



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

GÉOMATIQUE CANADA
DOSSIER PUBLIC 5

**Guide de production d'imagerie sonar à l'aide d'outils
grand public - Étude de cas à la rivière des Outaouais
à Quyon, Québec**

C. Prévost

2014

**GÉOMATIQUE CANADA
DOSSIER PUBLIC 5**

**Guide de production d'imagerie sonar à l'aide d'outils
grand public - Étude de cas à la rivière des Outaouais
à Quyon, Québec**

C. Prévost

2014

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre de Ressources naturelles Canada, 2014

doi:10.4095/295580

On peut télécharger cette publication gratuitement à partir de GEOSCAN (<http://geoscan.rncan.gc.ca/>).

Notation bibliographique conseillée

Prévost, C., 2014. Guide de production d'imagerie sonar à l'aide d'outils grand public - Étude de cas à la rivière des Outaouais à Quyon, Québec; Géomatique Canada, Dossier public 5, 51 p. doi:10.4095/295580

Les publications de cette série ne sont pas révisées; elles sont publiées telles que soumises par l'auteur.

Guide de production d'imagerie sonar à l'aide d'outils grand public
Étude de cas à la rivière des Outaouais à Quyon, Québec.

Nota :

Ce document s'inscrit dans la foulée d'une initiative qui a débuté il y a quelques années et qui portait sur l'utilisation d'échosondeurs et de logiciels grand public pour acquérir et intégrer des nuages de points de profondeur. L'objectif de cette approche étant de générer le modèle bathymétrique tridimensionnel d'un plan d'eau afin d'évaluer le volume d'eau des lacs d'approvisionnement des communautés du Nunavut. Le lecteur trouvera à la fin (page 36) une liste de publications sur ce sujet.

La thématique des sonars imageurs discutée ci-après, constitue un prolongement et une amélioration significative de cette initiative puisqu'il est désormais possible de produire, en plus, une image détaillée du fond. Ainsi, ces échosondeurs grand public de facture récente multiplient les possibilités d'application technologique.

Table des matières

-Résumé	5
-Liste des figures	6
1) Introduction	7
2) Opération	11
3) Acquisition des données	12
4) Traitement des données	13
5) Considérations d'exécution : Du plan de relevé à la carte image finale	18
5.1 Plan de relevé	18
5.2 Considérations d'acquisition	18
5.3 Considérations de traitement informatique	19
5.4 Considérations géomatiques	20
6) Étude de cas : Rivière des Outaouais à Quyon, Québec	21
6.1) Planification du relevé	22
6.2) Relevé au sonar imageur	23
6.3) Production de mosaïques d'images	26
6.4) Profil et carte bathymétrique	34
7) Résultats et conclusion	35
8) Publications connexes	36
9) Références et remerciements	37
Annexe 1 : Recueil des données acquises par sonar imageur latéral grand public sur la rivière des Outaouais à la hauteur de Quyon, Québec.	38

Résumé

Ressources naturelles Canada (RnCan) a le mandat de fournir de l'information essentielle sur la géographie du pays. Une meilleure connaissance de notre environnement physique constitue l'une des bases de ce mandat. Cette information de base est en général associée au milieu terrestre. La connaissance du milieu sous lacustre représente souvent le maillon faible dans la chaîne reliant les unités terrestres entre elles. Par ailleurs, dans le contexte des géorisques, aussi un mandat de RnCan, la mise en place de stratégies de mitigation des géorisques, incluant les glissements de terrain, s'appuie sur une connaissance approfondie du terrain au fond des plans d'eau.

Depuis quelques années, il existe des sonars imageurs grand public capables de fournir une vue détaillée du fond d'un lac, d'une rivière ou d'un bord de mer. Ces appareils visent principalement le marché des pêcheurs sportifs et des adeptes de la plongée, mais ils sont capables, à leur mesure, de faire découvrir ce qui se cache au fond des plans d'eau. Ces outils versatiles, peu dispendieux, portables et faciles à opérer peuvent avoir des applications scientifiques et techniques variées, notamment la cartographie géomorphologique de la surface du fond de l'eau : limites du substrat rocheux, contact entre les sédiments et le substrat, linéaments, dunes fluviales et diverses formes d'érosion/dépôt. De ce fait, ces sonars imageurs peuvent combler un vide technologique et scientifique, sur l'information géographique essentielle et les géorisques, notamment dans les régions éloignées, nordiques ou difficiles d'accès.

Une étude cas a été réalisée dans le secteur de Quyon (Québec), en Outaouais, pour déterminer l'utilité de ces outils pour la cartographie géomorphologique du fond de l'eau, dans l'optique d'un lien avec la caractérisation des glissements de terrain. Ce document explique les principales contraintes liées à la réalisation d'un relevé et recommande des façons de les mitiger. Plusieurs exemples d'images, et interprétations, sont présentés ainsi que les résultats découlant de cette étude de cas.

Liste des figures :

- Figure 1. Composantes d'un sonar imageur latéral grand public
- Figure 2. Composantes d'un sonar imageur latéral grand public et boîtier...
- Figure 3. Copie d'écran sonar. Image acquise au pied d'une falaise rocheuse...
- Figure 4. Copie d'écran sonar. Image acquise sur une côte rocheuse...
- Figure 5. Les sonars imageurs grand public sont conçus pour être simples...
- Figure 6. Installation du matériel pour un relevé au sonar imageur latéral grand public
- Figure 7. Schéma d'acquisition de données à l'aide d'un sonar imageur latéral...
- Figure 8. Tracé d'une ligne de relevé d'un sonar imageur latéral grand public...
- Figure 9. Agrandissement de l'illustration précédente. Le trajet de l'embarcation...
- Figure 10. Exemple d'une portion de ligne de relevé brute...
- Figure 11. Image de la figure précédente pour laquelle les distorsions géométriques...
- Figure 12. Image de la figure précédente pour laquelle le patron de retour...
- Figure 13. Produit final corrigé et géocodé, compatible avec un SIG
- Figure 14. Ligne de relevé complète géocodée
- Figure 15. Localisation du village de Quyon sur la rivière des Outaouais...
- Figure 16. Rivière des Outaouais, vue vers l'aval, à partir du traversier de Quyon
- Figure 17. Plan de relevé, rivière des Outaouais
- Figure 18. Trajet suivi selon l'enregistrement GPS
- Figure 19. Lignes individuelles de relevé sur la rivière des Outaouais...
- Figure 20. Résultat du traitement des données sonar pour une ligne de relevé...
- Figure 21. Résultat du traitement des données sonar pour une ligne de relevé...
- Figure 22. Schéma de production d'une mosaïque d'images d'un sonar latéral...
- Figure 23. Exemple de mosaïque constituée de deux lignes de relevé.
- Figure 24. Mosaïque d'images sonar en visée vers le sud, secteur ouest
- Figure 25. Agrandissement de la figure 24...
- Figure 26. Agrandissement de la figure 24...
- Figure 27. Mosaïque d'images sonar en visée vers le sud, secteur est
- Figure 28. Agrandissement de la figure 27...
- Figure 29. Mosaïque d'images sonar en visée vers l'aval, secteur ouest
- Figure 30. Agrandissement de la figure 29
- Figure 30a Rides de plage actuelles
- Figure 31. Partie est. Ligne en visée vers le sud
- Figure 32. Partie est. Secteur identique à la figure précédente. Visée vers le nord
- Figure 33. Profil transversal de la rivière des Outaouais à la hauteur de Quyon
- Figure 34. Carte bathymétrique de la rivière des Outaouais à la hauteur de Quyon...

1) Introduction

Ressources naturelles Canada (RnCan) a le mandat de fournir de l'information essentielle sur la géographie du pays. Une meilleure connaissance de notre environnement physique constitue l'une des bases de ce mandat. Cette information essentielle est en général associée au milieu terrestre. La connaissance du milieu sous lacustre représente souvent le maillon faible dans la chaîne reliant les unités terrestres entre elles. Dans le même sillon de pensée, les recherches sur les géorisques tel que les glissements de terrain, aussi un mandat de RnCan, sont parfois confrontés à un manque d'information lorsque le géorisque chevauche le milieu terrestre et le milieu hydrique; rivière, lac ou bord de mer.

Depuis quelques années, il existe des sonars imageurs de qualité consommateur capables de fournir une vue détaillée du fond d'un lac, d'une rivière ou d'un bord de mer. Ces appareils visent principalement le marché des pêcheurs sportifs et des adeptes de la plongée. L'imagerie est en général visualisée, en temps réel ou en différé, directement à l'écran du sonar. Il est cependant possible de sauvegarder les données pour un traitement plus poussé dans le but de générer une carte image du fond.

Ces sonars imageurs s'apparentent physiquement à un profondimètre/GPS (*fishfinder*) que les pêcheurs utilisent depuis plusieurs années. Ils sont portatifs et peuvent être installés en quelques minutes sur une vaste gamme d'embarcation: kayak, canot pneumatique, chaloupe, ponton, etc.

Ces sonars imageurs (aussi appelés sonars imageurs latéraux) se vendent moins de \$ 3000 et sont constitués d'une sonde acoustique (transmetteur/récepteur), d'un récepteur GPS, et d'une unité de traitement de signal et d'enregistrement (Figures 1 & 2). L'appareil étant destiné au grand public, il est robuste et très facile d'opération grâce à des guides d'utilisateurs et plusieurs vidéos promotionnels. Par contre la documentation est peu détaillée sur le processus interne de traitement de l'information et autres considérations techniques fines.

Selon les modèles, les sonars imageurs latéraux de qualité consommateur fournissent une image couvrant jusqu'à environ 50 de mètres de part et d'autre de l'embarcation et jusqu'à une profondeur d'environ 40-50 mètres. Sur une image présentée à l'écran du sonar, le trajet du bateau est indiqué au centre. La colonne d'eau est représentée par une bande noire, de largeur variable en fonction de la profondeur, de chaque côté de la représentation du trajet du bateau. Enfin, de part et d'autre de cette bande noire, on observe l'image sonar du fond du plan d'eau. (Figure 3 & 4)

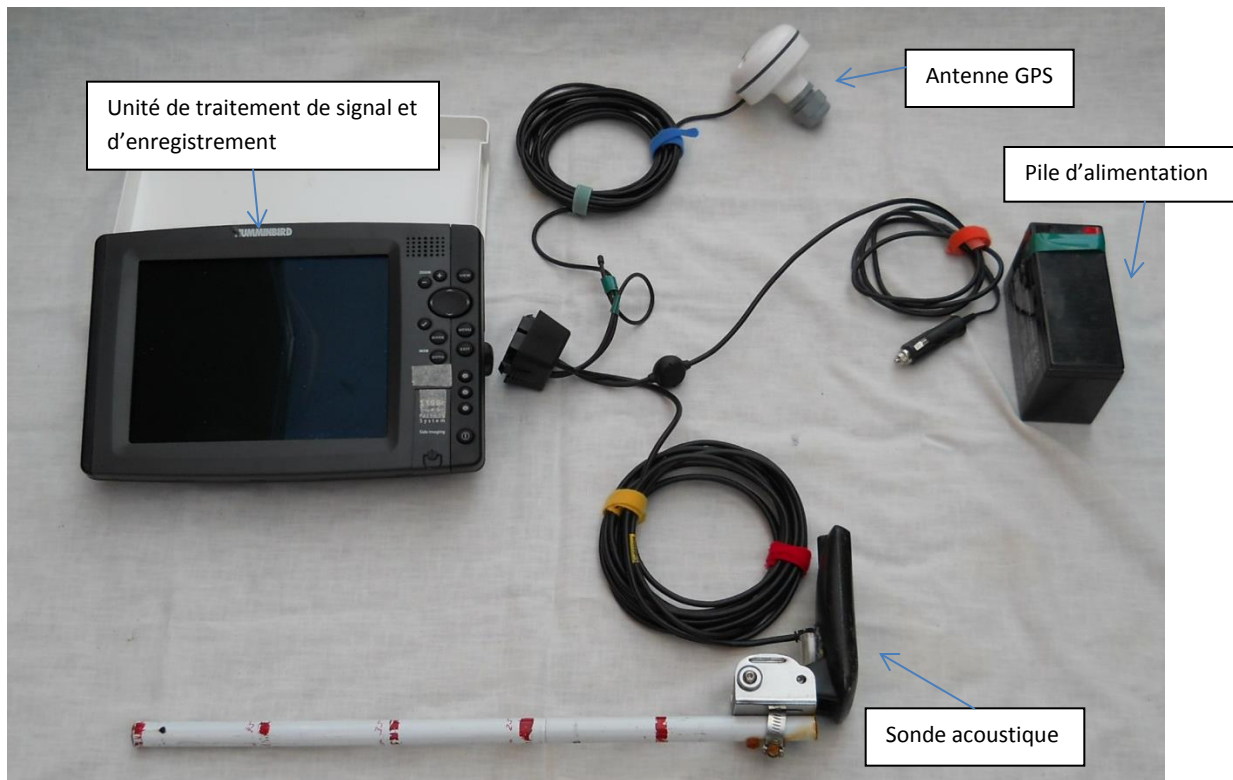


Figure 1. Composantes d'un sonar imageur latéral grand public.

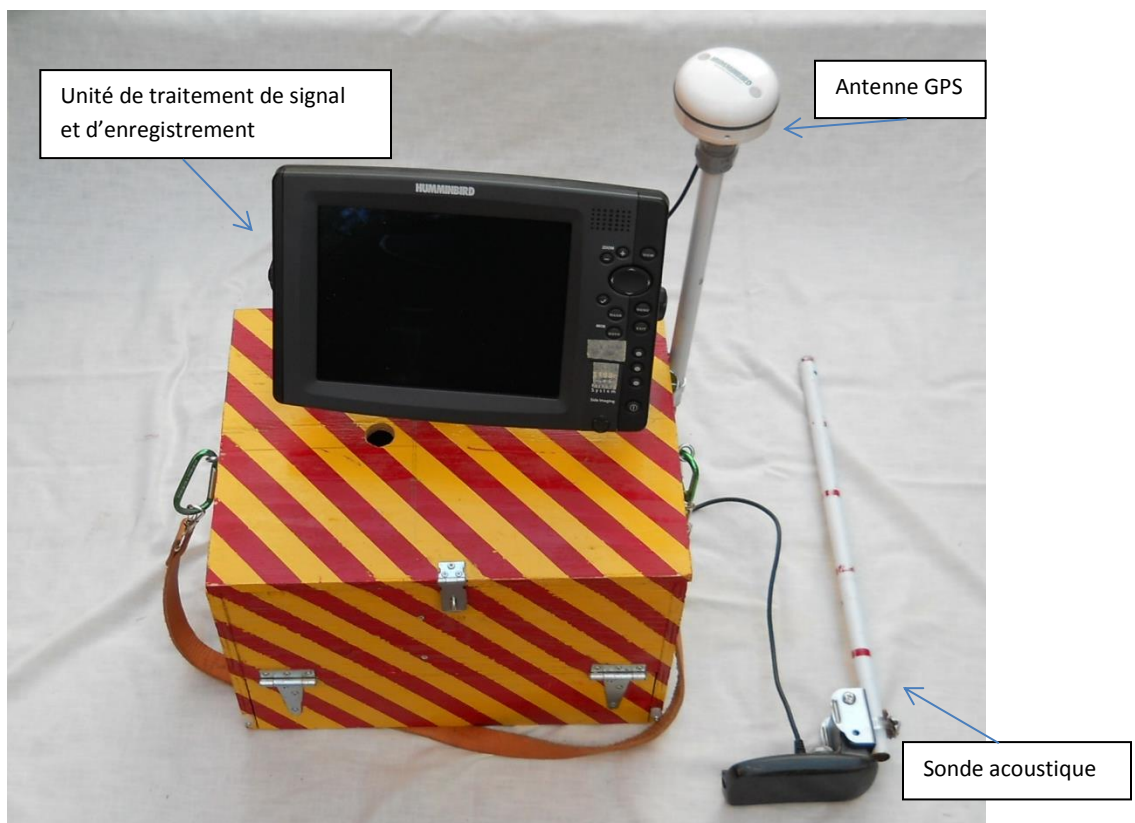


Figure 2. Composantes d'un sonar imageur latéral grand public et boîtier de transport/opération.

45 Left

Right 45

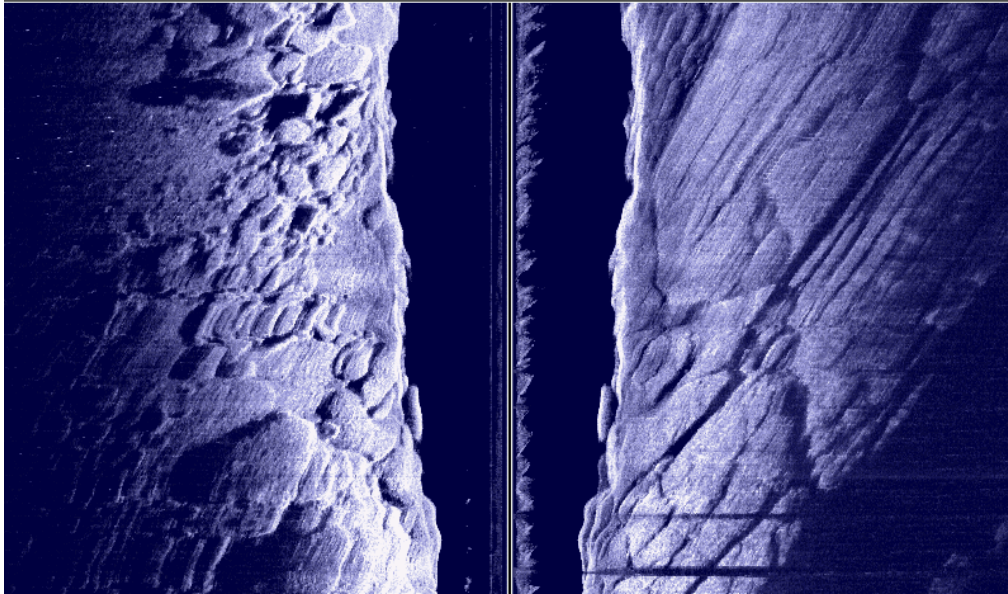


Figure 3. Copie d'écran sonar. Image acquise au pied d'une falaise rocheuse dans 11 mètres d'eau. La falaise rocheuse est à droite et les blocs rocheux sont à gauche.

45 Left

Right 45

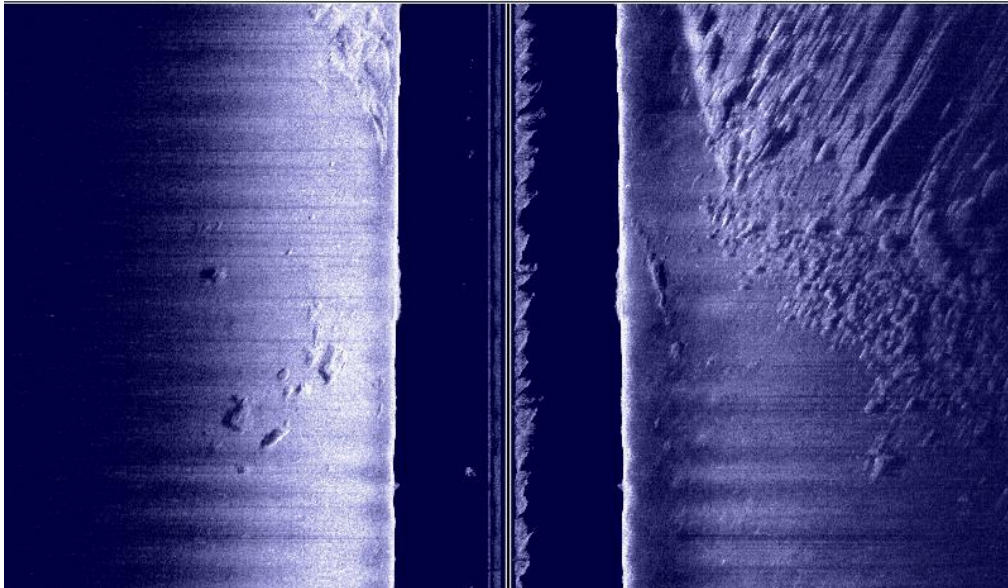


Figure 4. Copie d'écran sonar. Image acquise sur une côte rocheuse par 10 mètres de profondeur. On observe le contact entre les dépôts meubles et le substrat rocheux.

On comprend rapidement que ces outils versatiles et peu dispendieux peuvent avoir des applications scientifiques et techniques variées, notamment la cartographie géomorphologique de la surface du fond de l'eau. L'analyse de dizaines d'images permet de confirmer le potentiel de l'imagerie sonar pour cartographier les limites du substrat rocheux, le contact entre les sédiments et le substrat, les linéaments, les dunes

fluviales (rides de fond), diverses formes d'érosion/dépôt au fond de l'eau, le type de sédiment, etc. (Figure 5). D'autre part, les documents promotionnels font une large place à ces outils pour identifier des éléments anthropiques: embarcation au fond de l'eau, matériel, contenants, etc., ce qui peut avoir des applications inédites dans le domaine environnemental, notamment dans le Nord canadien.

Finalement, il est possible d'envisager l'adaptation de cette technique dans d'autres lieux et pour d'autres thèmes, notamment sur le thème des géorisques, un peu partout à travers le monde.

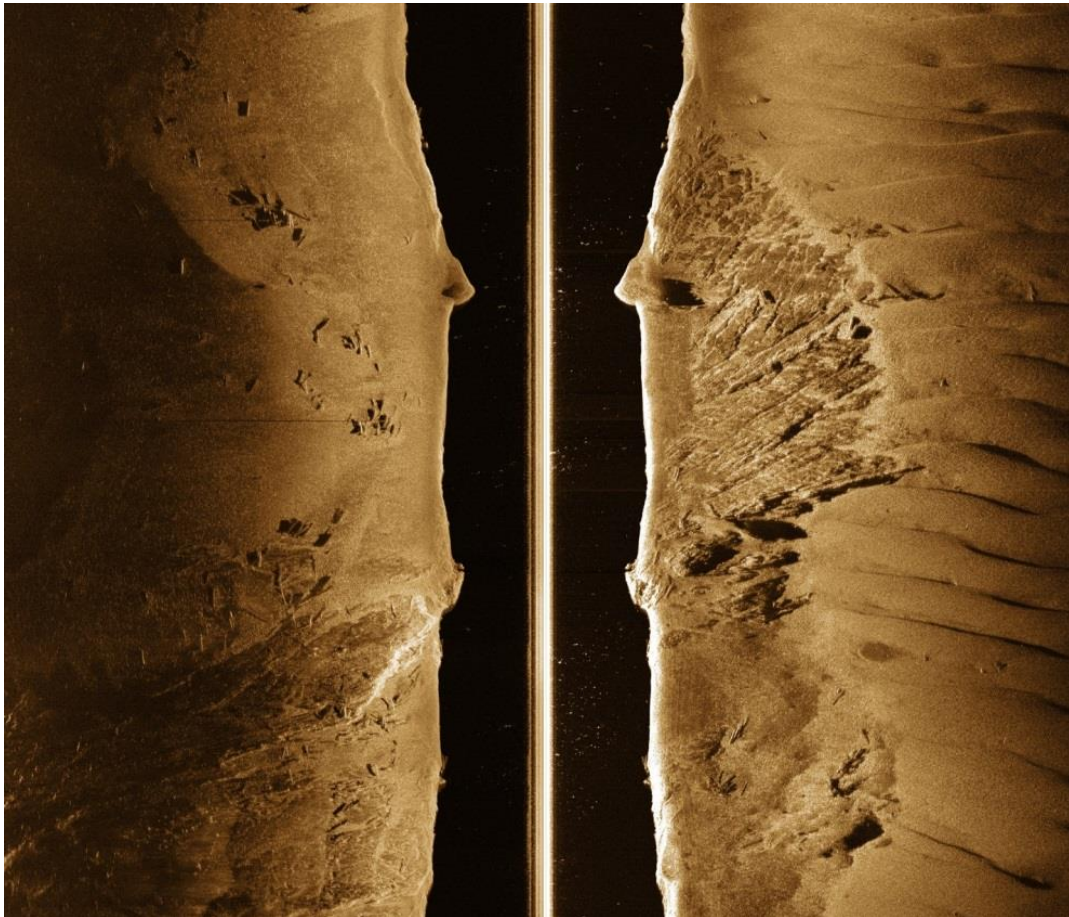


Figure 5. Les sonars imageurs grand public sont conçus pour être simples et conviviaux mais se prêtent parfois difficilement aux besoins de la science. Néanmoins, ils sont capables, à leur mesure, de faire découvrir ce qui se cache au fond des lacs et des rivières comme en témoigne cette image sonar de qualité consommateur acquise en rivière. Le contact entre les dépôts meubles fins et la roche en place est facilement visible. Des billes de bois, vestiges de l'ère de la "drave", sont aussi visibles sur la gauche.

2) Opération

En opération à bord d'une embarcation (Figure 6), le sonar imageur latéral transmet une onde acoustique en un faisceau mince de part et d'autre de l'embarcation à une fréquence de 800 khz et à un rythme de 10 impulsions (appelées "ping") par seconde (Figure 7). Selon les réglages choisis par l'opérateur et la profondeur d'eau, la largeur de visée s'étendra sur quelques dizaines de mètres de part et d'autre de l'embarcation (40 mètres dans les illustrations de ce document). Lors du retour de l'onde acoustique, le signal est découpé par intervalle de temps, ce qui détermine la résolution latérale, qui peut être de l'ordre du centimètre. La résolution longitudinale pour sa part est déterminée par la vitesse d'avancée de l'embarcation et le degré de chevauchement des retours de faisceau. La documentation suggère une vitesse d'avancée optimale de 3 à 7 km/h. (2-4 kn)

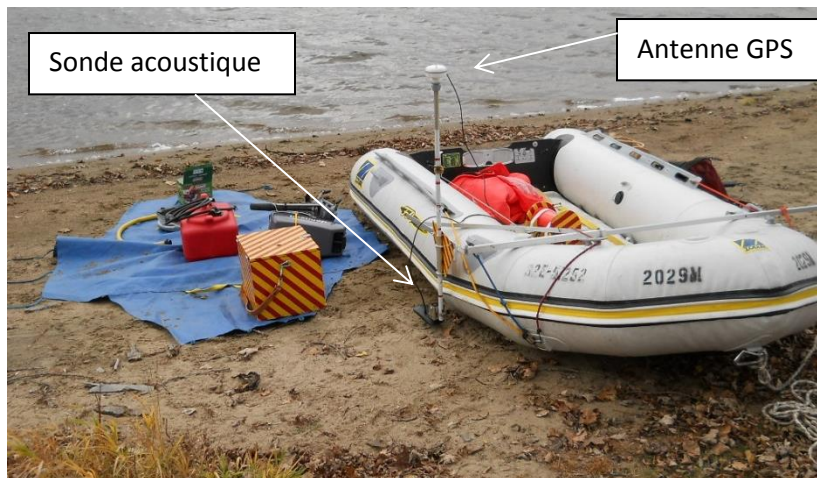


Figure 6. Installation du matériel pour un relevé au sonar imageur latéral grand public.

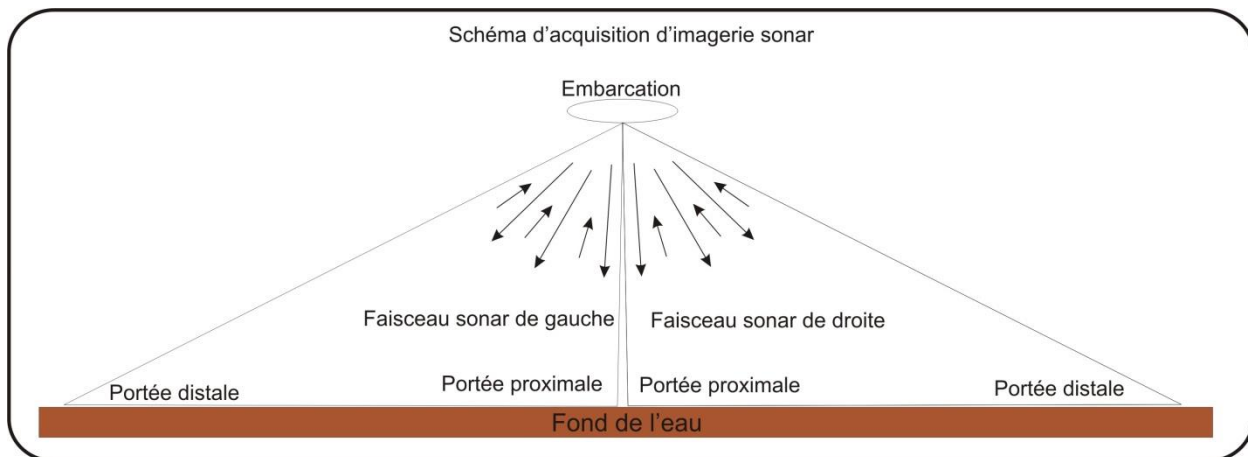


Figure 7. Schéma d'acquisition de données à l'aide d'un sonar imageur latéral; faisceau de gauche et de droite.

3) Acquisition des données

Les dimensions de l'embarcation utilisée, ses paramètres de navigation et ses degrés de libertés de mouvement amènent certaines contraintes d'acquisition pour des fins cartographiques. Ces contraintes d'acquisition pouvant avoir un effet sur la qualité des données sont, dans l'ordre d'importance :

- 1) Le lacet
- 2) Le roulis
- 3) La vitesse de déplacement.

Pour obtenir un produit final de qualité, la géométrie d'acquisition dicte que l'opérateur doit naviguer en ligne droite, en trajets parallèles, et espacés d'une distance telle qu'il y ait un chevauchement des images permettant de couvrir tout le secteur sous étude.

Le lacet est un rapide changement de cap qui résulte en une trajectoire sinueuse. Ce faisant, les faisceaux sonar ne sont plus parallèles dans le sens latéral et se chevauchent créant ainsi une image de piètre qualité. L'opérateur doit s'assurer que son plan de relevé et les conditions de surface et de vent sont propices à un relevé véritablement rectiligne.

Le roulis est une rotation de l'embarcation, et donc de la sonde acoustique qui y est fixée, autour de l'axe d'avancée de l'embarcation. Le roulis est souvent le résultat de vagues latérales causées par le vent ou par des embarcations circulant au voisinage. L'opérateur doit s'assurer d'avoir un plan de relevé de rechange, d'orientation différente, permettant si nécessaire, de mitiger l'effet des vagues.

La vitesse de déplacement (d'avancée) contrôle en grande partie la résolution longitudinale des données. Une vitesse lente génère des données de meilleure qualité mais le relevé nécessite davantage de temps. Des relevés d'expérimentation ont été effectués aux vitesses de 9 km/h (5 kn) et de 5 km/h (2.7 kn) avec une amélioration sensible de qualité d'image. On peut penser qu'un relevé à 3-4 km/h (2kn) serait optimal. Il existe une vitesse minimale, variable en fonction des circonstances et du type d'embarcation, nécessaire pour permettre à l'opérateur de garder des paramètres de navigation constants (Figures 8 & 9).

La section suivante, qui porte sur le traitement des données, montre l'importance de réduire au minimum les trois contraintes indiquées ci-haut.

4) Traitement des données

À ce jour, seuls quelques logiciels permettent d'effectuer, de manière peu dispendieuse, un traitement des données pour l'obtention d'images géocodées de qualité à partir des données de l'enregistreur sonar.

Le principe d'opération d'un sonar imageur se rapproche grandement du principe d'opération d'un radar aéroporté à ouverture réelle. Ainsi, de par leur mode d'acquisition, les données sonar sont empreintes de distorsions géométriques associées à l'angle oblique d'acquisition (*slant range*) (Figures 10 & 11). Par ailleurs, tout comme le patron d'antenne a un effet sur les données d'un radar aéroporté, le patron de retour de faisceau sonar fait en sorte que les intensités de retour de signal sont plus grandes pour les portées proximales que pour les portées distales (*Beam Angle*) (Figure 12).

De plus, les données doivent être géocodées et le processus doit tenir compte des variations de vitesse de l'embarcation. Le GPS du sonar imageur est utilisé à cette fin. Enfin les images résultantes doivent être rehaussées pour en améliorer le contraste (Figure 13 & 14).



Figure 8. Tracé d'une ligne de relevé d'un sonar imageur latéral grand public sur fond de photographie aérienne.

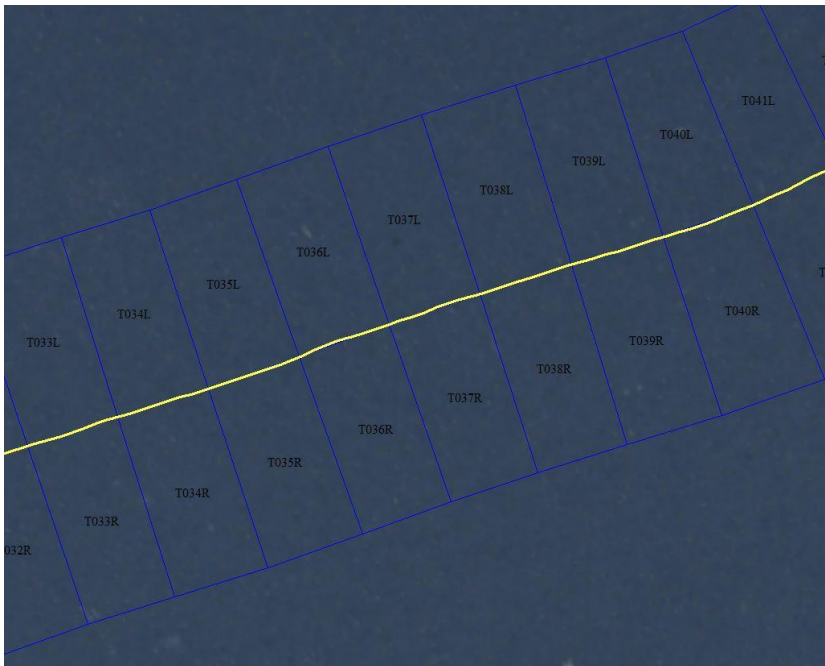


Figure 9. Agrandissement de l'illustration précédente. Le trajet de l'embarcation, enregistré par le GPS, est représenté en jaune. Remarquer la présence des données du faisceau de droite et du faisceau de gauche. Le logiciel de traitement a découpé les données en tuiles consécutives.

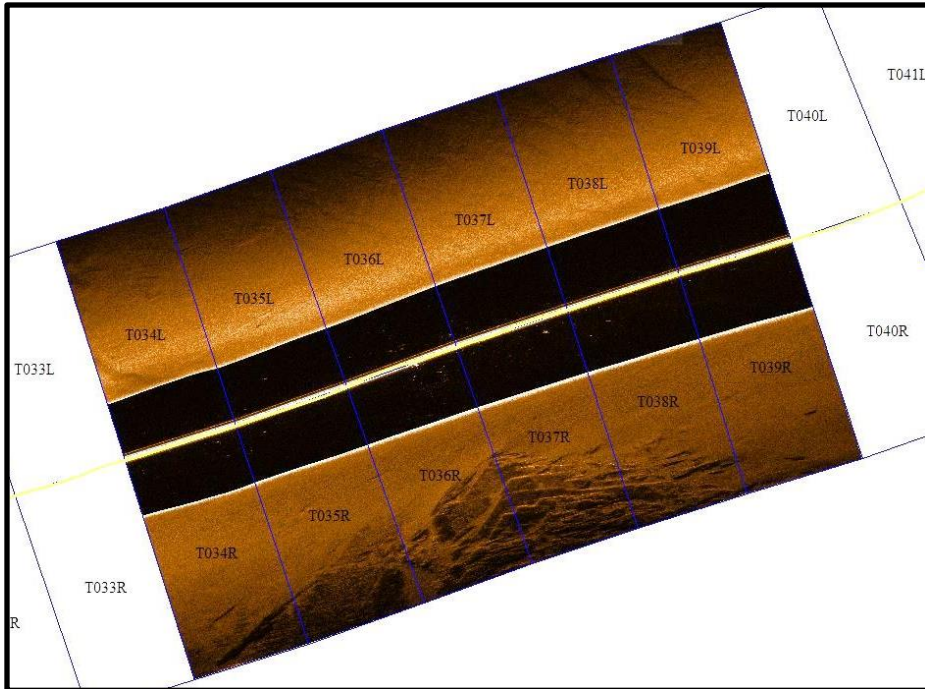


Figure 10. Exemple d'une portion de ligne de relevé brute, faisceau de droite et faisceau de gauche. La colonne d'eau est représentée par la zone noire centrale

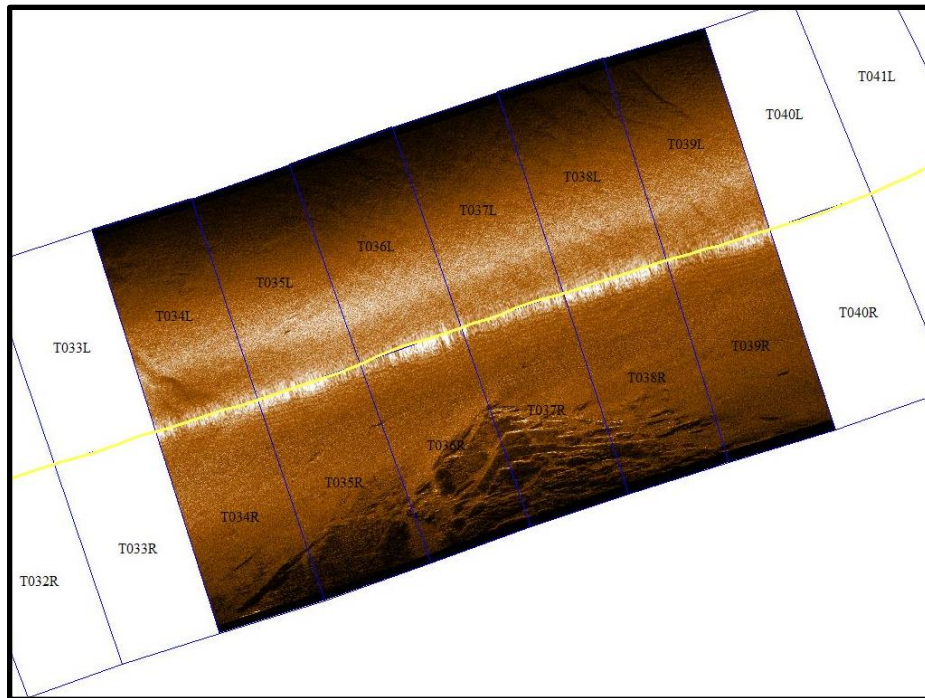


Figure 11. Image de la figure précédente pour laquelle les distorsions géométriques associées à l'angle oblique d'acquisition ont été corrigées. Ceci a aussi éliminé la partie noire représentant la colonne d'eau.

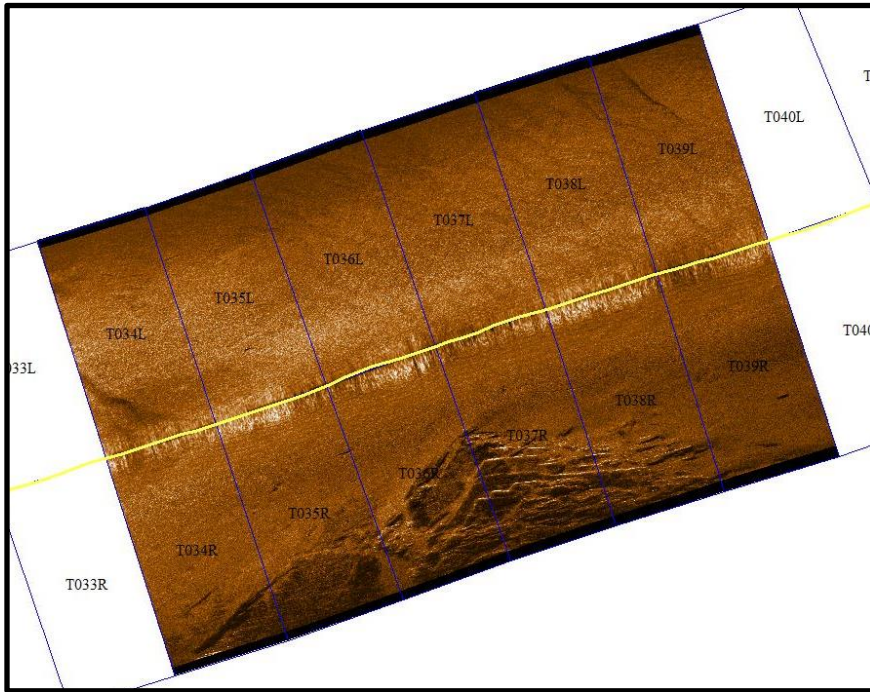


Figure 12. Image de la figure précédente pour laquelle le patron de retour de faisceau a été corrigé.

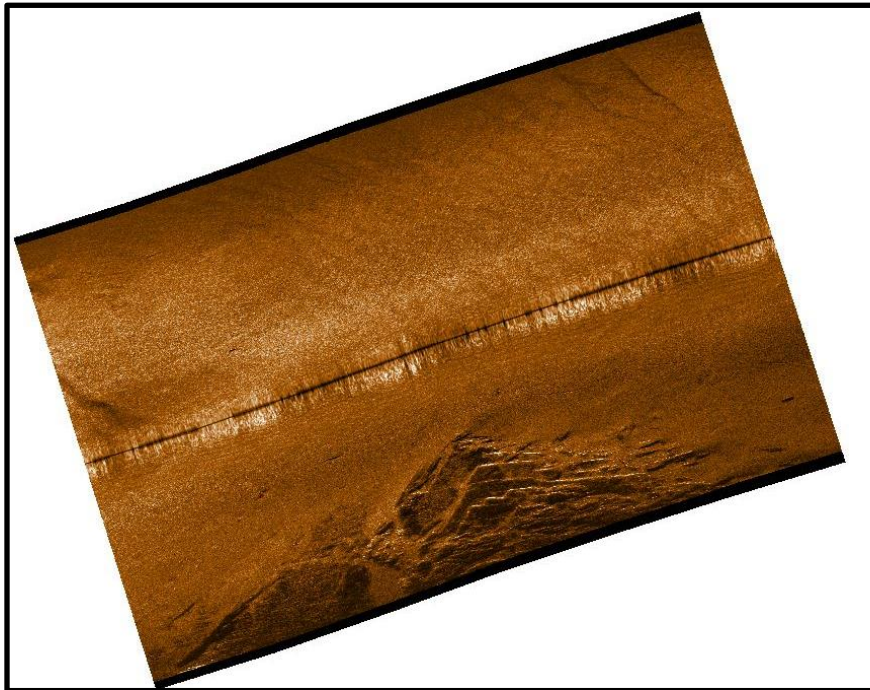


Figure 13. Produit final corrigé et géocodé, compatible avec un SIG.

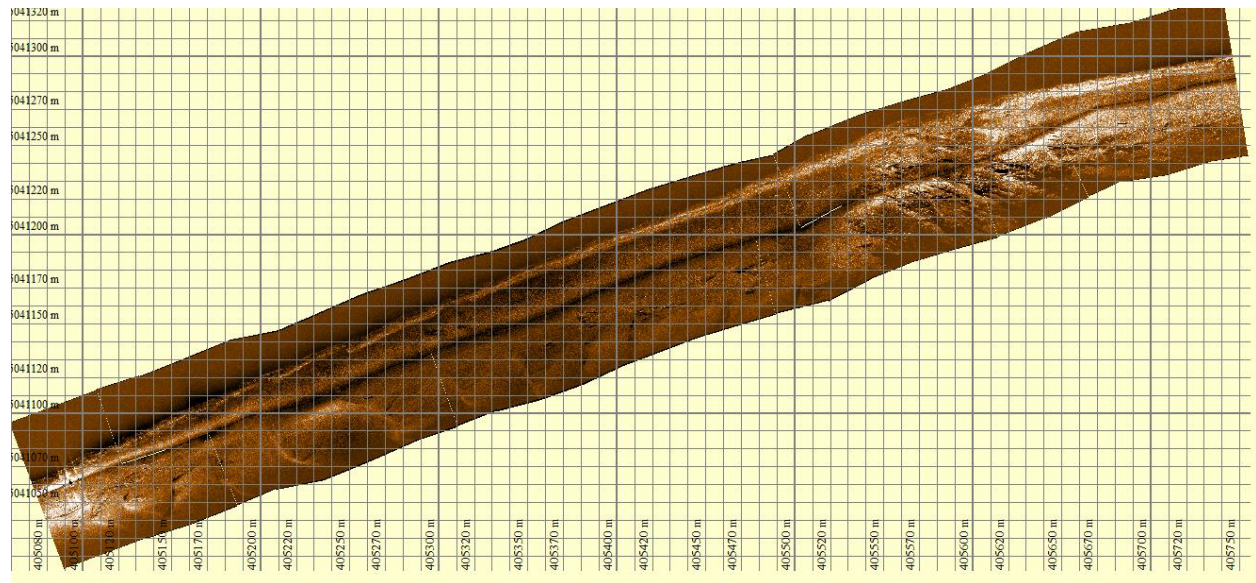


Figure 14. Ligne de relevé complète géocodée.

5) Considérations d'exécution : Du plan de relevé à la carte image finale

5.1) Plan de relevé

Le plan de relevé doit être constitué de lignes droites et parallèles dont l'espacement est tel qu'il permet de créer des mosaïques. Si le design du produit final prévoit des mosaïques avec visée dans une direction unique (Voir 6.3) alors les lignes de relevé devraient être espacées de façon telle à prévoir un espacement plus petit entre les lignes.

L'opérateur doit s'assurer d'avoir un plan de relevé de rechange, d'orientation différente, permettant si nécessaire, de mitiger l'effet des vagues latérales. Un des plans de relevé devait être conçu en fonction des vents dominants dans la région.

5.2) Considérations d'acquisition

-Température/condition météo: Il n'y a pas à proprement parler de contrainte de température pour l'équipement. Les échosondeurs imageurs tolèrent très bien la pluie.

-Vent/vagues: Le vent doit être absent/minimal. Le vent crée des vagues, qui créent du roulis, ce qui réduit la qualité de l'image. Cette contrainte est probablement la plus difficile à circonvier avec des outils grand public. On peut présumer qu'en milieu lacustre on choisira un relevé très tôt le matin avant l'échauffement matinal générateur de vent. En milieu côtier on peut présumer qu'on choisira une acquisition au moment où la force du vent est minimale et la direction du vent optimale. A force de vent égal, il est connu que les vagues seront moins fortes en milieu côtier sous le vent surtout si la côte est haute et abrupte. On peut aussi présumer qu'on choisira une acquisition en absence de houle, qui elle, peut être la conséquence de vents lointains ayant soufflé dans les jours précédents. Beaucoup d'autres considérations entrent en ligne de compte en milieu côtier (étale, courant de dérive, vives eaux, etc.) mais en bout de ligne, l'état de mer recherché est "une mer d'huile".

-Hauteur de marée : Il n'y a pas de contraintes liées à la variation de hauteur de marée durant le relevé si l'on compense en altitude à l'aide de données GPS externes.

-Vitesse d'acquisition: Des acquisitions ont été effectuées à 5-6 km/h avec de bons résultats. *A posteriori* les données auraient bénéficié d'une acquisition à une vitesse encore plus lente. Une basse vitesse produit des pixels plus fins dans le sens longitudinal. La résolution longitudinale est toujours plus grossière que la résolution latérale.

-Conditions d'équipement: Les sonars imageurs grand public sont en mesure de fonctionner en eau douce et en eau salée. La vitesse de propagation de l'onde sonore varie entre ces deux types d'eau. Une option permet à l'opérateur de sélectionner le type d'eau approprié.

-Type d'embarcation: Il y a peu de contrainte pour le type d'embarcation. Il faut privilégier une embarcation la plus stable possible, qui soit capable de maintenir précisément un cap, à vitesse lente, par vent latéral. Un canot pneumatique, avec son profil bas et avec un ballast bien centré, a donné de bons résultats.

5.3 Considérations de traitement informatique

Quel que soient les logiciels de traitement sonar utilisés, ils doivent être en mesure :

-De lire les données sonar brutes, telles qu'enregistrées par le sonar à bord de l'embarcation.

-De corriger les données pour l'angle oblique d'acquisition; angle qui varie entre la portée proximale et la portée distale.

-De corriger pour le patron de retour de faisceau. Certains logiciels identifient cette fonction par l'acronyme BAC (*Beam Antenna Correction*), alors que d'autres l'identifient par l'acronyme SVG (*Signal Variable Gain*).

-De rehausser visuellement les données, soit à partir d'une analyse d'histogramme ou par analyse visuelle

-D'éliminer les données hors normes. Le logiciel devrait être en mesure d'éliminer les données dépassant certains seuils de tolérance. Par exemple les données acquises lors de lacets ou de virages trop brusques.

-De géocoder les données. Cette fonction peut être de complexité variable selon les logiciels et selon les capacités du sonar imageur. Le GPS intégré au sonar est en mesure de donner la position de l'embarcation à toutes les secondes. Ceci permet de géocoder les données avec une précision de quelques mètres et de tenir compte des variations de vitesse de l'embarcation. Cependant les sonars imageurs de qualité consommateur ne sont pas équipés pour acquérir/enregistrer l'information sur l'attitude de l'embarcation et utiliser ces informations pour tenir compte des erreurs occasionnées par le tangage, le roulis ou les lacets.

En se référant à la géométrie d'acquisition (Section 3), on comprend rapidement l'importance de ce point. Les données étant géocodées comme si elles avaient été acquises en conditions optimales (sans roulis ni lacets), il revient à l'opérateur de s'assurer d'acquérir les données dans de telles conditions sous peine d'engendrer des erreurs de géolocalisation des produits finaux.

A noter que les sonars imageurs de haut de gamme sont équipés d'une plateforme inertielle de navigation qui enregistre les paramètres d'attitude (i.e. roulis, lacets, tangage, etc). Ces données sont utilisées par les logiciels haut de gamme pour géocoder les données sonar avec précision.

Par ailleurs, certains logiciels sont en mesure d'ingérer des positions GPS acquises avec des récepteurs GPS externes haut de gamme. Bien que ces données GPS permettent de raffiner la localisation du sonar, elles sont de peu d'utilité pour corriger les erreurs de roulis et de lacets.

5.4 Considérations géomatiques

Les logiciels peu dispendieux de traitement de données sonar ont peu de capacités de traitement géomatique et sont parfois conçus pour une exportation vers des outils de visualisation tel GoogleEarth^{mc}.

La mise en place d'un projet de cartographie du fond de l'eau à l'aide d'un sonar imageur grand public doit inclure l'utilisation d'un logiciel de géomatique pour visualiser les portions d'images (tuiles), les choisir judicieusement, les tronquer si nécessaire, et les disposer dans une éventuelle mosaïque.

6) Étude de cas de la rivière des Outaouais à Quyon, Québec

Un important glissement de terrain a eu lieu il y a environ 1000 ans (*Brooks, 2013*) dans les argiles marines près de Quyon en Outaouais à 50 km à l'ouest d'Ottawa/Gatineau (Figure 15). Le glissement a vraisemblablement entraîné du matériel jusque dans la rivière des Outaouais. En conséquence, il n'est pas impossible que des traces du glissement subsistent au fond de la rivière, sous une forme ou une autre; d'où l'intérêt, entre autres, d'un relevé sonar exploratoire dans ce secteur. A cet endroit, la rivière a une largeur d'environ 350 m. Elle coule d'ouest vers l'est. Un traversier a son quai d'amarrage à Quyon (Figure 16).

Un relevé au sonar imageur de qualité consommateur y a été effectué pour :

- Maîtriser l'utilisation de cet outil grand public.
- Donner un aperçu de la structure du fond de la rivière.
- Définir les critères d'extrapolation la technique à d'autres plans d'eau et sur les littoraux.



Figure 15. Localisation du village de Quyon sur la rivière des Outaouais, en amont d'Ottawa/Gatineau



Figure 16. Rivière des Outaouais, vue vers l'aval, à partir du traversier de Quyon.

6.1) Plan de relevé au sonar imageur

Les vents dominants étant d'ouest vers l'est, le plan de relevé principal a été orienté dans ce sens. De plus, le relevé a été effectué un jour de semaine pour réduire les possibilités de vagues causées par les embarcations avoisinantes. Le jour du relevé a été choisi selon des prévisions de vent calme ou nul (Figure 17).

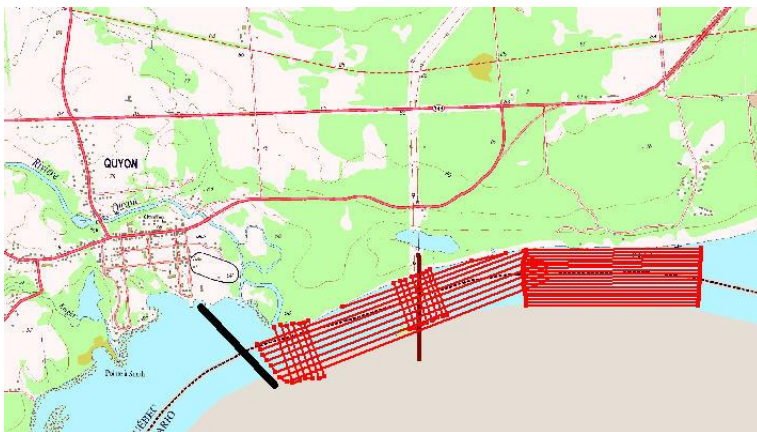


Figure 17. Plan de relevé, rivière des Outaouais, Quyon

6.2) Relevé au sonar imageur

Le relevé par sonar imageur de qualité consommateur a été effectué en zodiac en effectuant des relevés en long et en travers de la rivière pour évaluer la contribution d'images acquises selon différentes orientations. L'apprentissage à l'utilisation de cet appareil grand public est très rapide mais son apprentissage à des fins scientifiques est plus complexe. En bref, l'utilisateur configure quelques paramètres de base et active l'enregistreur. Les données de l'imageur et de géoréférence sont enregistrées simultanément et automatiquement sur une carte mémoire (Figure 18 &19)

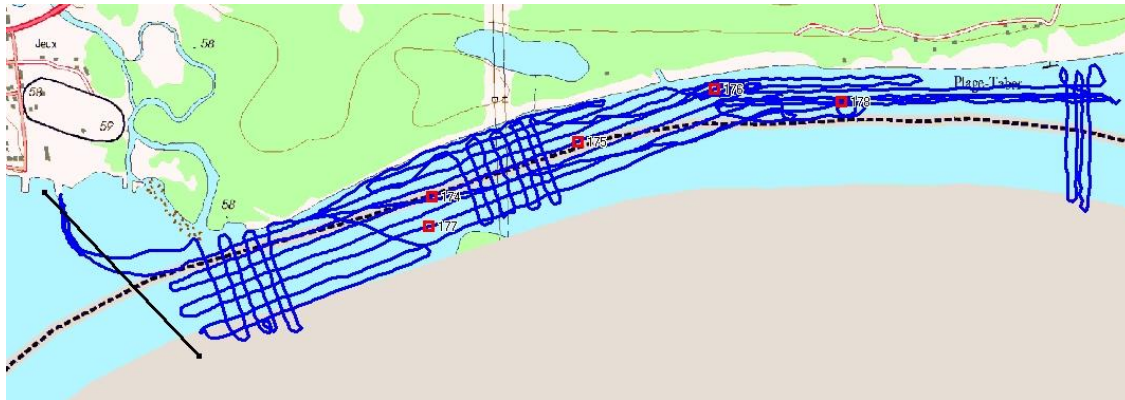


Figure 18. Trajet suivi selon l'enregistrement GPS de l'unité sonar

Le relevé a été effectué pour fournir le maximum d'information sur la structure du fond de la rivière. Les relevés en long, avec des trajets très rapprochés les uns des autres, visaient à produire une mosaïque d'images géocodées couvrant le territoire de façon uniforme en terme d'angle de visée (lors de la visualisation). Les relevés en travers de la rivière visaient à déterminer le contenu en information de ces données.

L'expérience démontre qu'on peut réduire l'espacement entre les lignes de relevé jusqu'à environ 10 mètres. La capacité d'un opérateur à maintenir un trajet rectiligne se limite à environ 4 mètres considérant qu'il doit se fier sur un GPS en temps réel dont la précision est d'environ 1-2 mètres. Obtenir une bonne précision de relevé requiert une attention soutenue de la part de l'opérateur.

En bref, le relevé doit être basé sur des trajets les plus rectilignes possible, et à une vitesse lente et constante; et ce, malgré vents et courants.

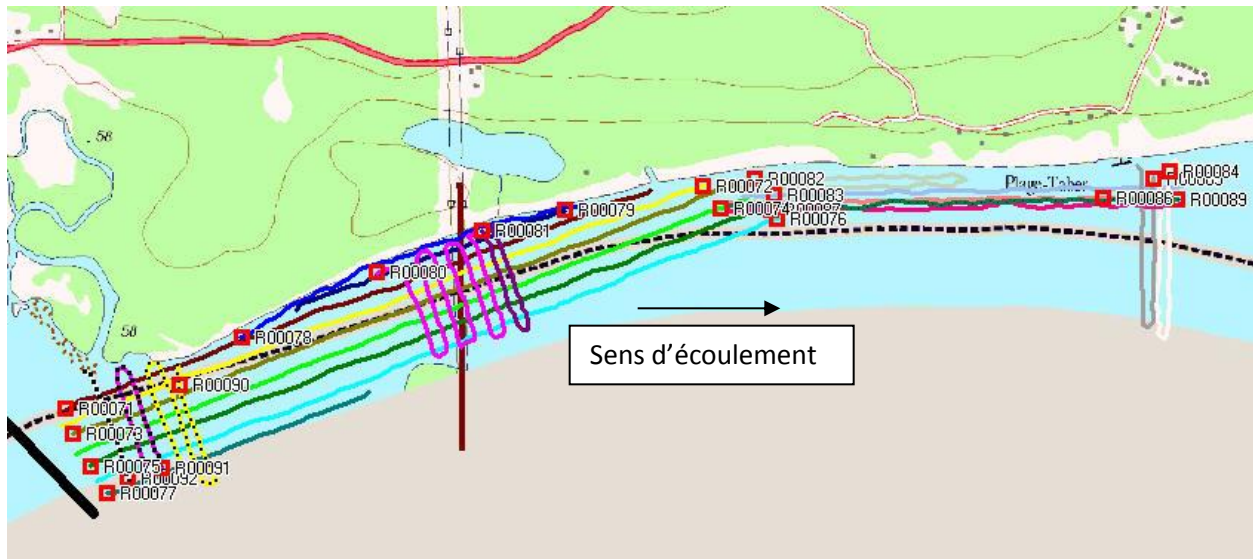


Figure 19. Lignes individuelles de relevé sur la rivière des Outaouais à la hauteur de Quyon.

Une série de 21 lignes de relevé ont été enregistrées pour un total de 23 km parcourus, étalés sur 5 heures à la vitesse d'environ 5 km/h. A noter que la rivière coule de la gauche vers la droite sur la figure ci-haut. Les images montrent des phénomènes intéressants associés au sens d'écoulement, notamment pour les images acquises en travers du chenal (Figures 20 & 21).

Le relevé est constitué de lignes de diverses longueurs et acquises selon diverses orientations. La séquence débute à la ligne #71 et se termine à la ligne #91. Il n'y a pas de ligne #88.

Les fichiers sonar sont immenses. On trouvera davantage de détails sur ces fichiers et leur disponibilité publique à l'Annexe 1.

Les lignes 71 à 79 ont été acquises de façon parallèle, **vers l'amont et vers l'aval**, dans la partie **amont** (ouest) du secteur

Les lignes 80-81 ont été acquises en **travers du cours d'eau**, dans la partie **amont** (ouest) du secteur.

Les lignes 82-83-86-87-89 ont été acquises de façon parallèle, **vers l'amont et vers l'aval**, dans la partie **aval** (est) du secteur.

Les lignes 84-85 ont été acquises en **travers du cours d'eau**, dans la partie **la plus en aval** (est) du secteur.

Les lignes 90-92 ont été acquises en **travers du cours d'eau**, dans la partie **la plus en amont** (ouest) du secteur.



Figure 20. Résultat du traitement des données sonar pour une ligne de relevé (ligne 73) superposée à une photographie aérienne.



Figure 21. Résultat du traitement des données sonar pour une ligne de relevé dans le sens du courant (ligne 73) et une ligne de relevé en travers du courant (ligne 81) superposées à une photographie aérienne.

6.3) Production d'une mosaïque d'images

Dans un premier temps, il est possible de superposer la mosaïque sonar à une photographie aérienne géocodée pour donner le contexte au projet. A noter que l'imagerie sonar telle que celle acquise à Quyon a une résolution beaucoup plus fine que celle de la photographie aérienne. En conséquence, et pour conserver la richesse d'information, les produits imprimés doivent l'être à une échelle très détaillée tel le 1:2000 ou même le 1:1000.

Des expérimentations ont été effectuées pour déterminer le *modus operandi* de la confection de mosaïques. Les sonars imageurs ont un faisceau à gauche et un faisceau à droite, chacun d'eux produisant une image indépendante. Les images sonar, tout comme les images radar, ont tout intérêt à être visualisées à partir d'une même orientation. L'œil et le cerveau humain s'y retrouvent plus aisément si les données sont regroupées par orientations cardinales. Ainsi, la mosaïque contiendra tour à tour des images latérales acquises par le faisceau de droite et le faisceau de gauche dépendant de l'orientation finale que l'on veut donner au produit (Figure 22 & 23).

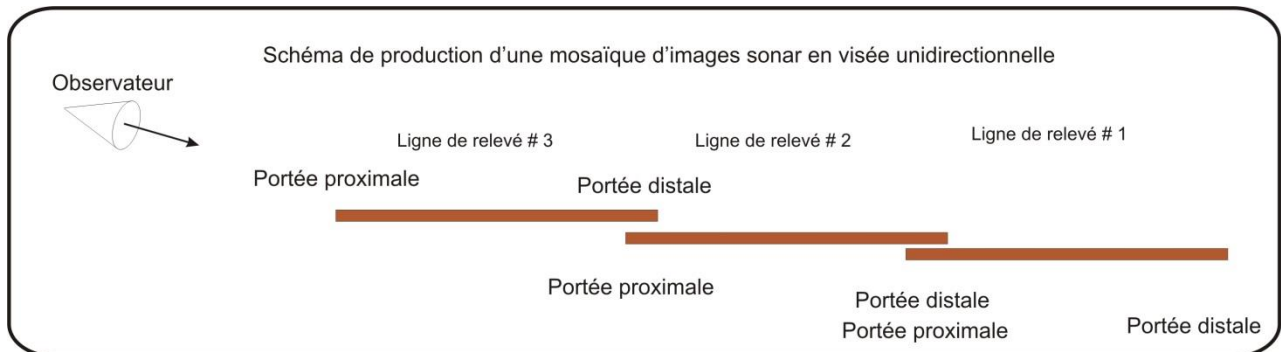


Figure 22. Schéma de production d'une mosaïque d'images d'un sonar latéral en visée unidirectionnelle

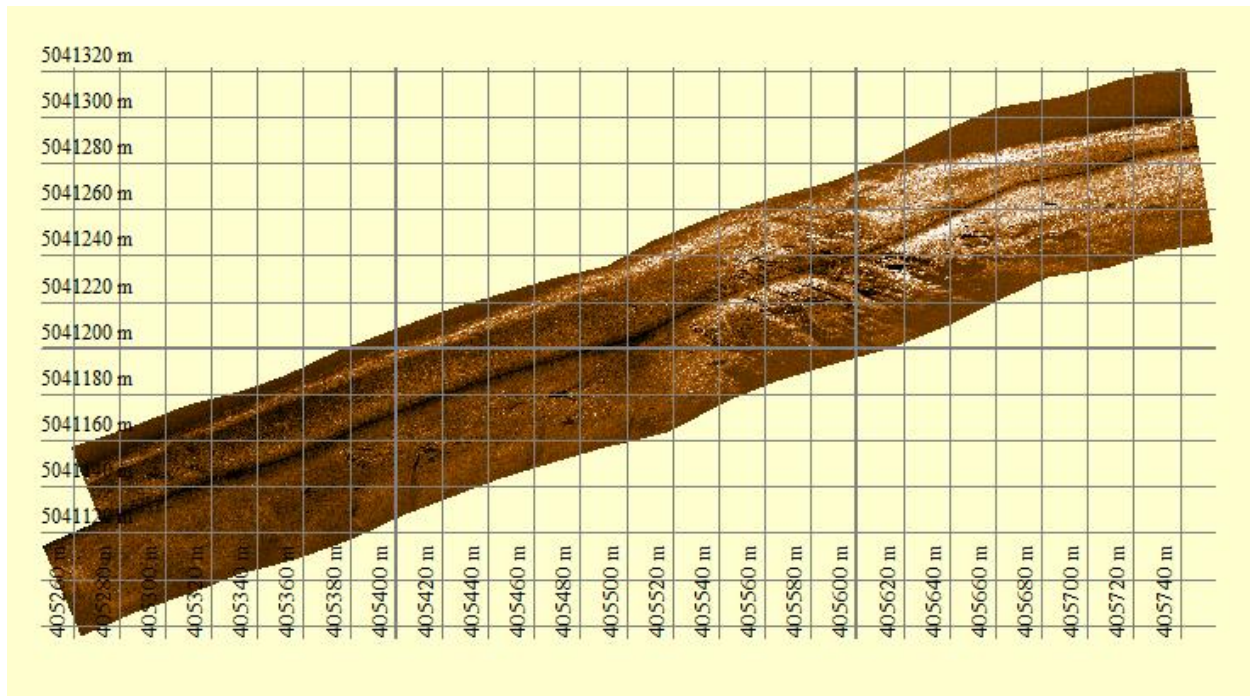


Figure 23. Exemple de mosaïque constituée de deux lignes de relevé.

Dans un premier cas, il a été observé que pour des données acquises dans le sens est-ouest, dans le sens d'écoulement du cours d'eau, la mosaïque la plus révélatrice était constituée d'images acquises en visant vers le sud. De plus, si les lignes de relevé sont assez rapprochées, ces images vers le sud peuvent chevaucher à la manière d'un déclin ou de stores horizontaux. Il a été observé que la mosaïque doit être construite de telle sorte que les images distales (les plus vers le sud) soient en-dessous, et soient partiellement cachées par les autres qui s'y superposent. L'observation démontre que le retour de faisceau sonar sera brillant du côté nord des images (tuiles), alors que les ombres portées seront prédominantes du côté sud. Le cerveau humain semble y retrouver une forme d'éclaircissement provenant du nord (Figure 24-25-26 et 27-28). L'analyse des figures 25 et 26 montre qu'il est possible de cartographier la limite entre le substrat rocheux et les dépôts fluviaux. Une protubérance (inexpliquée) et sa trainée vers l'aval est aussi visible.

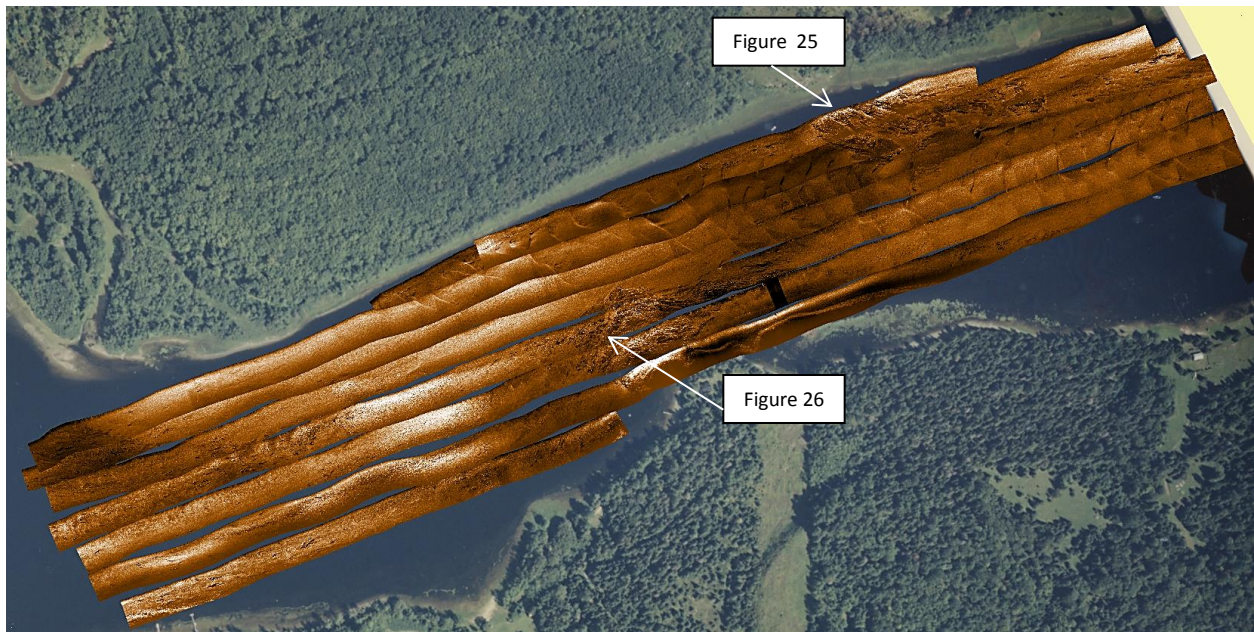


Figure 24. Mosaïque d'images sonar en visée vers le sud, secteur ouest

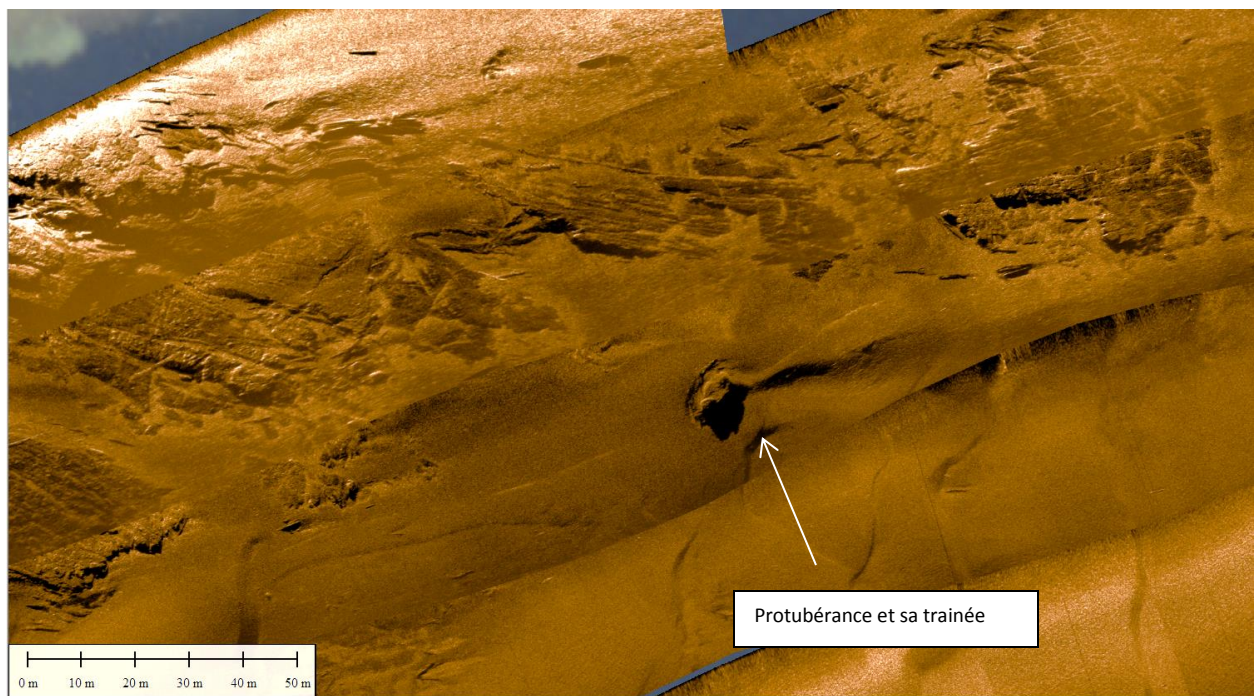


Figure 25. Agrandissement de la figure 24

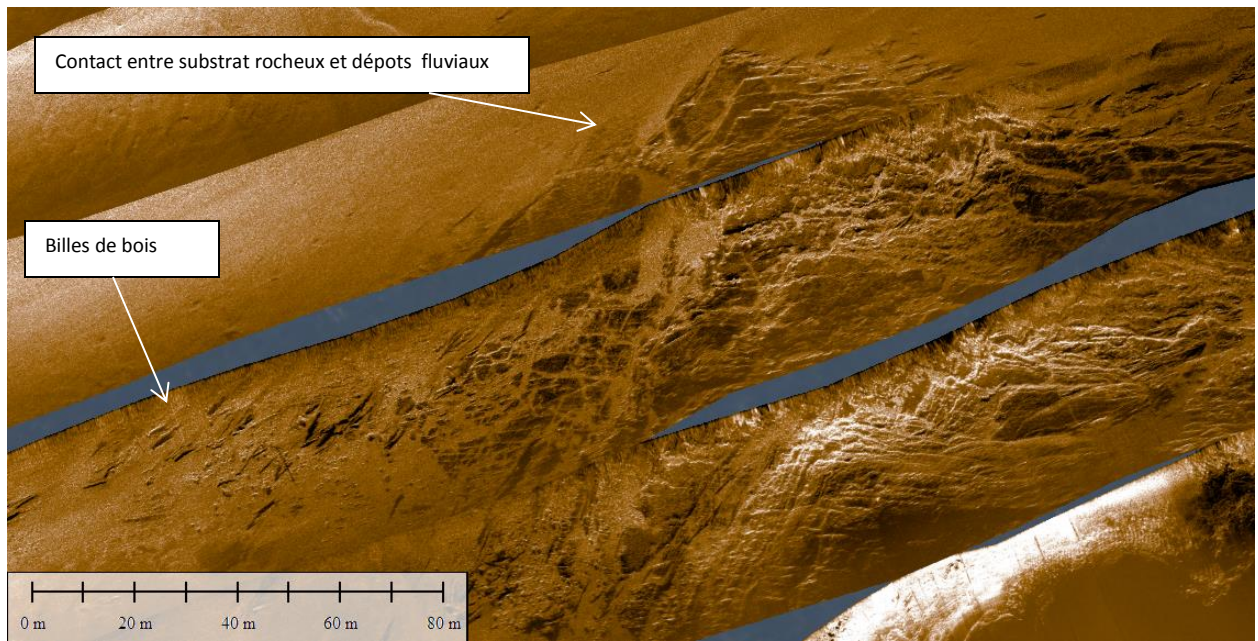


Figure 26. Agrandissement de la figure 24

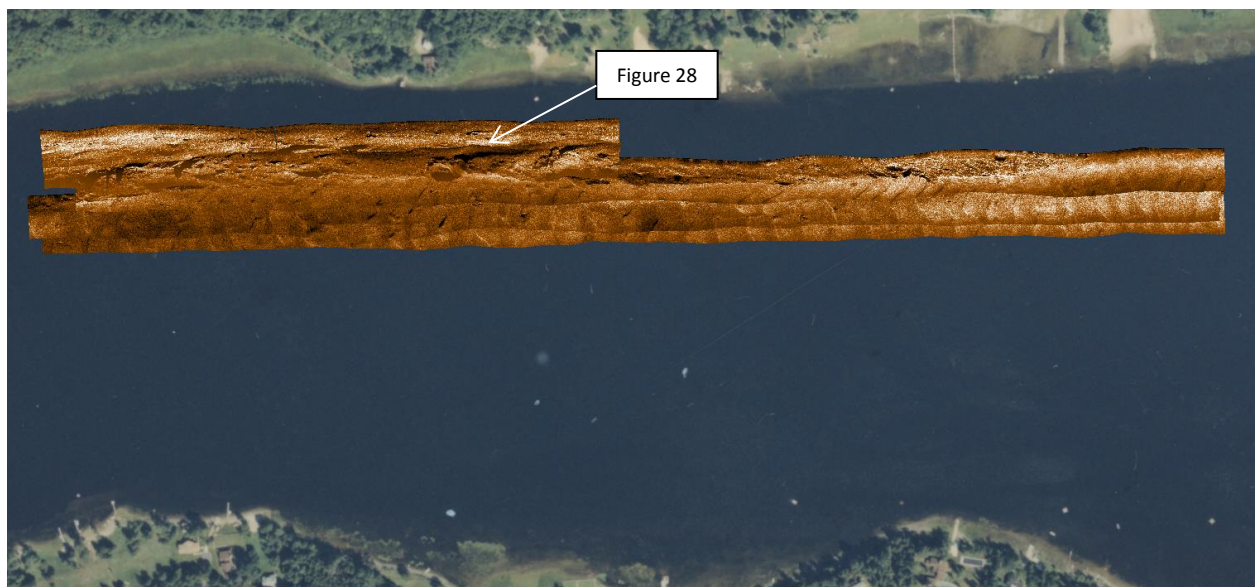


Figure 27. Mosaïque d'images sonar en visée vers le sud, secteur est

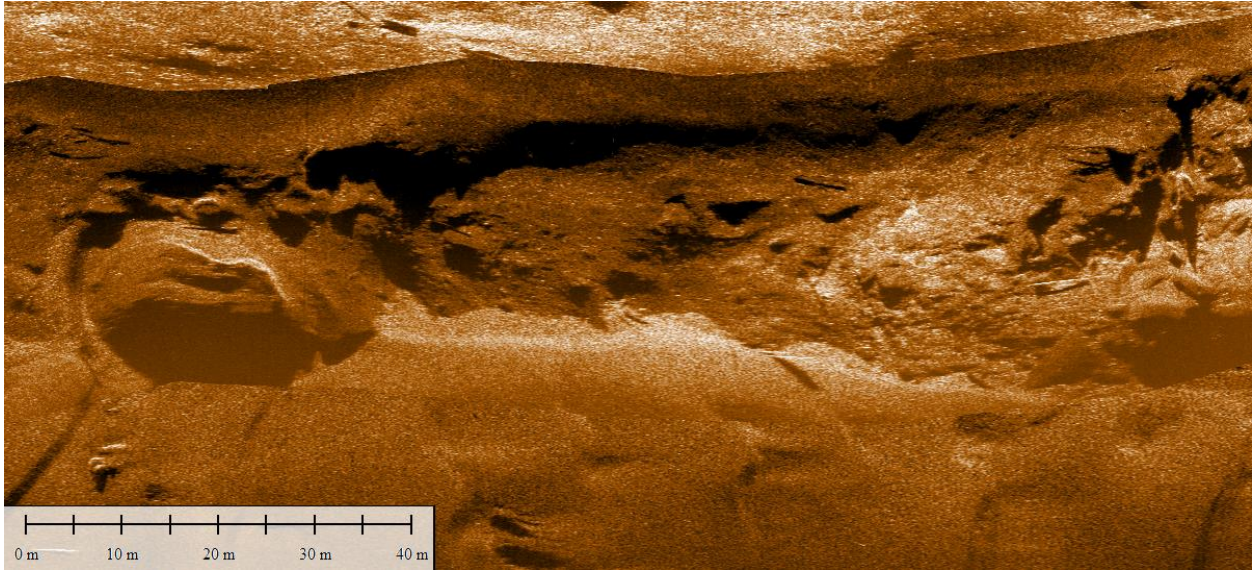


Figure 28. Agrandissement de la figure 27

Dans un second cas, il a été observé que pour des données acquises en travers de la rivière, la mosaïque la plus révélatrice était constituée d'images acquises en visant vers l'aval. Si les lignes de relevé sont assez rapprochées, ces images vers l'aval peuvent se chevaucher à la manière d'un déclin ou de stores horizontaux. Il a été observé que la mosaïque doit être construite de telle sorte que les images distales (les plus vers l'aval) soient en-dessous, et soient partiellement cachées par les autres qui s'y superposent. L'observation a démontré que le retour de faisceau sonar était fortement influencé par les ombres portées des dunes fluviales. Le cerveau humain semble y retrouver une certaine cohérence dans ces ombres portées (Figures 29-30-30a).

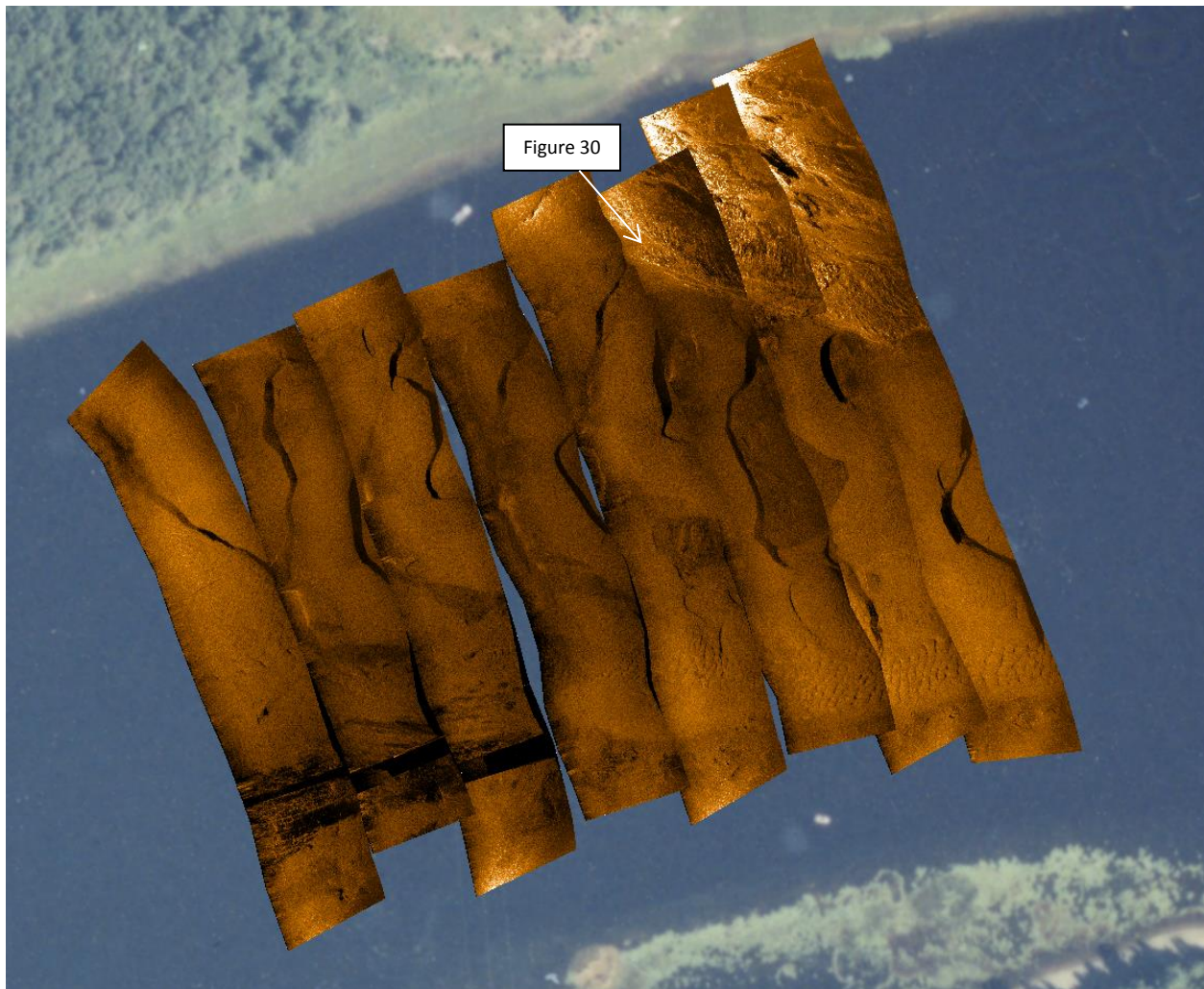


Figure 29. Mosaïque d'images sonar en visée vers l'aval, secteur ouest

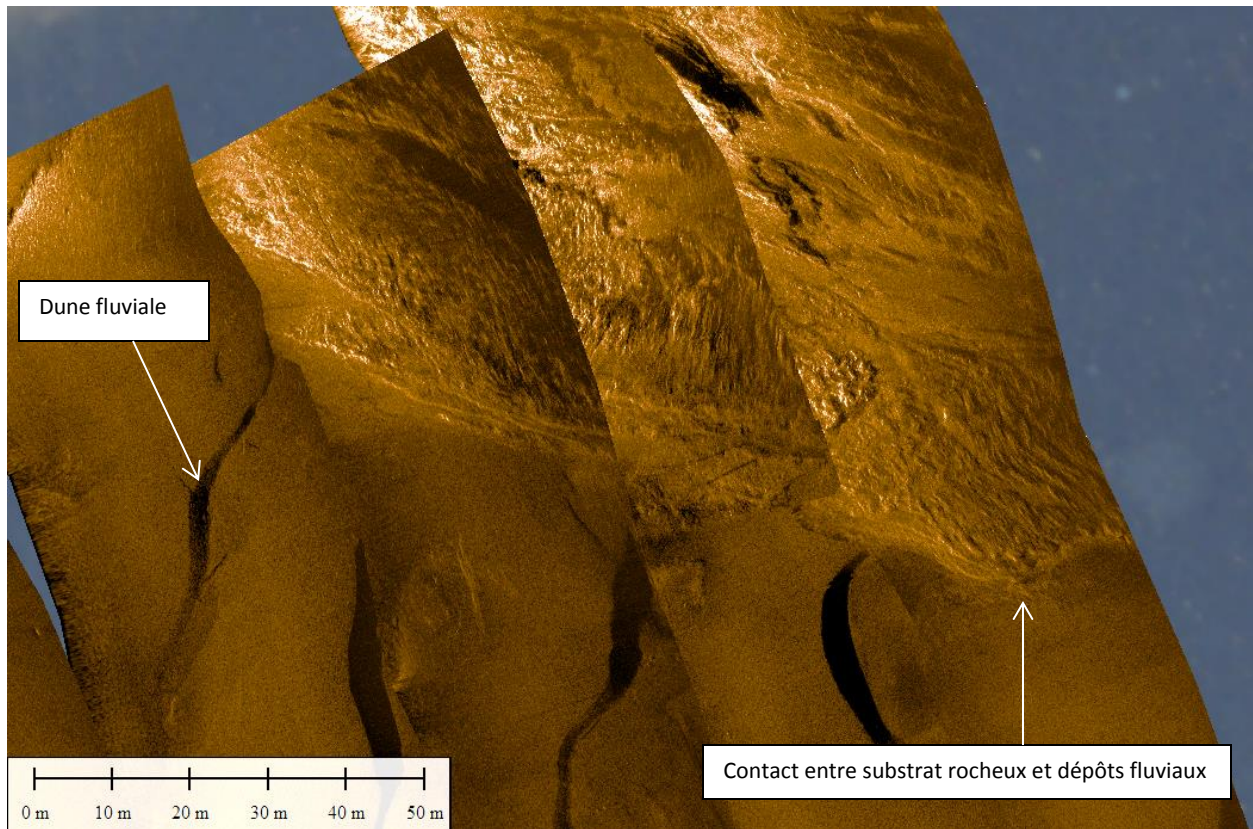


Figure 30. Agrandissement de la figure 29



Figure 30a. Rides de plage actuelles

Finalement, il a aussi été observé qu'il est pertinent de générer des mosaïques distinctes dans des orientations opposées car ces deux produits donnent des informations complémentaires, mais qui ne sont pas intégrables dans un seul produit (Figures 31 & 32).

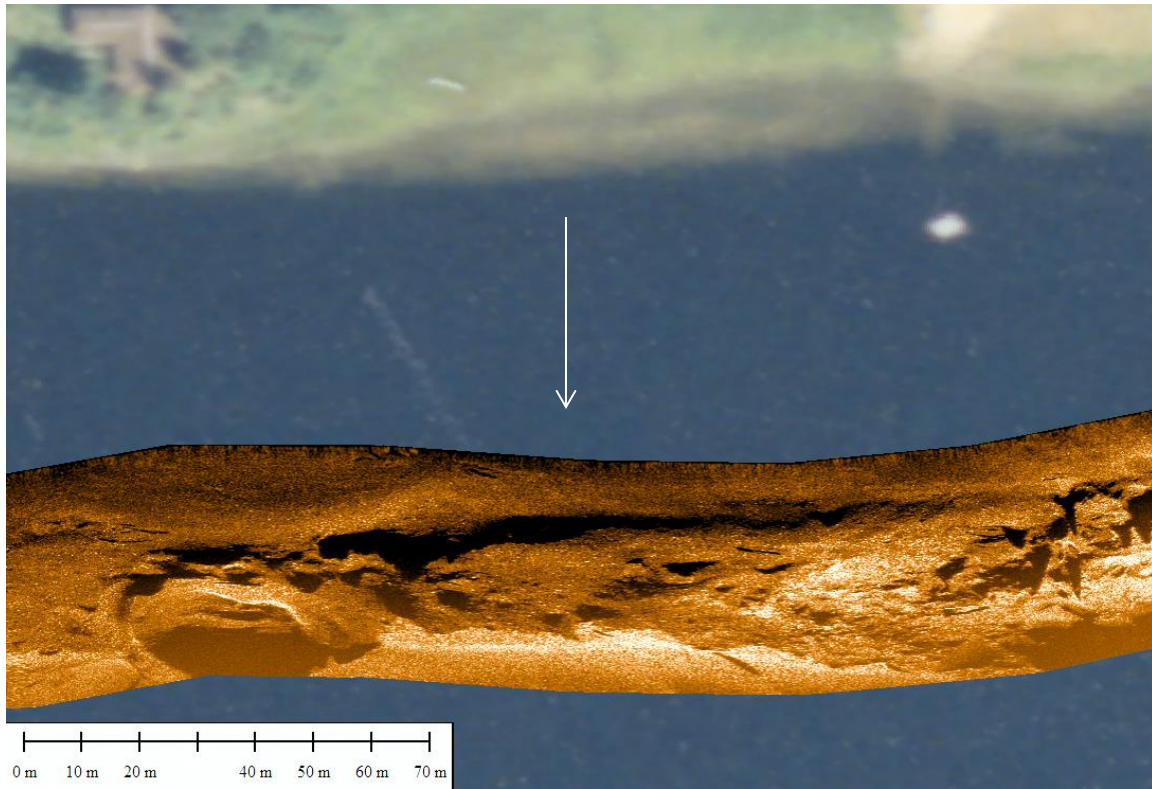


Figure 31. Partie est. Ligne en visée vers le sud

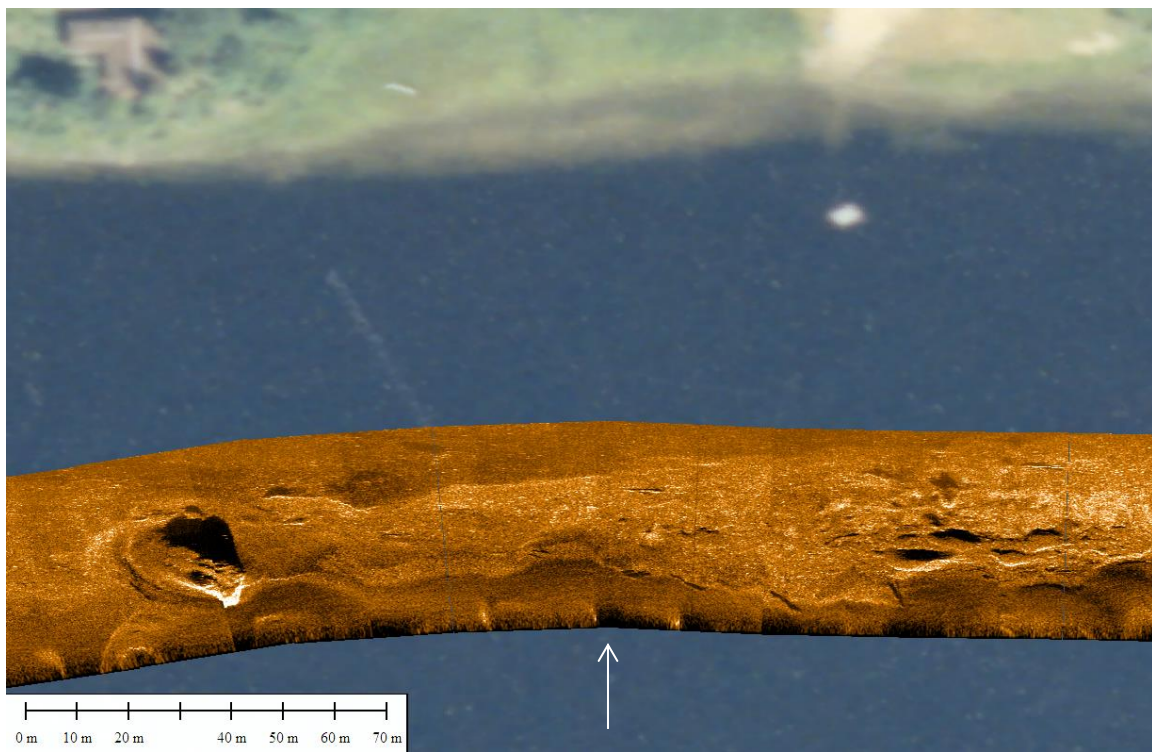


Figure 32. Partie est. Secteur identique à la figure précédente. Ligne en visée vers le nord

6.4) Profil et carte bathymétrique

Le relevé au sonar imageur latéral permet, en plus de produire des images, d'acquérir des données bathymétriques ponctuelles au nadir de la sonde acoustique (l'embarcation) pour la production d'une carte bathymétrique ou pour la production de profils du cours d'eau. Les figures 33 et 34 illustrent des produits qui ont été générés à partir des données acquises par le sonar imageur latéral grand public à Quyon.

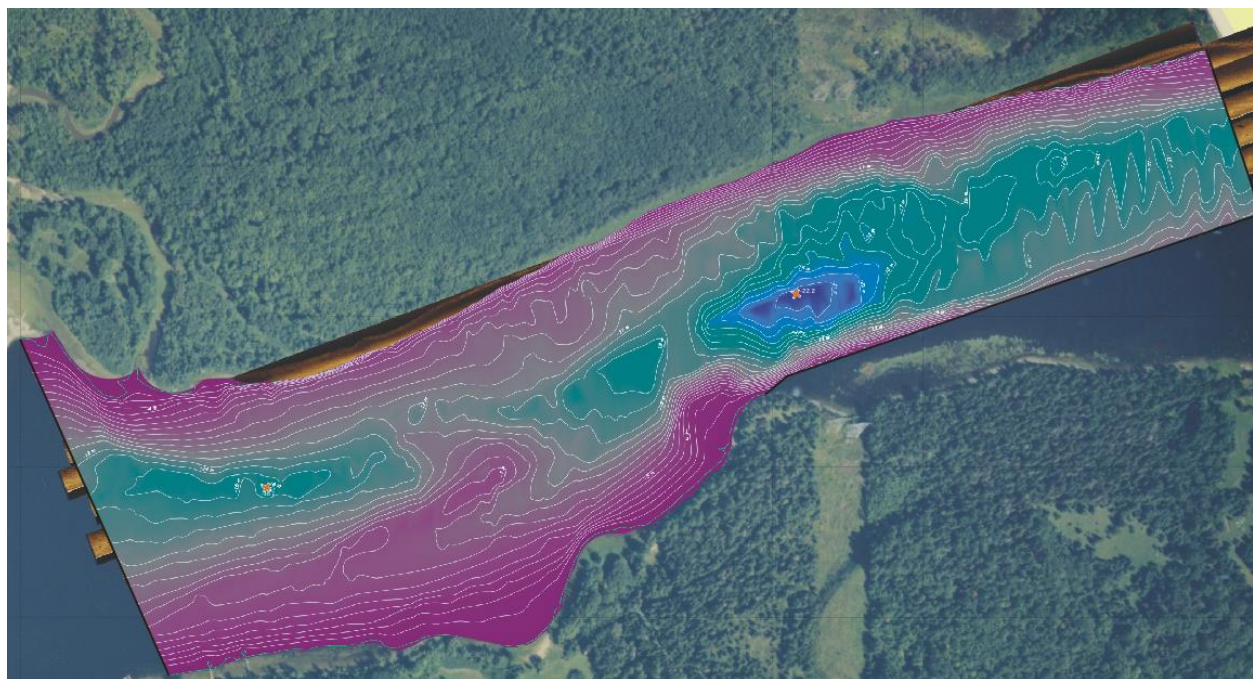
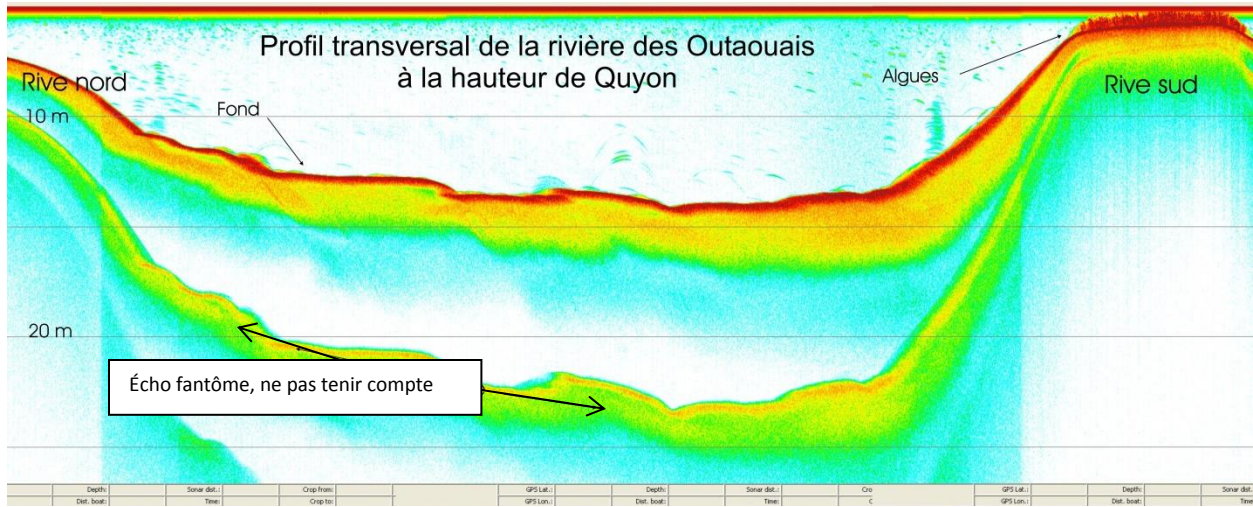


Figure 34. Carte bathymétrique de la rivière des Outaouais à la hauteur de Quyon sur fond de photographie aérienne

7) Résultats et conclusion

Cette étude de cas a permis de dévoiler les capacités des sonars imageurs grand public pour donner une vue détaillée du fond d'un lac, d'une rivière ou d'un bord de mer. De façon plus spécifique, l'étude a permis d'estimer leur potentiel en cartographie géomorphologique de la surface du fond de l'eau : limites du substrat rocheux, contact entre les sédiments et le substrat, linéaments, dunes fluviales et diverses formes d'érosion/dépôt.

L'imagerie produite à Quyon n'a pu déterminer si des résidus de l'ancien glissement de terrain étaient encore visibles au fond de la rivière. Par contre l'imagerie permet de mieux planifier la localisation de profils sonar à très basse fréquence pour une analyse des dépôts sédimentaires en profondeur.

La gamme des applications de cet outil est multiple. Son potentiel est déjà utilisé dans un parc national canadien pour la localisation de billes de bois, entraves potentielles à la navigation de plaisance. Des tests ont aussi démontré son potentiel pour la cartographie de la fracturation de côtes rocheuses en bord de mer, au pied de glissements rocheux. On peut aussi anticiper son application pour la cartographie géomorphologique pour la planification de la localisation de conduites sous fluviales; pipeline devant traverser un cours d'eau par exemple. Bref, il est possible d'envisager l'adaptation de cette technique dans d'autres lieux et pour d'autres thèmes, notamment sur le thème des géorisques, un peu partout à travers le monde. De ce fait, ces sonars imageurs peuvent combler un vide technologique et scientifique dans les régions éloignées, nordiques ou difficiles d'accès.

Finalement, cette étude de cas décrit les principales contraintes liées à la réalisation d'un relevé et identifie des façons de les mitiger, pour le plus grand bénéfice des chercheurs scientifiques et des professionnels.

8) Publications connexes :

Ce document s'inscrit dans la foulée d'une initiative qui a débuté il y a quelques années et qui portait sur l'utilisation d'échosondeurs et de logiciels grand public pour acquérir et intégrer des milliers de points de profondeur pour générer le modèle bathymétrique tridimensionnel d'un plan d'eau afin d'évaluer le volume d'eau des lacs d'approvisionnement des communautés du Nunavut. Le lecteur trouvera ci-après une liste de publication sur ce sujet.

Budkewitsch, P., Prévost, C., Pavlic, G., Pregitzer, M. Juillet 2007. Cartographie et suivi des bassins versants pour l'évaluation d'impact dans les communautés Nordiques - Iqaluit Nunavut. Ressources naturelles Canada. Ottawa. CGC Dossier Public # 6619 & 6750

Budkewitsch, P., Prévost, C., Pavlic, G., Pregitzer, M. Août 2007. Cartographie et suivi des bassins versants pour l'évaluation d'impact dans les communautés Nordiques - Clyde River, Nunavut. Ressources naturelles Canada. Ottawa. CGC Dossier Public # 6620.

Budkewitsch, P., Prévost, C., Pavlic, G., Pregitzer, M. Août 2011. Cartographie et suivi des bassins versants pour l'évaluation d'impact dans les communautés Nordiques - Cape Dorset, Nunavut. Ressources naturelles Canada. Ottawa. CGC Dossier Public # 6843 & 6844.

Armstrong, R., Budkewitsch, P., Prévost, C., Pavlic, G., Pregitzer, M. Août 2011. Description des données bathymétriques de Rankin Inlet, Nunavut. Ressources naturelles Canada. Ottawa. CGC Dossier Public # 6751

Budkewitsch, P., Prévost, C., Pavlic, G., Pregitzer, M. Août 2013. Cartographie et suivi des bassins versants pour l'évaluation d'impact dans les communautés Nordiques - Whale Cove, Nunavut. Ressources naturelles Canada. Ottawa. CGC Dossier Public # 6848 & 6847

Budkewitsch, P., Prévost, C., Pavlic, G., Pregitzer, M. Août 2013. Cartographie et suivi des bassins versants pour l'évaluation d'impact dans les communautés Nordiques - Arviat, Nunavut. Ressources naturelles Canada. Ottawa. CGC Dossier Public # 6846 & 6845

9) Références et remerciements

-A massive sensitive clay landslide, Quyon Valley, southwestern Quebec, Canada, and evidence for a paleoearthquake triggering mechanism. Brooks, G R; Quaternary Research (New York) vol. 80, no. 3, 2013; p. 425-434

<http://www.windguru.cz/fr/>

<http://www.humminbird.com/>

<http://www.lowrance.com/>

<http://son2xtf.software.informer.com/>

<http://humviewer.cm-johansen.dk/>

<http://www.navicom.fr/telechargements/logiciels-pour-humminbird>

L'auteur désire remercier :

-M. Vernon Singhroy, Chef de projet, collègue, ingénieur géologue, et chercheur en télédétection appliquée aux géorisques, pour son appui soutenu et ses judicieux conseils.

-M. Greg Brooks, Chef de projet, Géomorphologue des processus fluviaux, Commission géologique du Canada, pour son interprétation géomorphologique d'images sonar de Quyon.

-M. Yves Martinet et Mme Mélanie Poirier du Comité ZIP des Iles-de-la-Madeleine pour leurs conseils sur les conditions d'acquisition en milieu côtier.

-M. Gaëtan Synnott, du parc National de la Mauricie, Parcs Canada, pour son partage d'expérience sur les sonars imageurs grand public.

Annexe 1

Recueil des données acquises par sonar imageur latéral grand public sur la rivière des Outaouais à la hauteur de Quyon, Québec

Ce document contient la liste des fichiers numériques traités pour la production d'images sonar géocodées, et pour la production de mosaïques d'images sonar. Ces fichiers sont disponibles pour distribution. Chacun des fichiers est illustré.

Ces fichiers numériques en format geotiff sont disponibles sur demande en contactant l'auteur :

Christian Prévost
Centre canadien de cartographie et d'observation de la Terre
Secteur des sciences de la Terre
Ressource naturelles Canada
560 Rochester, 6^e étage, Ottawa, Ont. K1A 0E4



Figure A1-1. Carte de localisation



Figure A1-2. Carte de localisation

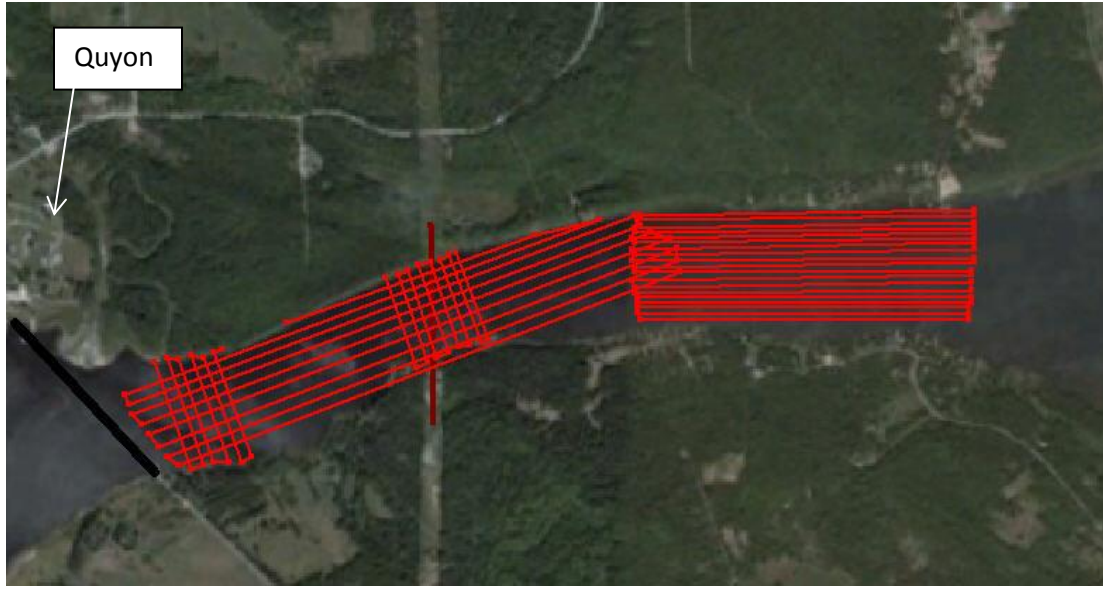


Figure A1-3. Site de Quyon, plan de relevé sonar sur fond de photographie aérienne

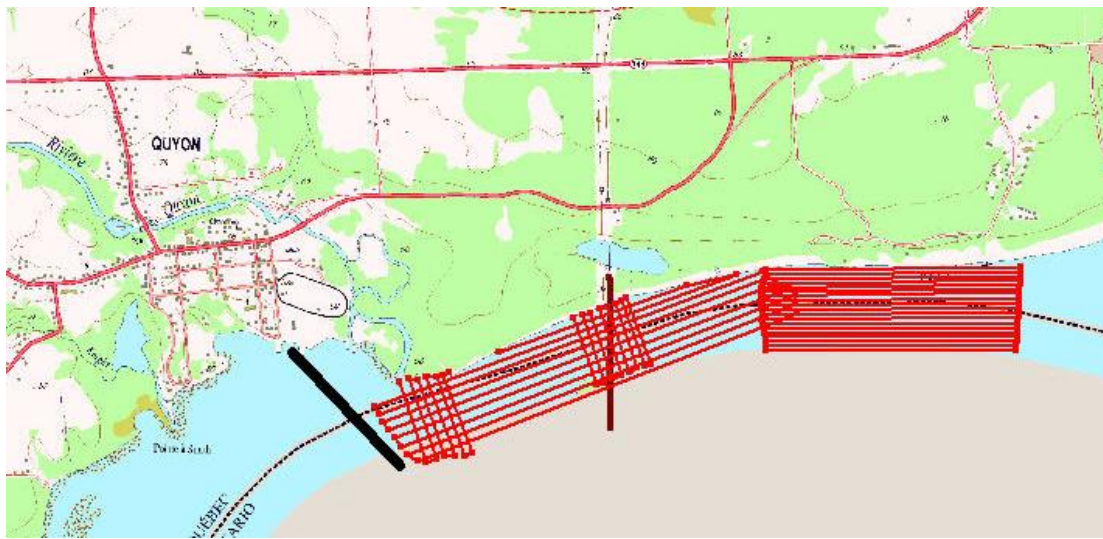


Figure A1-4. Site de Quyon, plan de relevé sonar sur fond de carte 1 :20,000

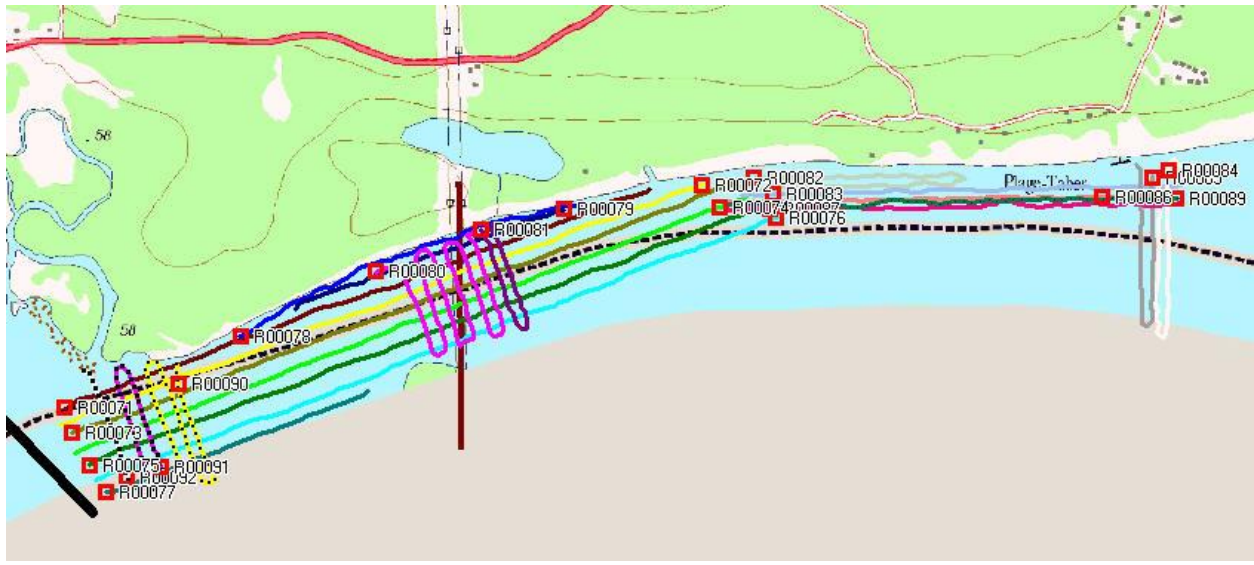


Figure A1-5. Site de Quyon, relevé sonar tel qu'il a été effectué.

Le relevé au sonar imageur latéral grand public de Quyon est constitué de lignes de relevé de diverses longueurs et acquises selon diverses orientations. La séquence débute à la ligne #71 et se termine à la ligne #92. Il n'y a pas de ligne #88.

Les lignes 71 à 79 ont été acquises de façon parallèle, vers **l'amont et vers l'aval**, dans la partie **amont** (ouest) du secteur

Les lignes 80-81 ont été acquises en **travers du cours d'eau**, dans la partie **amont** du secteur.

Les lignes 82-83-86-87-89 ont été acquises de façon parallèle, **vers l'amont et vers l'aval**, dans la partie **aval** (est) du secteur.

Les lignes 84-85 ont été acquises en **travers du cours d'eau**, dans la partie **la plus en aval** du secteur.

Les lignes 90-92 ont été acquises en **travers du cours d'eau**, dans la partie **la plus en amont** du secteur.

Les fichiers sonar sont immenses. Leur résolution originale, après traitement, est de 19 mm. En conséquence, on retrouve dans plusieurs cas, en tandem, un fichier à résolution originale et un fichier en version rééchantillonnée à 100 mm (.1 m).



Figure A1-6. Site de Quyon, exemple des lignes 71 à 79 sur fond de photographie aérienne.

-Image de fond pour la partie ouest

> sonar>Photo aérienne 15K > Partie ouest.tif

UTM, 24 bits, 9750 pixels, 4850 lignes, 0.2 mètre, 138 megs.



Figure A1-7.

-Image de fond pour la partie est

> sonar> Photo aérienne 15K > Partie est.tif

UTM, 24 bits, 9750 pixels, 4850 lignes, 0.2 mètre, 138 megs.



Figure A1-8.

-Lignes 79-78-71-72-73-74-75-76-77

Lignes est-ouest de la partie ouest en visée vers le nord.

Fichiers pour distribution

[> sonar>Lignes 71-79>visée_nord.tif](#)

18668 pixels x 10304 lignes x 4 bandes, 100 mm, 751 megs



Figure A1-9

Lignes est-ouest de la partie ouest en visée vers le sud

[> sonar>lignes 71-79>visée_sud.tif](#)

16622 pixels x 8216 lignes x 4 bandes, 100 mm, 533 megs



Figure A1-10.

Cette visée vers le sud constitue le meilleur produit de visualisation. Cette mosaïque en visée vers le sud est le produit qui contient le plus d'information en ce qui à trait aux données acquises parallèlement au sens d'écoulement de la rivière.

-Lignes 80-81

Lignes en travers de la rivière, dans la partie ouest en visée vers l'amont

Fichiers pour distribution

[>sonar>Lignes 80-81>visée vers amont-19 mm.tif](#)

19166 pixels, 19936 lignes, 4 bandes, 19 mm de résolution, 1.5 gigabytes

Il existe aussi une version rééchantillonnée à 100mm :

[>sonar>lignes 80-81>visée vers amont-100 mm.tif](#)

3683 pixels, 3831 lignes, 4 bandes, 100 mm de résolution, 55 megabytes

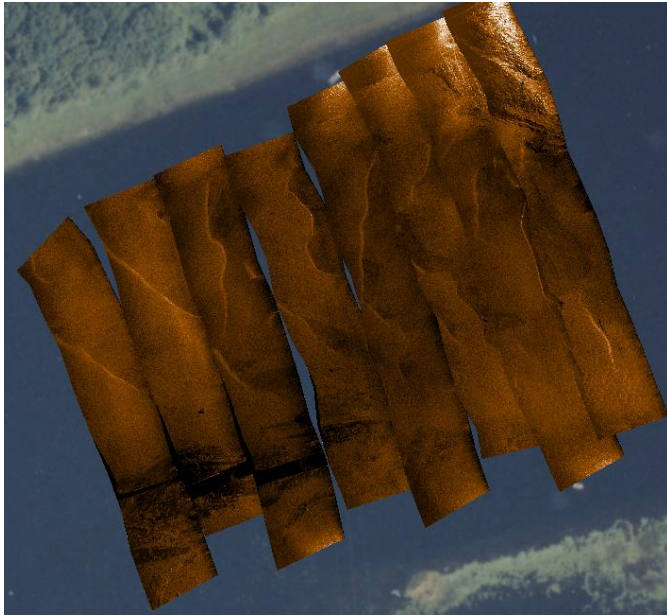


Figure A1-11.

Lignes en travers de la rivière, dans la partie ouest en visée vers l'aval

[>sonar>Lignes 80-81> visée vers aval-19 mm.tif](#)

19169 pixels, 17225 lignes, 4 bandes, 19 mm de résolution, 1.3 gigabytes

Il existe aussi une version rééchantillonnée à 100mm :

[>sonar>Ligne 80-81>visée vers aval-100 mm.tif](#)

3683 pixels, 3309 lignes, 4 bandes, 100 mm de résolution, 47 megabytes

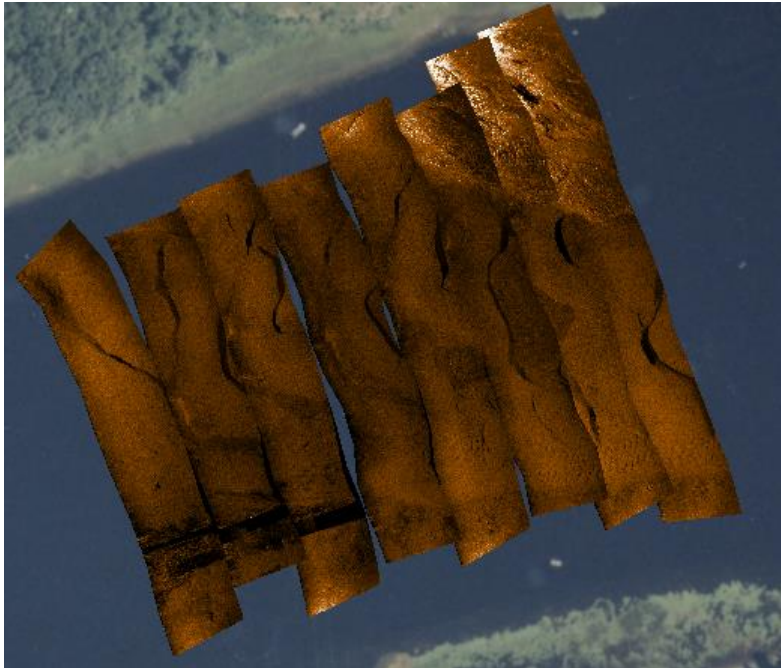


Figure A1-12. Lignes 80-81 en visée vers l'aval. Meilleur produit pour les lignes 80-81. Le produit en visée vers l'aval est le produit qui contient le plus d'information en ce qui à trait aux données acquises en travers de la rivière.

-Lignes 82-83-86-87-89

Lignes est-ouest de la partie est en visée vers le sud.

Fichiers pour distribution

[> sonar>Lignes 82-83-86-87-89>Visée sud-19mm.tif](#)

58131 pixels, 7616 lignes, 4 bandes, 19 mm de résolution, 1.7 gigabytes

Il existe aussi une version rééchantillonnée à 100mm :

[> sonar>Lignes 82-83-86-87-89> Visée sud-100mm.tif](#)

11143 pixels, 1460 lignes, 4 bandes, 100 mm de résolution, 56 megabytes



Figure A1-13 Cette visée vers le sud constitue le meilleur produit de visualisation

Lignes est-ouest de la partie est en visée vers le nord.

[> sonar>Lignes 82-83-86-87-89>visee_nord-19mm.tif](#)

62218 pixels, 10094 lignes, 4 bandes, 19 mm de résolution, 2.4 gigabytes

Il existe aussi une version rééchantillonnée à 100mm :

[> sonar>Lignes 82-83-86-87-89>visee_nord-100mm.tif](#)

11938 pixels, 1937 lignes, 4 bandes, 100 mm de résolution, 90 megabytesbytes

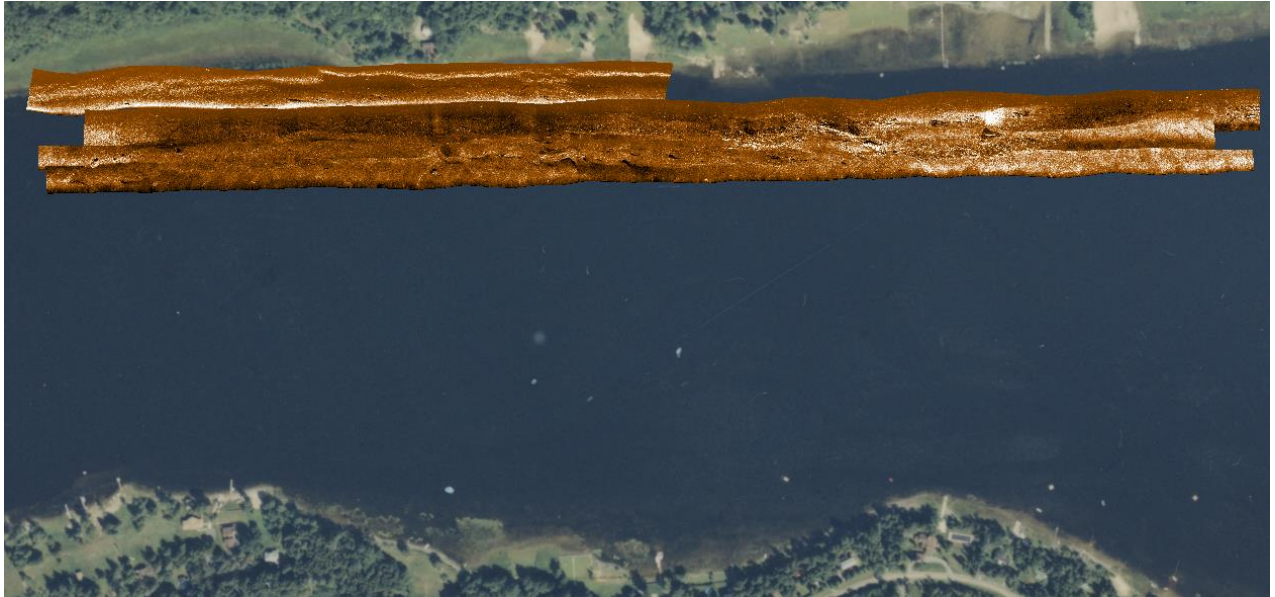


Figure A1-14.

-Lignes 84-85

Lignes en travers de la rivière, dans la partie la plus en aval, en visée vers l'aval

Fichiers pour distribution

sonar> Ligne 84-85> visee_aval_19 mm.tif

8904 pixels, 23749 lignes, 4 bandes, 19 mm de résolution, 825 megs,

Il existe aussi une version rééchantillonnée à 100mm :

sonar> Ligne 84-85> visee_aval_100 mm.tif

1709 pixels, 4558 lignes, 4 bandes, 100 mm de résolution, 29 megs,



Figure A1-15. Cette visée vers l'aval constitue le meilleur produit de visualisation.

Lignes en travers de la rivière, dans la partie la plus en aval en visée vers l'amont

[sonar > Ligne 84-85> visée_amont-19mm.tif](#)

9409 pixels, 25513 lignes, 4 bandes, 19mm de résolution

Il existe aussi une version rééchantillonnée à 100mm :

[Sonar>> Ligne 84-85> visée_amont-100 mm.tif](#)

1805 pixels, 4894 lignes, 4 bandes, 100 mm de résolution, 34 megabytes



Figure A1-16

-Lignes 90-91-92

Lignes en travers de la rivière, dans la partie la plus en amont, en visée vers l'amont

Fichiers pour distribution

[Sonar>lignes 90-91-92> visée- amont-19 mm.tif](#)

18067 pixels, 17162 lignes, 4 bandes, 19 mm de résolution, 1.2 gigabytes

Il existe aussi une version rééchantillonnée à 100mm :

[sonar> lignes 90-91-92> visée- amont-100 mm.tif](#)

3471 pixels, 3297 lignes, 4 bandes, 19 mm de résolution, 44 megabytes



Figure A1-17.

Lignes en travers de la rivière, dans la partie la plus en amont, en visée vers l'aval

[sonar> Lignes 90-91-92> visee-aval-19 mm.tif](#)

18215 pixels, 17439 lignes, 4 bandes, 19 mm de résolution, 1.2 gigabytes

Il existe aussi une version rééchantillonnée à 100mm :

[sonar> Lignes 90-91-92> visee-aval- 100 mm.tif](#)

3496 pixels, 3347 lignes, 4 bandes, 19 mm de résolution, 45 megabytes

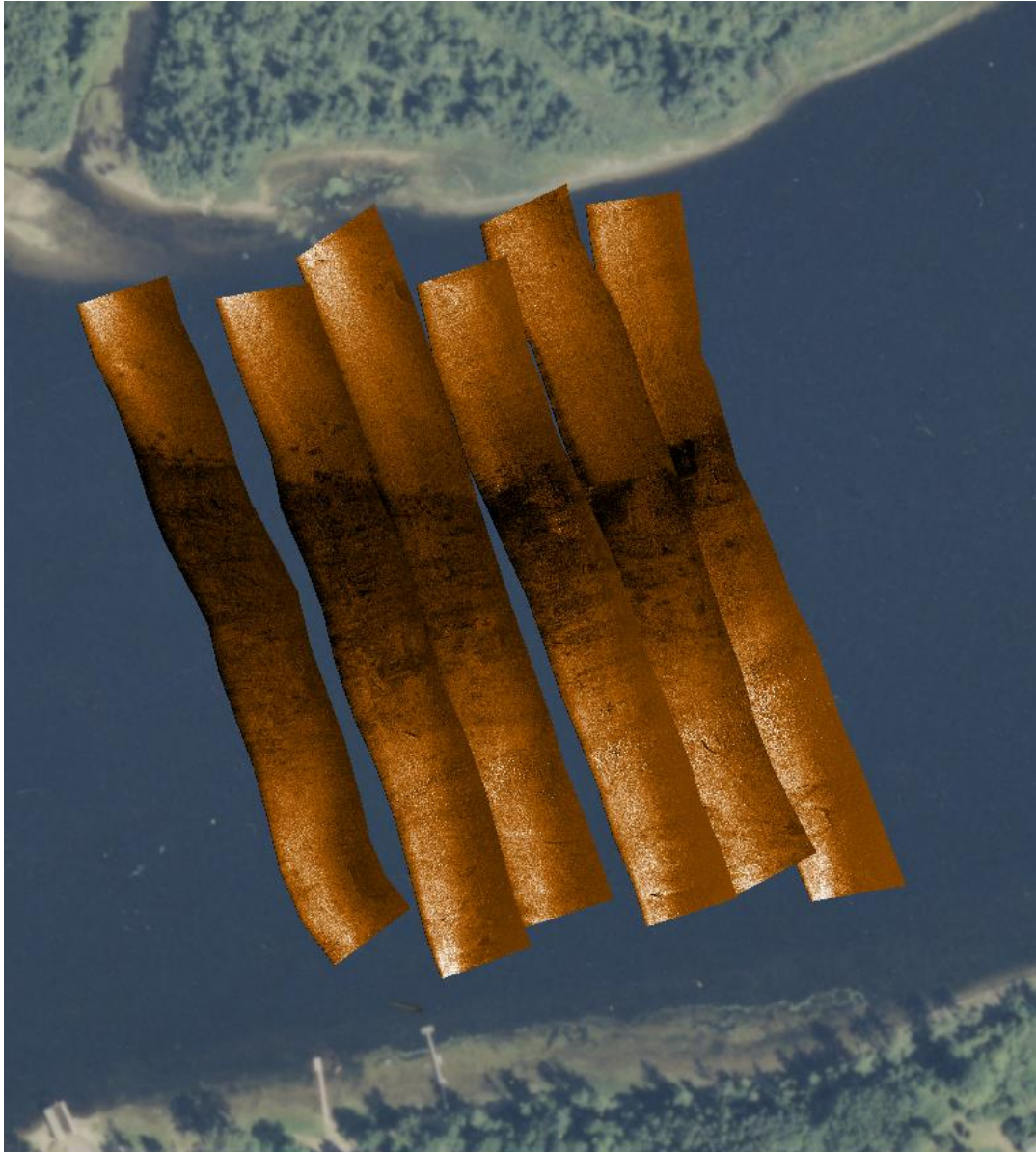


Figure A1-18.
