



RAPPORT FINAL
2005

Sous-projet SC11

Minéralogie et propriétés géophysiques des gîtes de zinc
disséminé dans les marbres du Supergroupe de Grenville
-Volet géophysique-

Par

Michel Chouteau*, Bernard Giroux*, Michel Gauthier**

*École Polytechnique (CG&M, CP 6079, succ. C-V, Montréal, H3C 3A7; chouteau@geo.polymtl.ca)

**UQAM (Département des Sciences de la Terre et de l'Atmosphère, 201, avenue Président-Kennedy,
Local PK-6715, Montréal (Québec) H2X 3Y7; gauthier.michel@uqam.ca)

Soumis à l'administration de DIVEX

mai 2005 – Montréal

RÉSUMÉ

La minéralisation de zinc à sphalérite disséminée dans les marbres à trémolite/diopside (sans sulfures de fer) tel que le gîte Cadieux, ne répondent pas en géophysique aux méthodes habituelles: résistivité électrique/polarisation provoquée (P.P.), méthodes électromagnétiques, magnétométrie, gravimétrie. En prenant comme site de référence le gîte Cadieux (Renfrew, Ontario), on étudie les raisons du manque de réponse géophysique de ce type de gîte. Pour cela, on analyse d'abord les propriétés physiques des formations et de la minéralisation sur des échantillons de carottes de forage et d'affleurements, et celles estimées à partir de levés géophysiques existants et on évalue les réponses du sous-sol pour divers volumes et géométries basés sur les informations géologiques existantes (forages, cartographie). Ainsi, on a trouvé que la susceptibilité magnétique était élevée et significative uniquement pour les amphibolites. Les anomalies magnétiques sont associées aux occurrences d'amphibolites qui n'ont pas de liens structuraux ou génétiques avec la minéralisation. Les marbres calcaro-dolomitiques sont en général de densité plutôt élevée (2,84) et cette densité augmente avec la teneur de minéralisation en sphalérite disséminée (>3,00). Par conséquent, la gravimétrie (qui n'a pas fait l'objet de levés dans l'exploration de Cadieux) pourrait être une méthode de prospection. Cette possibilité a été étudiée par modélisation numérique tridimensionnelle des réponses à la surface et en forage. Les résultats montrent que la méthode pourrait être utilisée avec succès autant dans la phase « détection » que dans la phase « évaluation ». Les levés existants de polarisation provoquée ne montrent de réponses de faible résistivité et de chargeabilité significative que sur les quelques zones où la minéralisation en zinc se trouve associée la pyrite. Sinon, sur les zones de sphalérite seule, les résistivités sont élevées et les chargeabilités faibles. Des mesures de porosité effectuées sur des échantillons de la roche encaissante à la minéralisation (les marbres) montrent qu'elle est très faible, ce qui ne permet pas la génération de contact interfacial électrolyte-minéralisation sulfurée nécessaire au mécanisme de chargeabilité.

Des mesures de constante diélectrique ont été réalisées en laboratoire, avec trois sondes différentes, sur des échantillons stériles et minéralisés préparés à cet effet. De manière générale, les constantes diélectriques ont une valeur de 8-9 pour les roches stériles et sont supérieures (10-32) pour les échantillons minéralisés. Comme la teneur exacte des échantillons minéralisés n'est pas encore connue, on ne peut établir une relation entre la teneur et l'importance de la constante diélectrique. La partie imaginaire des échantillons stériles est faible alors qu'elle est non-négligeable (>1) pour les échantillons minéralisés. Il ne semble pas y avoir beaucoup de

dispersion (variation de la constante diélectrique avec la fréquence). Avec les contrastes de constante observés, on a évalué, par simulation numérique, la possibilité d'utiliser la méthode de radar géologique en forage pour détecter et délimiter les zones de minéralisations à teneur économique. Les réponses montrent que le mode réflexion serait approprié pour détecter la minéralisation et établir sa géométrie. Le mode transmission montre des variations trop faibles pour être utilisable en pratique. Les tests en forage prévus n'ont pu avoir lieu à Cadieux car les positions exactes des forages ne sont pas connues et les tubages n'ont pu être mis en évidence. Pendant l'été 2005, on retournera pour réaliser des tests de radar en forage à Cadieux si les trous peuvent être localisés; dans le cas contraire, des tests auront lieu à un site similaire et dont l'accès aux forages est connu.

1. PROBLÉMATIQUE

La Ceinture Métasédimentaire Centrale du Grenville a un potentiel élevé en minéralisation de zinc. Un des types de minéralisation recherché consiste en sphalérite disséminée dans les marbres à trémolite/diopside (sans sulfures de fer) tel que le gîte Cadieux, près de Renfrew (Ontario), étudié par Noranda. Ces types de minéralisation sont explorés par géochimie de till essentiellement car les méthodes géophysiques ne semblent pas répondre. En particulier, les méthodes habituellement utilisées pour les sulfures de métaux de base, résistivité électrique/polarisation provoquée (P.P.) et magnétométrie ne donnent pas d'anomalies associées qui permettraient de définir des cibles.

2. OBJECTIFS

Le projet SC-11 Divex intitulé « Minéralogie et propriétés géophysiques des gîtes de zinc disséminés dans les marbres du Supergroupe de Grenville » a pour objectifs généraux de caractériser les minéralisations zincifères disséminées dans les marbres et développer des méthodes géophysiques pour les rechercher.

Ce projet comporte deux volets :

- Un volet de caractérisation géologique de ces minéralisations ;
- Un volet de caractérisation géophysique.

Ici, nous traitons que du volet géophysique.

L'objectif ultime de ce volet est de développer/adapter des méthodes géophysiques pour

la prospection des gîtes de sphalérite disséminée du type Cadieux.

Les objectifs plus spécifiques de ce projet sont :

- Expliquer la raison du manque de réponse ;
- Établir une base de données des propriétés physiques associées aux formations et à la minéralisation;
- Évaluer le potentiel d'autres méthodes en modélisant les réponses de ces méthodes géophysiques à ce type de minéralisation et en déterminant leur potentiel de détection et caractérisation;
- Conduire des tests de radar géologique en surface et en forage pour déterminer son potentiel pratique à mettre en évidence ce type de minéralisation.

3. TRAVAUX

Le site du gîte Cadieux se trouve au sud de Renfrew, ville de l'Outaouais ontarien (figures A1 et A2). La géologie du site consiste essentiellement en marbres dolomitiques, calcitiques, calcaro-dolomitiques et en amphibolites.

Nous avons pu avoir accès à un certain nombre de rapports de la compagnie Noranda (voir Références), en particulier des rapports géologiques et de sondages des années 1997 et 1998 et les rapports de travaux géophysiques (P.P., magnétométrie) réalisés par Val D'Or Sagax Géophysique inc. (Val d'Or, Qc) sur la propriété en 1996. La figure A3 présente la carte géologique de la propriété ainsi que l'interprétation des anomalies P.P., la trace projetée en surface de la zone minéralisée surnommée « Swamp zone ». Cette zone minéralisée a fait l'objet de travaux de délimitation et d'évaluation plus particulier. Sur les figures 4 et 5, on peut voir les coupes verticales en x (suivant le pendage) et en y (perpendiculaire) de cette zone minéralisée.

3.1 Propriétés physiques

Notre première activité a été de faire une visite de la propriété pour se familiariser avec la géologie et les accès et de récolter quelques échantillons (visite de Michel Gauthier et Michel Chouteau, juin 2003, photos 1 à 5 en annexe). Par la suite, nous sommes retourné pour échantillonner systématiquement les diverses formations et la minéralisation rencontrées dans les forages 97-01 A-B-C (voir figure A4) en prélevant des petites sections de carotte dans la carotée extérieure (photos en annexe).

À partir des 57 échantillons de carotte et d'une dizaine d'échantillons d'affleurement, nous avons procédé à la mesure en laboratoire des masses volumiques et des susceptibilités magnétiques. Le tableau 1 présente les valeurs estimées.

Tableau 1 : Propriétés physiques

Lithologie	Densité (g/cm ³)	Susceptibilité mag. (x10 ⁻² SI)
Amphibolite	2.93	3.78
Roche calcosilicatée	2.84	0.02
Marbre dolomitique	2.87	0.00
Marbre calcitique	2.73	0.00
Marbre calcarodolomitique	2.87	0.00
Marbre calcarodolomitique minéralisé (teneur estimée à 15% sphalérite)	3.06	0.01

Il est aisé de constater que les marbres dolomitiques ou calcaro-dolomitiques sont de densité élevée par opposition aux marbres calcitiques, et que les marbres dolomitiques minéralisés en sphalérite sont, en général, les formations les plus denses. De fait, on peut montrer par la loi des mélanges que plus la proportion (teneur) de sphalérite sera élevée plus la densité de la formation sera aussi élevée.

Loi des mélanges en densité:

$$\rho_t = V_{\text{sph}} * \rho_{\text{sph}} + (1 - V_{\text{sph}}) * \rho_{\text{marbre}}$$

$$\rho_{\text{sph}} \sim 4.0-4.5 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{\text{marbre}} \sim 2.87 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Par exemple, pour } V_{\text{sph}} = 10\%, \text{ alors } \rho_t = 3.03 \text{ g/cm}^3$$

Dans leur rapport, Cooke et Ahrens (1991) mentionnent l'estimation de la densité du minerai à partir de la teneur en zinc (% poids) suivant une formule empirique déterminée sur de nombreux échantillons analysés.

$$\rho_t = \text{densité (g/cm}^3) = 2.862 + 0.021 \times \text{zinc}\%$$

La susceptibilité magnétique est négligeable pour toutes les formations à l'exception des amphibolites (susceptibilité de $3.5-5.5 \times 10^{-2}$ SI). Celles-ci ne constituent pas un horizon marqueur pour la minéralisation en sulfures et donc, n'est pas d'une grande utilité pour l'exploration du minerai de zinc disséminé.

Par ailleurs, comme la P.P. ne répond pas sur la sphalérite disséminée de Cadieux, nous avons proposé que les marbres présentent une porosité excessivement faible, ne permettant pas la création d'une interface électrolyte-conducteur (conductivité ionique-électronique) dans le matériau; par conséquent, aucune polarisation de minéralisation ne peut être développée (Sumner, 1976). Pour le vérifier, nous avons entrepris de couper les carottes sur des sections de 1 cm afin de mesure de porosité. Cette analyse a été faite sur 33 échantillons au laboratoire des céramiques au CIREP (merci au Professeur Claude Allaire et à l'associé de recherche Saied Afshar); le protocole de mesures suit la norme [ASTM C 830-00](#). Les résultats sont donnés au tableau A1 en annexe. En résumé, la porosité moyenne est toujours inférieure à 1%, ce qui se traduit par de faibles chances d'avoir un électrolyte en contact avec des sulfures et donc, une chargeabilité négligeable. D'autre part, ces analyses permettent d'obtenir la densité des échantillons. Elles montrent une excellente concordance avec les mesures de densité faites sur de gros échantillons au préalable au laboratoire de géophysique appliquée à l'École Polytechnique (tableau 1).

Une autre propriété physique est caractéristique de certains environnements, la permittivité électrique, et une méthode électromagnétique, le géoradar, a déjà été utilisée pour délimiter des zones minéralisées en exploration minérale. Pour que le radar réponde, il faut que la conductivité de la sphalérite soit différente de la conductivité de l'encaissant ou que la permittivité de la sphalérite

soit différente de la permittivité de l'encaissant. Il est bien établi que la conductivité de la sphalérite est de l'ordre de 0.01 S/m ($100 \Omega \cdot m$) et que pour les marbres, elle est de l'ordre de 0.00004 S/m ($25000 \Omega \cdot m$). La permittivité est moins bien connue et il est nécessaire de faire des mesures sur des échantillons pour évaluer la possibilité d'utiliser le radar géologique comme outil de détection et caractérisation des minéralisations en sphalérite. Nous avons donc profité dans un premier temps des échantillons coupés pour les mesures de porosité qui présentaient des surfaces lisses et planes pour réaliser des mesures de constantes diélectriques complexes dans la bande radar utile (50 MHz-500 MHz). En travaillant en mode réflexion ou transmission, s'il y a des variations de propriétés diélectriques, on pourrait utiliser le radar en forage (vitesse, atténuation, dispersion) pour mettre en évidence les zones favorables. Ces mesures ont été réalisées au mois de mai 2004 au laboratoire d'hyperfréquences PolyGrames de l'École Polytechnique avec une sonde coaxiale et un analyseur de réseaux. Les résultats (tableau A2 et figures A8 en annexe) montrent qu'en général, les échantillons non minéralisés ont une constante diélectrique autour de 8 avec une partie imaginaire faible; les échantillons minéralisés présentent des valeurs variant entre 9 et 32 et présentent une partie imaginaire non négligeable. Cependant on a vite noté que les sondes conventionnelles sont inadaptées pour la mesure sur les échantillons de roche. Le volume d'investigation de la sonde est de l'ordre du mm³; or, les hétérogénéités dans les échantillons (grains de minéralisation) sont de l'ordre du cm³. On a donc pensé à concevoir une autre sonde qui intègre un plus grand volume, et donc les hétérogénéités, dans la mesure. Le groupe PolyGrames (merci à Jules Gauthier et au professeur Cevdet Akyel) a donc développé et construit cette sonde (figure 1).



Figure 1 : Photo de la sonde développée par PolyGrames pour la mesure de la permittivité des échantillons.

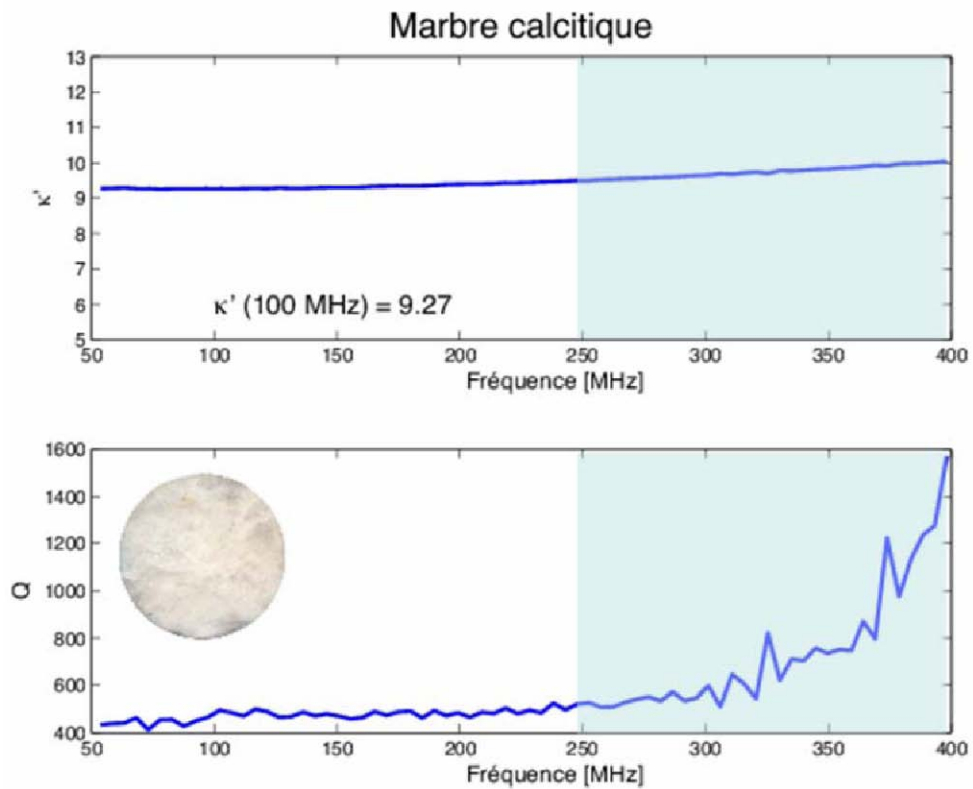


Figure 2: mesure de la permittivité relative réelle (κ') et du coefficient de qualité Q avec la sonde PolyGrames sur un échantillon de marbre calcitique. La bande de fréquence utile et fiable est 50-250 MHz.

Un exemple de mesure de la permittivité relative réelle (k') et du coefficient de qualité Q ($Q = k'/k'' =$ partie réelle/partie imaginaire) est donné à la figure 2. De manière générale, la mesure est fiable de 50 MHz à 200-250 MHz. Au-delà, la réponse semble être affectée et elle n'est pas retenue.

Un problème est apparu dans la mesure de la permittivité sur les échantillons minéralisés : soit les carottes minéralisées avaient été déjà coupées longitudinalement en deux par les compagnies explorant Cadieux pour réaliser des analyses de teneur, soit nous avons dû prendre des échantillons sur affleurements dont la teneur n'était pas connue. Dans le premier cas, on avait peu de matériel pour effectuer des coupes et le matériel était friable ; dans le second cas, il a fallu faire des coupes à la scie dans des blocs et polir les faces. La minéralisation a alors été évaluée à l'œil. Les échantillons les plus remarquables vont être évalués pour la teneur en zinc par diffraction X.

Finalement, nous avons réalisé des mesures de la permittivité électrique au département de génie civil de l'université de Sherbrooke à l'aide d'une sonde coaxiale de gros diamètre récemment développée (2004) par un étudiant, Bilal Falili, dans le cadre de sa maîtrise. Cette sonde permet d'intégrer la réponse de l'échantillon pour une surface de l'ordre de 20 cm² (diamètre de 5 cm). On retrouve les mesures sur des échantillons minéralisés et stériles en annexe.

Toutes ces mesures de permittivité relative complexe tendent à montrer que les roches encaissantes ont une permittivité relative réelle de l'ordre de 8-9 dans le voisinage de la fréquence 100 MHz alors que la partie imaginaire est faible. La dispersion (variation de la propriété en fréquence) est aussi négligeable. Pour les échantillons minéralisés, la partie réelle de la permittivité est supérieure à 9 ($9 < k' < 22$) et la partie imaginaire est non négligeable ($\sim 1-2$). La dispersion semble faible mais d'autres mesures sur des échantillons minéralisés dont la teneur varierait restent à faire.

3.2 Radar en forage

Principe

Le radar géologique est une méthode électromagnétique (EM) dans la bande de fréquence 20 MHz-2 GHz. Elle consiste à émettre une impulsion EM à l'aide d'une antenne émettrice et à

enregistrer au récepteur le signal capté à une certaine distance de l'émetteur. Le signal radar reçu peut être la partie réfléchi ou transmise du signal émis lorsqu'il se propage dans le milieu. La partie réfléchi est causée par des contrastes d'impédance électrique (causés par les variations de permittivité et de conductivité électriques). Le temps d'aller-retour dépend de la distance au réflecteur et de la vitesse de l'onde radar dans le milieu, à la manière de la sismique réflexion ou de l'échographie. En transmission, le temps de parcours et l'amplitude du signal dépendent de la distance entre l'émetteur et le récepteur et de la distribution des vitesses et des atténuations dans le milieu. Vitesses et atténuations sont fonction également des permittivités et des conductivités électriques du milieu traversé. Les mesures en forage nous permettent de faire (1) des profils de réflexion lorsque les antennes émettrice et réceptrice sont descendues dans le même forage, (2) une tomographie de vitesse à partir des temps d'arrivée et (2) une tomographie d'atténuation à partir des amplitudes lorsque l'antenne émettrice est descendue dans un trou et l'antenne réceptrice dans un autre trou (figure 3).

Mesures in situ

Une visite à Cadieux n'a pas permis de localiser les trous de forages (coordonnées des trous inconnues) pour mesurer les vitesses de propagation dans les marbres. Une seconde visite est prévue avec Gino Roger l'été 2005; des mesures sur un autre site sont envisagées (Maniwaki ou Balmat, USA ?).

Modélisations préliminaires

Avant d'effectuer des levés radar en forage à Cadieux, nous avons voulu savoir si un petit gîte comme la zone « Swamp » pouvait être détectée et caractérisée par radar en forage. En utilisant les propriétés électriques obtenues par analyse sur les échantillons, nous avons calculé les réponses par modélisation numérique. On présente à la figure 3 le modèle qui consiste en une zone riche en sphalérite (20% fraction volume) située dans la zone entre deux forages dans lesquels on fait descendre des antennes radar. La figure 4 montre à divers temps (100, 200, 300, 400 et 500 ns avec 1 ns = 10⁻⁹ s) le front de l'onde radar se propageant dans le milieu entre les 2 forages. À chaque interface entre le milieu stérile et le milieu minéralisée, une partie du signal est réfléchi et l'onde transmise est atténuée.

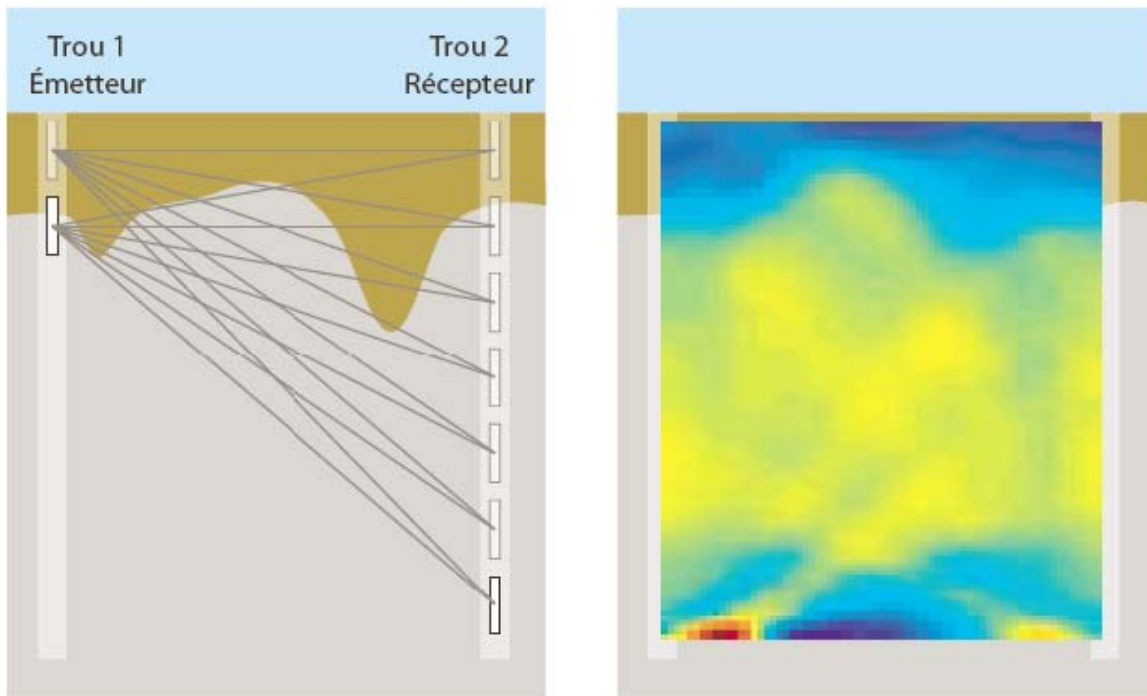


Figure 3 : tomographie radar entre forages ; (à gauche) distribution des mesures, (droite) image des vitesses obtenue par inversion des données de temps d'arrivée.

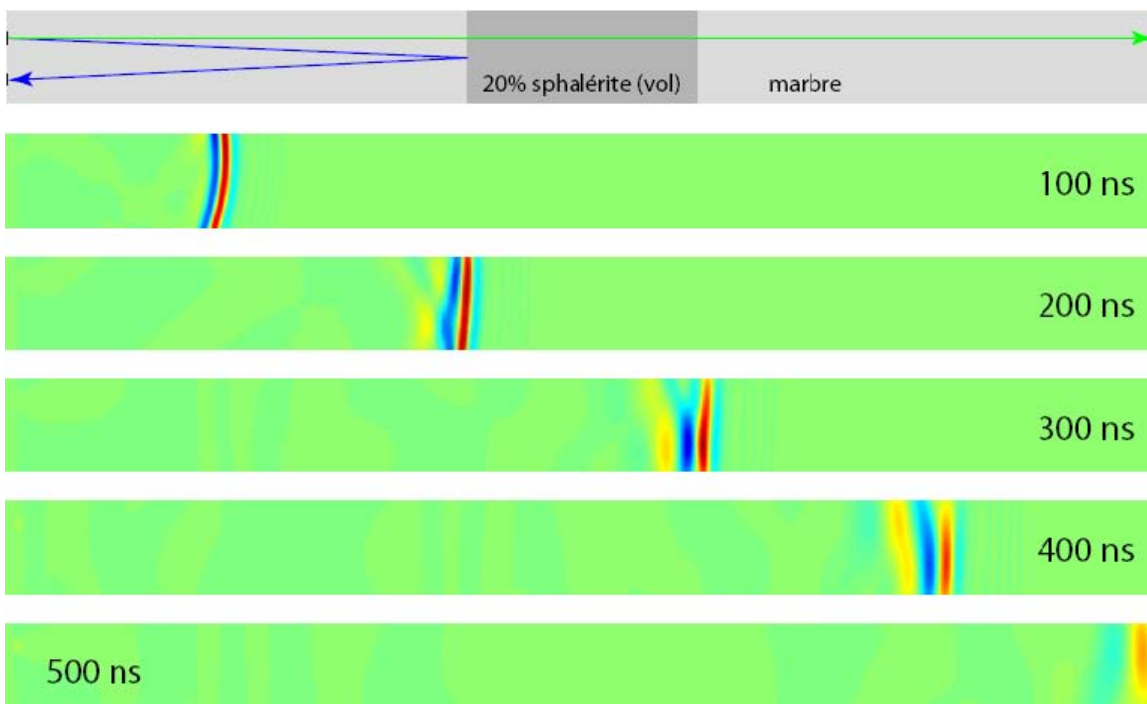


Figure 4 : modèle de minéralisation type Cadieux. Mesures radar entre forage montrant la propagation du signal radar dans le milieu entre les antennes.

La figure 5 montre le signal reçu à l’antenne réceptrice si celle-ci était dans le même trou que l’antenne émettrice. Des réflexions faibles mais bien visibles peuvent être remarquées.

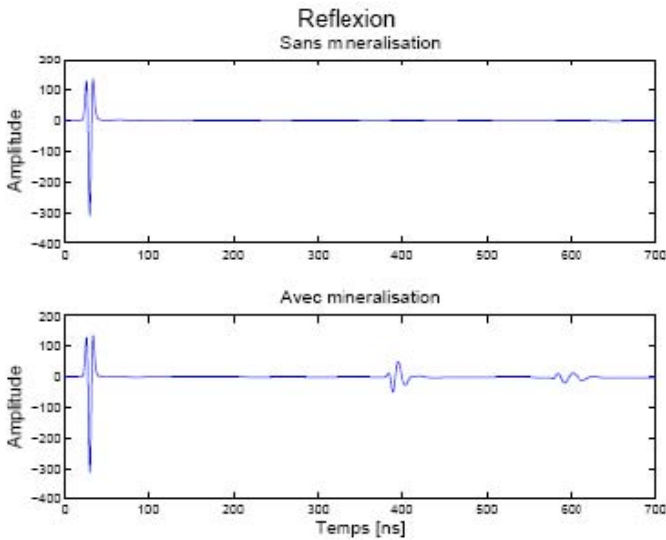


Figure 5 : signal reçu à l’antenne réceptrice si celle-ci était dans le même trou que l’antenne émettrice.

La figure 6 présente le signal transmis reçu à l’antenne réceptrice si celle-ci se situait dans un trou de l’autre côté (par rapport à l’émetteur) du gîte minéralisé. Le signal est faiblement atténué (4% de variation d’amplitude) et retardé (0.5 ns)

3.3 Gravimétrie

Le contraste de densité entre la sphalérite et les marbres est assez important :

- sphalérite : $\rho_{sph} = 4.0-4.5 \text{ g/cm}^3$;
- marbres : $\rho_{marbre} = 2.87 \text{ g/cm}^3$;

Le contraste est-il suffisant pour de faibles concentrations de sphalérite ? Le contraste de densité dépendra de la teneur en zinc (ou du %sphalérite dans le sous-sol). D’après les formules vues au paragraphe 3.1, 10% de sphalérite dans le marbre générera un contraste de 0.26 g/cm³. Pour vérifier cette possibilité, une simulation numérique tridimensionnelle a été réalisée.

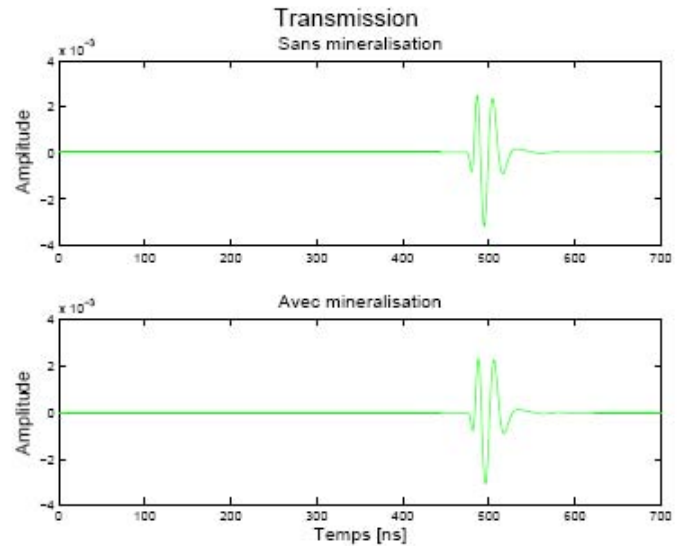


Figure 6 : signal reçu à l’antenne réceptrice située de l’autre côté du gîte minéralisé.

Modèle synthétique

Le modèle réplique le gîte « Swamp » de Cadieux qui a un tonnage estimé de 1.1 million de tonnes (Cooke et Ahrens, 1991). Cette évaluation est faite avec une teneur de coupure en zinc de 3% et correspond à une teneur moyenne de 7.84%. Pour une coupure à 5%, les réserves sont de 761,000 tonnes à une teneur moyenne de 10.05%. La figure 7 montre une section géologique de la zone « Swamp » avec les intersections de forage et les teneurs en zinc. Le modèle synthétique a été construit à partir des informations géométriques et de teneur disponibles (Cooke et Ahrens, 1991; Roger et Lapointe, 1998). Le modèle final consiste en corps de 250,000 tonnes avec une minéralisation en zinc moyenne de 15% (contraste de densité de 0.315 g/cm³) et correspond à un cas minimal (dimensions, volume, tonnage). On peut estimer que les réponses réelles seraient de plus fortes amplitudes que celles présentées.

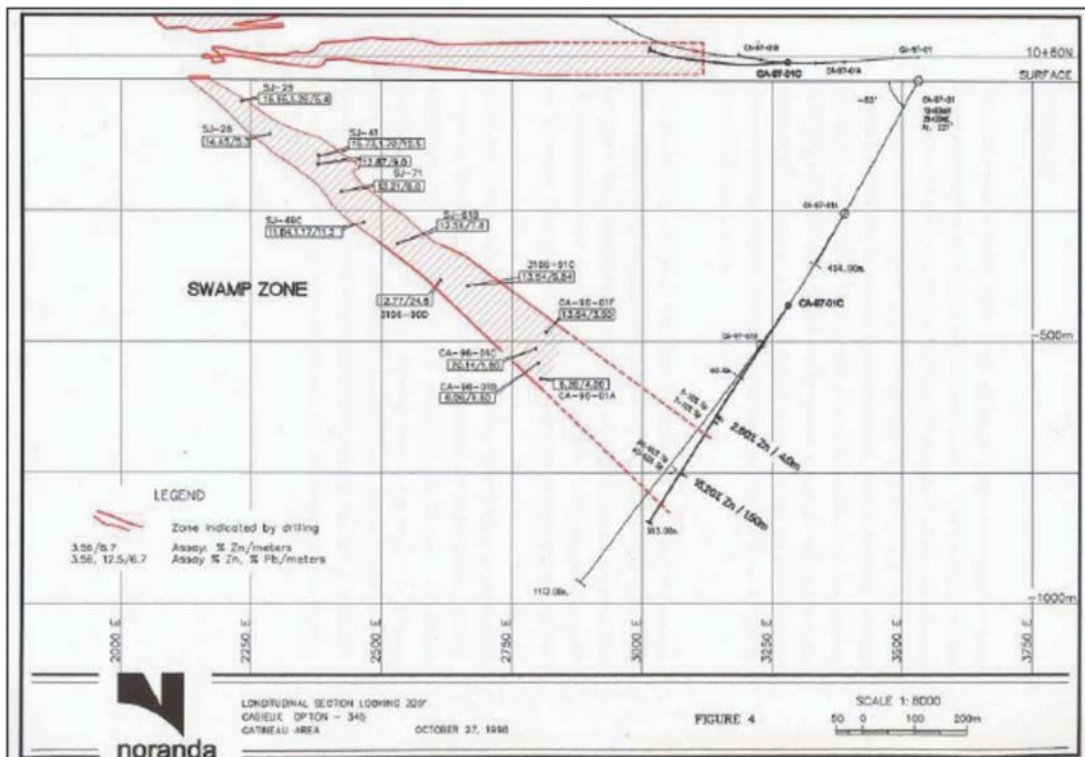


Figure 7 : section géologique de la zone « Swamp » avec les intersections de forage minéralisées.

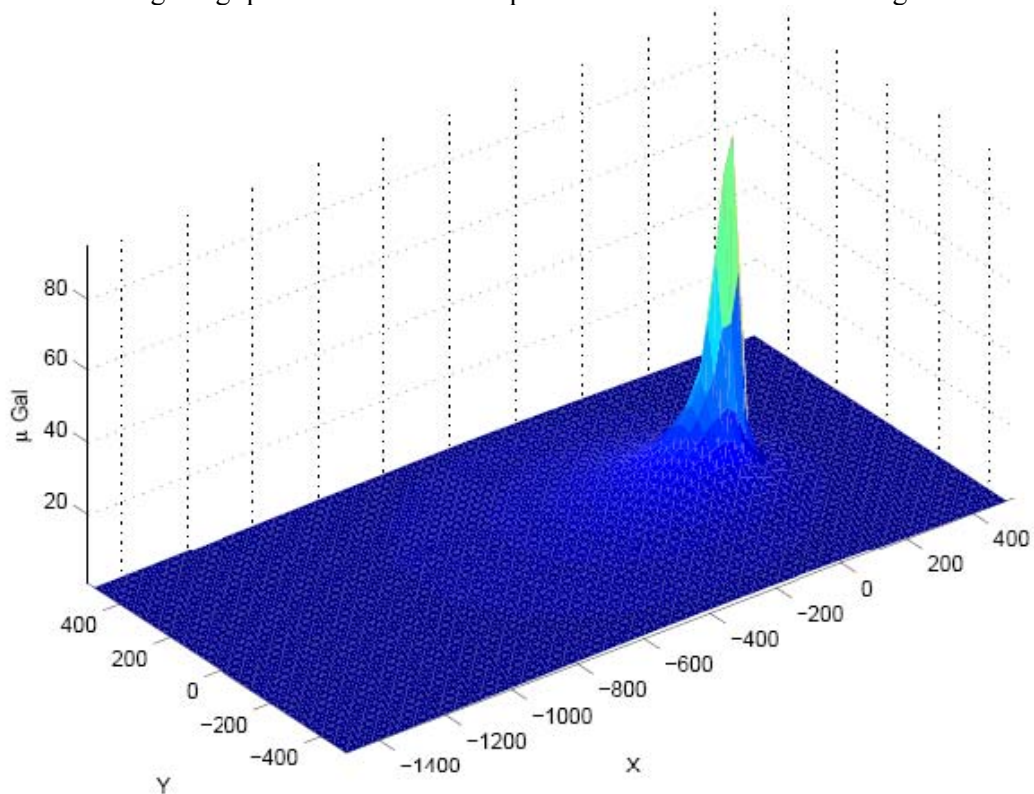


Figure 8 : anomalie gravimétrique observée à la surface du sol pour un gîte tel que la zone « Swamp ». L'axe x est de direction est-ouest, l'ouest étant vers les valeurs positives (à droite de la figure).

4. RÉSULTATS

Réponse observée à la surface

En surface, l'anomalie maximale est de 95 μGal (figure 8). L'anomalie positive est asymétrique avec un gradient fort vers l'ouest et un gradient plus progressif vers l'est selon le pendage du gîte. L'anomalie n'est pas très étendue (environ 200 m x 200m) mais avec une maille de mesures au 25 m, l'anomalie serait détectée.

En forages

La gravimétrie en forage n'était encore disponible que pour les forages pétroliers (~4" et plus). La compagnie Scintrex LC (Concord, ON), déjà

conceptrice d'une gravimètre en forage pour le domaine pétrolier va développer maintenant pour 2006 un gravimètre en forage, le GraviLog, qui permettra de faire des levés dans les forages de type BQ et plus, avec des inclinaisons de 900 jusqu'à 200. Par conséquent, on peut déterminer quelles seraient les réponses du gîte « Swamp » à la gravimétrie en forage. On montre à la figure 9, la géométrie du problème. 9 forages se trouvent distribués dans le voisinage du gîte. La figure 10 montre la réponse gravimétrique g_z qui serait observée dans les forages. Les anomalies vont de 20 μGal à 200 μGal ce qui est détectable, la sensibilité anticipée de l'appareil étant de 3-5 μGal . Les formes et les changements de polarité sont déterminants pour établir la position du gîte par rapport aux forages et ses dimensions.

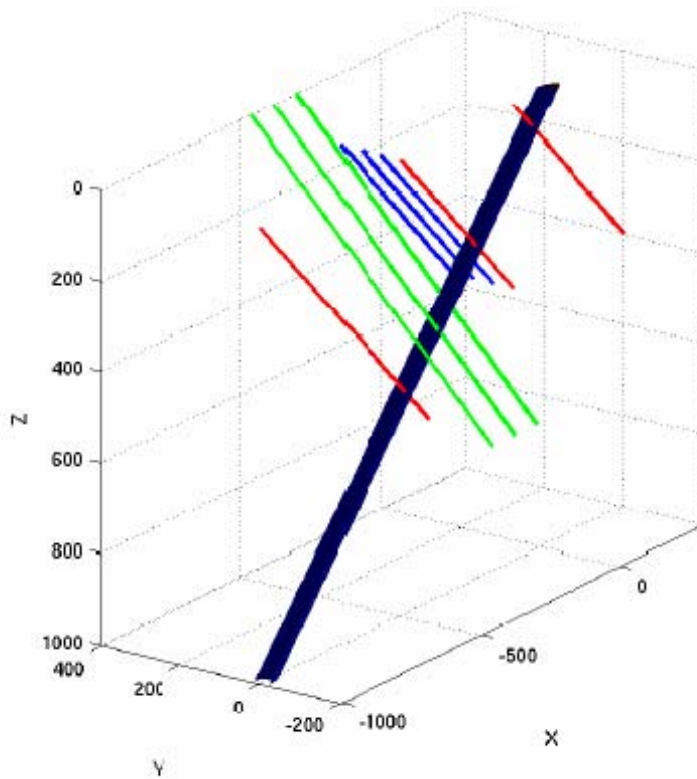


Figure 9: modèle géologique du gîte de la zone “Swamp” avec les forages utilisés pour les mesures (simulées) au GraviLog. Les réponses montrées à la figure 10 sont associées aux forages par la couleur (rouge, bleue, verte).

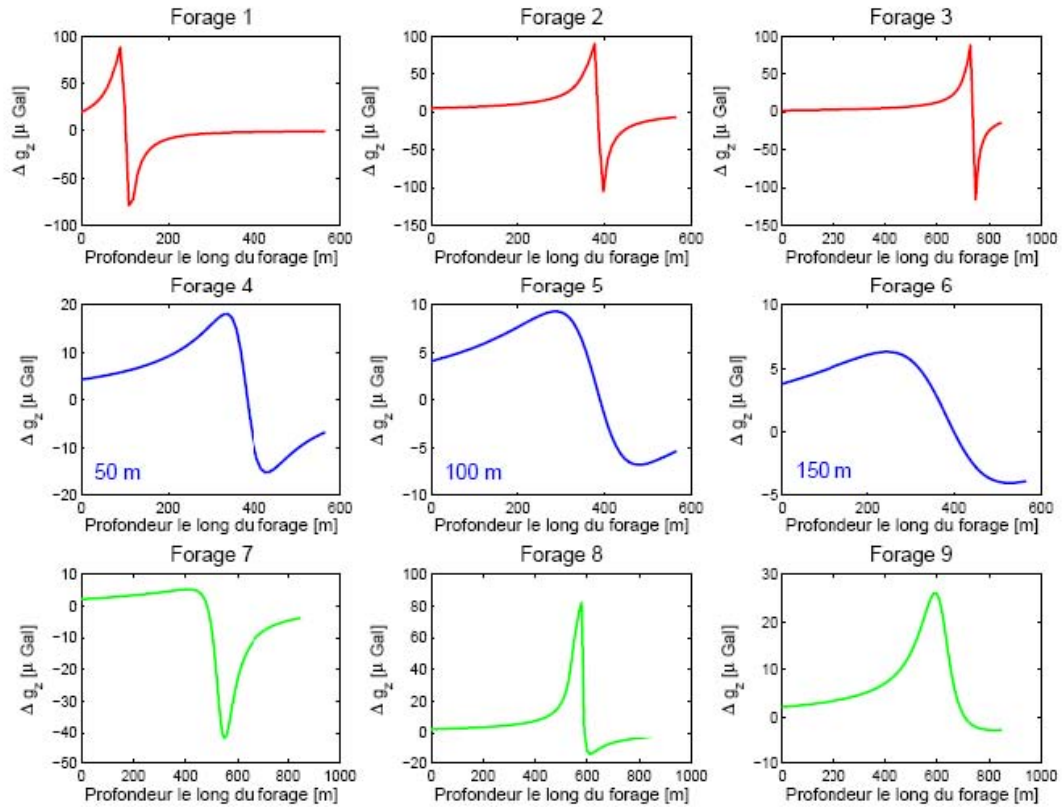


Figure 10 : réponses gravimétriques telles qu’elles seraient mesurées dans les forages autour du gîte Swamp par un GraviLog. Les anomalies vont de quelque 15 μGal (forages bleus #4, 5 et 6) à plus de 200 μGal pour les forages en rouge (#1, 2 et 3).

5. CONCLUSION

Les mesures de propriétés physiques sur les échantillons de la propriété Cadieux ont montré que, pour ce type de minéralisation en sphalérite disséminée seule, ni la magnétométrie, ni la méthode de résistivité électrique et de polarisation provoquée (P.P.) ne sont utiles. Pour la première, il n’y a pas d’association étroite entre les anomalies magnétiques et la minéralisation. Pour la seconde, la porosité très faible des roches et l’absence de pyrite (ou autres sulfures de fer) empêchent l’apparition d’anomalies de conductivité et de chargeabilité.

Par contre, par les variations de densité et de permittivité électrique directement liées à la teneur en sphalérite (ou en zinc), la méthode gravimétrique en surface et en forage, ainsi que la méthode radar en forage, pourraient permettre la détection et la caractérisation des dépôts de sphalérite. En ce qui

concerne la gravimétrie, l’anomalie est fonction de la densité du minerai, elle-même directement proportionnelle à la teneur en zinc. L’utilisation conjointe des deux méthodes permettrait de mieux définir la géométrie (radar et gravimétrie) et d’estimer le tonnage plus précisément (gravimétrie).

À ce stade, il faudrait réaliser des levés gravimétriques et de radar en forage sur le site pour vérifier les simulations numériques. La gravimétrie de surface pourrait être effectuée avec les équipements présents, accompagnée d’un levé topographique détaillé pour les corrections de terrain. Les mesures gravimétriques en forage pourraient être faites dès la fin de 2006 lorsque le système GraviLog de Scintrex LR sera disponible sur le marché. Les levés radar en forage auraient pu déjà être réalisés si nous avions pu repérer les tubes de forage à Cadieux. Jusqu’à présent, notre recherche a été négative mais une tentative sera faite

durant l'été 2005. Advenant encore une fois un résultat négatif, nous évaluerons la possibilité de faire les mesures radar sur un autre gîte à la minéralisation similaire (Maniwaki, Balmat).

Un article sera écrit en collaboration avec le groupe PolyGrames sur la mesure de la permittivité et le comportement des différentes sondes. Les mesures des propriétés physiques seront intégrées avec les résultats des levés radar (à réaliser) dans un autre article également.

COLLABORATIONS

M. G. Roger (Noranda) et D. Vaillancourt (Ressources Breakwater): géologie de Cadieux; documents/rapports de propriétés.
Pr. D. Marcotte (Poly): géostatistique
Pr. C. Akyel (laboratoire Polygrame; Poly): mesures des propriétés diélectriques
<http://www.polymtl.ca/grames/>
Pr. C. Allaire (CIREP, Poly)
CIREP : laboratoire des Céramiques industrielles et réfractaires (CIREP)

RÉFÉRENCES

- Boileau, P. (1996) : rapport sur les levés magnétique et de polarisation provoquée effectués sur la propriété Cadieux, canton d'Admaston, Province de l'Ontario; soumis à Mines et Exploration Noranda Inc. par Val d'Or Sagax Inc., 96-N053, septembre 1996.
- Boileau, P., Bérubé, D. (1996) : levés géophysiques, propriété de Mines et Exploration Noranda Inc., Projet Cadieux, canton d'Admaston, Province d'Ontario; soumis par Val D'Or Géophysique Inc., 96-1307, mai 1996.
- Cooke, G.R. and Ahrens, J., 1991: Cadieux deposit ore reserves calculated and compiled; January 1991, 95 p.
- E3000 (1996): Levé géochimique des sols, propriété Cadieux, Ontario; rapport pour Mines et Exploration Noranda Inc.; E3000 Inc Consultants en géochimie, réf. EX115-96IS, mars 1996.
- Filali, B., 2004 : Étude des propriétés diélectriques du béton par sonde coaxiale et par antenne radar; Mémoire M.Sc.A., département de génie civil, Faculté de génie, université de Sherbrooke, septembre 2004, 164 p.
- Gleeson, C., Rampton, V., Paradis, S. (1996) : Cadieux Zinc Project : potential source areas for zinc-rich boulders and zinc in till anomalies; report prepared for G. Roger, Noranda Mining and Exploration Inc., C.F. Gleeson & Associates Ltd., Iroquois, Ontario, November 29, 1996.
- Roger, G. (1996): Report of Field Work – 1996, Cadieux Property, Admaston Township, Ontario; Noranda Mining and Exploration Inc., November 1996.
- Roger, G., Lapointe, S. (1997): Rapport sur les travaux d'exploration effectués en 1996, Extension sud-ouest de Cadieux; Projet 342 – Gatineau, région de Renfrew, Ontario; Mines et Exploration Noranda Inc., Février 1997.
- Roger, G., Turcotte, B. (1997): Report of Field Work – 1997, Cadieux Property, Admaston Township, Ontario; Noranda Mining and Exploration Inc., December 1997.
- Roger, G., Lapointe, S. (1998): Report of Field Work – 1998, Cadieux Property, Admaston Township, Ontario; Noranda Mining and Exploration Inc., October 1998.
- Sumner, J.S., 1976: Principle of Induced Polarization for geophysical Exploration; Amsterdam, Elsevier.

Annexe: Figures

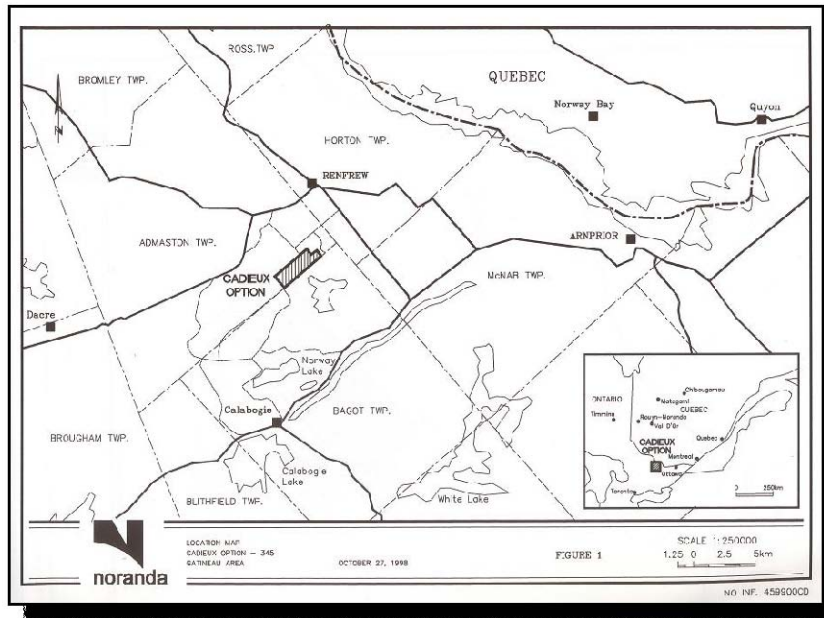


Figure A1 : localisation de la propriété Cadieux

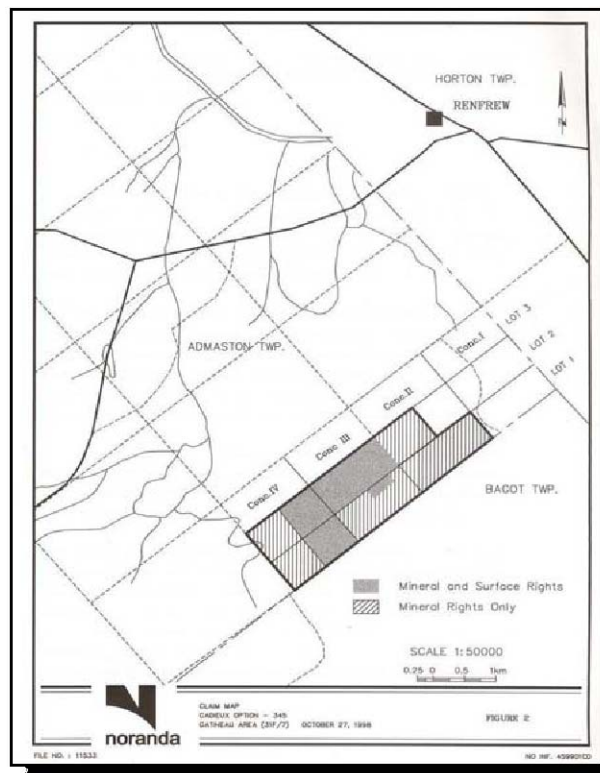


Figure A2 : propriété Cadieux

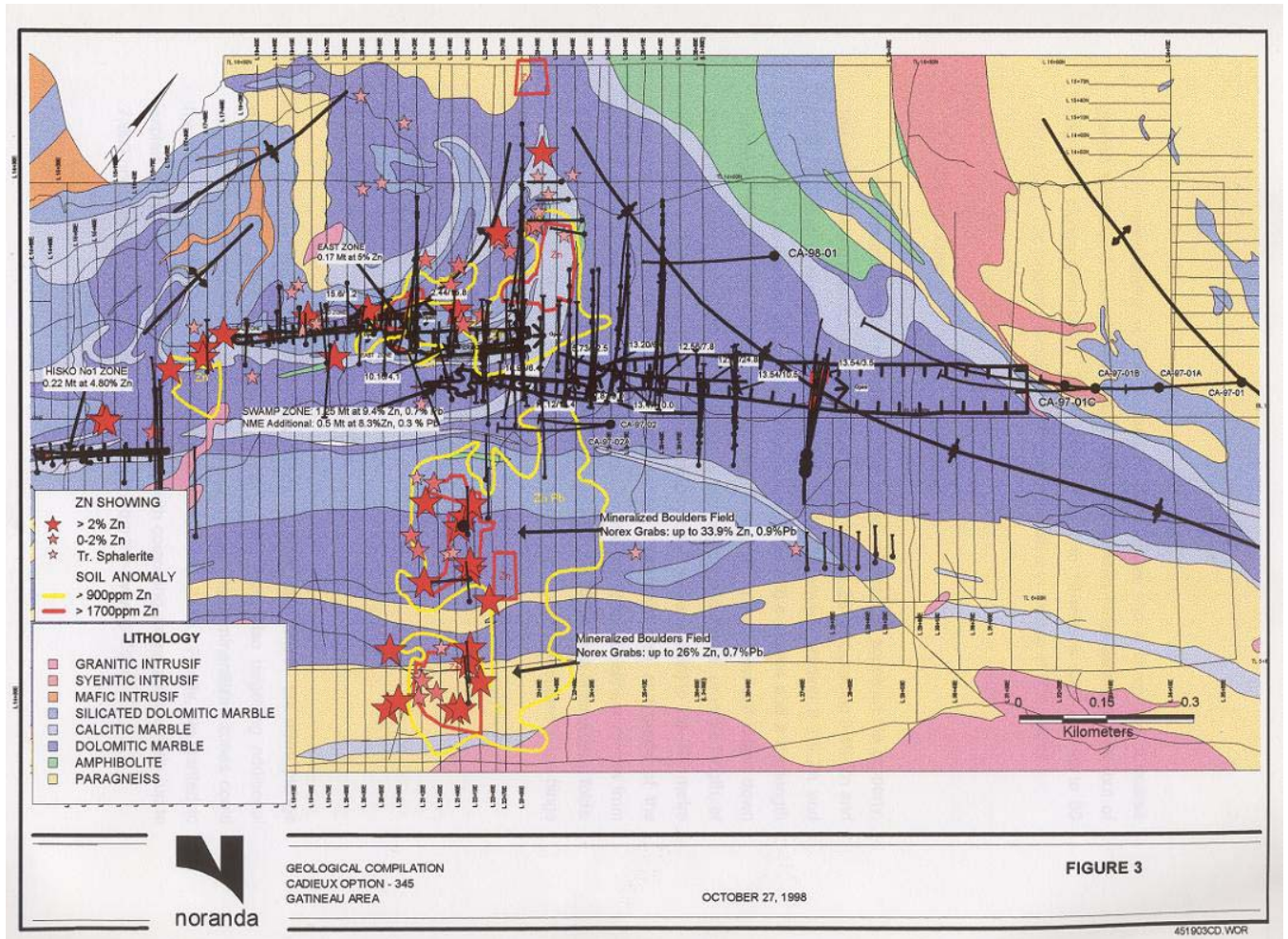


Figure A3 : géologie, forages, anomalies P.P et la zone minéralisée « Swamp »

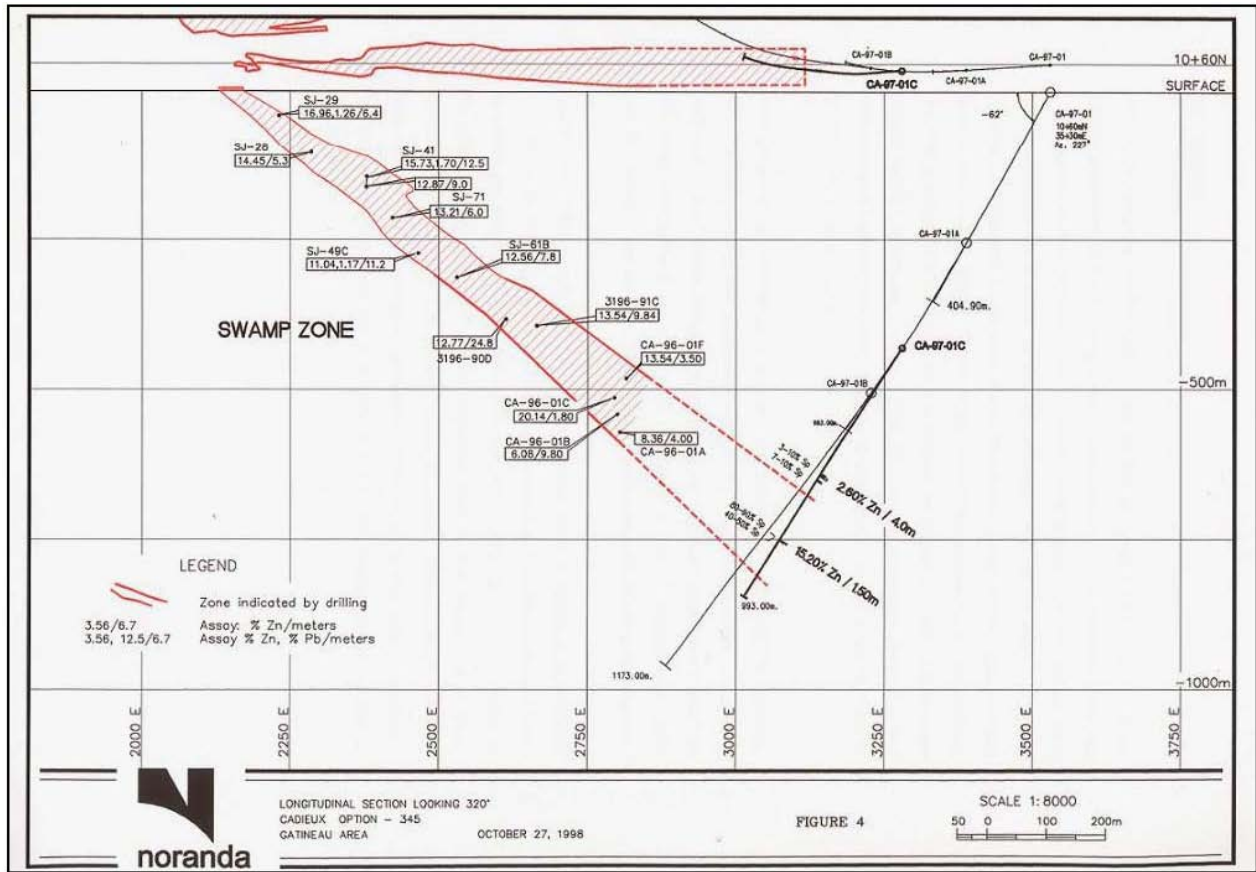


Figure A4 : section verticale de la zone « Swamp » et forage CA-97-01(A-B-C)

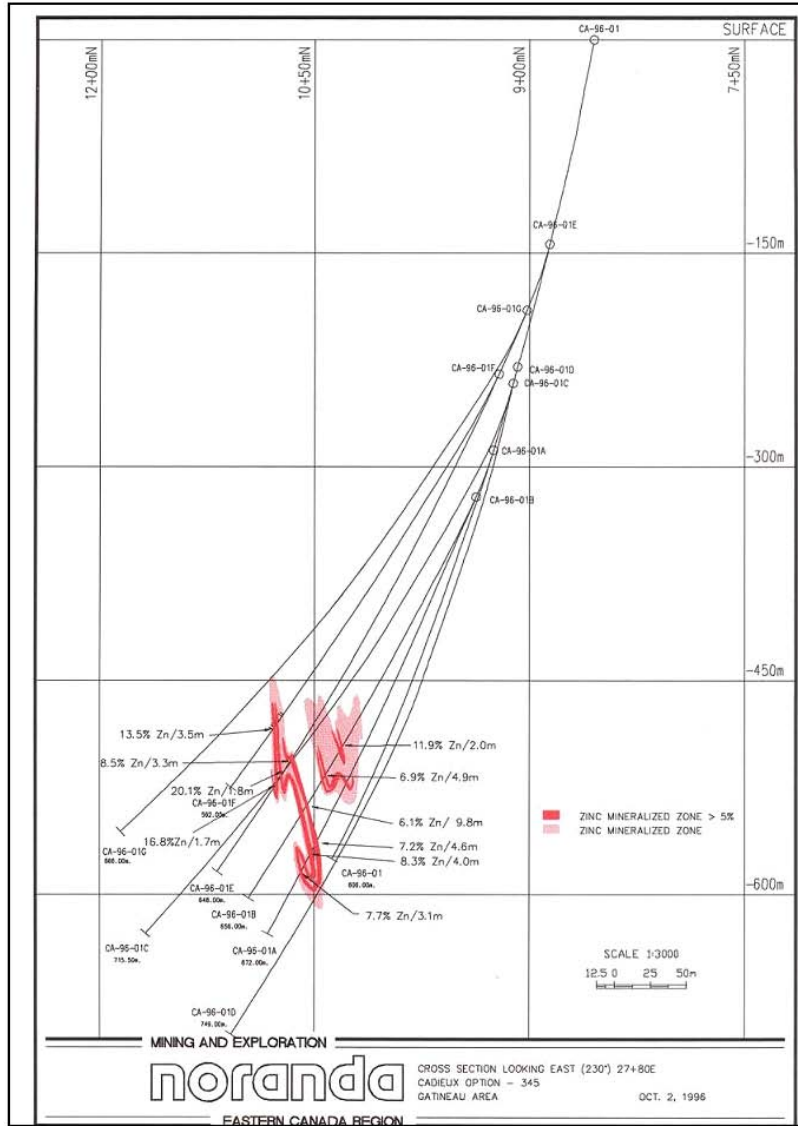


Figure A5: coupe perpendiculaire au pendage de la zone « Swamp »

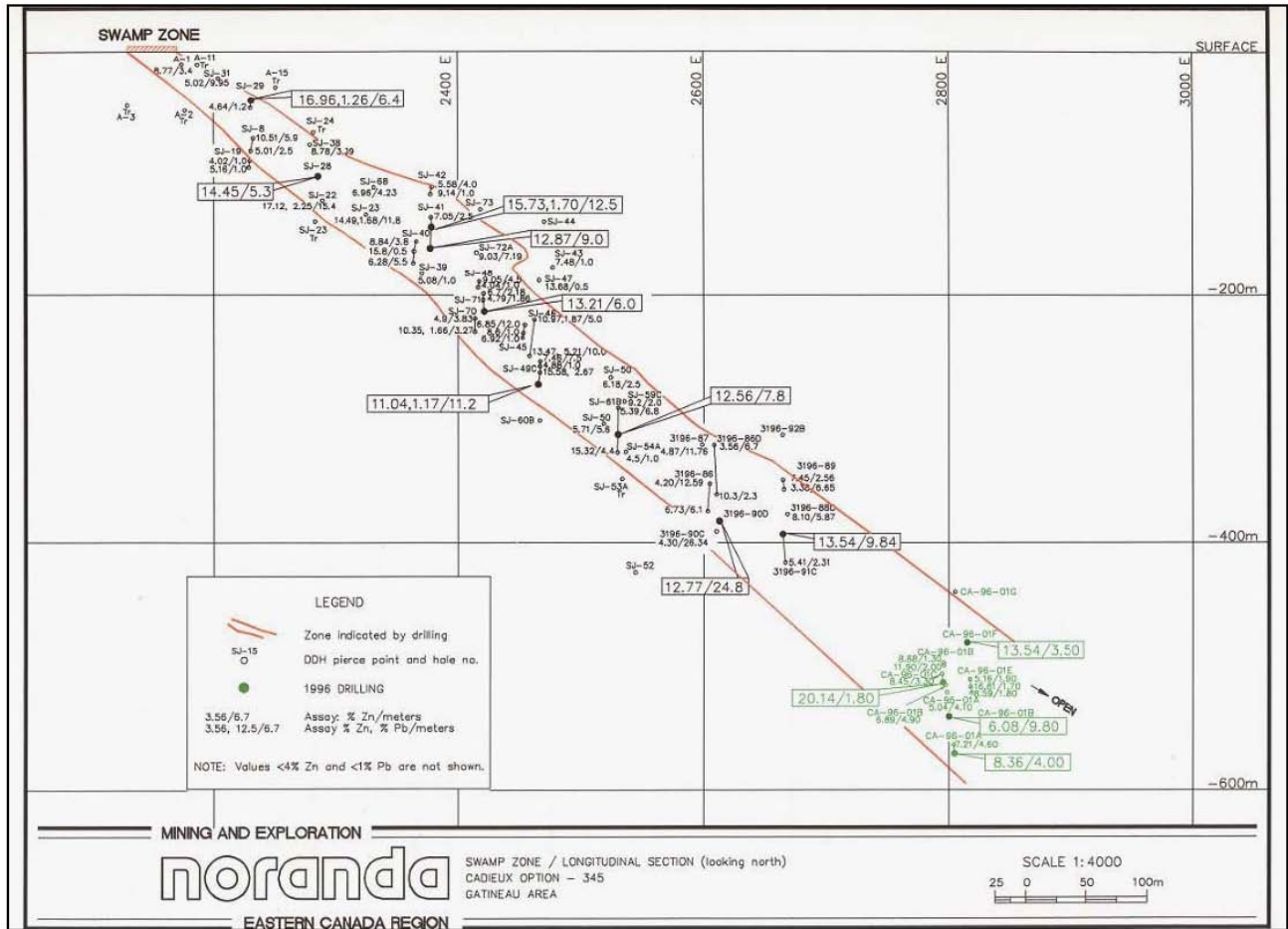


Figure A6 : Zone Swamp: intersections minéralisées sur les premiers 600 m.

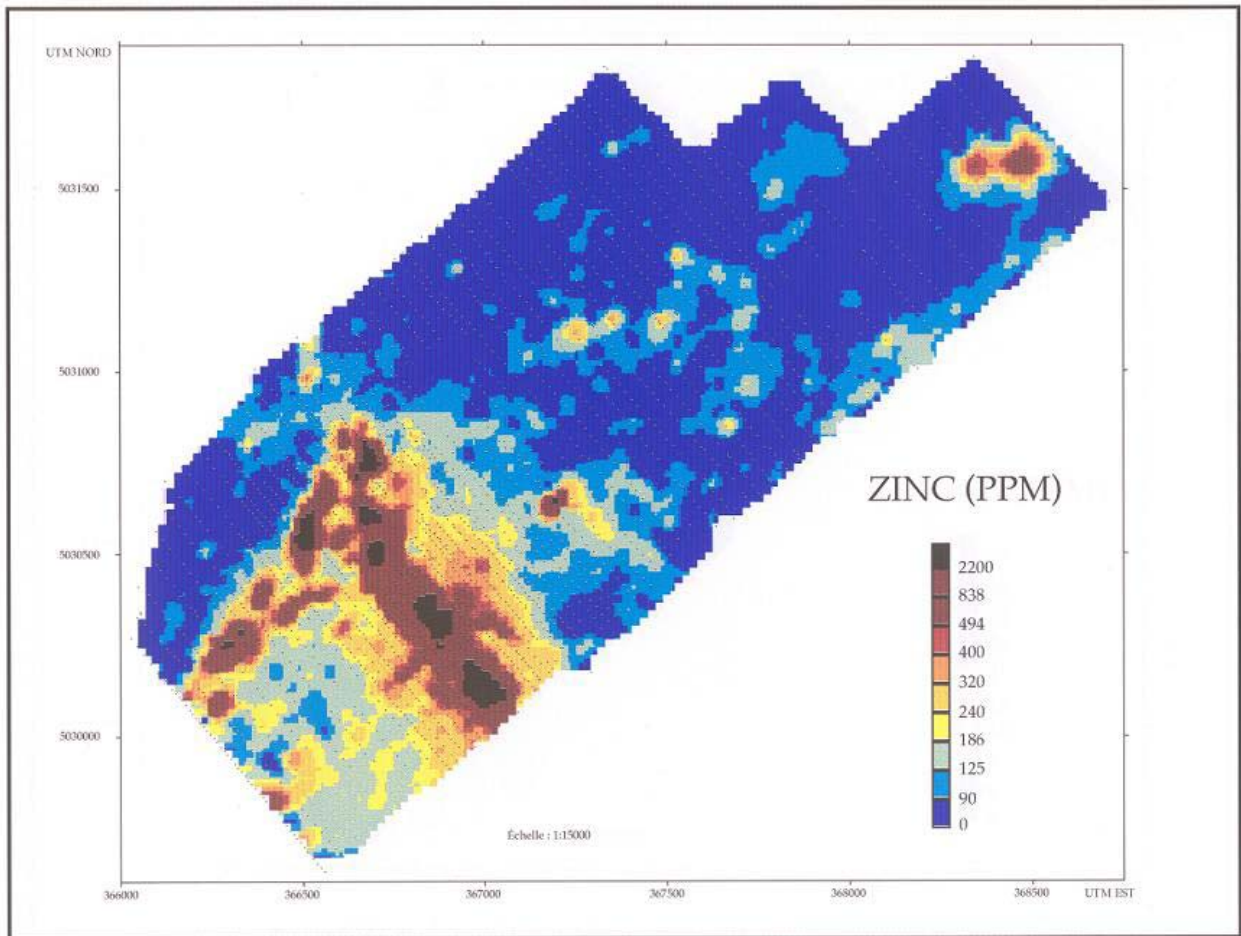
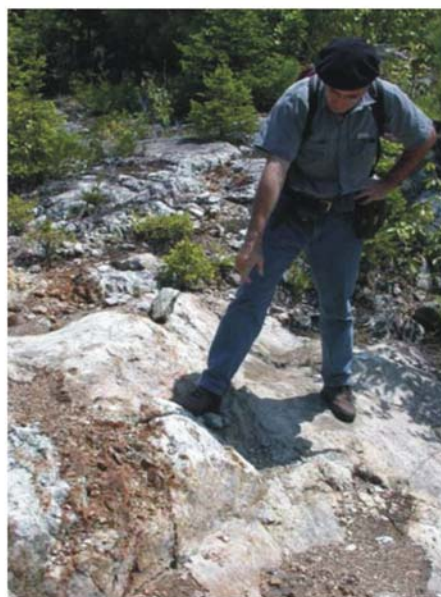


Figure 5 : Géochimie du zinc dans les sols de la propriété Cadieux

Figure A7 : Géochimie du zinc dans les sols de la propriété Cadieux

PHOTOS





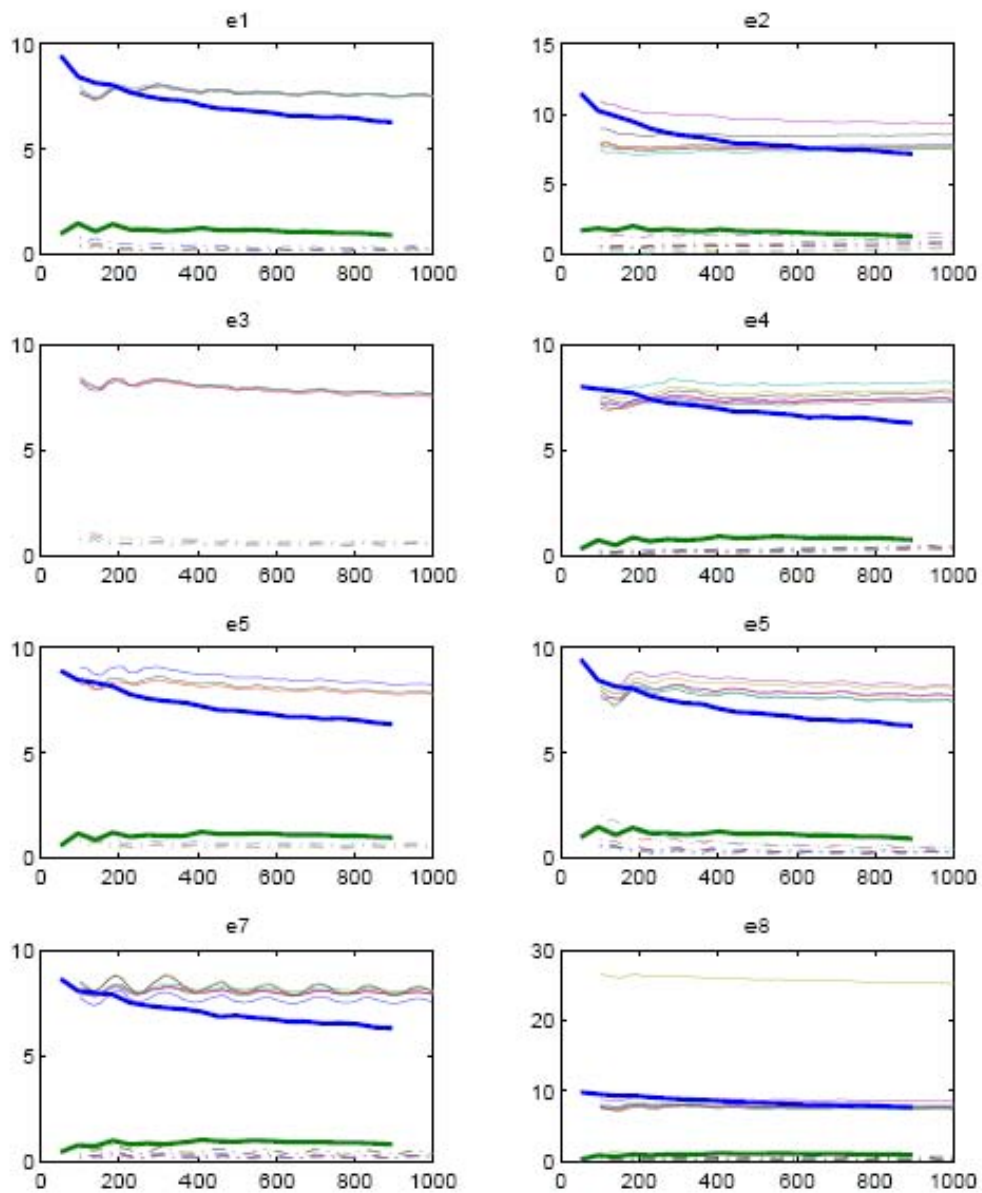


Figure A8: comparaison des mesures des permittivités relatives complexes avec la sonde coaxiale de PolyGrames et coaxiale de grande taille de l'université de Sherbrooke. Partie réelle de la permittivité en trait plein (autour de la valeur 8-10) : trait large (UdeSherbrooke) et trait mince (PolyGrames). Partie imaginaire en trait plein vert (UdeSherbrooke) et pointillé (PolyGrames) autour des valeurs de 1. Bande de fréquence analysée : 50-1000 MHz.

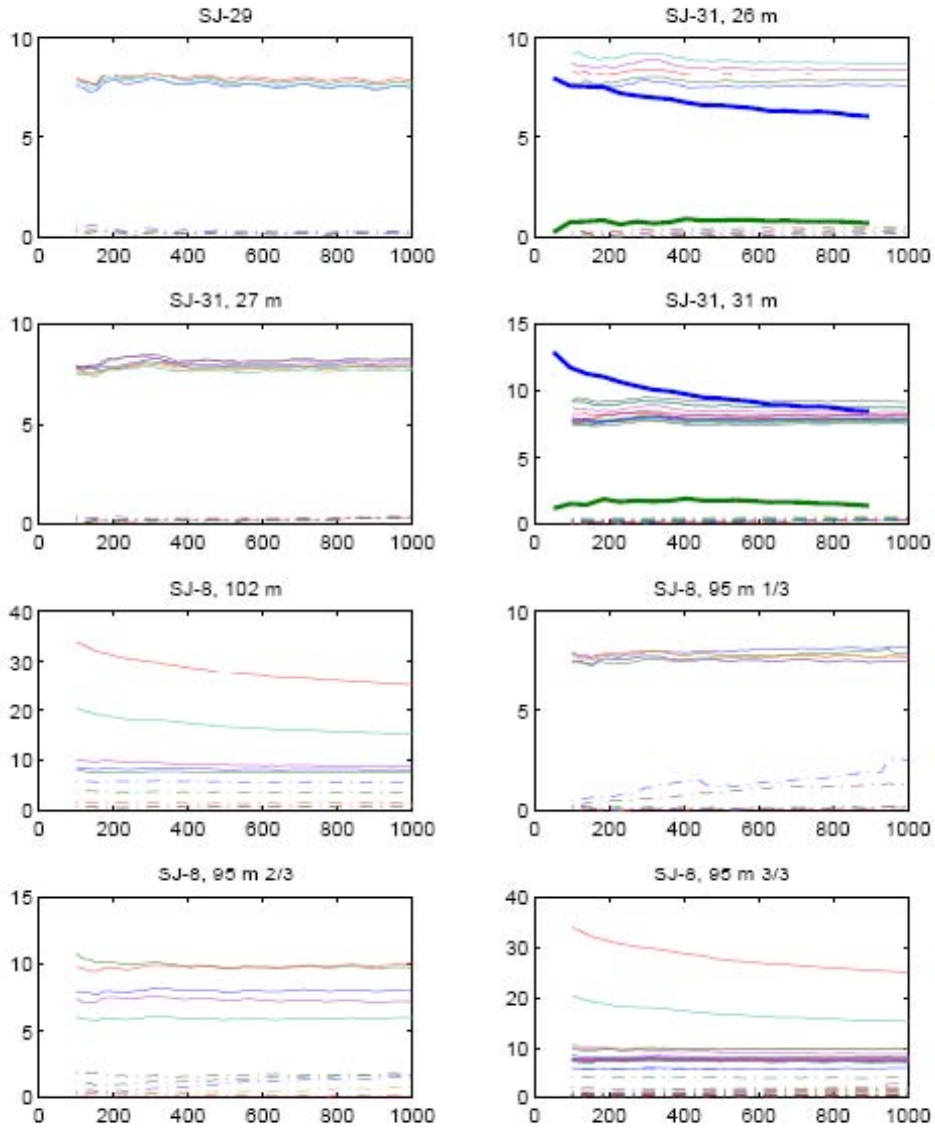


Figure A8 (suite): comparaison des mesures des permittivités relatives complexes avec la sonde coaxiale de PolyGrames et coaxiale de grande taille de l'université de Sherbrooke. Partie réelle de la permittivité en trait plein (autour de la valeur 8-10) : trait large (UdeSherbrooke) et trait mince (PolyGrames). Partie imaginaire en trait plein vert (UdeSherbrooke) et pointillé (PolyGrames) autour des valeurs de 1. Bande de fréquence analysée : 50-1000 MHz. Les échantillons SJ-8 (102 m; 95 m 3/3) sont fortement minéralisés et montrent des valeurs de permittivité relative (réelle et imaginaire) élevées.

Tableau 1: Porosité et densité des échantillons (mesures du CIREP)

Échantillon	Profondeur	Formation	porosité%	densité
97-01	11,0	amphibolite	0,16536	2,82141381
97-01	15,0	amphibolite	0,77353	2,91319295
97-01	100,5	roche calcosilicatée		
97-01	102,0	roche calcosilicatée		
97-01	123,0	amphibolite	1,01994	3,1284191
97-01	137,0	amphibolite	1,41137	2,69655459
97-01	143,0	marbre dolomitique		
97-01	170,0	amphibolite		
97-01	183,0	marbre calcarodolomitique impur		
97-01	202,5	amphibolite		
97-01	224,0	marbre dolomitique silicaté	0,34115	2,8336887
97-01	233,0	amphibolite		
97-01	248,0	marbre calcitique hématisé	1,06022	2,67769296
97-01	264,5	roche calcosilicatée		
97-01	272,0	marbre calcitique hématisé		
97-01	284,5	marbre calcitique	0,51326	2,71086399
97-01	313,0	marbre dolomitique	0,76726	2,85208866
97-01	333,0	roche calcosilicatée quartzeuse	0,30465	2,83396801
97-01	365,0	marbre dolomitique	0,56034	2,86077586
97-01	388-1	marbre calcitique		
97-01	388-2	marbre calcitique		
97-01B	615,5	marbre calcitique		
97-01B	634,0	marbre dolomitique	0,38249	2,85465363
97-01B	645,0	marbre dolomitique	1,01725	2,82972136
97-01B	672,0	marbre calcitique	0,40577	2,74030658
97-01B	675,0	marbre dolomitique, calcarodolomitique	0,6364	2,84768774
97-01B	693,0	marbre calcitique	0,47993	2,70855148
97-01B	705,0	marbre dolomitique	0,6364	2,84768774
97-01B	795,0	marbre calcitique		
97-01B	807,0	marbre calcarodolomitique		
97-01B	808,0	marbre calcarodolomitique		
97-01B	820,0	marbre calcitique	0,47993	2,70855148
97-01B	833,8	marbre calcarodolomitique ou roche calcosilicatée		
97-01B	834-2	marbre calcarodolomitique ou roche calcosilicatée		
97-01B	835-1	marbre calcarodolomitique ou roche calcosilicatée		
97-01B	836,0	marbre calcarodolomitique ou roche calcosilicatée	0,35305	2,85392763
97-01B	907,5	marbre calcitique	0,50146	2,70831592
97-01B	948-1	roche calcosilicatée		
97-01B	948-2	roche calcosilicatée	0,55556	2,85042735
97-01B	964,0	marbre dolomitique à calcarodolomitique	1,99653	2,76996528
97-01B	973,0	marbre calcitique ou roche calcosilicatée		
97-01B	977,0	marbre calcitique ou roche calcosilicatée		
97-01B	980,0	marbre dolomitique à calcarodolomitique	0,35289	2,83987649
97-01B	985,7	marbre calcarodolomitique	0,23364	2,83504673

Tableau 1: Porosité et densité des échantillons (mesures du CIREP) - suite

Échantillon	Profondeur	Formation	porosité%	densité
97-01B	996,0	marbre calcitique	0,26762	2,84299732
97-01B	998,5	marbre calcitique	0,35891	2,86316734
97-01B	1010,5	roche calcosilicatée	1,21542	2,8030176
97-01B	1019,0	roche calcosilicatée	0,26201	2,93668122
97-01B	1041,5	roche calcosilicatée	0,29889	2,86976943
97-01B	1068,0	marbre dolomitique		
97-01B	1071,0	marbre dolomitique	0,34101	2,86018755
97-01B	1088,0	amphibolite		
97-01B	1088,1	amphibolite	#N/A	#N/A
97-01B	1126,8	roche calcosilicatée	#N/A	#N/A
97-01B	1131,0	roche calcosilicatée	#N/A	#N/A
MA-0007				
SJ-41	222,0			

Tableau 2: Mesures des permittivités relatives complexes; estimation des vitesses des ondes radar

Échantillon	Profondeur	Formation	ϵ'	ϵ''	vitesse
			97.5 MHz	97.5 MHz	v (m/ns)
97-01	11,0	amphibolite	9,1281	0,1915	0,099
97-01	15,0	amphibolite	7,9673	0,7632	0,106
97-01	100,5	roche calcosilicatée			
97-01	102,0	roche calcosilicatée			
97-01	123,0	amphibolite	9,0963	0,9809	0,099
97-01	137,0	amphibolite	9,966	1,6133	0,095
97-01	143,0	marbre dolomitique			
97-01	170,0	amphibolite			0,095
97-01	183,0	marbre calcarodolomitique impur			0,094
97-01	202,5	amphibolite			0,093
97-01	224,0	marbre dolomitique silicaté	9,1707	0,8676	0,092
97-01	233,0	amphibolite			0,090
97-01	248,0	marbre calcitique hématisé	6,1981	0,2098	0,089
97-01	264,5	roche calcosilicatée			
97-01	272,0	marbre calcitique hématisé			0,088
97-01	284,5	marbre calcitique	8,9781	0,2302	0,086
97-01	313,0	marbre dolomitique	8,6025	0,2329	0,085
97-01	333,0	roche calcosilicatée quartzeuse	5,6348	0,25	0,084
97-01	365,0	marbre dolomitique	7,6636	0,2766	0,083
97-01	388-1	marbre calcitique			0,081
97-01	388-2	marbre calcitique			
97-01B	615,5	marbre calcitique			0,080
97-01B	634,0	marbre dolomitique	8,1522	0,3111	0,079
97-01B	645,0	marbre dolomitique	7,9273	0,3877	0,078
97-01B	672,0	marbre calcitique	9,0157	0,2299	0,076
97-01B	675,0	marbre dolomitique, calcarodolomitique	6,5358	0,1329	0,075
97-01B	693,0	marbre calcitique	7,5131	0,24	0,074
97-01B	705,0	marbre dolomitique	8,2276	0,3481	

Tableau 2: Mesures des permittivités relatives complexes; estimation des vitesses des ondes radar - suite

Échantillon	Profondeur	Formation	ϵ'	ϵ''	vitesse
97-01B	795,0	marbre calcitique			0,072
97-01B	807,0	marbre calcarodolomitique			0,071
97-01B	808,0	marbre calcarodolomitique			0,070
97-01B	820,0	marbre calcitique	5,8611	0,4368	0,069
97-01B	833,8	marbre calcarodolomitique ou roche calcosilicatée			0,067
97-01B	834-2	marbre calcarodolomitique ou roche calcosilicatée			0,066
97-01B	835-1	marbre calcarodolomitique ou roche calcosilicatée			
97-01B	836,0	marbre calcarodolomitique ou roche calcosilicatée	8,8643	0,0808	0,065
97-01B	907,5	marbre calcitique	8,0022	0,3496	0,063
97-01B	948-1	roche calcosilicatée			0,062
97-01B	948-2	roche calcosilicatée	9,0902	0,1542	0,061
97-01B	964,0	marbre dolomitique à calcarodolomitique	6,9492	0,1682	0,060
97-01B	973,0	marbre calcitique ou roche calcosilicatée			0,058
97-01B	977,0	marbre calcitique ou roche calcosilicatée			
97-01B	980,0	marbre dolomitique à calcarodolomitique	8,0392	0,2742	0,057
97-01B	985,7	marbre calcarodolomitique	8,2281	0,4233	0,056
97-01B	996,0	marbre calcitique	9,0157	0,2299	0,055
97-01B	998,5	marbre calcitique	8,9394	0,0802	0,053
97-01B	1010,5	roche calcosilicatée	9,4722	0,978	0,052
97-01B	1019,0	roche calcosilicatée	7,9265	0,275	0,051
97-01B	1041,5	roche calcosilicatée	7,6638	0,3142	
97-01B	1068,0	marbre dolomitique			0,049
97-01B	1071,0	marbre dolomitique	7,8897	0,3879	0,048
97-01B	1088,0	amphibolite	8,0007	0,1242	0,047
97-01B	1088,1	amphibolite			0,046
97-01B	1126,8	roche calcosilicatée	8,6768	0,1197	0,044
97-01B	1131,0	roche calcosilicatée	7,0245	0,2053	0,043
MA-0007					
SJ-41	222,0				