



Canadian Archaeological Association
Association canadienne d'archéologie

Le radar pénétrant/géoradar

Procédure de collecte des données recommandée pour la localisation de sépultures non-marquées

Ces recommandations détaillent les informations présentées à l'étape 7 (Téledétection sur le terrain) dans les [Recommandations au sujet de la recherche de sépultures non-marquées associées aux anciens pensionnats indiens](#). Nous recommandons au lecteur de se familiariser d'abord avec les Recommandations avant de continuer à lire ce document.

Le radar pénétrant (ou géoradar) est une forme de téledétection utilisée fréquemment afin de localiser des sépultures non-marquées. À la base, le radar pénétrant envoie des ondes électromagnétiques dans le sol à différentes fréquences. Les couches de sol et les objets enterrés renvoient ces ondes au radar pénétrant. Le temps nécessité par les ondes réfléchies pour atteindre le radar pénétrant nous permet d'estimer la profondeur des sols et objets enfouis. Les différents types de sols et d'objets vont également réfléchir les ondes différemment, permettant de visualiser ce qui se trouve sous terre. Ce document porte sur la collection de données à l'aide d'un radar pénétrant lors de la recherche de sépultures non-marquées. L'ACA est présentement en train de développer d'autres guides portant sur l'interprétation des résultats d'une analyse au radar pénétrant pour détecter la présence de sépultures potentielles.

Le radar pénétrant est une méthode non-invasive, ce qui signifie qu'elle ne perturbe ni n'endommage les sols ni les objets enterrés. C'est une méthode utilisée fréquemment dans la détection de tuyaux et câbles souterrains, de fondations et d'autres structures souterraines. Son utilisation pour la détection de sépultures est une application spécialisée et nécessite de l'expérience et des pratiques spécifiques. Lorsqu'une sépulture est creusée, la densité et la compaction des sols peut changer. Ces variations dans la densité et la compaction des sols autour d'une sépulture peuvent être visibles puisque le signal du radar pénétrant va être réfléchi différemment par ces sols (si les conditions du site sont bonnes). L'interprétation de ces signaux comme indiquant la présence d'une sépulture nécessite des connaissances spécifiques ainsi que de l'expérience. Il y a maintenant plusieurs années que les archéologues travaillent à améliorer l'utilisation de cette méthode dans la recherche de sépultures. Bien que le radar pénétrant ne puisse jamais prouver avec certitude la présence de sépultures, son utilisation permet néanmoins leur identification avec beaucoup de confiance, particulièrement dans des contextes formels de cimetières où les sols se prêtent bien aux levés géophysiques. L'application du radar pénétrant aux contextes de cimetières

clandestins ou informels est moins développée et certains types de sols (particulièrement l'argile) peuvent rendre plus complexe la détection par radar pénétrant. Des résultats négatifs ne signifient pas qu'aucune sépulture n'est présente sur le site, mais indique plutôt que plus de recherches sont nécessaires.

Un grand nombre d'éléments doivent être pris en considération lorsqu'un levé géoradar est entrepris dans le but de localiser des sépultures non-marquées :

1) Planification

Effectuer un levé de radar pénétrant peut nécessiter du temps et des efforts considérables. Nous estimons qu'une équipe de trois techniciens peut réaliser l'étude approfondie (voir l'étape 6 plus bas) d'une zone de 500 à 1000 m² en une journée, dépendant des conditions. Ce type d'étude nécessite qu'un certain nombre d'éléments soient clarifiés au préalable, incluant l'obtention des permissions nécessaires, un accès au site, ainsi que des accords au sujet des horaires, des produits livrables, de l'échéancier du projet, de formations et du budget, si nécessaire. Des permis pourraient également être requis dépendant des lois et juridictions en place. Les communautés requièrent également que certains protocoles soient respectés (cérémonies, échéanciers variables, règles de comportement).

2) Reconnaissance sur le terrain et préparation du site

La zone cible doit être étudiée en profondeur avant la réalisation d'un levé géoradar. Le site doit être cartographié et les caractéristiques géologiques de l'endroit doivent être évaluées. Les éléments du paysage, les zones d'intérêts, les obstacles potentiels et les grilles de levé doivent être identifiés sur le sol et intégrés dans un système d'information géographique (SIG) qui permet l'intégration, l'analyse et la visualisation de plusieurs types de données spatiales. Puisque le radar pénétrant est particulièrement efficace lorsqu'en contact direct avec le sol, il est possible qu'il soit nécessaire d'éliminer la végétation qui pourrait nuire au levé.

3) Levé géoradar: étapes préliminaires

Tout levé géoradar devrait débuter avec une évaluation de la géologie du site en collectant des données le long de transects dans des zones non perturbées (par exemple, qui ne contiennent pas de sépultures ou d'autres types de perturbations). Puisque la vitesse à laquelle les ondes radar voyagent dans le sol varie en fonction du type de sol, il est important d'identifier le type de sol retrouvé sur le site afin d'être capable de convertir les signaux du radar pénétrant en mesures de profondeur. Si la vitesse ne peut pas être mesurée directement, elle peut être estimée à l'aide des informations retrouvées dans les guides d'utilisation joints à la plupart des géoradars.

4) Levé géoradar: prospection

Il existe deux types de levés géoradar : la prospection et la recherche approfondie. Dans les deux cas, nous recommandons l'utilisation d'une fréquence d'antenne entre 250 et

500 MHz. Des fréquences plus élevées peuvent être utilisées pour étudier des sépultures connues qui se trouvent très près de la surface (jusqu'à 50 cm de la surface), mais des fréquences plus basses sont plus utiles dans la recherche de sépultures non-marquées. Lors d'une prospection, on parcourt une zone cible avec le radar pénétrant à la recherche de signaux. Une prospection peut servir à démontrer la présence de sépultures probables sur un terrain très vaste. Quand la présence d'un élément d'intérêt est identifiée (par exemple, une sépulture potentielle), l'opérateur du radar pénétrant va repasser plusieurs fois sur la zone en question afin de confirmer l'identification. Les sépultures potentielles sont ensuite marquées et cartographiées. Dans une situation idéale, les données générées dans le cadre d'un travail de prospection serait enregistré sous le format de captures d'écran de l'écran d'affichage du géoradar ou sous la forme de compilations de lignes ou de traces. Une prospection peut être agrémentée par l'utilisation d'un géoradar comprenant un GPS intégré, bien ce type instrument ne permet que rarement d'atteindre une précision qui descende sous ± 1 m. La prospection peut donc être décrite comme la première étape d'un levé géoradar, où le radar pénétrant est déplacé le long d'une grande superficie afin de déterminer rapidement la probabilité de la présence de sépultures dans une zone. Une prospection devrait être suivie de recherches plus approfondies.

5) Levé géoradar: recherche approfondie

Les résultats générés par l'utilisation du radar pénétrant sont plus définitifs s'ils sont collectés le long de grilles. Les grilles devraient être placées de manière à couvrir les zones cibles. Plusieurs grilles sont habituellement nécessaires afin de couvrir l'entièreté des aires à l'étude sur un seul site. En se basant sur l'expérience des membres du Groupe de travail de même que les publications en géophysique appliquée à l'archéologie, nous suggérons l'utilisation de grilles composées de lignes de collections de données placées à 25 cm d'intervalle et que des données soient collectées à chaque 2 cm le long de ces lignes afin de permettre la collecte de données suffisamment denses pour localiser des sépultures avec des fréquences entre 250 à 500 MHz. L'espacement de 25 cm entre les lignes de collection des données crée un chevauchement entre les zones couvertes par le géoradar et assure ainsi que l'ensemble de l'aire étudiée soit couverte. Les sépultures sont habituellement plus faciles à détecter à l'aide d'un radar pénétrant si elles sont traversées perpendiculairement par les lignes de collecte des données. Comme on ne peut assumer l'orientation de sépultures clandestines, il est recommandé de mettre en place des lignes de collection des données à la fois le long de l'axe des X et l'axe des Y, créant une grille où les lignes de collecte des données se croisent de manière perpendiculaire sur la surface de l'aire étudiée. Cette pratique augmente la densité du signal et les chances de détecter les sépultures qui pourraient se trouver sur le site. Lorsqu'un levé géoradar est réalisé dans un contexte où l'orientation générale des sépultures est connue, comme dans un cimetière, il peut être possible de collecter seulement des données le long de l'axe perpendiculaire au long côté des sépultures.

Ce type d'application du géoradar fait habituellement appel à une collection des données unidirectionnelle, où les données sont collectées dans le long de grilles dans un sens seulement, plutôt que dans un motif de Z (ou zig-zag). Il est particulièrement important de collecter les données de manière unidirectionnelle si les lignes de collecte des

données mesurent plus de 5 m afin de réduire le « bruit de fond » créé par des erreurs de calibration de l'odomètre et un terrain accidenté. La grille de collecte des données devrait être de forme carrée ou rectangulaire et devrait être disposée sur le sol à l'aide de rubans à mesurer non métalliques ou d'autres outils d'arpentage du même type. La présence de gros objets métalliques sur le site, tels que des clôtures, peuvent créer un « bruit » indésirable dans le signal du géoradar.

Autant que possible, et particulièrement sur des terrains en pente, le radar pénétrant devrait être équipé d'un GPS de haute précision avec une fonction de positionnement cinématique en temps réel. Sinon, des données de positionnement devraient être collectées sur des points de contrôles prédéterminés sur la grille (tels que les coins ou sur l'origine des axes). La collecte de ces informations permet de localiser correctement les données récoltées sur une carte et de tenir compte de la pente du terrain.

L'ACA est présentement en train de développer plus de lignes directrices sur les paramètres techniques à utiliser, mais nous recommandons de suivre les directives générales suivantes : utilisez le moyennage (*stacking*) afin d'améliorer le rapport signal/bruit de fond à la profondeur maximale; appliquez le nombre minimum de filtres nécessaires à la visualisation des signaux de sépultures (suppression des composantes à très basse fréquence (*deWOW*), optimisation du signal à l'aide d'une fonction de gain (*gain*), filtres passe-haut et passe-bas, ainsi que le filtrage des ondes d'arrière-plan).

Il est souvent utile d'utiliser des grilles de levé rectangulaires afin d'éviter de possibles confusions au sujet de leur orientation durant l'analyse des données. Bien que la question de la taille maximale des grilles ne fasse pas l'unanimité, nous avons déjà utilisé des grilles larges de 50 m x 50 m avec succès. Il est par contre commun d'utiliser des grilles plus petites afin d'éviter les obstacles et faciliter l'analyse et l'interprétation des données collectées.

6) Protocoles de collection des données

Des notes de terrain précises sont nécessaires afin d'éviter les erreurs. Bien que chaque ligne de prospection ou de collecte de données soient enregistrées automatiquement par le géoradar, nous recommandons de noter dans un carnet les informations pertinentes sur les grilles et les lignes de collecte des données, telles que leur direction, longueur et orientation. Des données précises sur la localisation des grilles et lignes de collecte de données ainsi que sur leur relation les unes avec les autres sont nécessaires à l'interprétation. Le logiciel du géoradar crée une image 3D composite des signaux radars réfléchis en combinant et compilant les lignes de collecte de données. Des erreurs dans l'orientation, la longueur, le début et la fin des lignes de collecte des données vont fausser les résultats de l'analyse géoradar. S'il est approprié de prendre des photos sur le site, un carnet de notes devrait lister le sujet de chaque photographie ainsi qu'un identifiant (par exemple, le numéro du fichier de la photo). Si possible, des copies papier ou digitales des notes de terrain devraient être faites et les documents originaux devraient être entreposés dans un endroit sécuritaire.

7) Résultats

Les levés géoradar devraient mener à la production d'un rapport final et d'une série de documents d'archive. Ces documents devraient inclure les notes prises sur chaque grille et ligne de collecte de données, tel qu'illustré dans la Figure 1.

Ces documents représentent les informations de terrain primaires de tout levé. Les informations sur les grilles et lignes de collecte de données géoradar devraient être entreposées dans un espace sécuritaire et identifiées avec des titres clairs, puisque les noms des fichiers de levés géoradar ont tendance à beaucoup se ressembler entre eux. Avec ces éléments en place (notes de terrain, cartes du (ou des) site(s), résultats de levé géoradar), le travail d'identification de sépultures à l'aides du géoradar peut aller de l'avant et ces dernières peuvent être localisées aisément dans le paysage.

Un travail de terrain réussi va permettre le traitement et l'analyse des données et va mener à une interprétation juste des résultats du levé géoradar, fournissant ainsi un maximum de chances pour la découverte de sépultures potentielles.

Des croquis et des cartes digitales devraient indiquer clairement l'emplacement de tous les points de surface et de contrôle, tel qu'illustré dans la Figure 2.

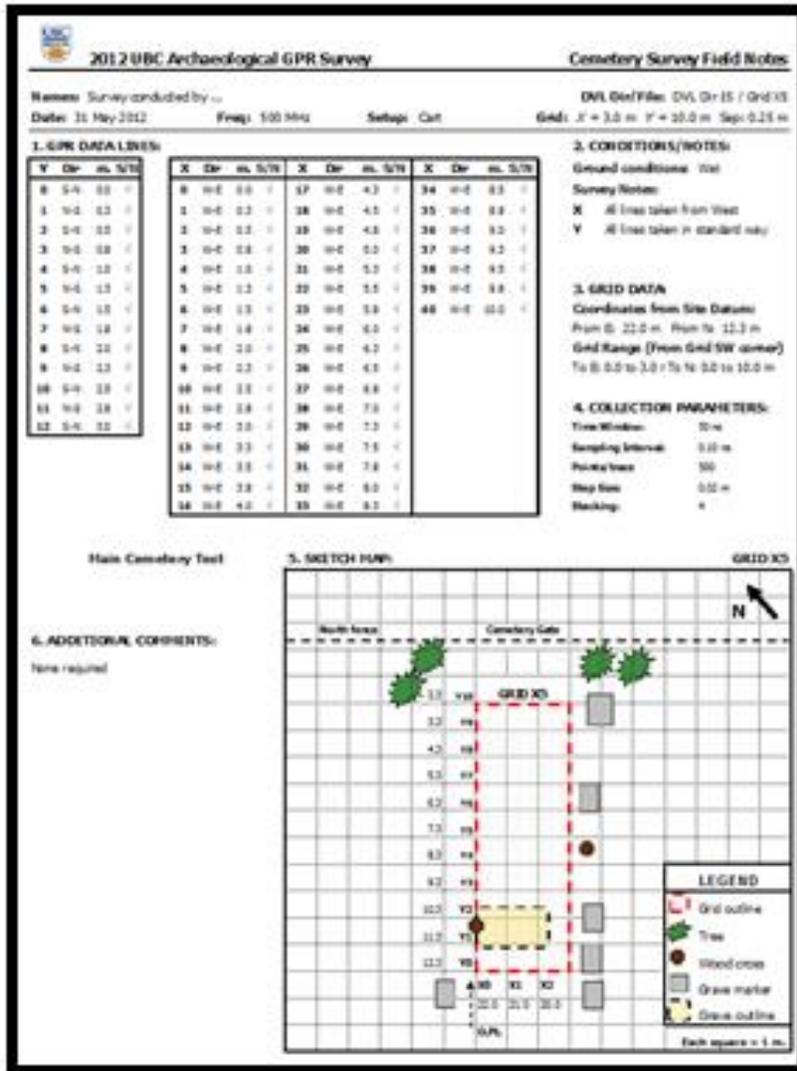


Figure 1. Exemple de notes de terrain prises au cours d'un levé géoradar

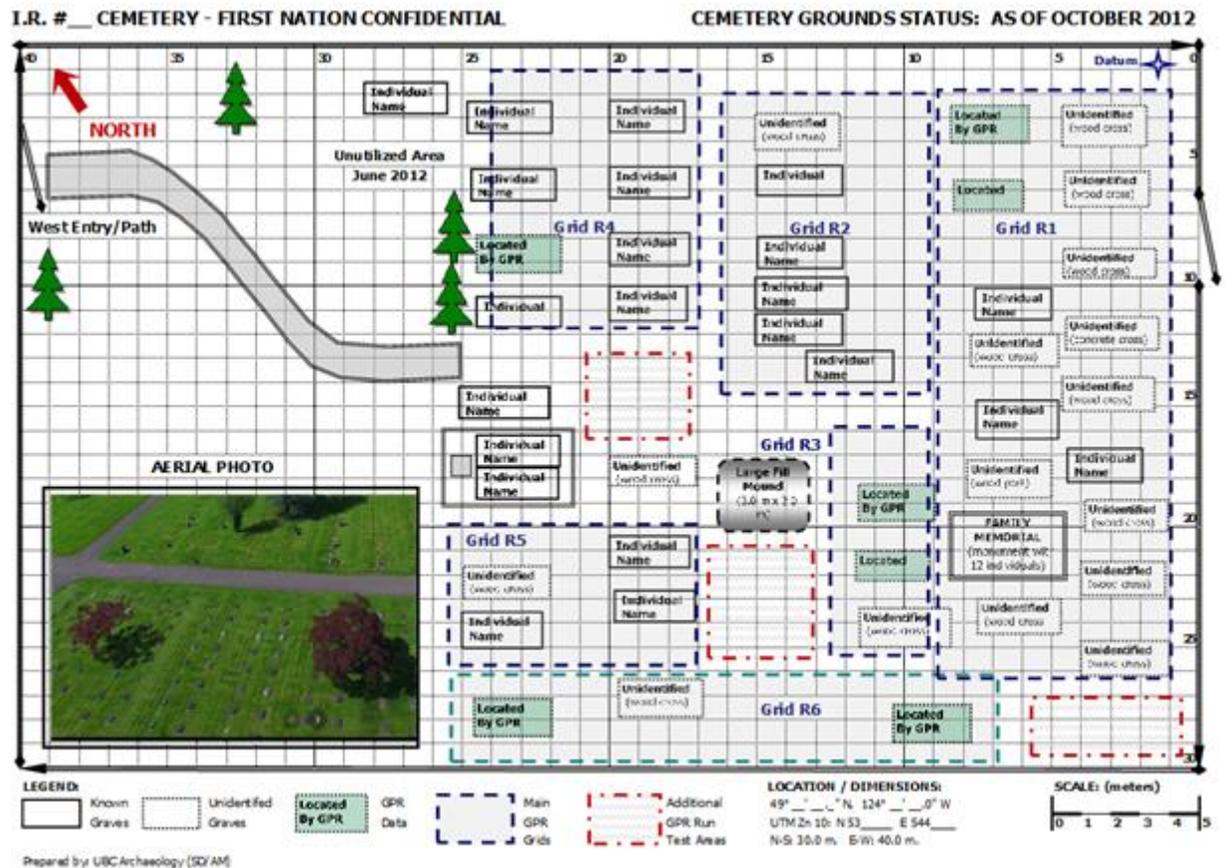


Figure 2. Exemple de croquis montrant l'emplacement des grilles de levé géoradar sur un site.

Auteurs:

Andrew Martindale, Steve Daniel, William Wadsworth, Eric Simons, et Colin Grier au nom du Groupe de travail de l'ACA sur les sépultures non-marquées.

Remerciements:

Nous remercions Alistair James P.Eng., Evan Ulmer P.Eng., Dylan Antunes P.Eng., et le Dr. Jonathan Fowler pour leurs commentaires pertinents sur une version précédente de ce document.