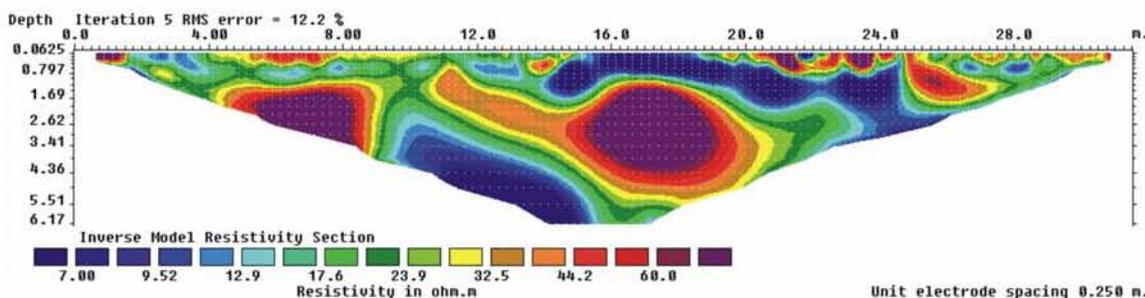
La section tomographique Tomo 1 montre de plus la présence de zones plus résistives situées vers la surface (entre 19 et 25 m le long de la section). Cette tendance souligne probablement l'effet du gel et la présence de glace qui a compliqué la réalisation du levé de résistivité électrique en décembre 2006. Notez que contrairement à de l'eau libre, la glace est un mauvais conducteur d'électricité ce qui explique des valeurs plus résistives en sub-surface à cette période de l'année.

La section tomographique Tomo 2 débute à la coordonnée 327416.81 E et 5181733.10 N (UTM Nad 83) et se termine à la coordonnée 327397.17 E et 5181755.19 N. Cette section montre également un fort contraste de résistivité entre les parties Sud et Nord de la section (Figure 37). La partie Nord est systématiquement moins résistive que la partie Sud. Le remblai, électriquement plus conducteur dans cette section, semble contenir une proportion de particules argileuses plus importante que pour la partie Sud de la section. Le contact entre les 2 zones de résistivité différentes passe approximativement au niveau de la station de 18 m. Tout comme pour la section Tomo1, la section Tomo 2 montre la présence d'une unité plus résistive localisée entre 4 et 6m du début de la section. Cette zone plus résistive est localisée à environ 1,6 m de profondeur. Les contraintes géométriques de la section tomographique dans ce secteur ne permettent pas de préciser l'extension verticale de l'unité anomalique.

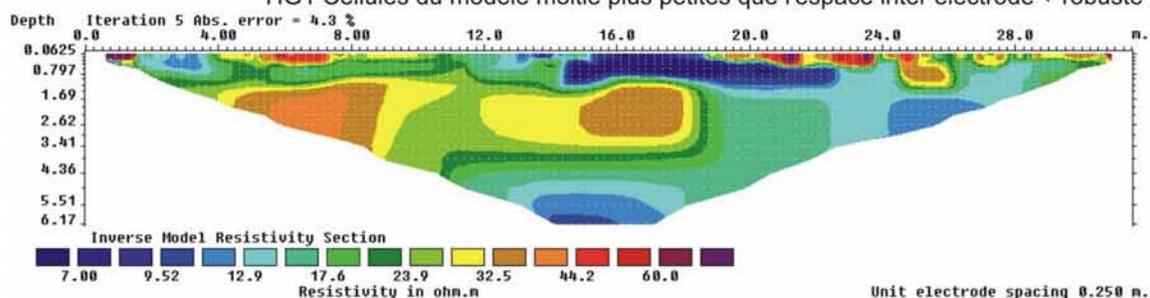
Section tomographique 1



HG1 Cellules du modèle moitié plus petites que l'espace inter électrode



HG1 Cellules du modèle moitié plus petites que l'espace inter électrode + robuste



HG1 Robuste

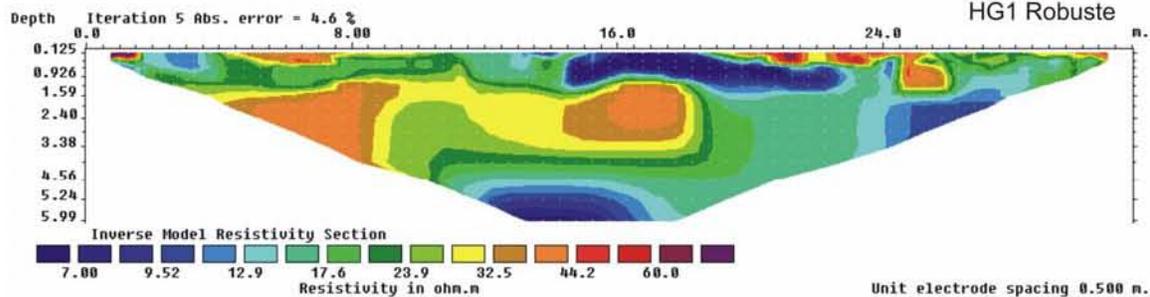


Figure 36. Section tomographique de résistivité électrique Tomo 1 réalisée à l'intérieur du périmètre d'étude. Notez que le Sud est à gauche de la section. Inversions numériques réalisées par le logiciel RS2DINV.

Section tomographique 2

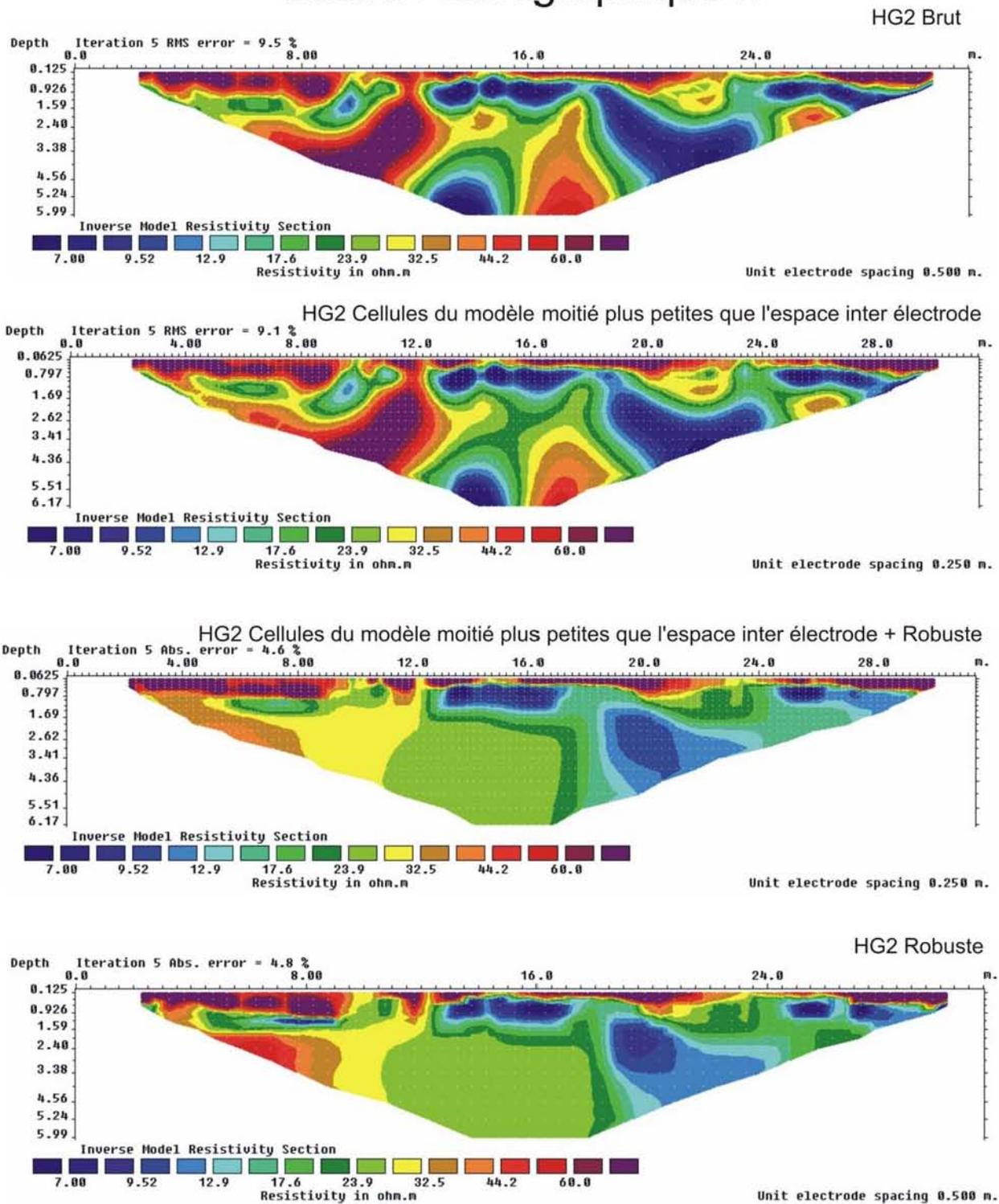


Figure 37. Section tomographique de résistivité électrique Tomo 2 réalisée à l'intérieur du périmètre d'étude. Notez que le Sud est à gauche de la section. Inversions numériques réalisées par le logiciel RS2DINV.

8. Conclusions et recommandations

Les travaux de géophysique réalisés sur le site présumé de l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières situé le long de la côte à Gignac (chemin du Foulon) permettent de mettre en évidence plusieurs éléments significatifs:

1) Le levé géoradar a permis de localiser les vestiges d'une fondation probable située à environ 10 mètres du viaduc du CN. La proximité de cette structure probable à une structure métallique dominante (le viaduc) explique le fait que les méthodes magnétométrique et d'induction électromagnétique n'ont pas détectées cette structure.

2) Les levés d'induction électromagnétique indiquent que la zone Ouest de l'ancienne propriété Irving forme un domaine dont la conductivité et la susceptibilité magnétique contrastent par rapport aux valeurs observées du côté Est et plus précisément sous le stationnement actuel. Le remblai sous le stationnement actuel est plus argileux (plus conducteur) et celui au voisinage de l'ancien bâtiment de la compagnie Irving est probablement plus sableux comme en témoigne une faible conductivité électrique apparente.

3) Le secteur central du périmètre des levés avec lignes et stations a été fortement bouleversé. Ceci est particulièrement évident sur les cartes de conductivité électrique apparente et sur les cartes des levés magnétométriques. Une structure majeure passe actuellement sous le stationnement et selon les documents consultés, il pourrait s'agir d'un égout pluvial de l'ancienne ville de Sillery.

4) Les deux sections de tomographie géoélectrique suggèrent la présence de matériaux plus résistifs localisés au début des sections (vers le Sud). Les contacts de cette structure sont fortement pentés et la partie sommitale de l'unité anomalique est de 80 à 160 cm sous la surface. Cette zone anomalique pourrait être associée à la fondation de l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières.

5) Les méthodes de caractérisation géophysique de la sub-surface déployées dans le cadre de ces travaux se sont avérées efficaces, et tout particulièrement le géoradar et la tomographie géoélectrique. La performance du géoradar relève à la fois de la fréquence de l'antenne utilisée (500 MHz), mais également des propriétés du sol, lequel permettait une pénétration adéquate des ondes électromagnétiques. Les coupes tomographiques de résistivité électrique ont données des images bidimensionnelles précises de l'architecture interne des dépôts de remblais, de sols et autres matériaux présents entre 0 et 6 m de profondeur.

6) Le site d'investigation a fait l'objet de multiples occupations subséquentes à la construction de l'hôpital des sœurs Hospitalières (voir les forts contrastes de conductivité électrique apparente). La superposition de ces événements inclut entre autre la destruction de structures, le remblaiement et le surfaçage du terrain. Dans le cas de l'ancienne propriété Irving, le portrait géophysique du site se complique par une réhabilitation récente d'une partie du site suite à une contamination du sol et des remblais par des hydrocarbures. L'excavation de ces matériaux et l'ajout de remblais propres ont fortement modifiés les propriétés géophysiques primaires du site.

Ce site semble comporter un potentiel archéologique intéressant et il serait important de procéder à des fouilles archéologiques dans la partie Sud du périmètre. Ainsi, si des interventions archéologiques sont à prévoir dans un avenir proche, le secteur Sud serait à privilégier, et notamment le secteur entre les lignes 0 et 5. Des fouilles dans ce secteur permettraient de vérifier la présence d'un mur possiblement associé à l'ancien hôpital des sœurs Hospitalières.

9. Références bibliographiques

CONYERS, L.B. ET GOODMAN, D. 1997. *Ground-penetrating radar: An Introduction for Archaeologists*. Walnut Creek, CA: Altamira Press.

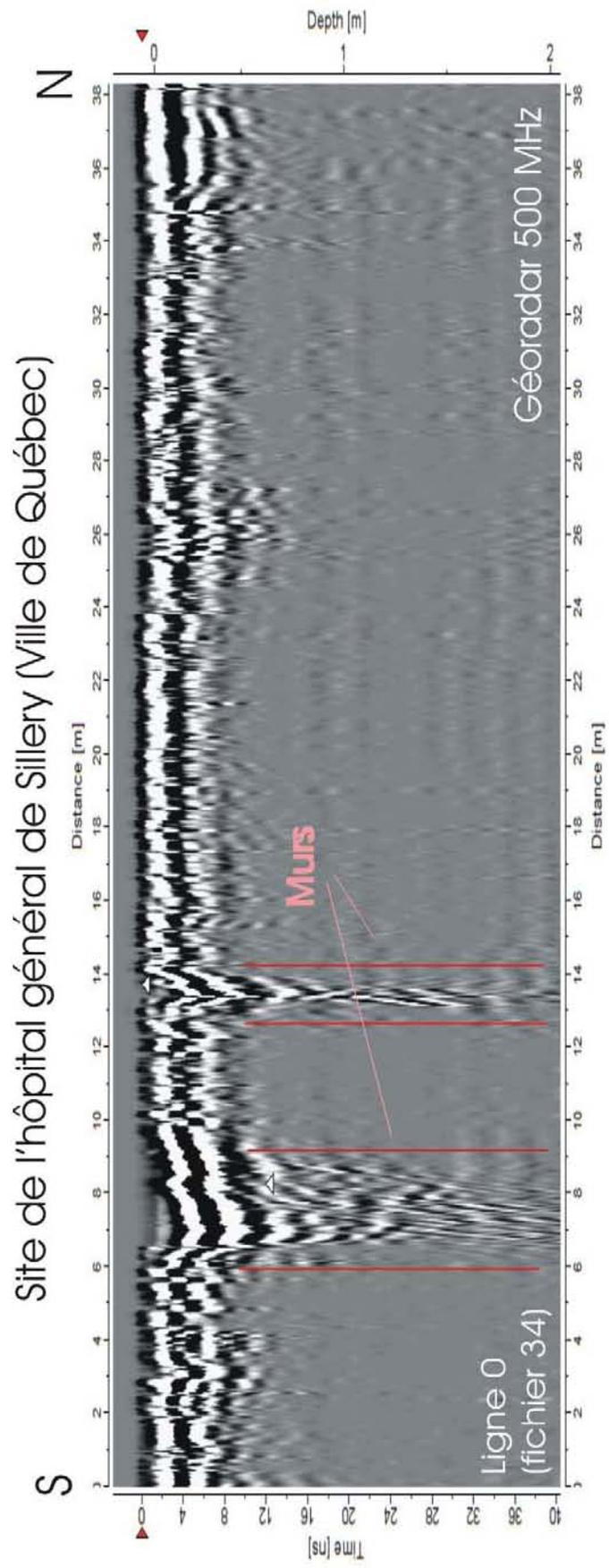
GAUMOND, M. 1961. Premiers résultats de l'exploration d'un site archéologique à Sillery, Cahiers de Géographie de Québec, cinquième année, no 9, octobre 1960 à mars 1961, pp. 63-72.

LAMONTAGNE, P.A., 1952. L'histoire de Sillery, 1630-1950.

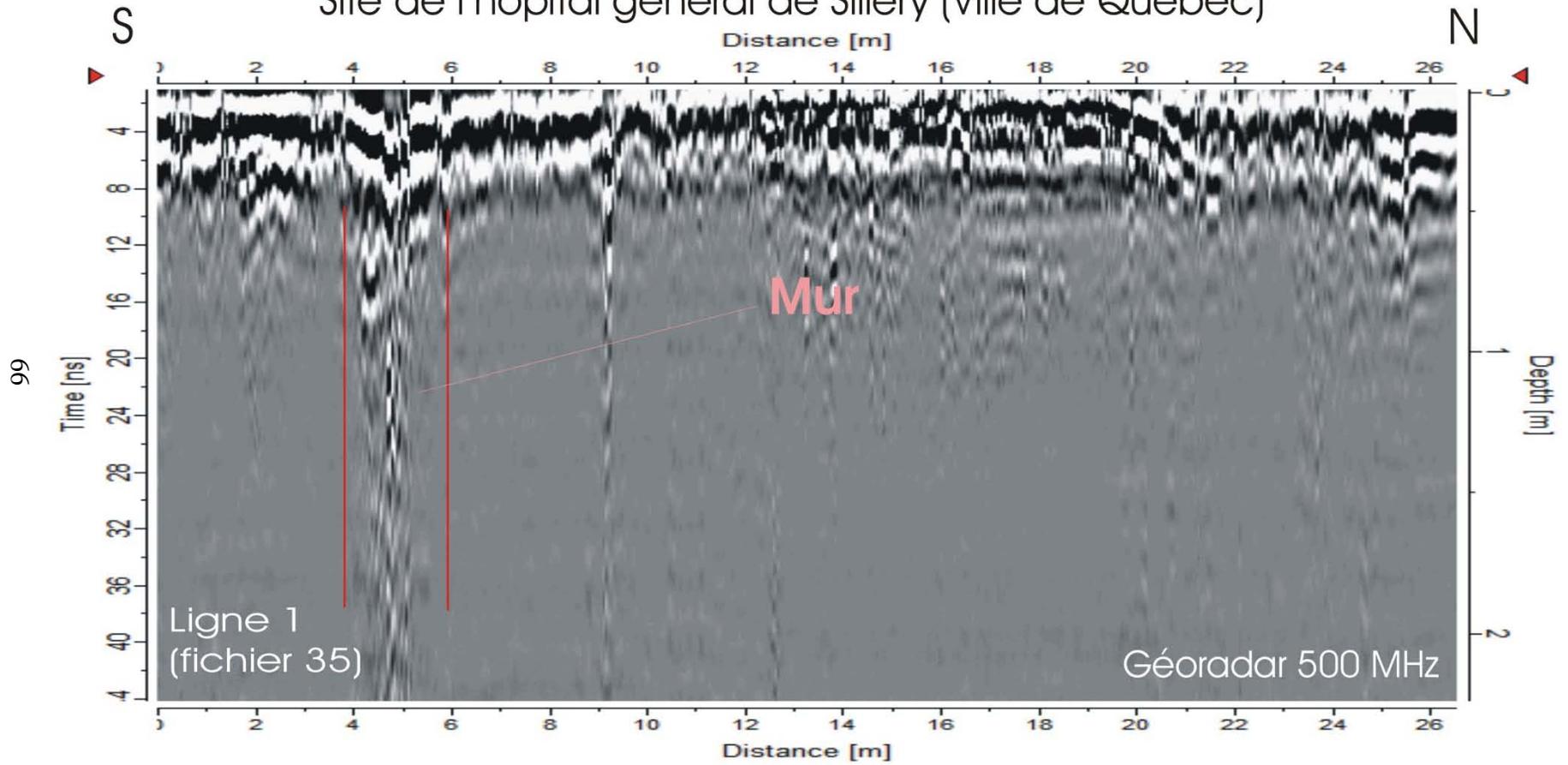
SCOTT, H.A., 1902. Une paroisse historique de la Nouvelle-France : Notre-Dame de Sainte-Foy : une histoire civile et religieuse d'après les sources. Laflamme, Québec.

SLATER, P. ET CHRÉTIEN, Y. 2006. Rapport de surveillance archéologique sur le site du premier Hôtel-Dieu des sœurs Hospitalières (CeEt-876) au pied de la côte à Gignac, Sillery.

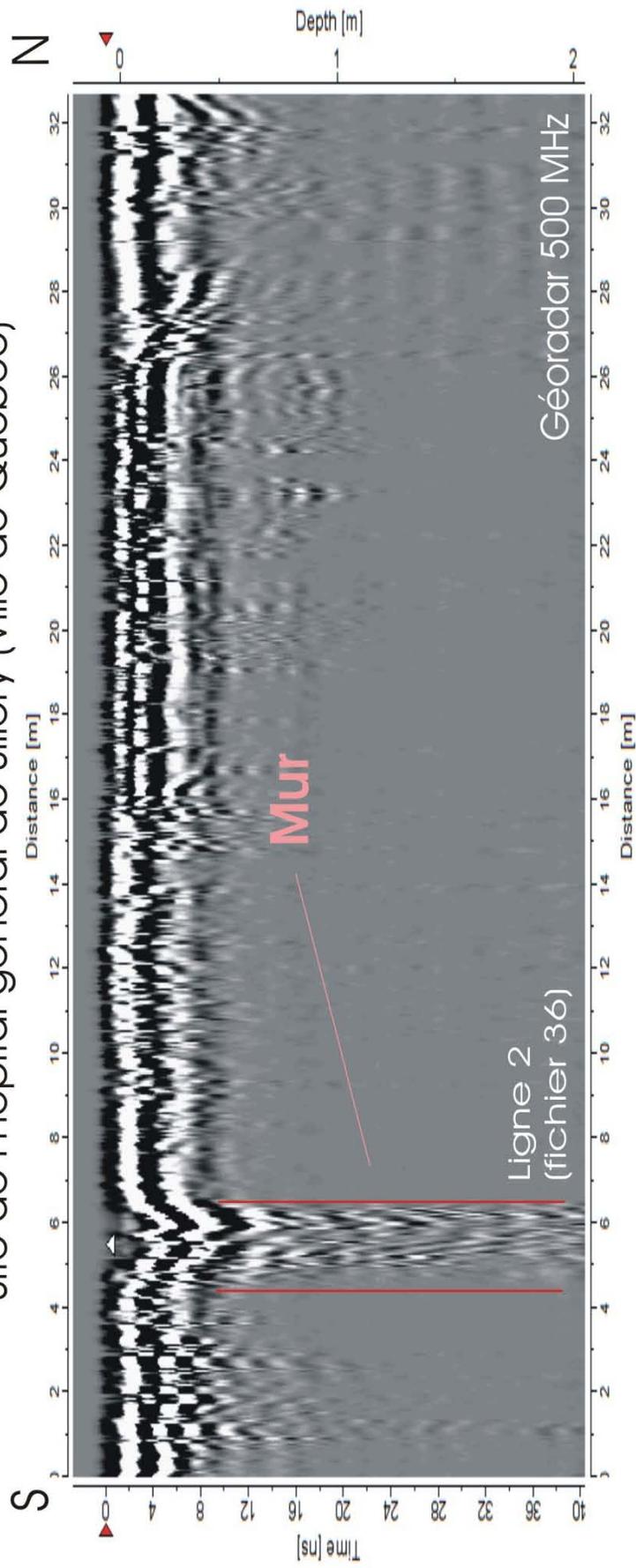
Annexe A
Sections tomographiques produites au moyen du
Géoradar RAMAC de MALA
Antenne blindée de 500 MHz



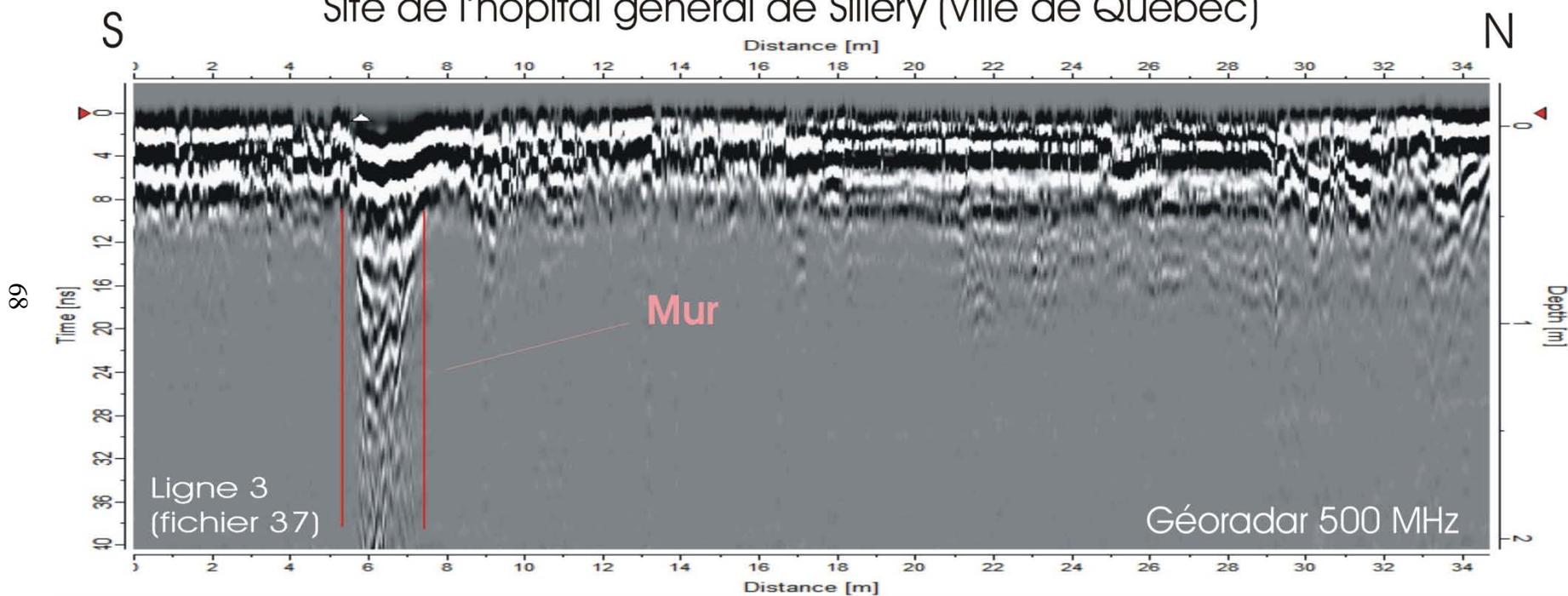
Site de l'hôpital général de Sillery (Ville de Québec)

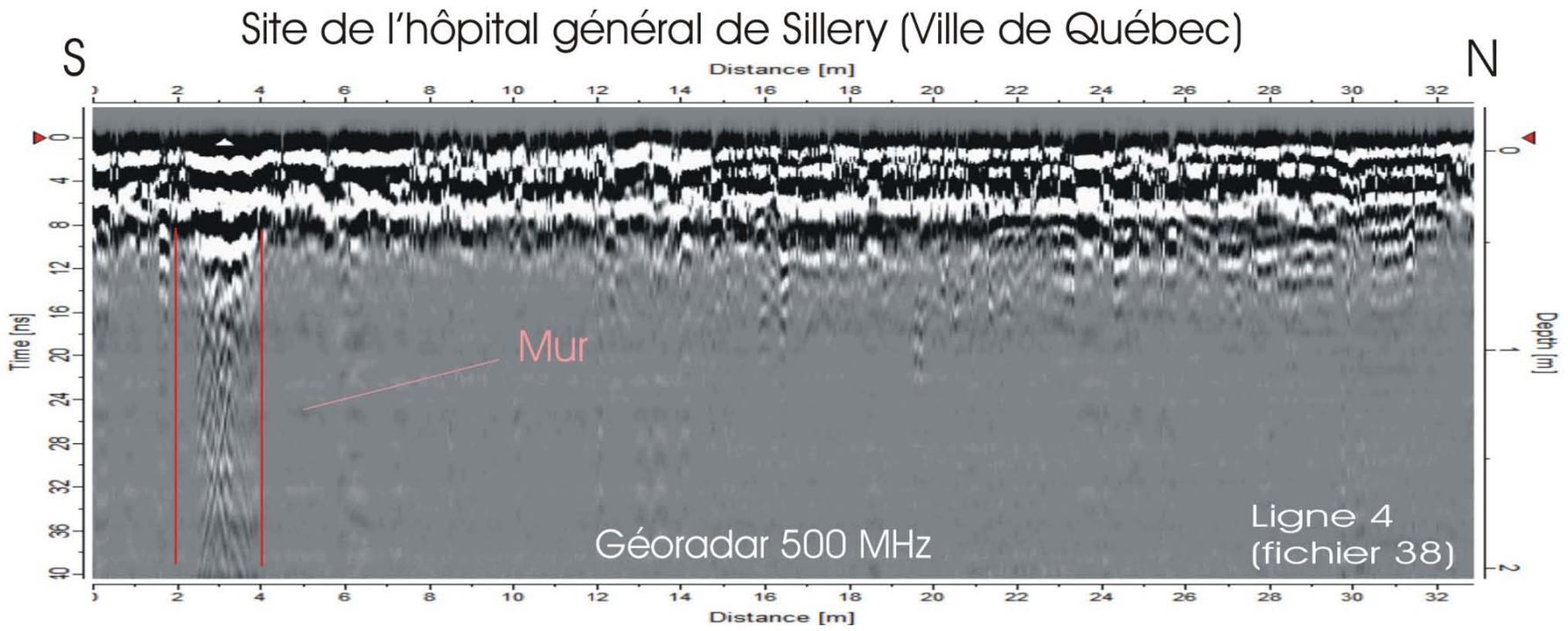


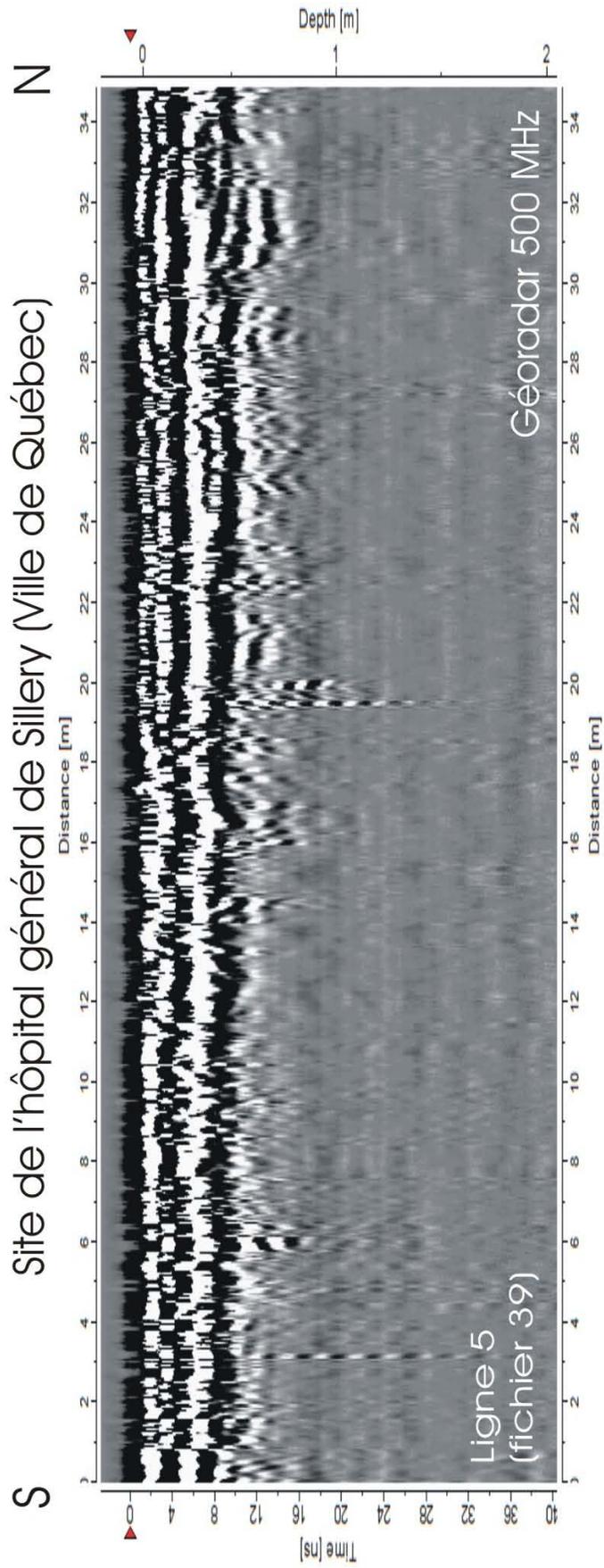
Site de l'hôpital général de Sillery (Ville de Québec)

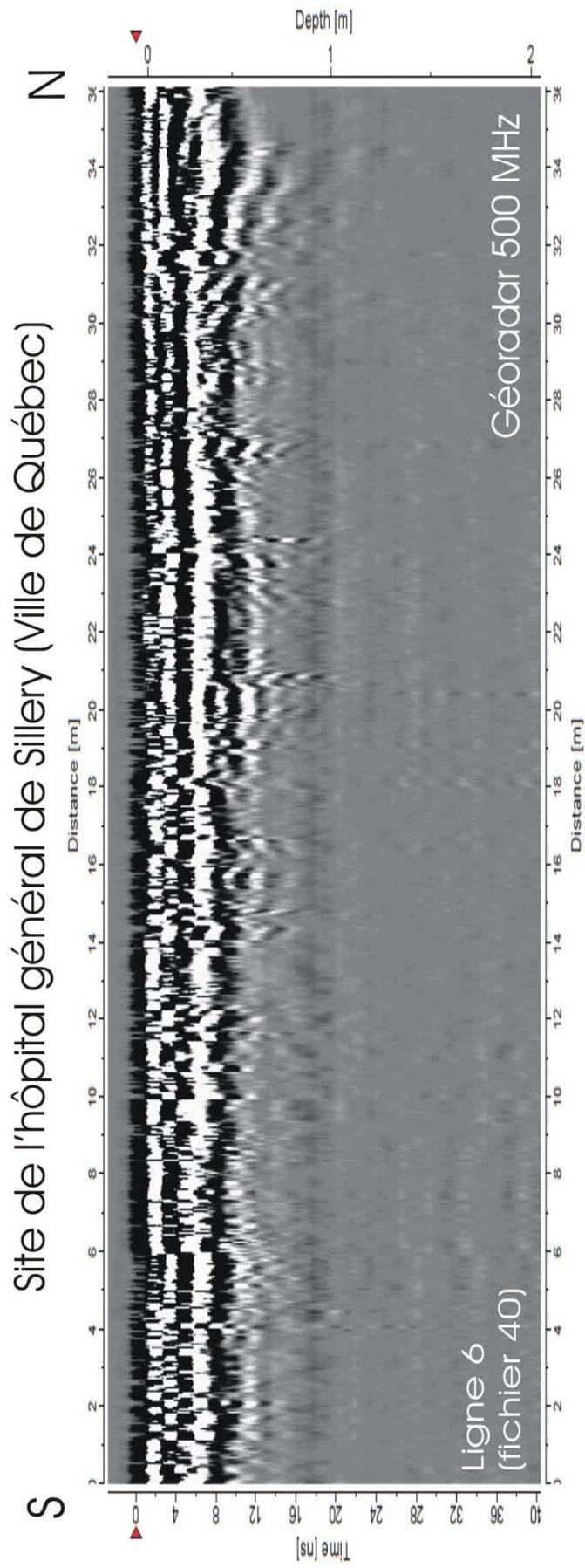


Site de l'hôpital général de Sillery (Ville de Québec)

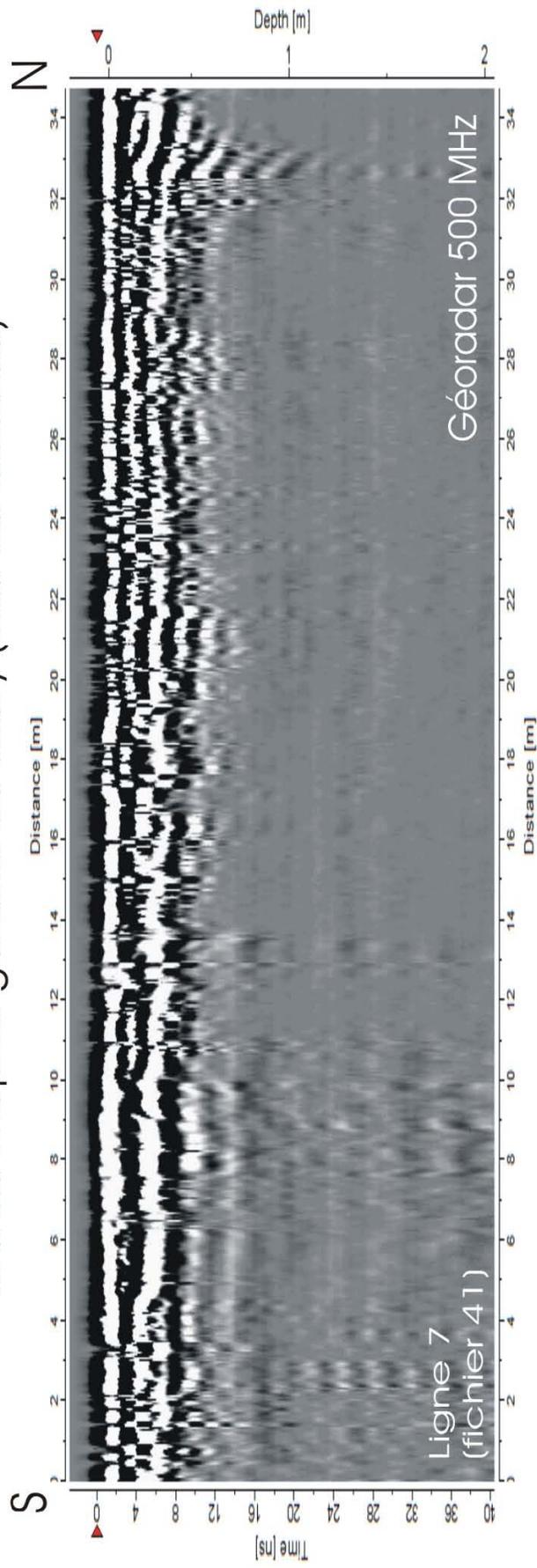


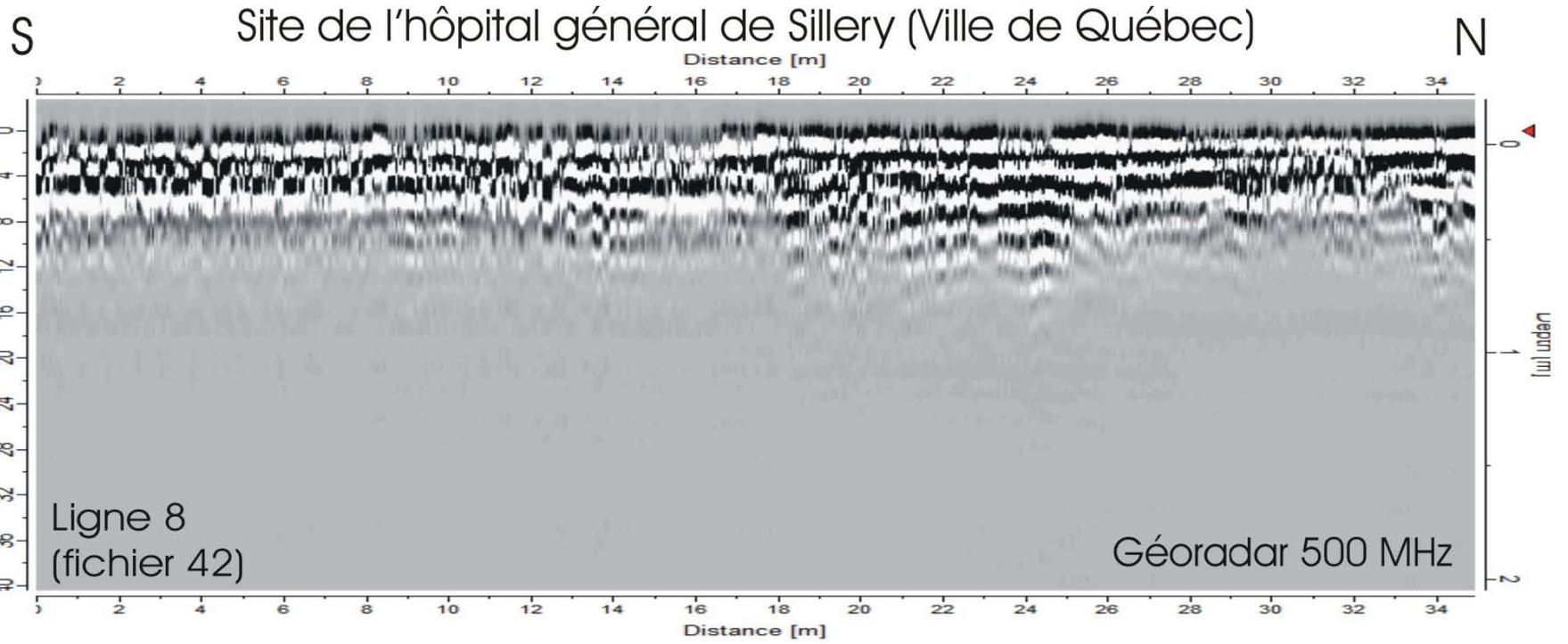


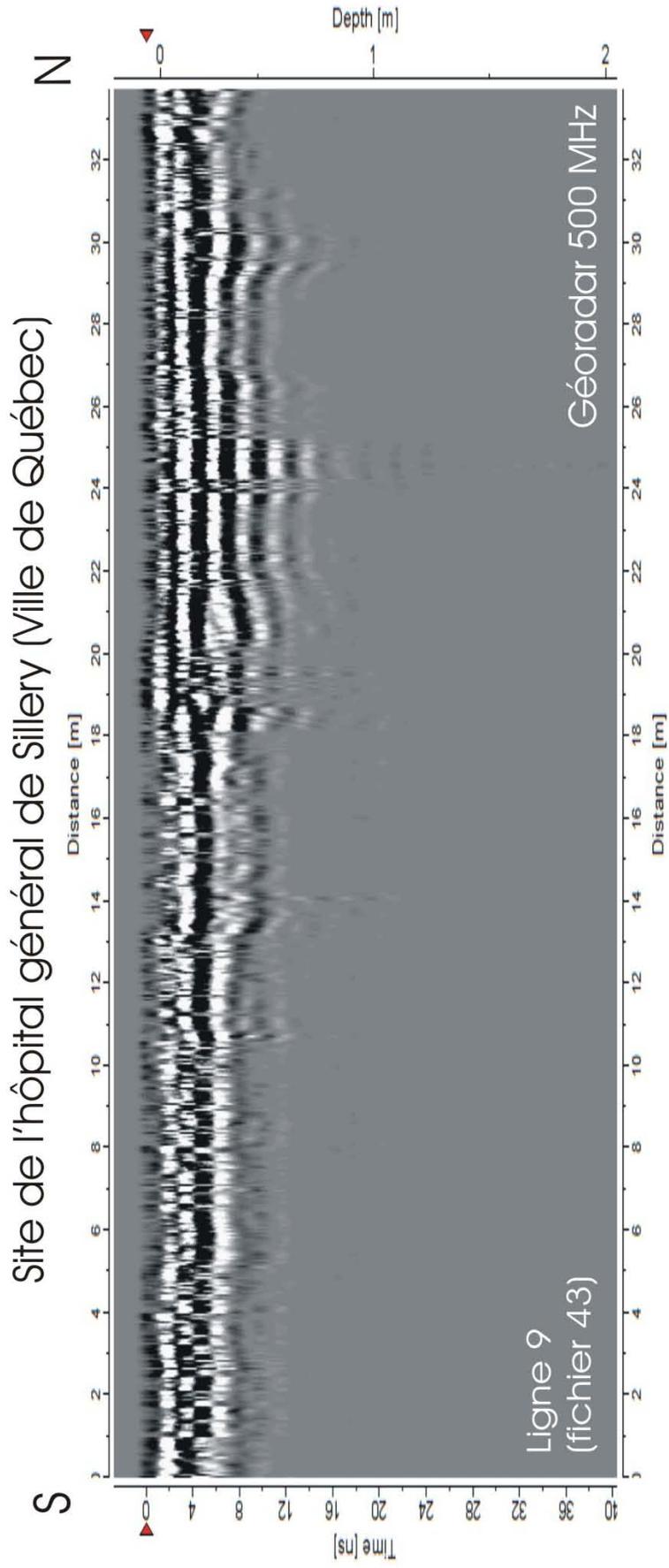




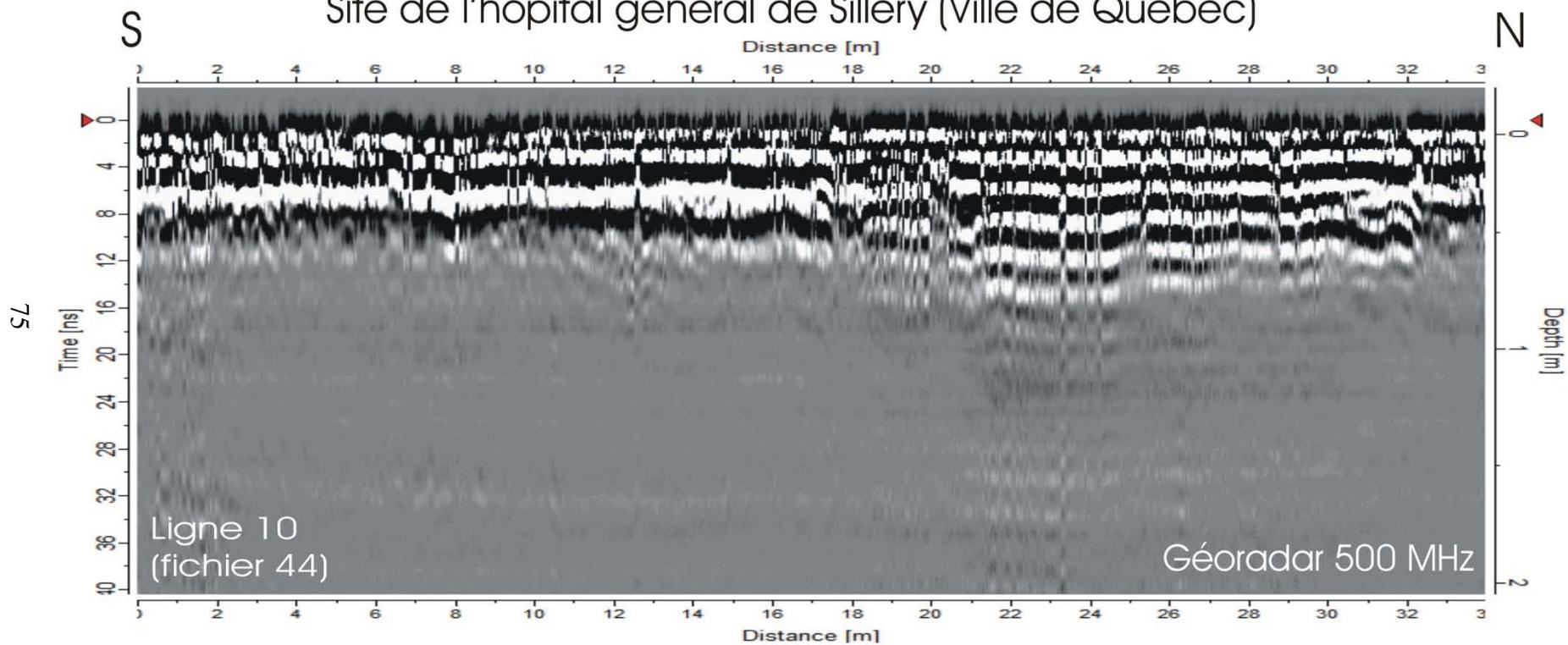
Site de l'hôpital général de Sillery (Ville de Québec)



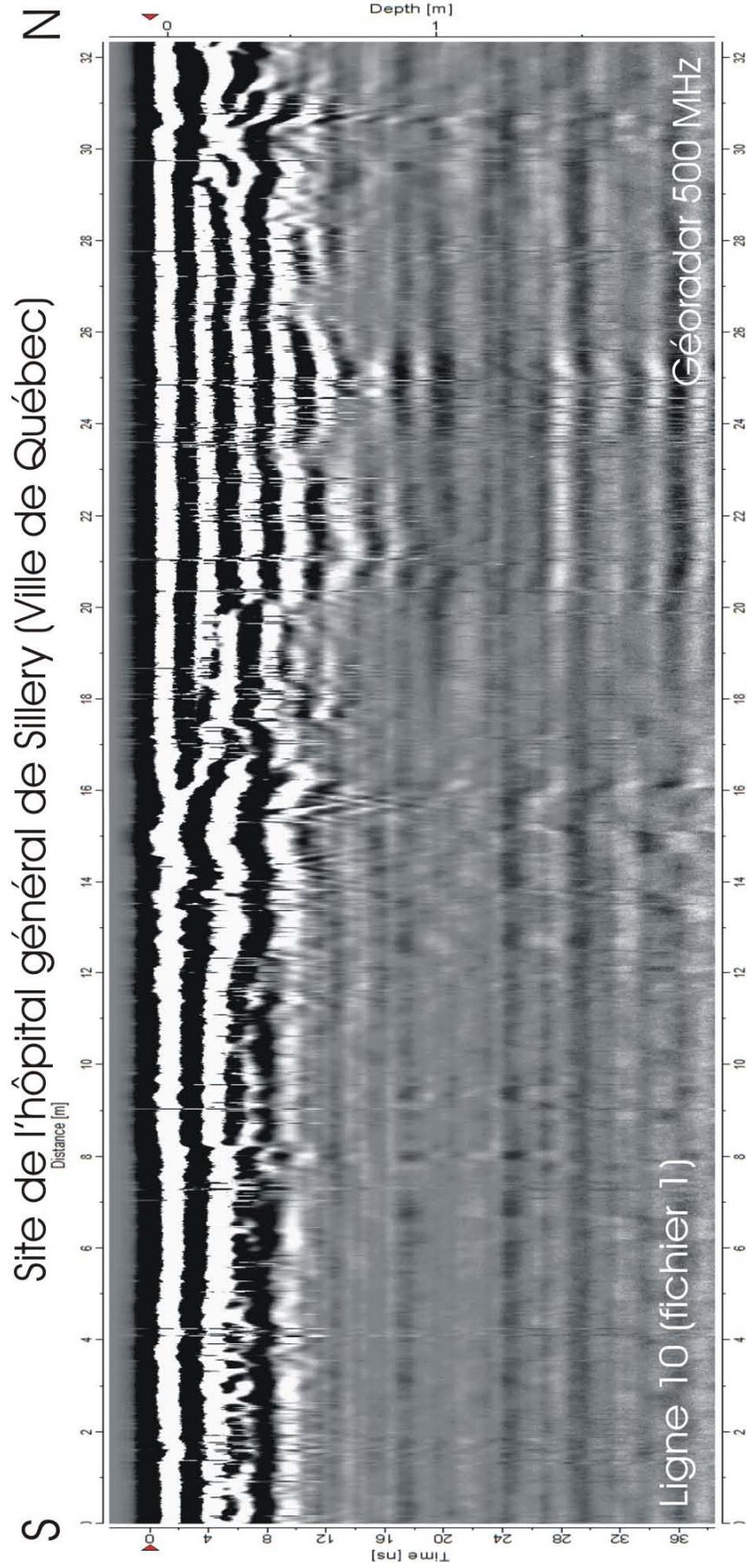




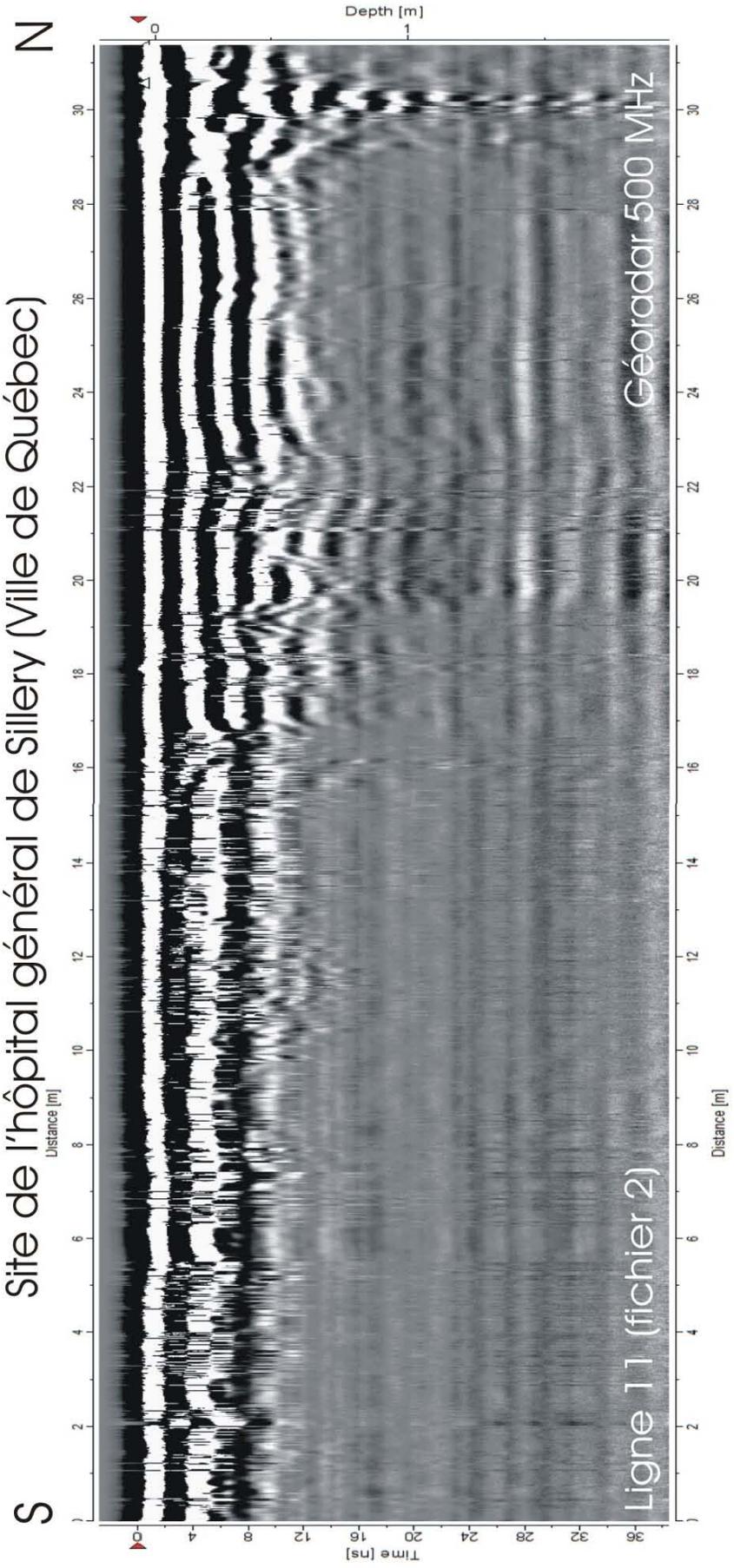
Site de l'hôpital général de Sillery (Ville de Québec)



75



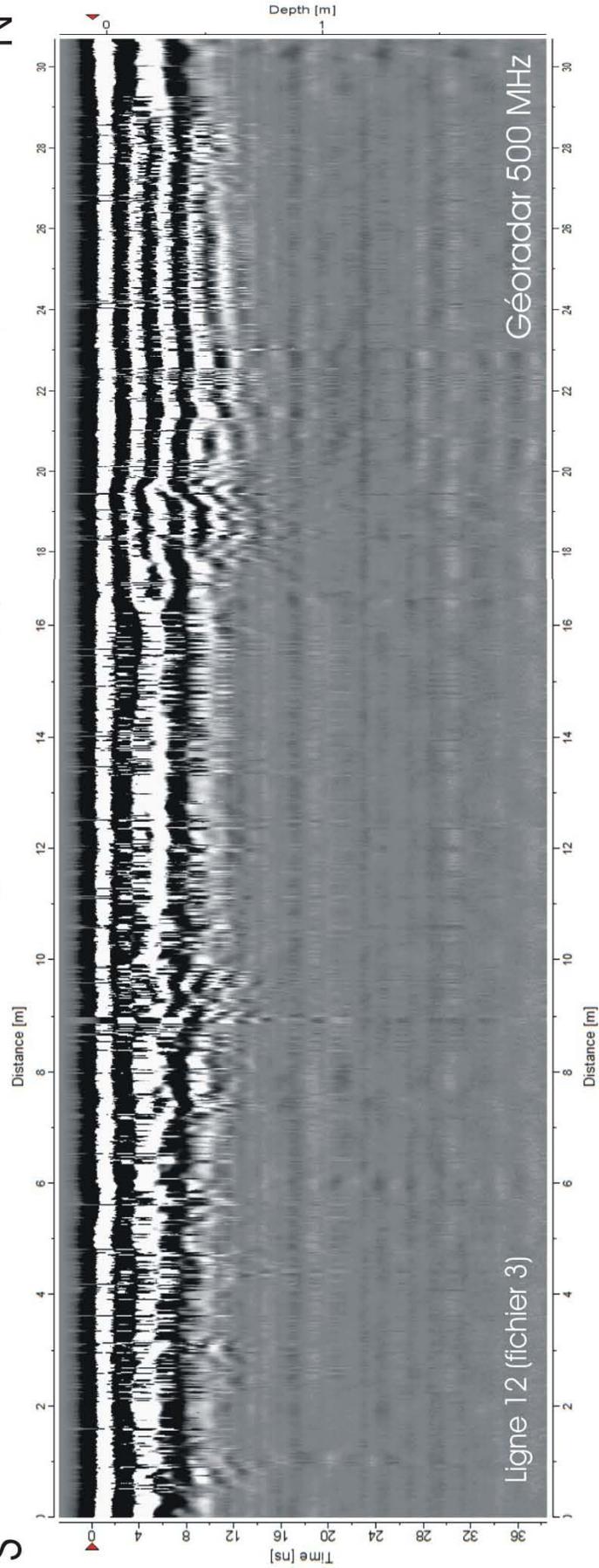
Site de l'hôpital général de Sillery (Ville de Québec)



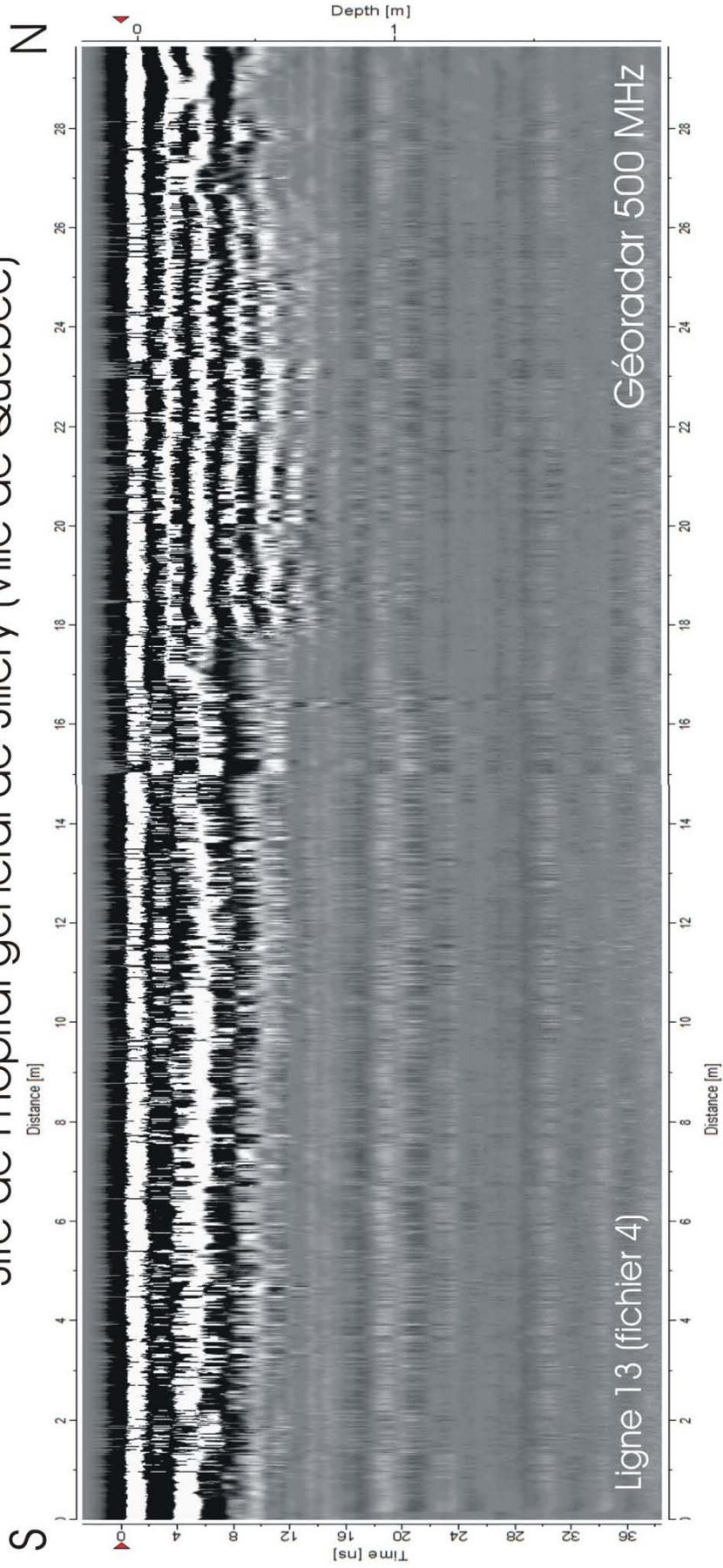
Site de l'hôpital général de Sillery (Ville de Québec)

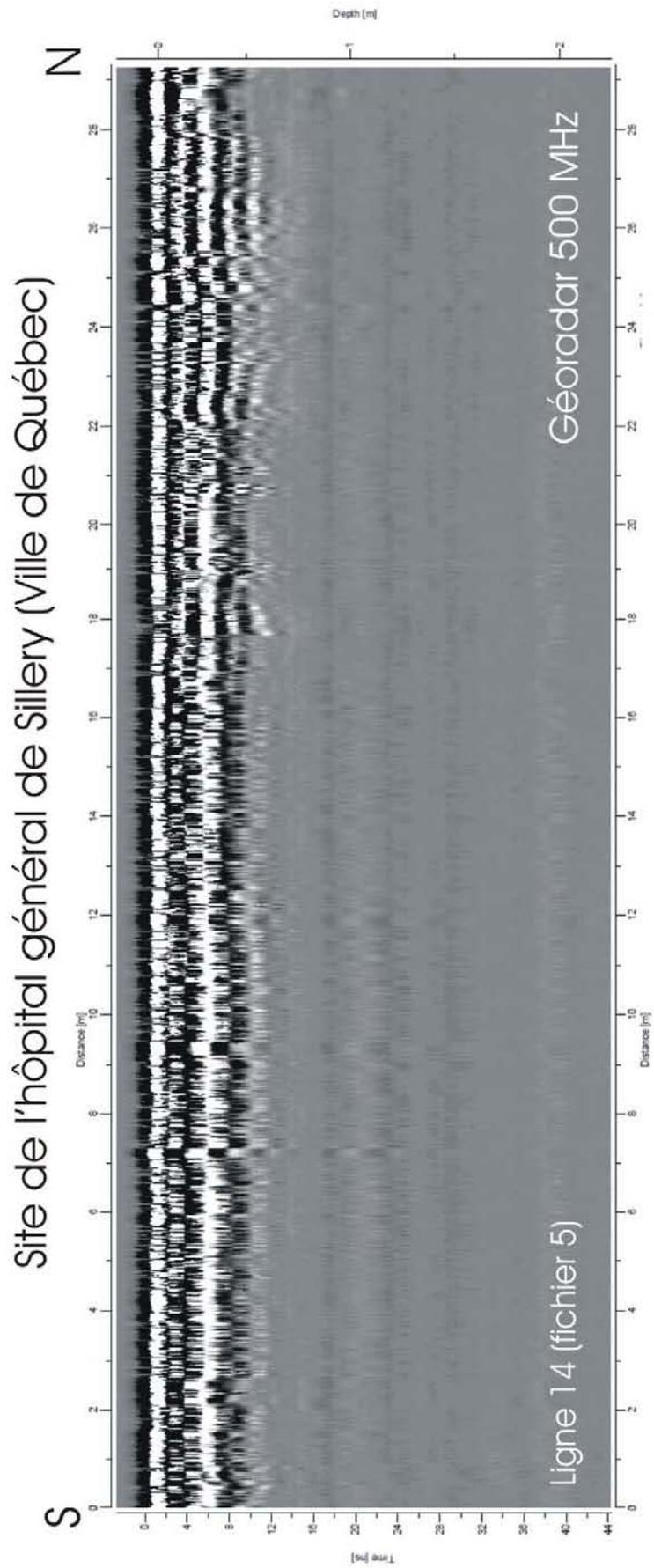
N

S

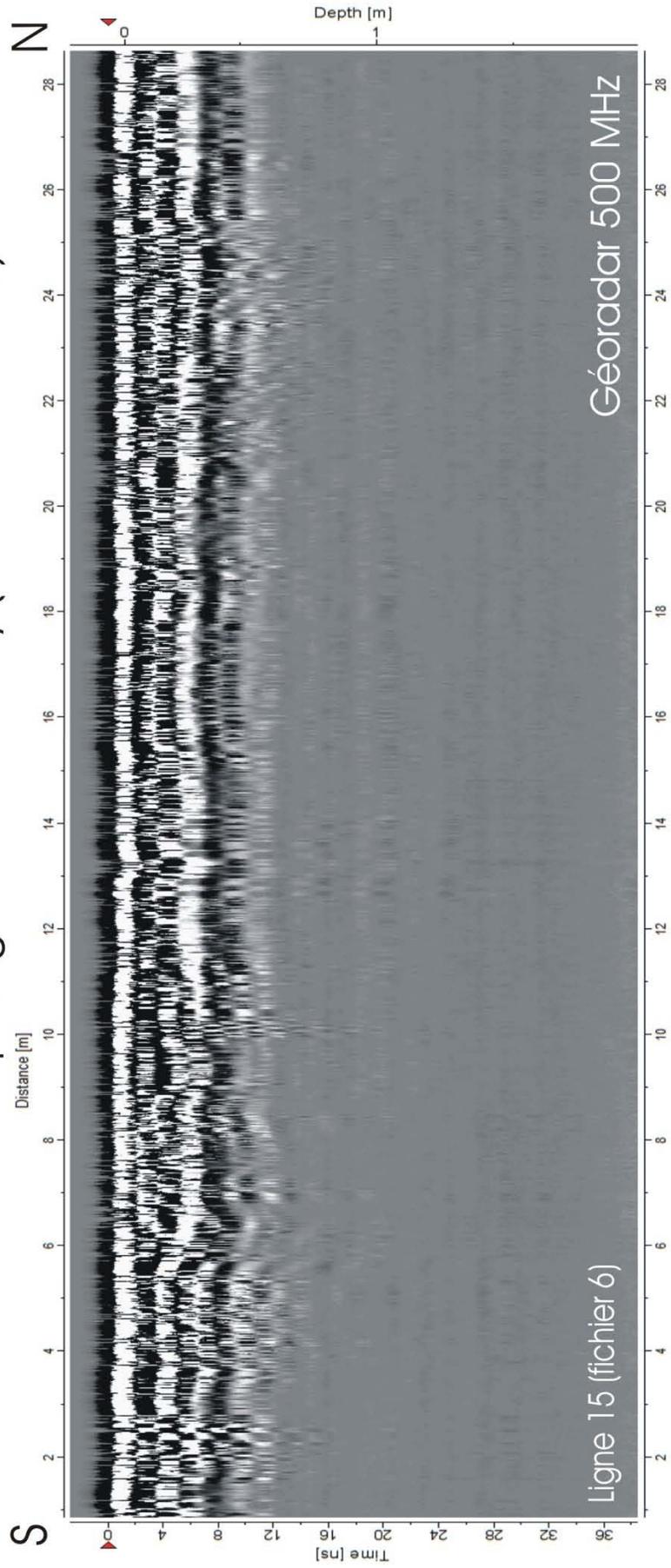


Site de l'hôpital général de Sillery (Ville de Québec)

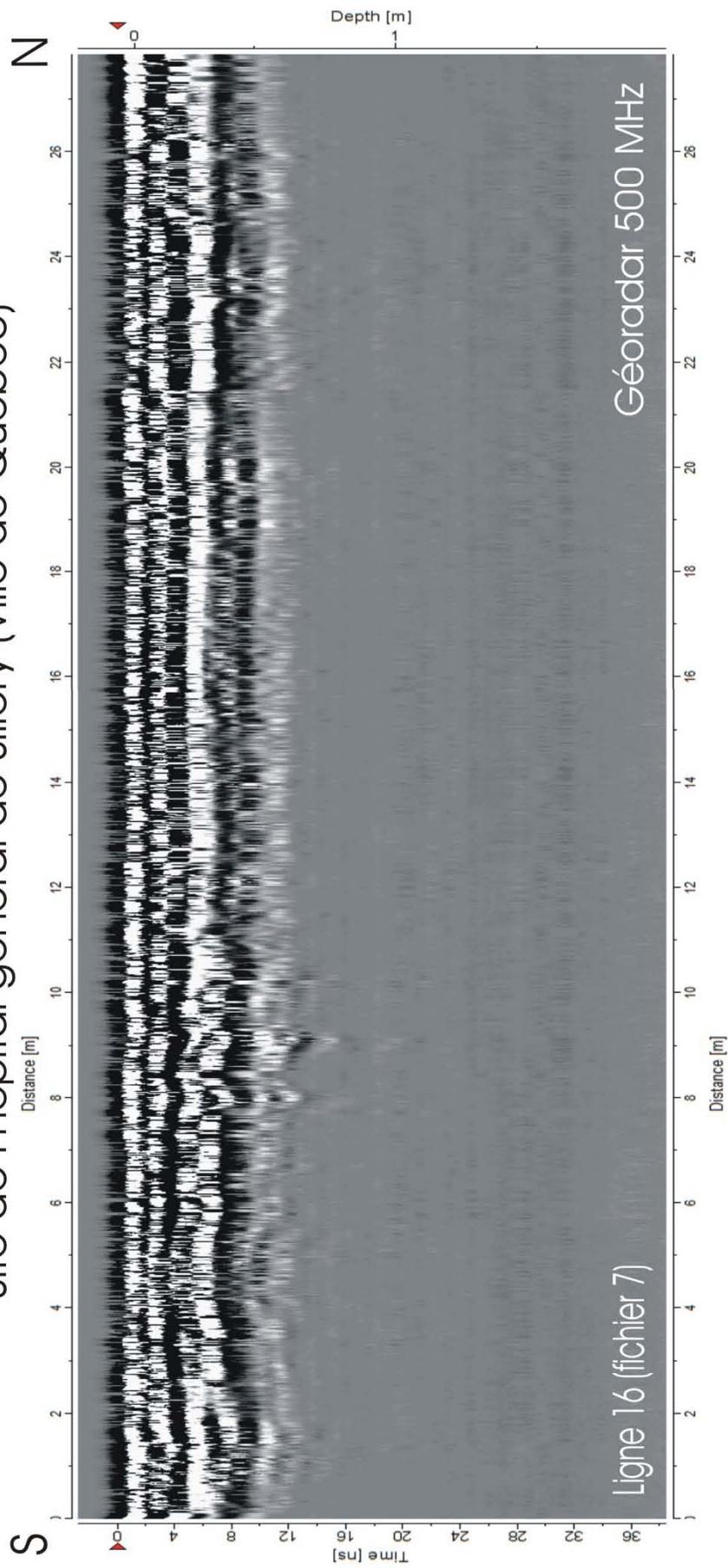




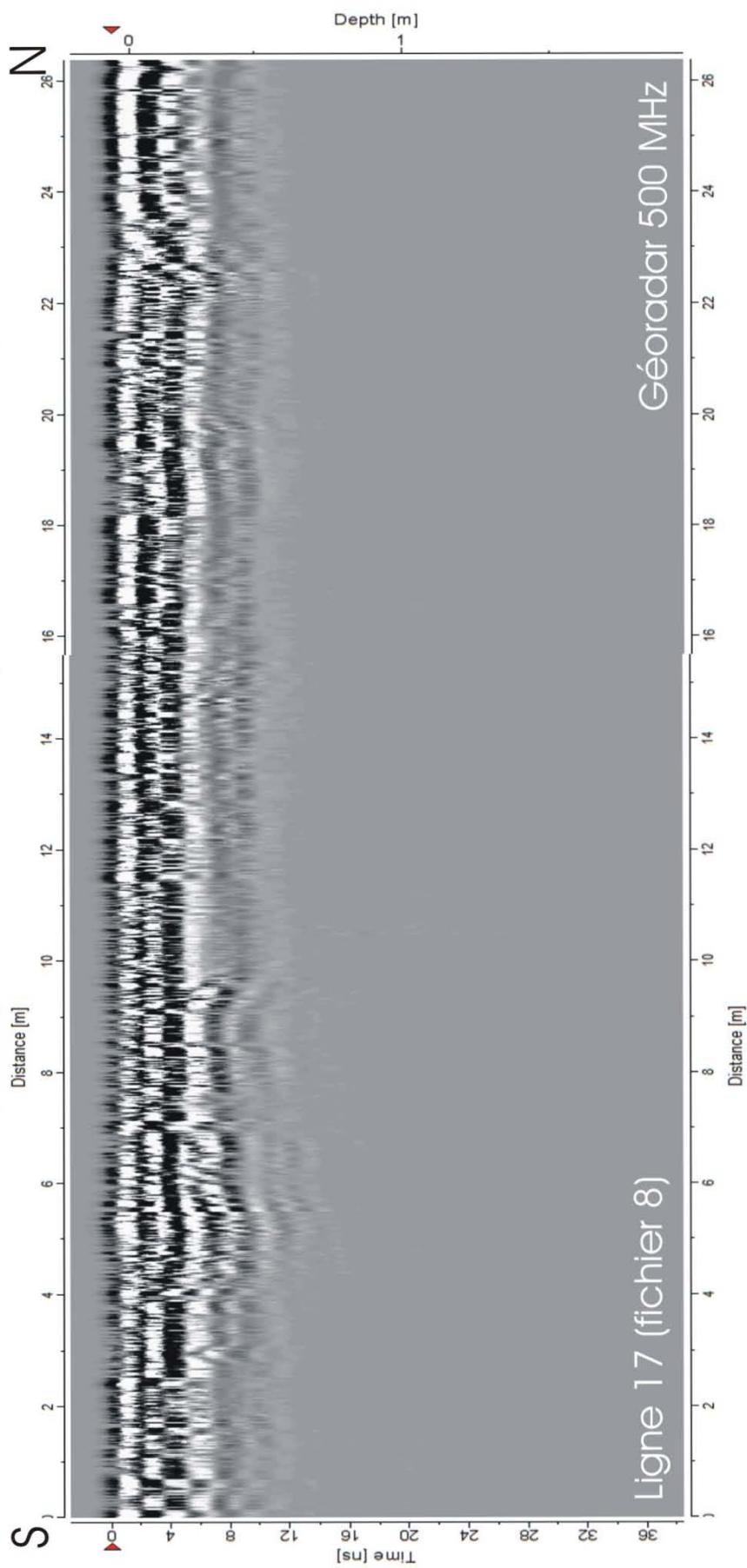
Site de l'hôpital général de Sillery (Ville de Québec)



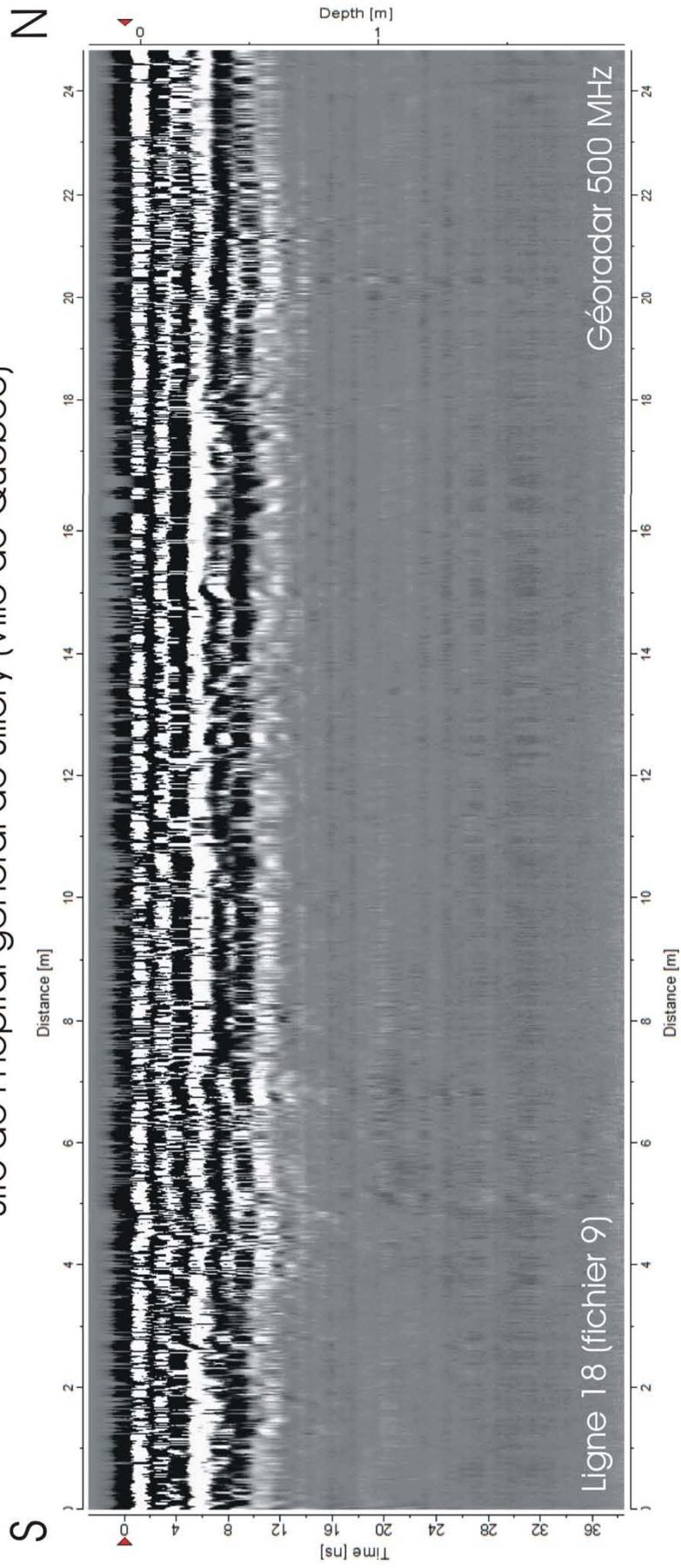
Site de l'hôpital général de Sillery (Ville de Québec)



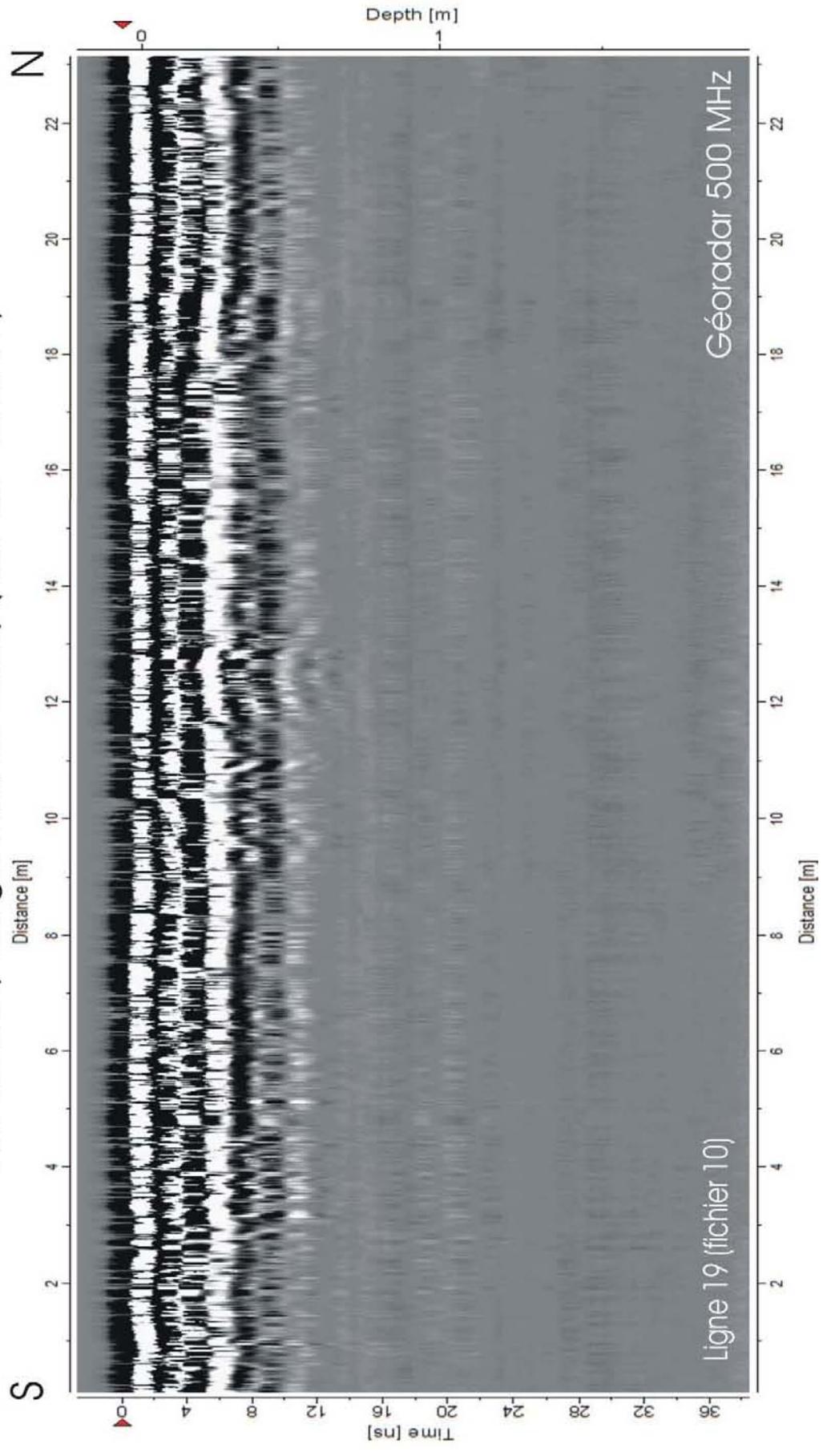
Site de l'hôpital général de Sillery (Ville de Québec)



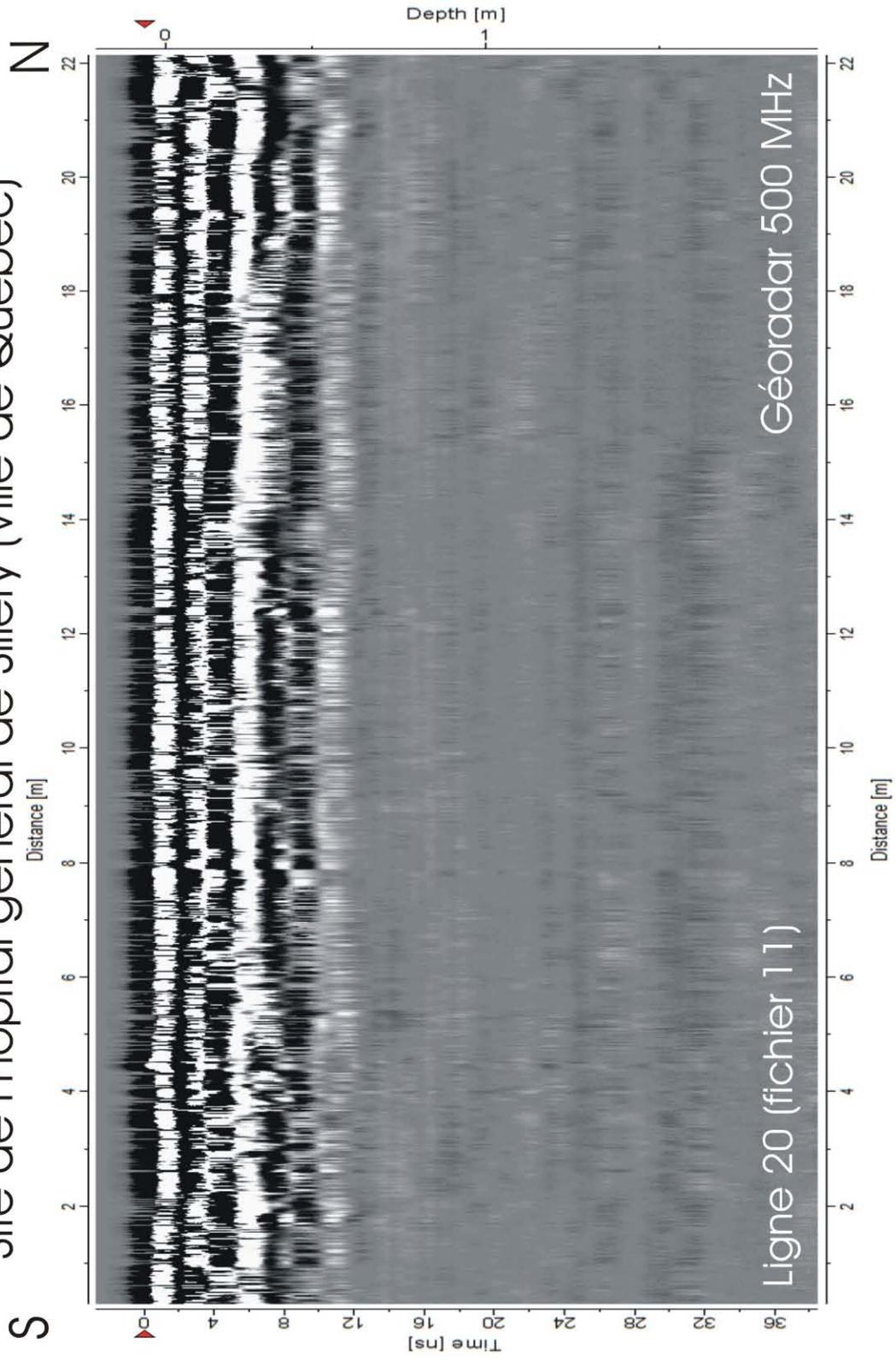
Site de l'hôpital général de Sillery (Ville de Québec)



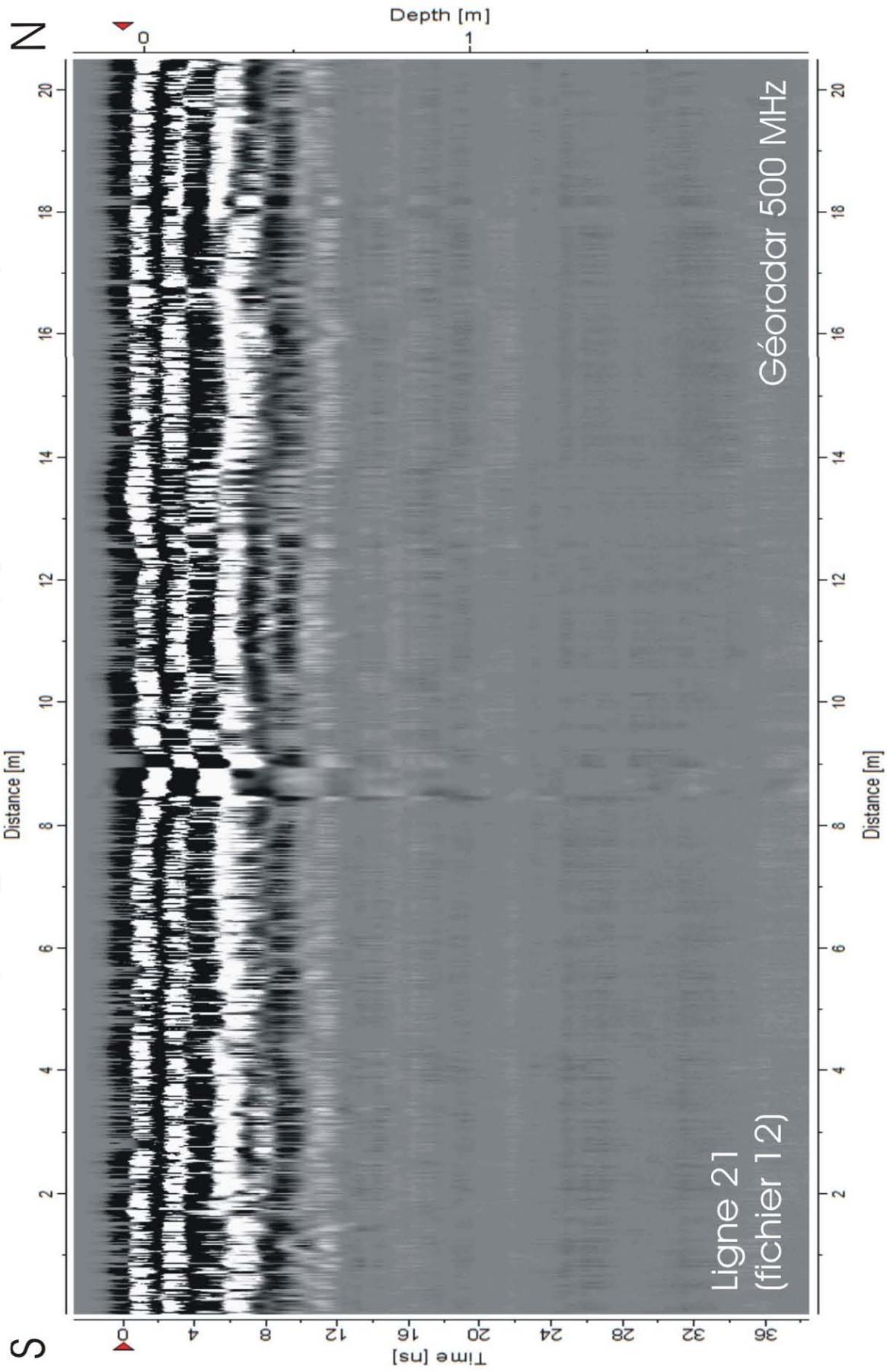
Site de l'hôpital général de Sillery (Ville de Québec)



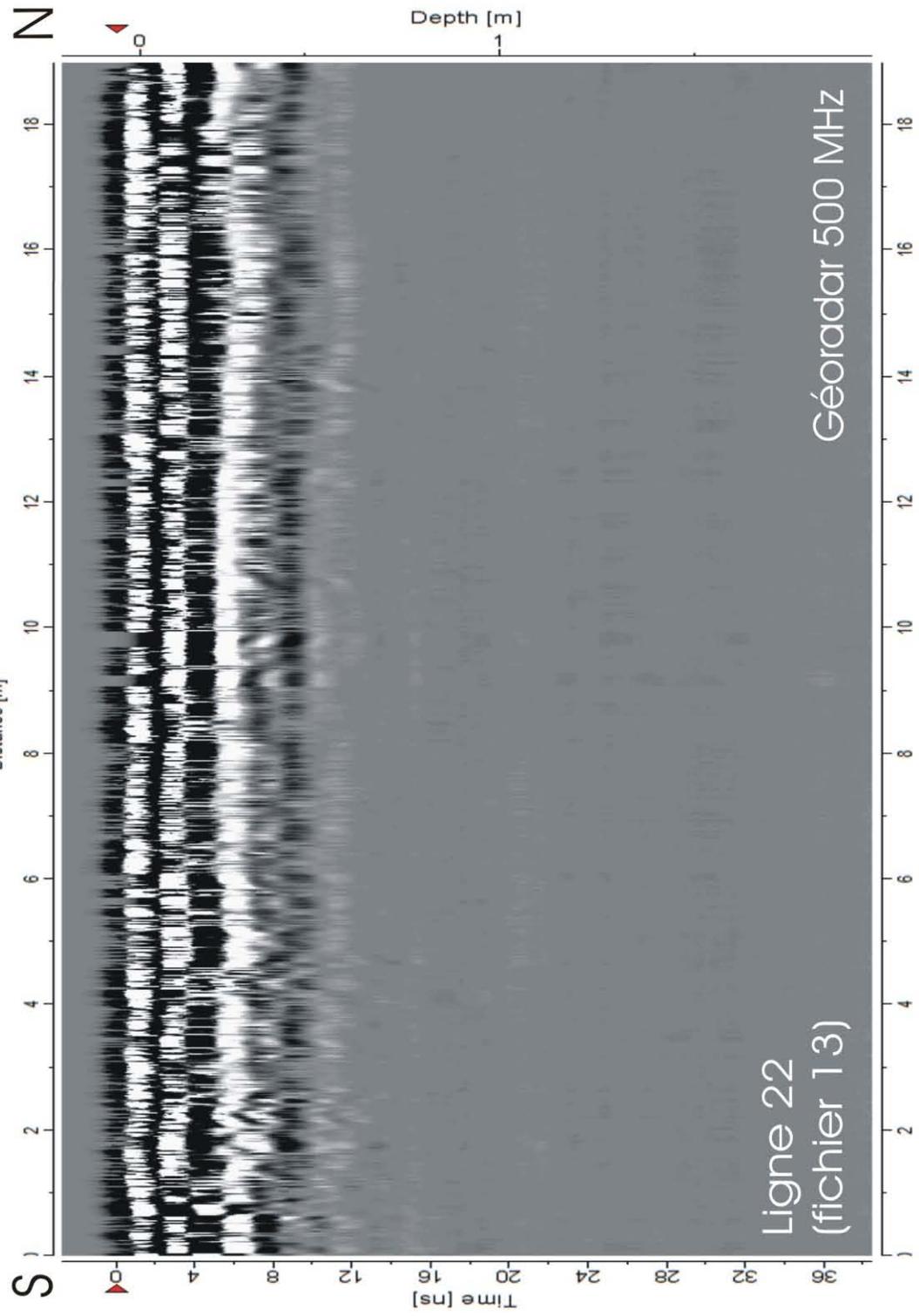
Site de l'hôpital général de Sillery (Ville de Québec)



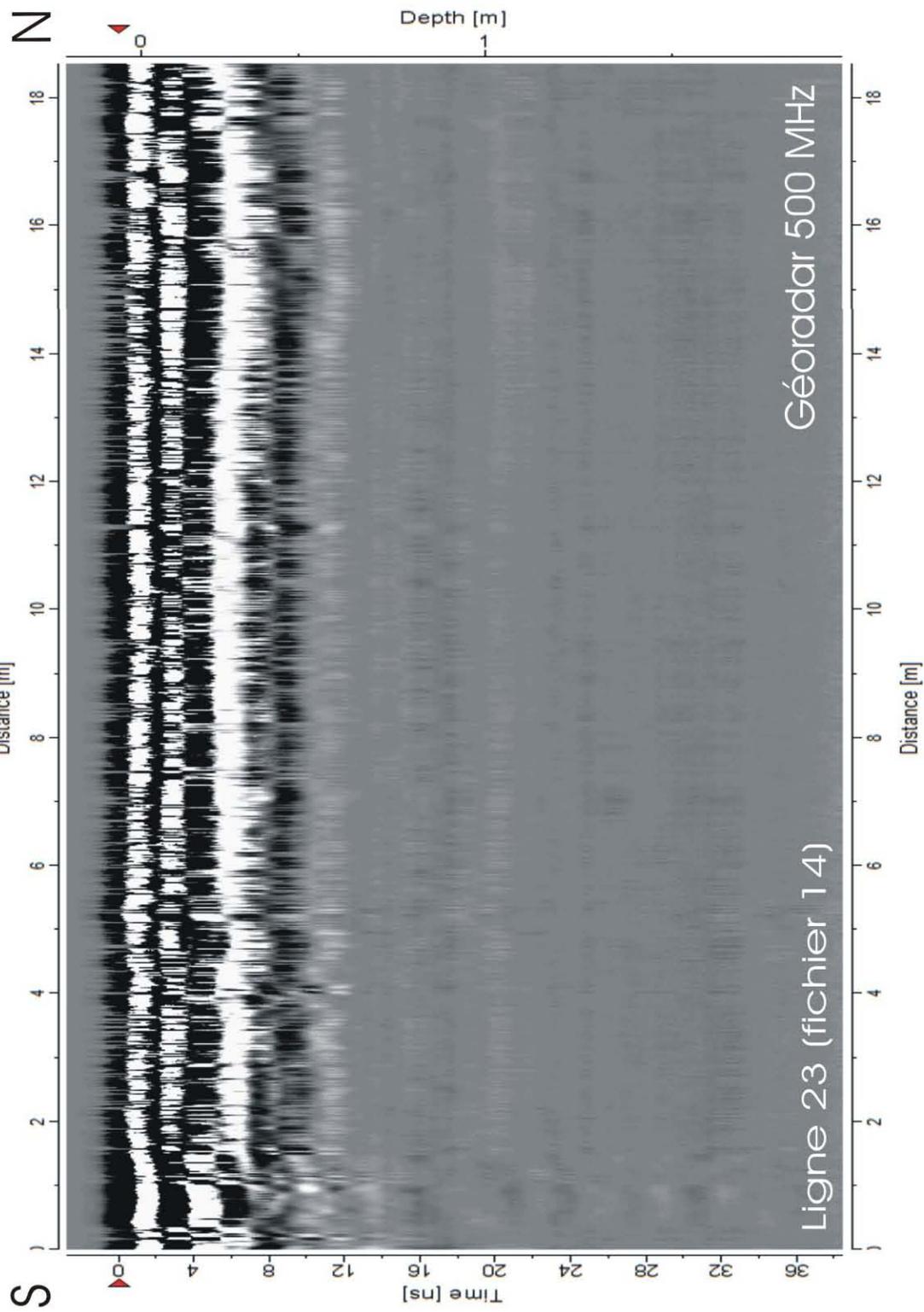
Site de l'hôpital général de Sillery (Ville de Québec)



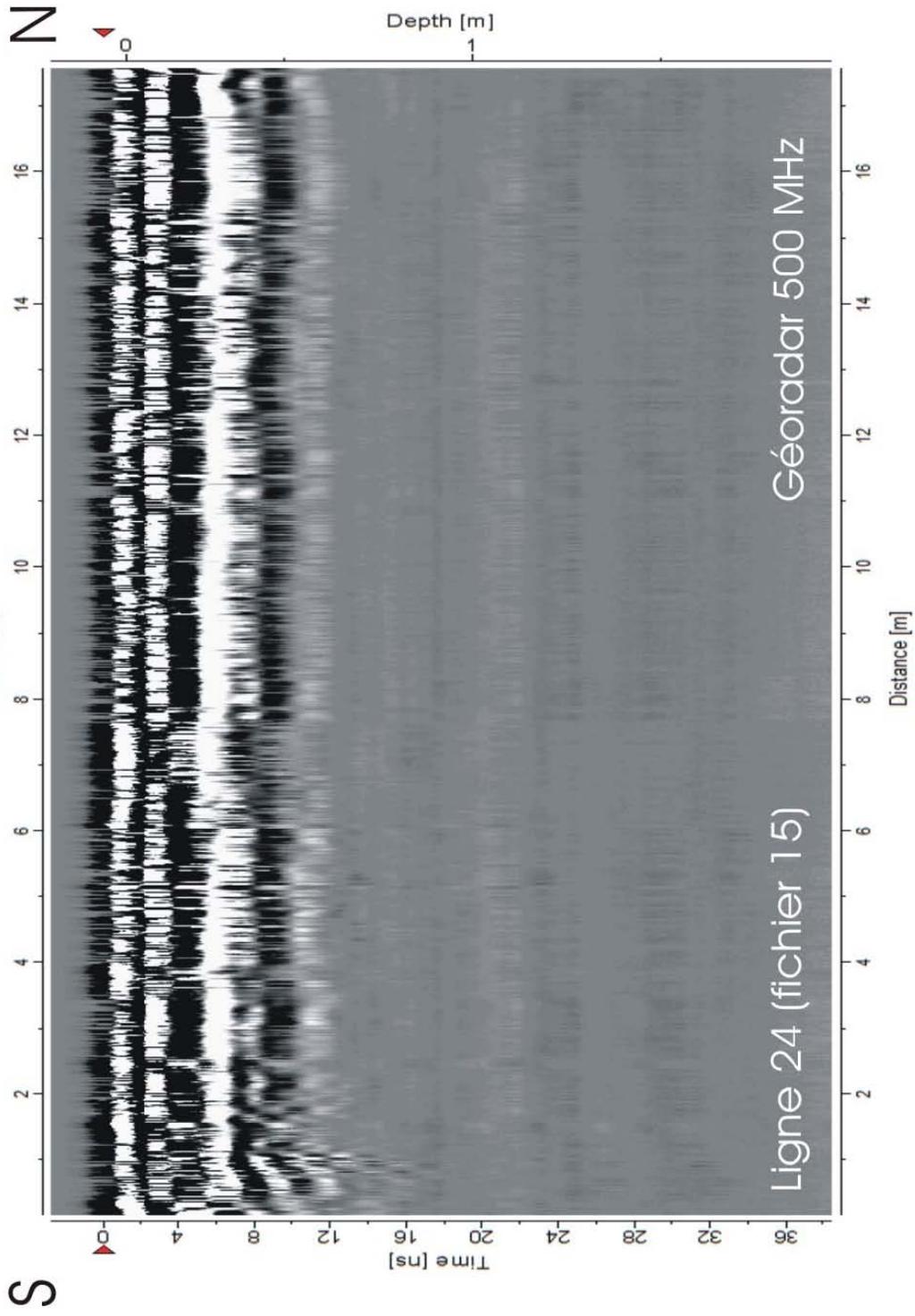
Site de l'hôpital général de Sillery (Ville de Québec)



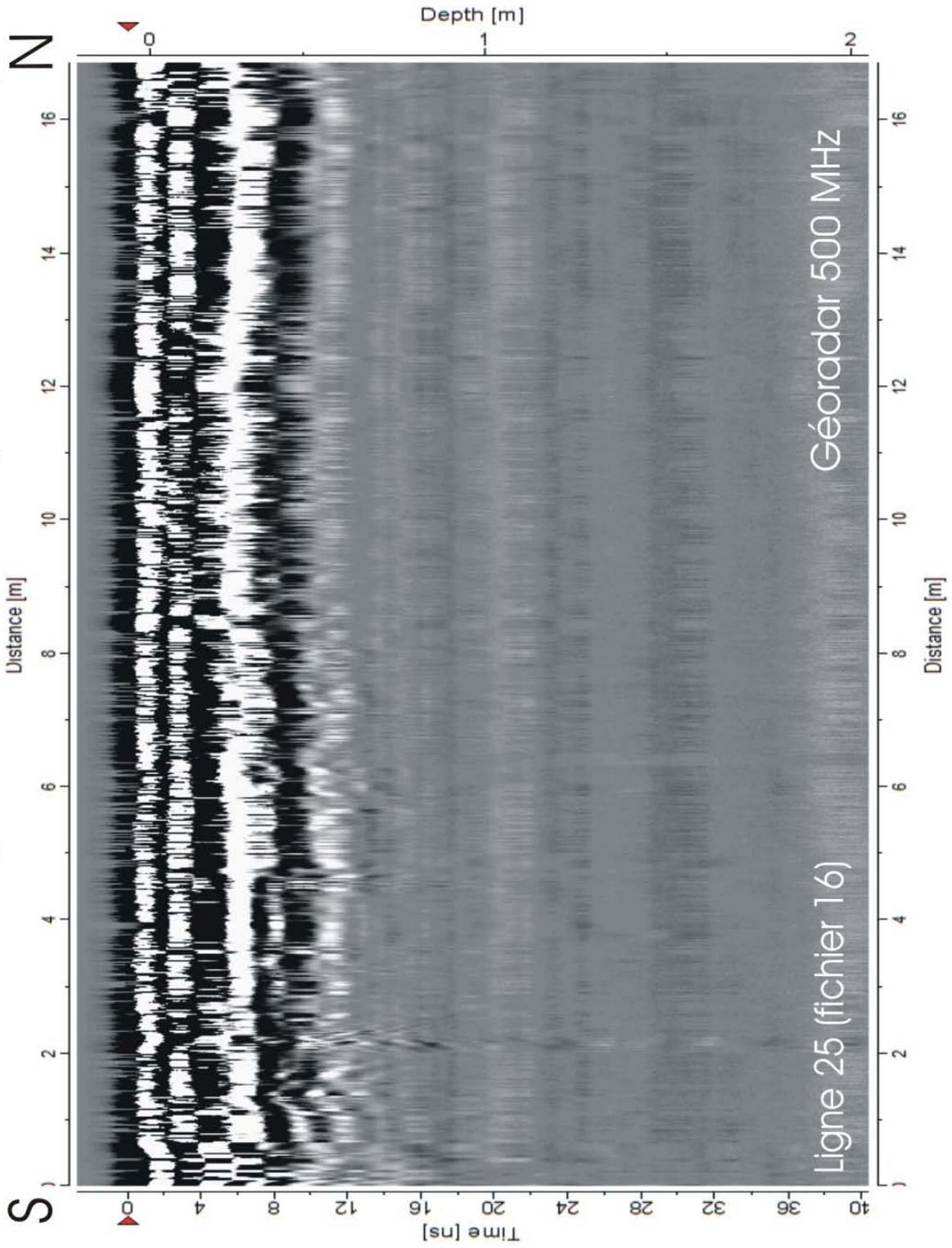
Site de l'hôpital général de Sillery (Ville de Québec)



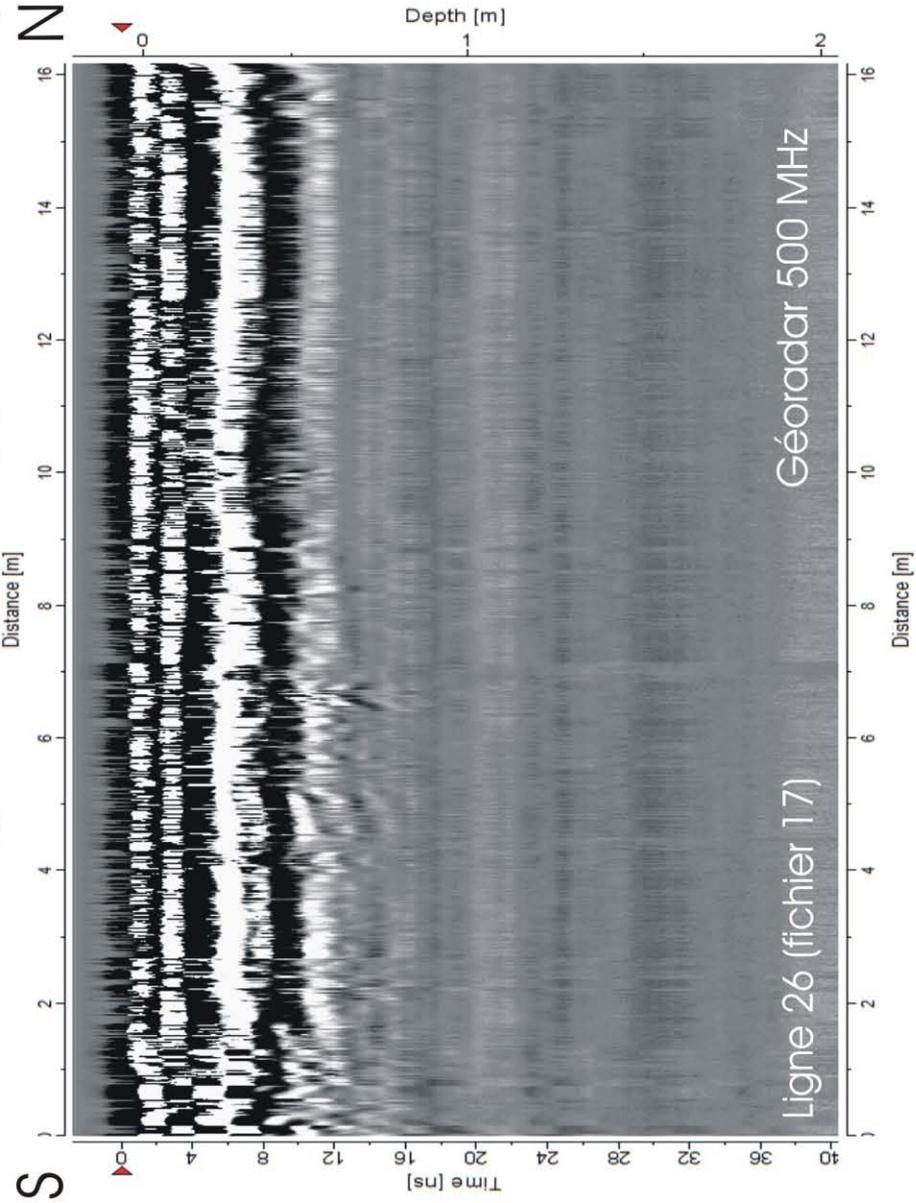
Site de l'hôpital général de Sillery (Ville de Québec)



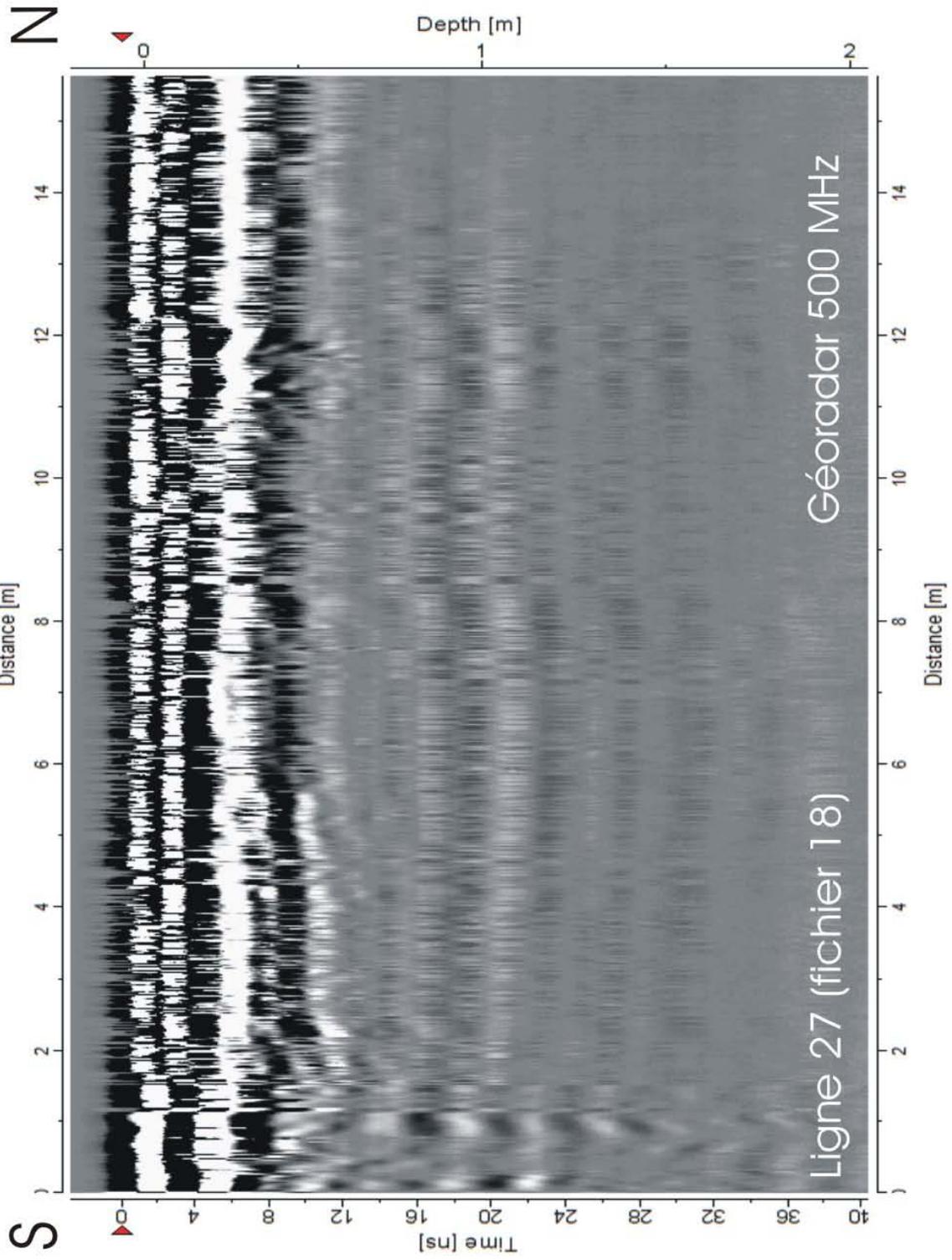
Site de l'hôpital général de Sillery (Ville de Québec)



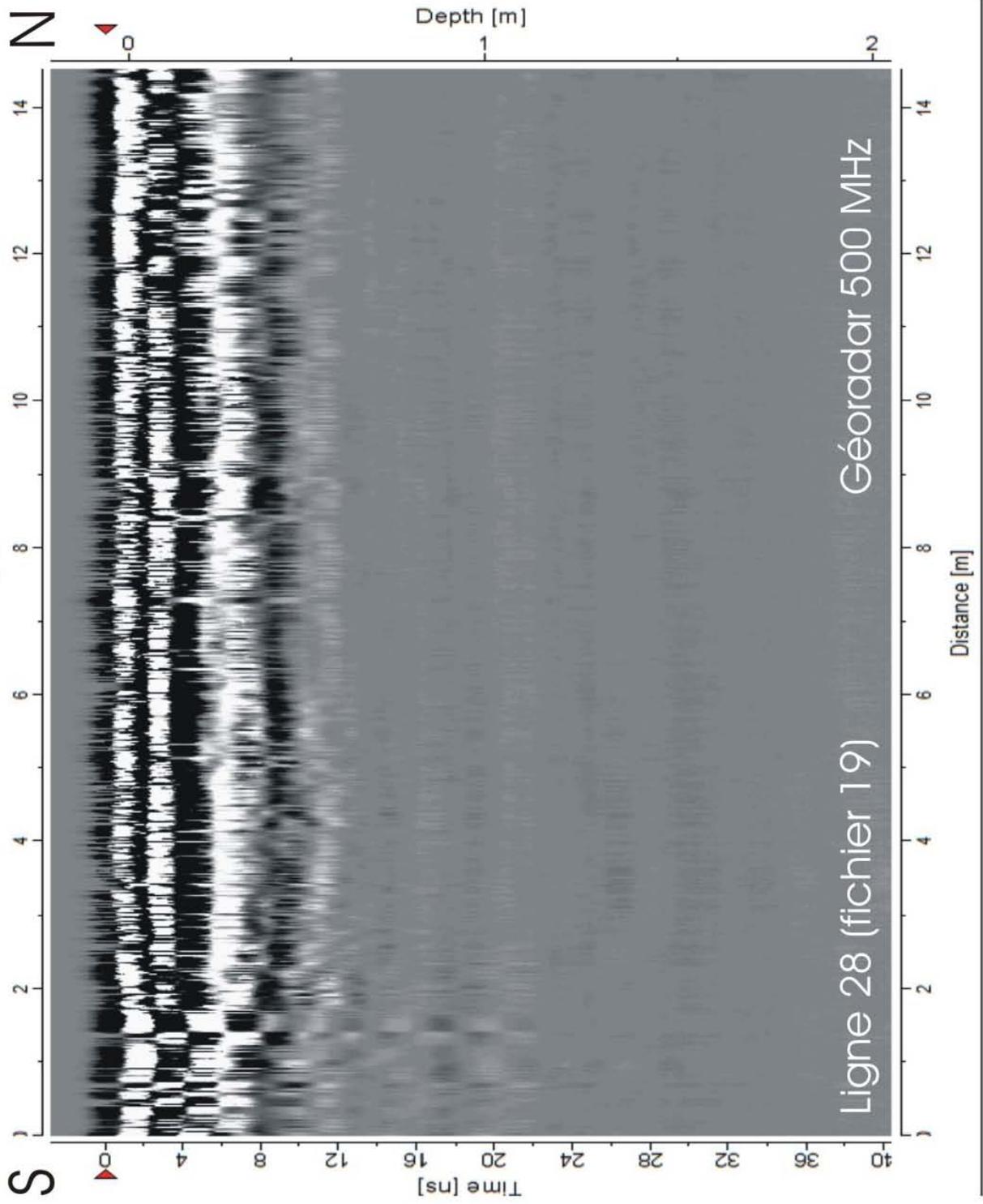
Site de l'hôpital général de Sillery (Ville de Québec)



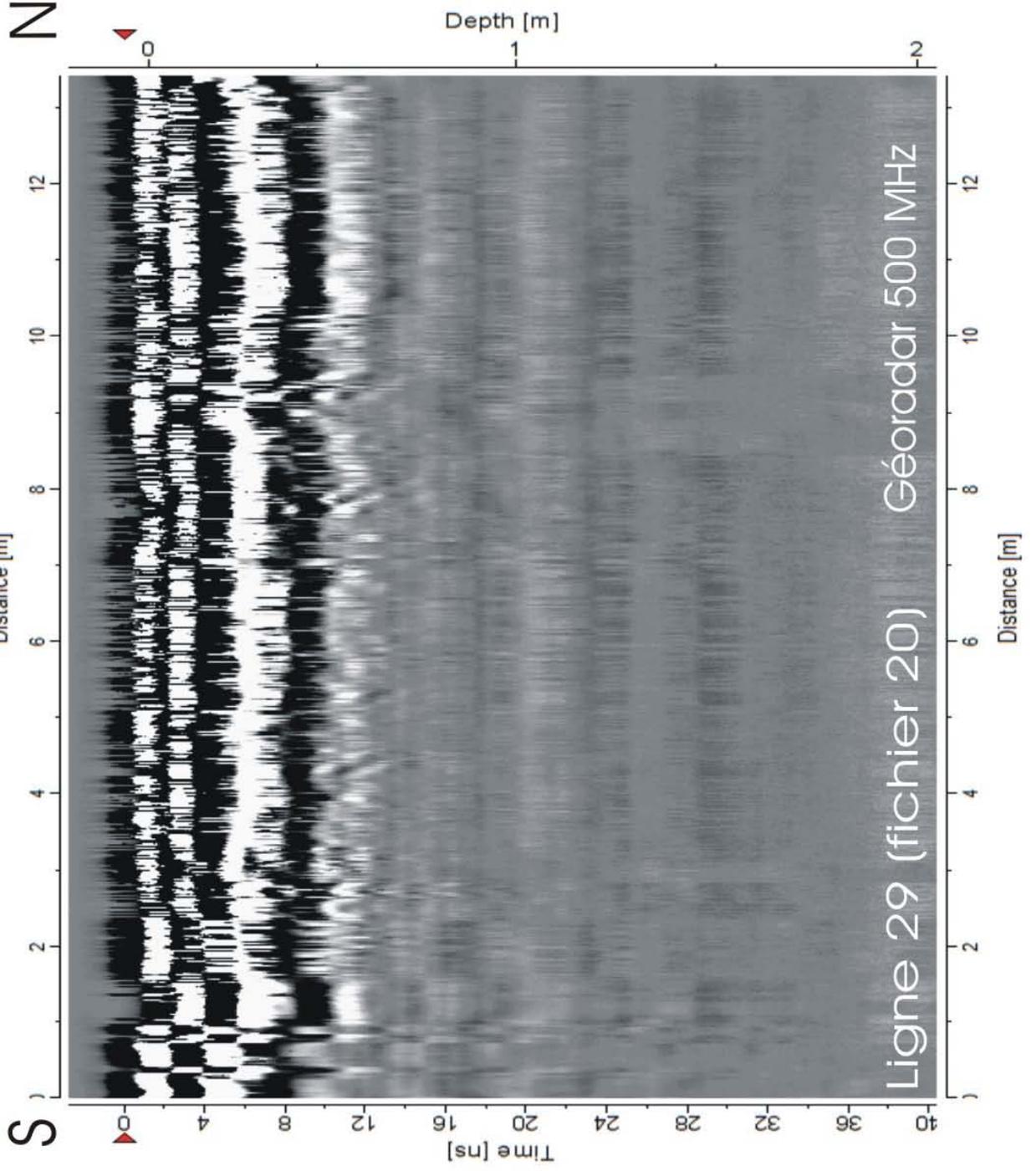
Site de l'hôpital général de Sillery (Ville de Québec)



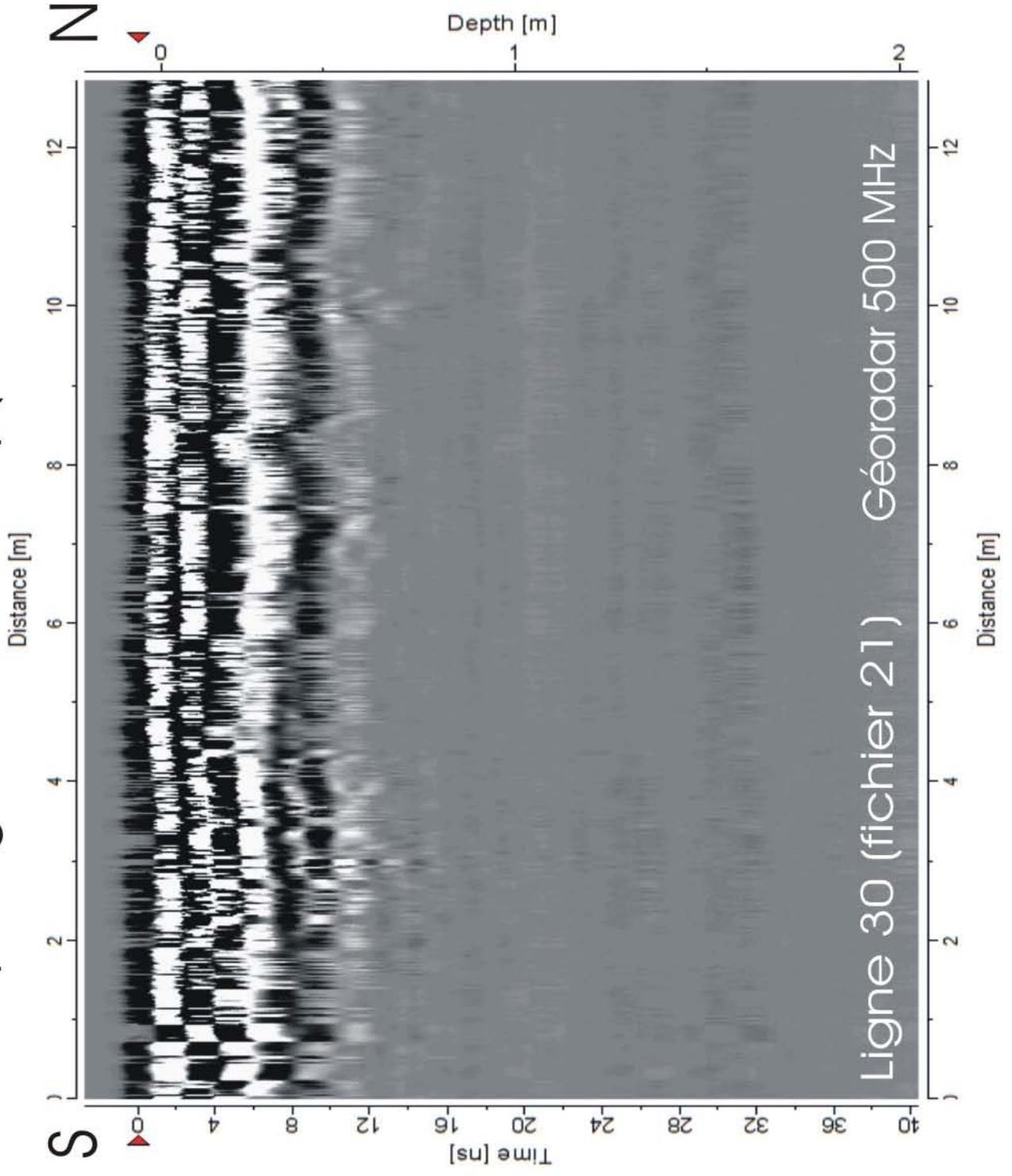
Site de l'hôpital général de Sillery (Ville de Québec)



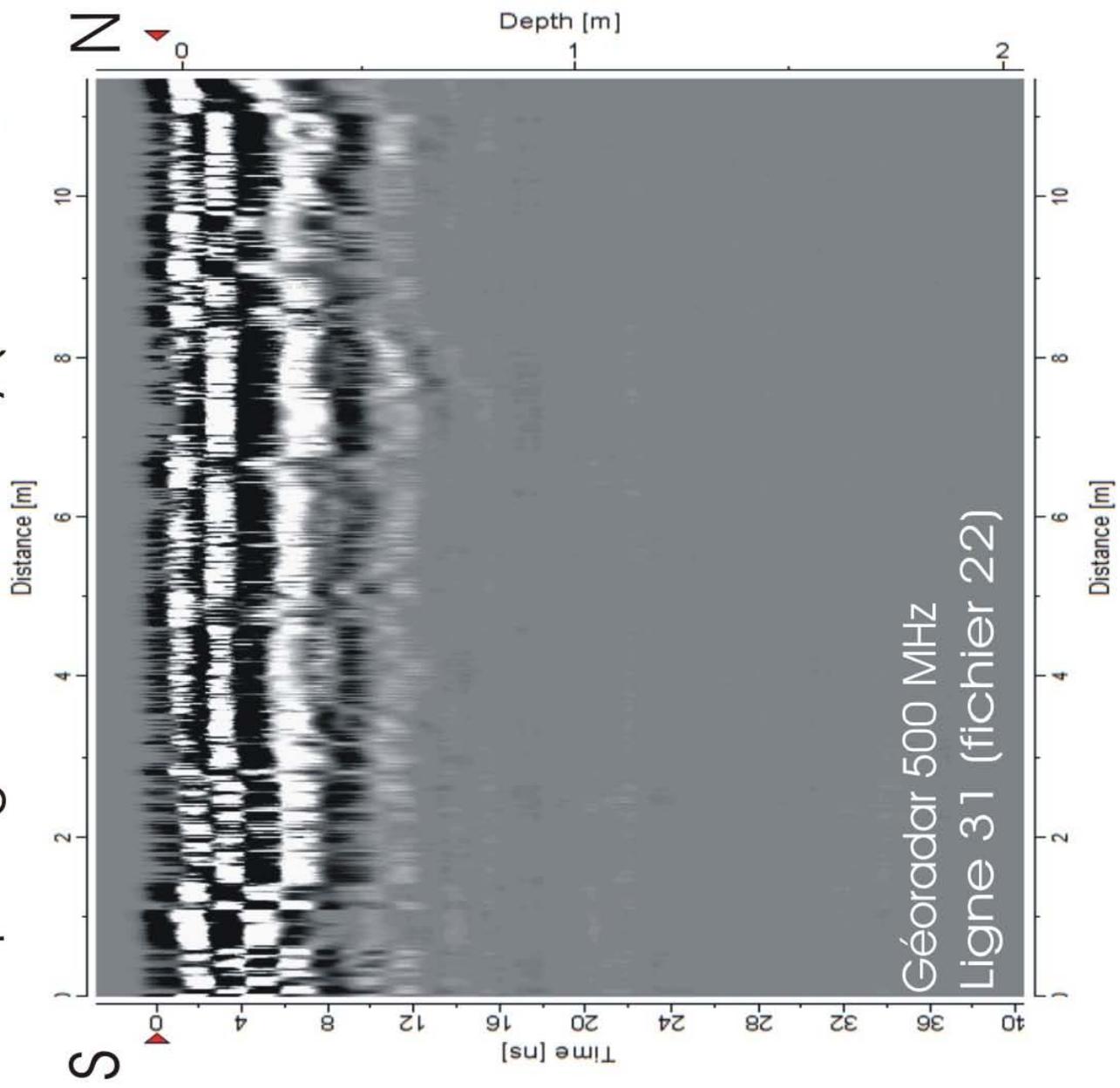
Site de l'hôpital général de Sillery (Ville de Québec)



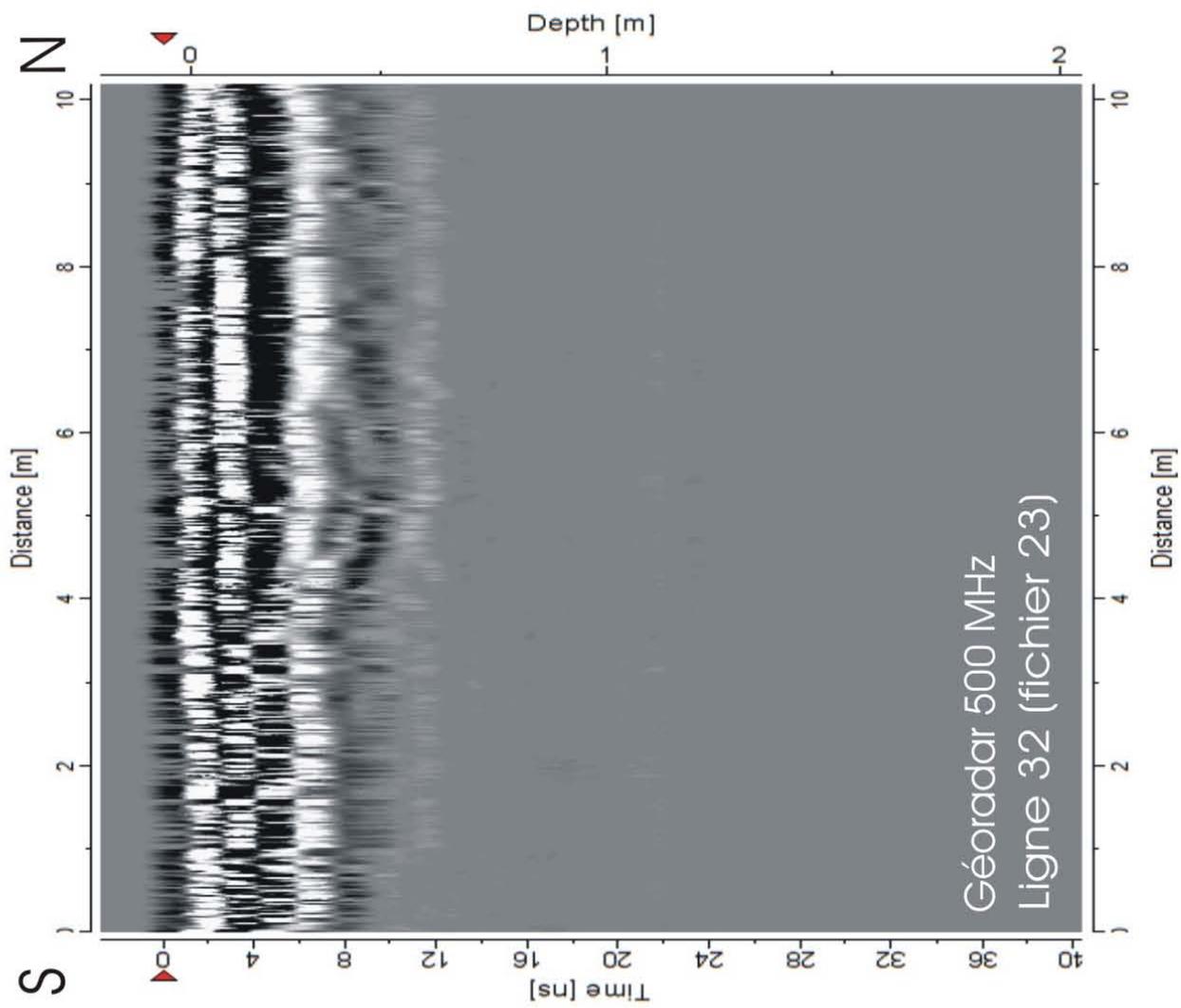
Site de l'hôpital général de Sillery (Ville de Québec)



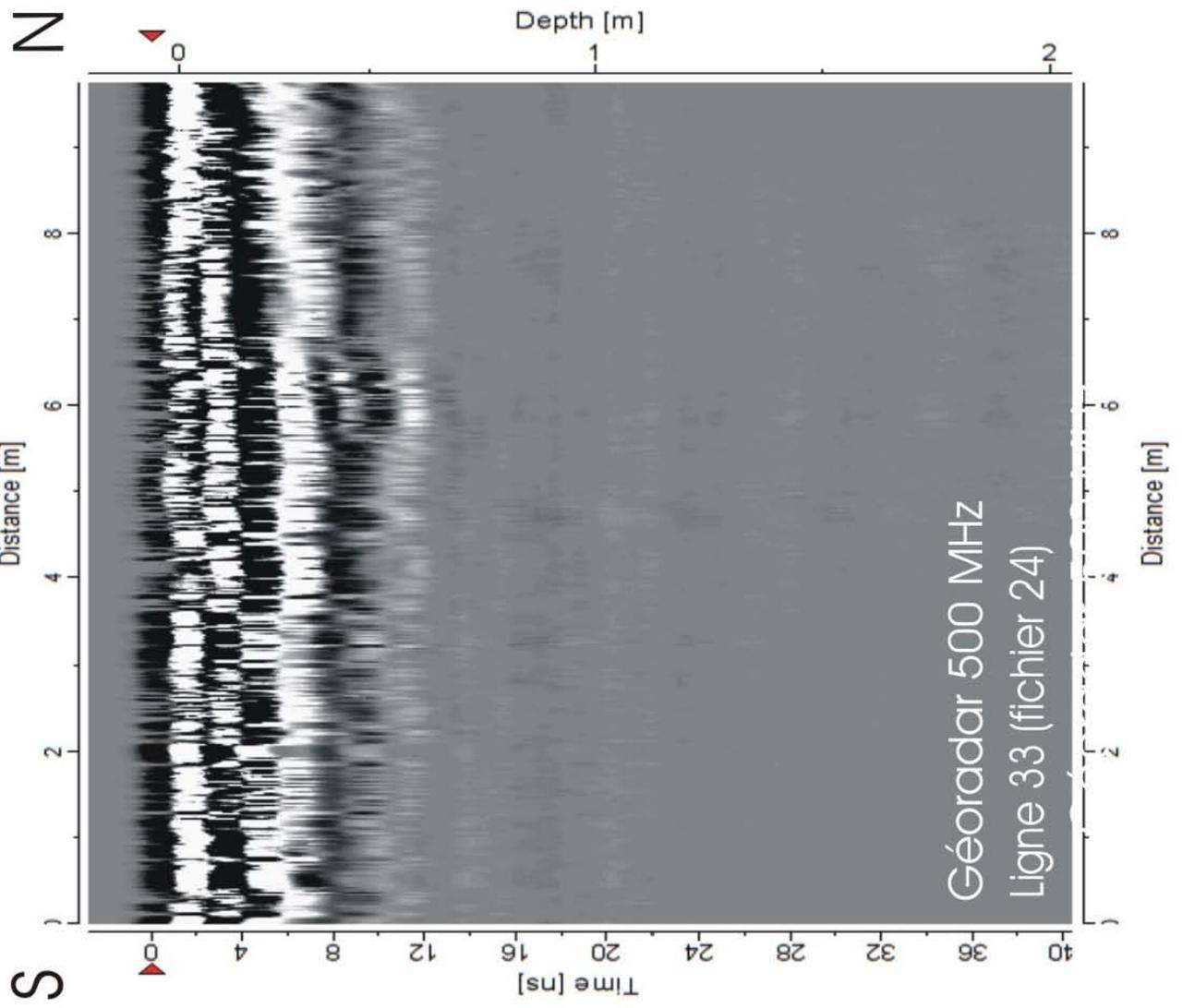
Site de l'hôpital général de Sillery (Ville de Québec)



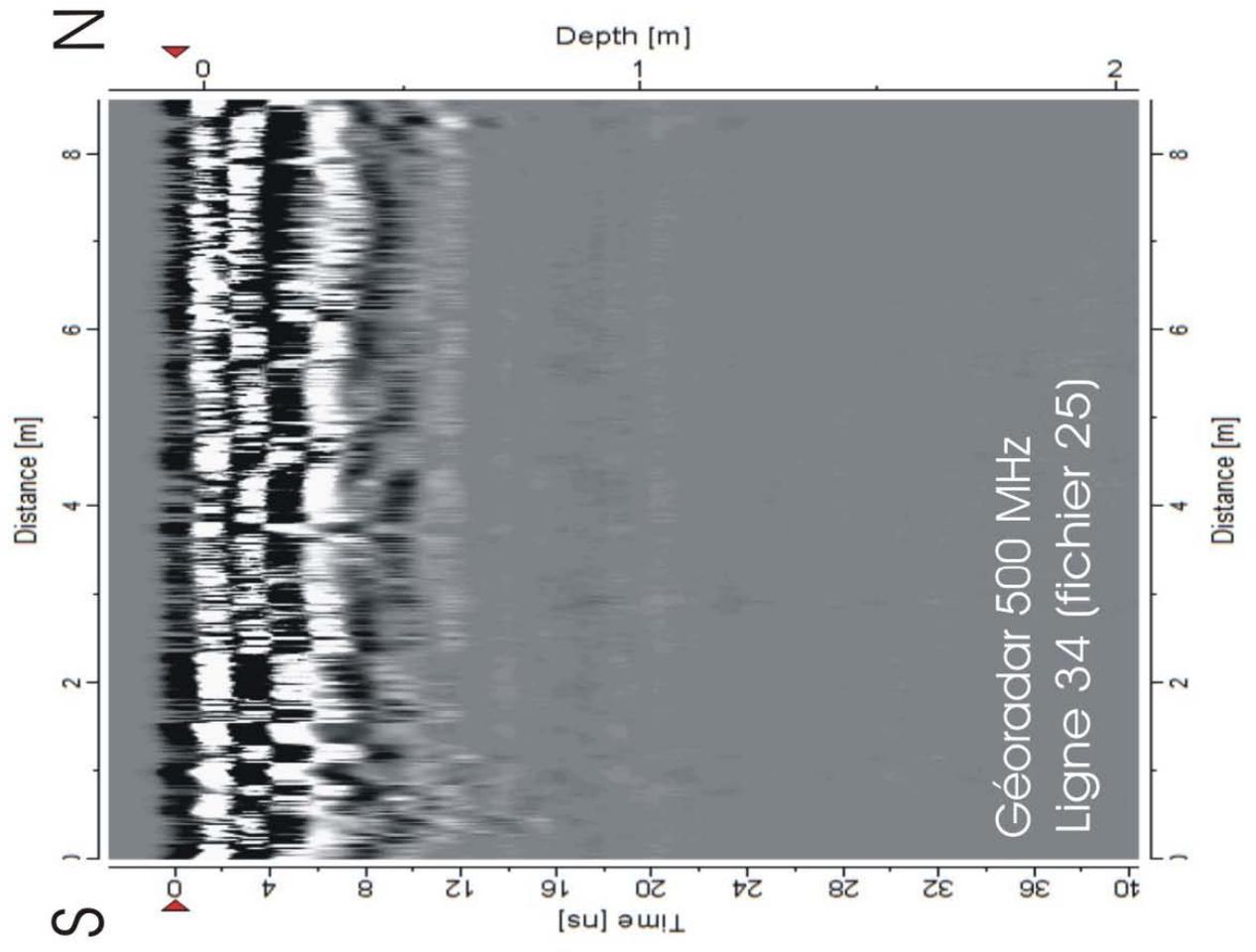
Site de l'hôpital général de Sillery (Ville de Québec)



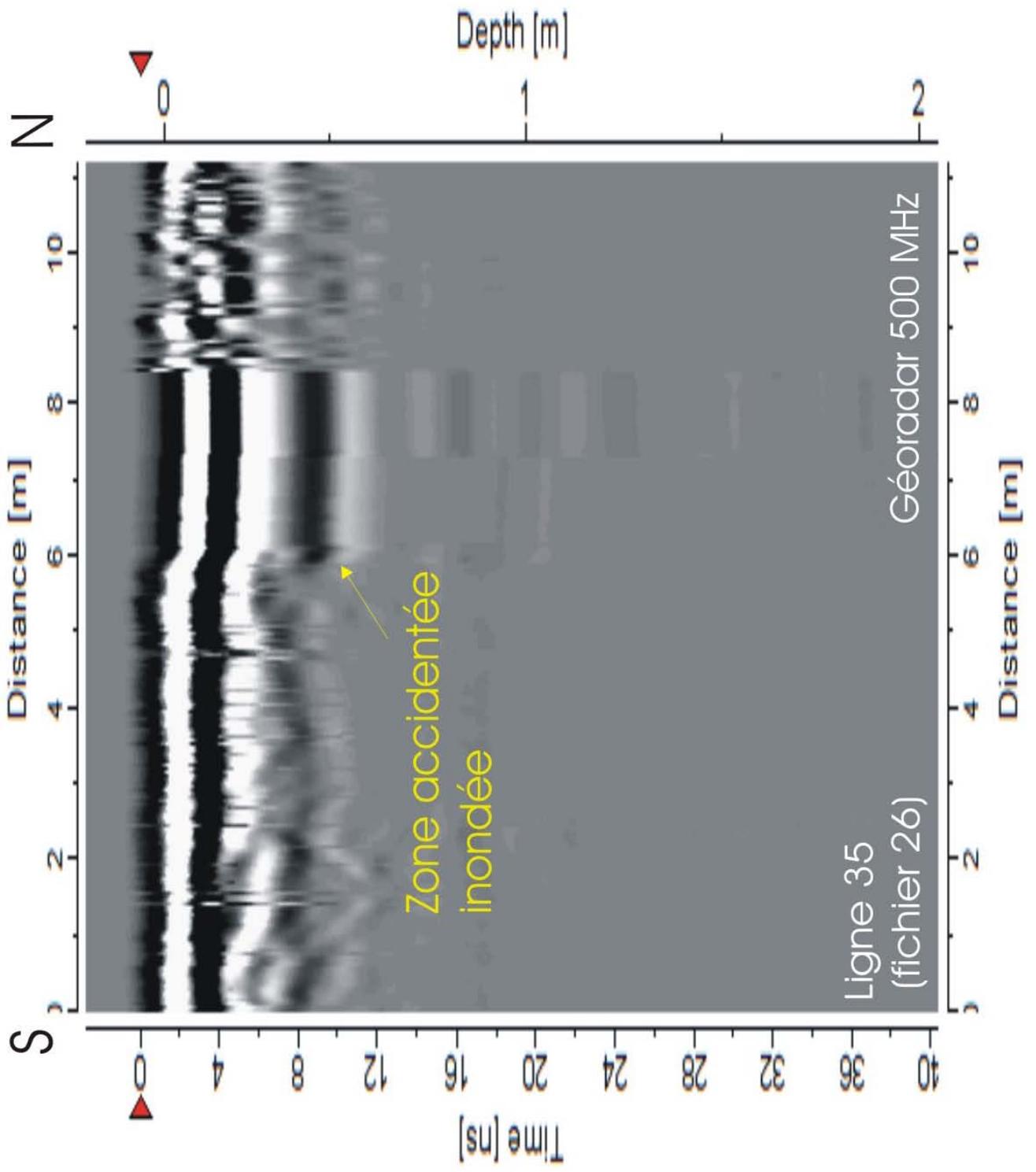
Site de l'hôpital général de Sillery (Ville de Québec)



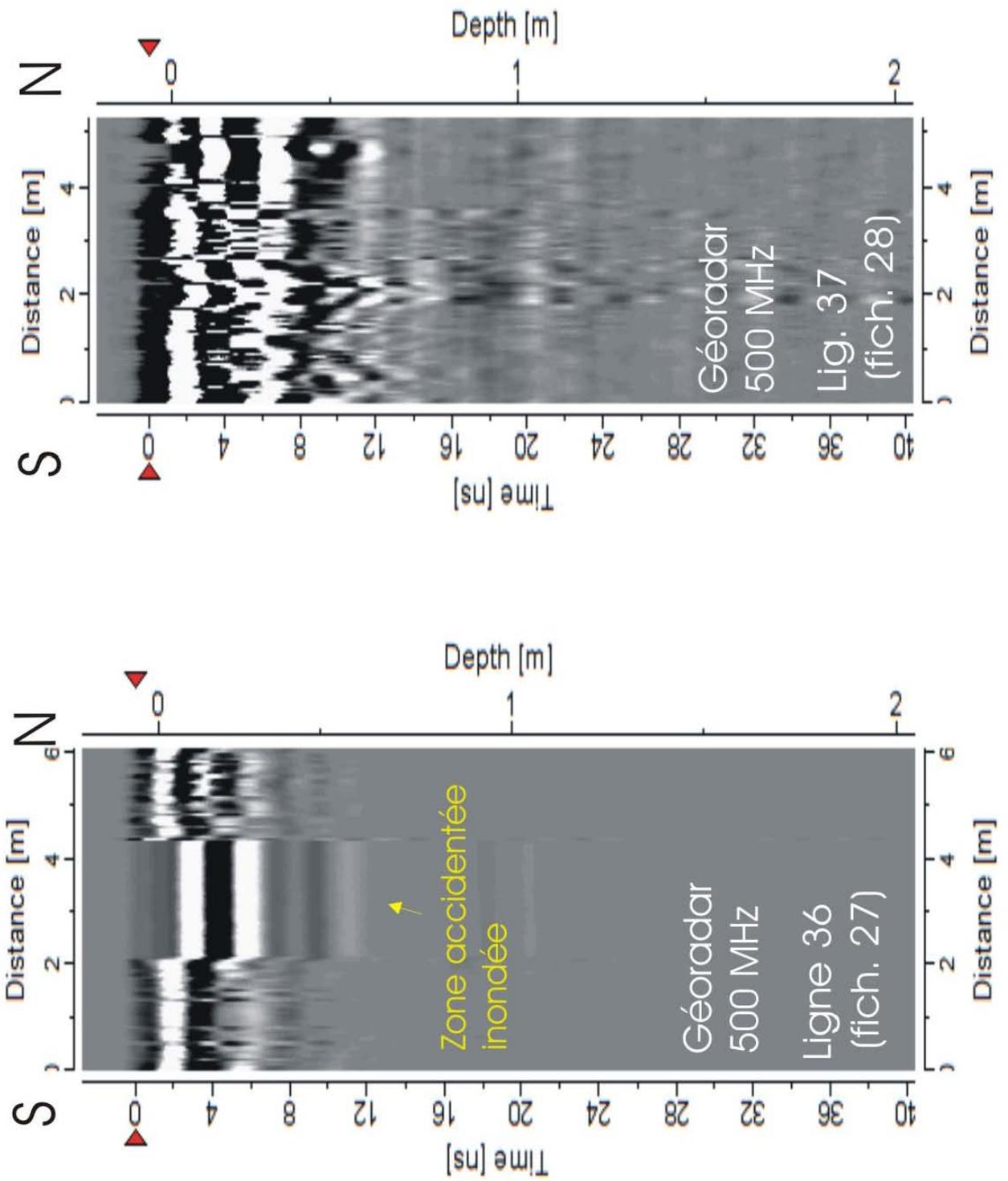
Site de l'hôpital général de Sillery (Ville de Québec)



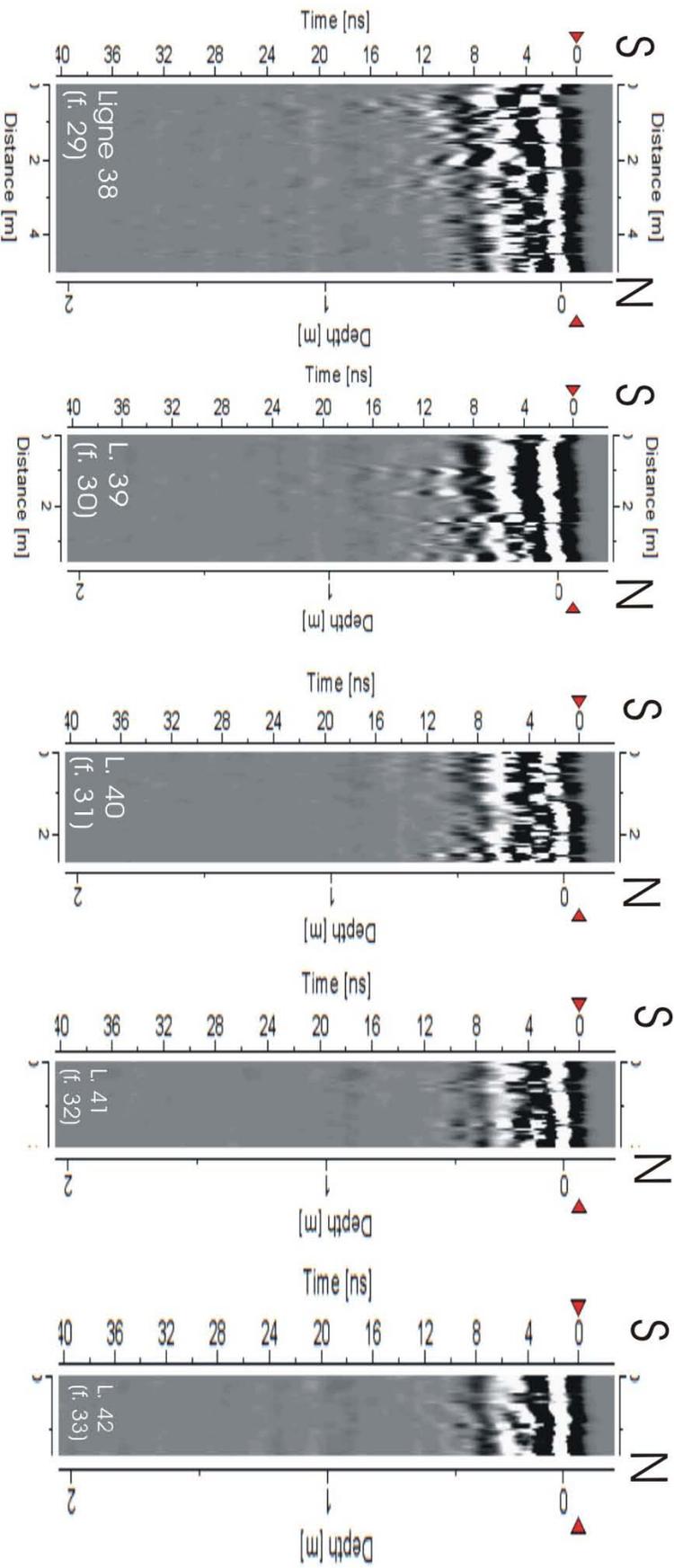
Site de l'hôpital général de Sillery (Ville de Québec)



Site de l'hôpital général de Sillery (Ville de Québec)



Site de l'hôpital général de Silery (Ville de Québec)



Géoradar 500 MHz

