

INNOVATIVE SOLUTIONS FOR MAPPING NORTHERN CANADA. SOLUTIONS INNOVATRICES POUR LA CARTOGRAPHIE DU NORD CANADIEN

CLAVET D.(1), ROBITAILLE Y.(1), BERNARD M.(2)

(1) *Ressources naturelles Canada, SHERBROOKE, CANADA* ; (2) *Spot Image, TOULOUSE, FRANCE*

Ressources naturelles Canada terminera en mars 2012 la cartographie topographique à l'échelle de 1/50 000 du pays. Actuellement, la production dans le Nord repose sur différentes sources d'imagerie (photos aériennes, Landsat 7, SPOT, ERS) pour l'extraction des données planimétriques et altimétriques. Les différences temporelles entre ces sources de données peuvent entraîner des écarts de positions, notamment sur les glaciers et les calottes glaciaires. La recherche de sources de remplacement pour la production de données topographiques est donc essentielle.

C'est dans ce contexte que le Centre d'information topographique-Sherbrooke (CITS) a mené une étude visant à évaluer les images SPOT5/HRS pour l'acquisition de données topographiques et de modèles numériques de terrain (MNT) à l'échelle de 1/50 000. Le produit SPOT5/HRS est particulièrement intéressant en raison de sa fauchée très large (120 km), et aussi en raison de sa nature stéréoscopique, qui ensemble, pourraient apporter à la fois le relief et les informations vectorielles. En outre, depuis son lancement en 2002, HRS a amassé d'importantes archives stéréoscopiques sur les régions polaires pour les besoins de l'API (Année polaire internationale), ce qui a couvert de facto une partie raisonnable de l'extrême nord du Canada. Une zone d'essai a été sélectionnée où des données de haute qualité produites par stéréo-compilation de photographies aériennes classiques à l'échelle de 1/60 000 étaient disponibles. Les vecteurs topographiques extraits de l'imagerie SPOT5 HRS ont ensuite été comparés aux vecteurs topographiques obtenus par stéréo-compilation de photos aériennes.

Les résultats ont confirmé l'utilité de SPOT5/HRS en vision 3D pour l'extraction des vecteurs topographiques à l'échelle de la carte de 1/50 000 dans l'Arctique et la possibilité de générer en même temps des MNT qui respectent les normes de produit des Données numériques d'élévation du Canada (DNEC). Les précisions horizontale et verticale des données topographiques provenant des images stéréoscopiques SPOT5/HRS sont comparables à celles obtenues à partir de photographies aériennes classiques. Un plan d'acquisition de couples HRS a été mis en oeuvre pour sélectionner les données archivées sur la région d'intérêt. La sélection s'est opérée à partir des quick-looks affichés sur Google Earth, en surperposant la grille du Système national de référence cartographique du Canada (SNRC).

INTRODUCTION

Le Centre d'information topographique de Sherbrooke (CITS) produit et maintient les données topographiques pour le Canada à l'échelle de 1/250 000 et 1/50 000. Bien que la couverture 1/250 000 a été achevée en 1970 (Sebert, 1970), la production de la carte 1/50 000 a été interrompue dans les années 90, laissant une grande partie du nord du Canada non cartographiée. Une couverture complète de cartes topographiques du Nord du Canada est essentielle en tant que base pour la souveraineté du pays et le développement durable de ses ressources. Les zones non cartographiées, en 2003, dans le Nunavut et les Territoires du Nord-Ouest ont une superficie de plus de 800.000 kilomètres carrés, soit l'équivalent de près de 1.500 feuillets cartographiques (Figure 1). C'est le contexte dans lequel le projet CartoNord a été lancé. L'objectif premier du projet était de développer les capacités de collecte de données topographiques numériques à l'échelle de 1/50 000 dans le Nord du Canada en considérant la rareté des ressources humaines et financières.

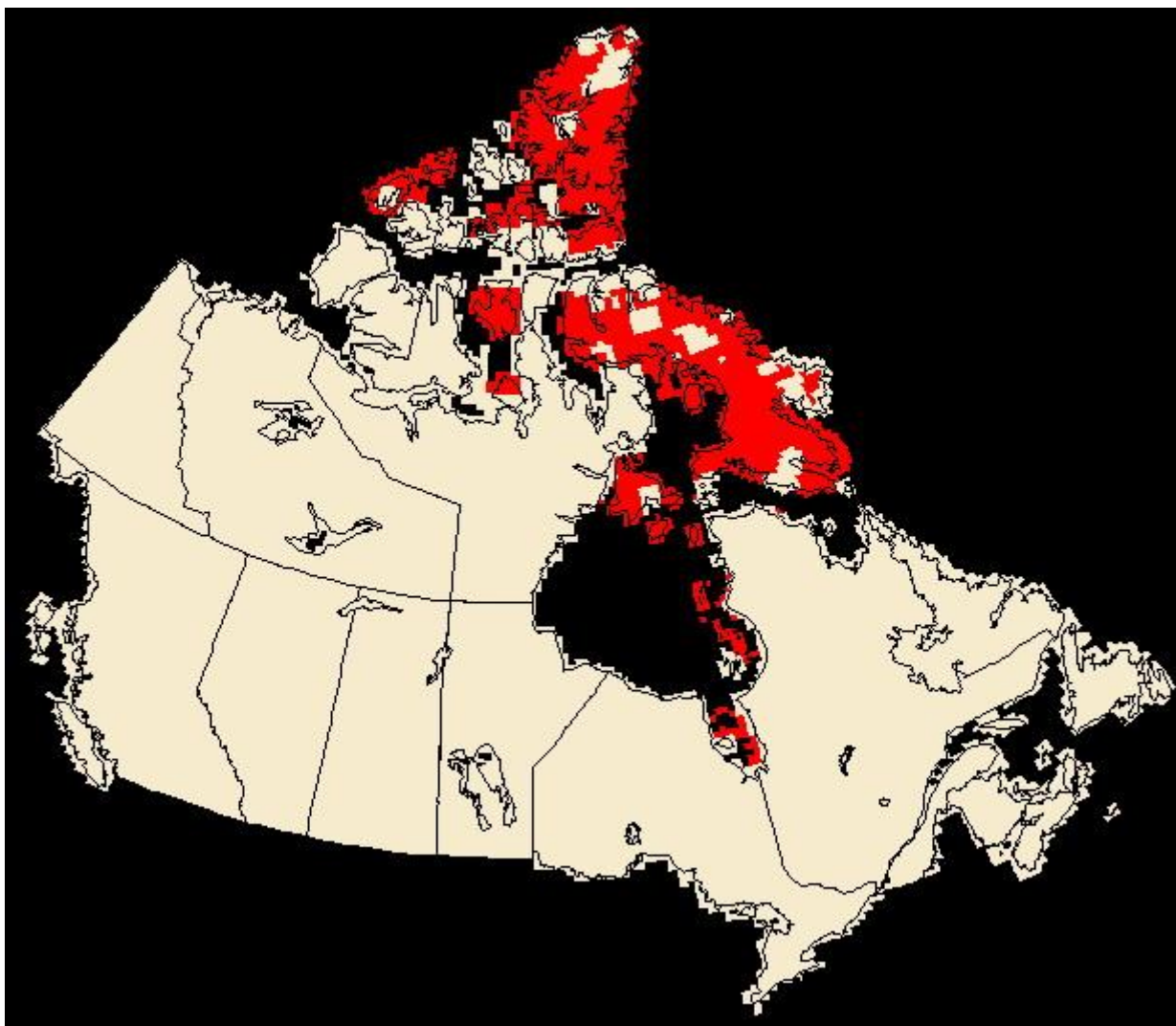


Figure 1: Zones non cartographiées (rouge) à l'échelle 1/50 000 (2003)

La région à cartographier est un territoire éloigné où l'accès est limité et où la saison estivale est courte. L'acquisition des images en période de dégel est une condition essentielle à l'identification des éléments topographiques, car il est difficile d'identifier les caractéristiques du terrain sous le couvert de neige. La couverture nuageuse est un facteur important, puisque les principales sources de données aériennes ou satellitaires sont optiques. Le relief y est très variable, passant de basses terres à des montagnes englacées. Cartographier cette région est donc un grand défi.

Les tests de faisabilité ont commencé en 2003 avec le soutien de l'Agence spatiale canadienne (ASC) et ont été achevés en 2006. Le but était de tester les sources les plus prometteuses et moins coûteuses (photographie aérienne, SPOT, Landsat, Radarsat, ERS) sur les régions du Nord pour déterminer la source offrant le plus grand potentiel pour le parachèvement de la cartographie du Nunavut et des Territoires du Nord-Ouest. La première idée pour compléter la couverture du Nord a été d'utiliser les photographies aériennes qui sont disponibles presque partout, mais elles ont plus de cinquante ans et elles ne peuvent être utilisées à cause de l'évolution intervenue dans les régions couvertes de glaciers. De plus, le coût d'acquisition de nouvelles photographies aériennes serait prohibitif. L'imagerie satellitaire Landsat-7 ETM+ a été la deuxième option : la couverture est complète et assez récente (circa 2000) sur le Nord, mais sans aucune possibilité d'extraire des informations altimétriques. D'autre part, les images du satellite ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) auraient pu être utilisées à la fois pour l'acquisition de la planimétrie et de l'altimétrie, mais le manque d'images appropriées (sans nuages) en archive et les exigences relatives à la précision altimétrique ont forcé le rejet de cette source. Le satellite RADARSAT-1 a acquis de nombreuses images qui auraient aussi pu être utilisées pour extraire la planimétrie et l'altimétrie mais la précision n'a pas toujours été satisfaisante due à la faible résolution spatiale (10 mètres). Les données altimétriques peuvent également être générées à partir des images satellite ERS en mode tandem par interférométrie, mais cette source est limitée par l'impossibilité de

capter des données planimétriques et aussi par la faible qualité des données acceptables dans les régions montagneuses principalement en raison des distorsions géométriques. Les droits d'utilisation, les coûts d'acquisition et la disponibilité sont également des contraintes majeures pour l'utilisation d'autres satellites à haute résolution. Il s'agit d'un véritable dilemme: très peu de sources réunissent exactitude, date récente de validité, coûts acceptables et licences d'utilisation..

Différentes sources de données ont été recommandées en fonction des contraintes imposées par le terrain à cartographier (photographies aériennes existantes combinées avec Landsat7 ETM+, ERS), mais après étude les images SPOT5/HRS demeuraient la meilleure source à investiguer compte tenu du recouvrement stéréoscopique des images qui permet l'identification d'éléments planimétriques et altimétriques, de la date récente des images et de la précision géométrique requise pour les données dérivées de ces images. Toutefois, dû à des contraintes de captage du satellite, une autre source de données était à prévoir au-delà de la limite Nord (80 degré de Latitude Nord) pour palier à l'absence d'images SPOT5/HRS.

La production des données topographiques a débuté en 2004 avec l'aide de l'industrie. Un élément clé du nouveau système de production a été la capacité de produire des données topographiques qui répondaient aux normes cartographiques. Les régions sans glaciers sont cartographiées à partir de photographies aériennes de 1959 et l'information est mise à jour avec l'imagerie SPOT 4/5 et Landsat 7 ETM+. Les régions avec glaciers et où il n'y a pas de photographies aériennes sont cartographiées à partir de SPOT5/HRS au sud du 80 degré de Latitude Nord. Cette production a débutée en 2010 et elle se terminera en mars 2012.

Avec le lancement de satellite RADARSAT-2 en Décembre 2009, un test de faisabilité a été effectué et des recommandations ont été faites pour l'utilisation de cette nouvelle source de données au-delà du 80 degré de Latitude Nord.

LE SITE D'ESSAI – SPOT5/HRS

Le site test est situé à 100 kilomètres au nord-ouest du hameau de Clyde River, Île de Baffin, au Nunavut, à environ 71° O et 71° N (Figure 2). Plus de 80% de la superficie terrestre est couverte par des champs de glace, des glaciers de cirque, et des glaciers émissaires et des glaciers de vallées. Le fjord central, Gibbs fjord, mesure 5 km de large avec des falaises de 500 à 800 mètres de hauteur. L'altitude varie entre niveau de la mer et 1 840 mètres au Pic Kisimngiuqtuq (70° 49' 1" N, 71° 44' 29" O). Ce site procure des environnements représentatifs des îles de l'Arctique.

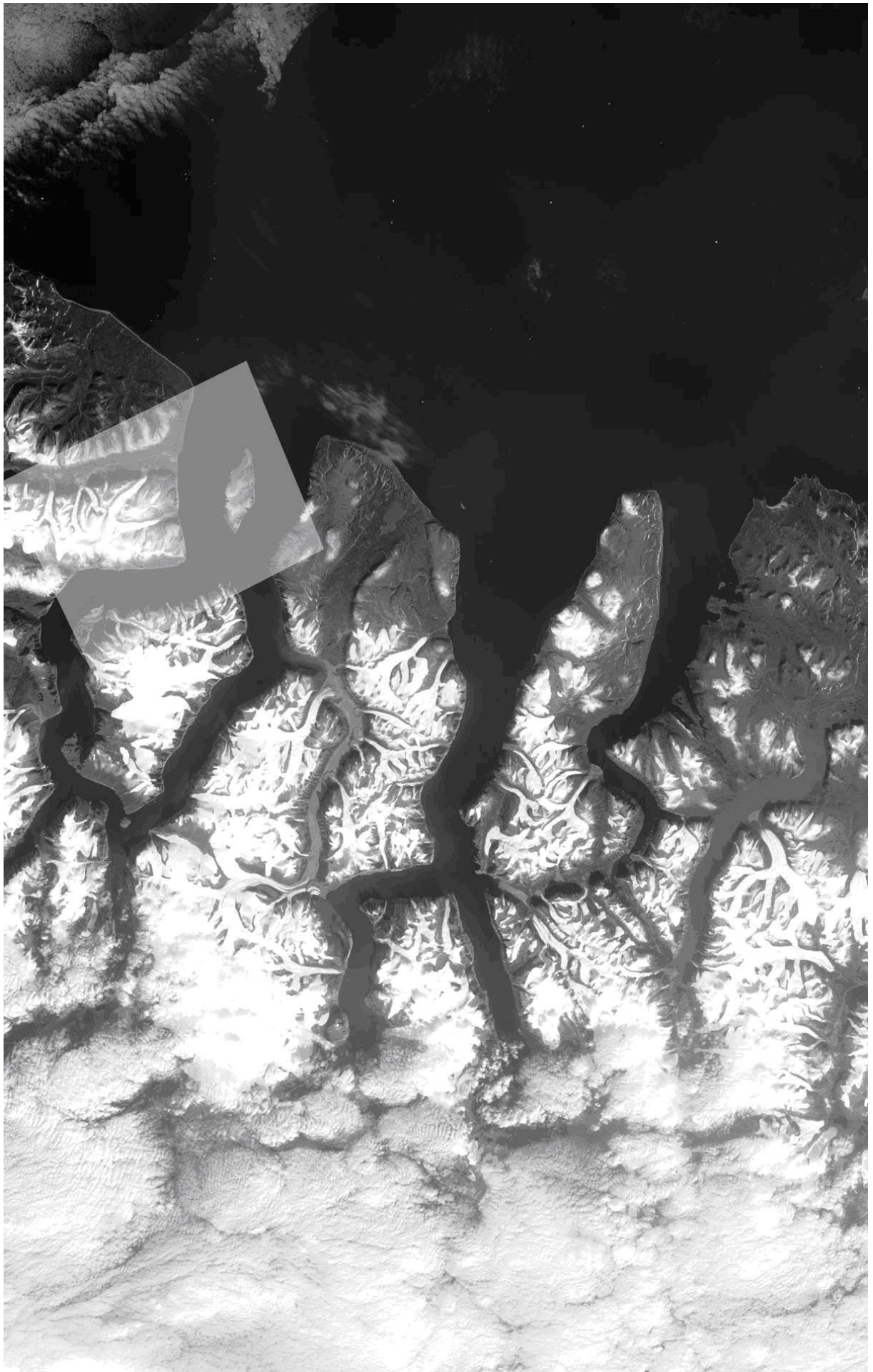


Figure 2. Le site d'essai couvre le feuillet cartographique 27G04 du SNRC à l'échelle de 1/50 000 dans les environs de Clyde River, Île de Baffin, Nunavut. Ce feuillet (représenté ci-dessus en grisé sur fond d'image SPOT5/HRS) a été stéréo-compilé en 2004 à partir de photographies aériennes à l'échelle de 1/60 000 acquises en 1959.

TESTS DE FAISABILITÉ

L'approche utilisée pour les images SPOT5/HRS s'appuie sur la stéréorestitution des éléments topographiques à partir de couples d'images stéréoscopiques par la méthode photogrammétrique (Clavet, 2006). Les images analysées lors de cette étude avaient une dimension de 120 km par 190 km (Figure 2). Les images sont situées dans le spectre du visible (panchromatique: 0.48-0.70 μm), et la résolution au sol est de 10 m (transversal) par 5 m (longitudinal). La qualité radiométrique générale des images est passable. L'étendue dynamique des tons moyens est faible et l'image une fois rehaussée apparaît en zones homogènes causées par la quantification des valeurs de réflectance sur un faible nombre de niveaux de gris. Le faible éclairage solaire de ces hautes latitudes, ainsi que la présence de neige et de glaciers dans le paysage en sont la cause.

Pour le captage des données topographiques, le logiciel commercial LPS 9.0 de la suite Leica ERDAS IMAGINE a été utilisé. Les résiduels (X, Y) de la modélisation 3D étaient de 6 et 10 mètres respectivement, sans utilisation de points d'appui terrain et ils étaient de 5 mètres en X, Y avec l'ajout de 11 points de contrôle terrain de source photogrammétrique.

De façon générale, les éléments planimétriques (glaciers, hydrographie, formes terrestres, etc.) présents dans l'image sont bien visibles et peuvent être extraits de façon productive. Ce sont plutôt des éléments comme les étangs de toundra ou les sols polygonaux dont les formes se mesurent sur quelques mètres qui peuvent être plus difficiles à détecter. Sans faire une analyse exhaustive des clés d'interprétation utilisées pour chacun, voici des captures d'écran de certains éléments pertinents du paysage nordique canadien (Figures 3-8).

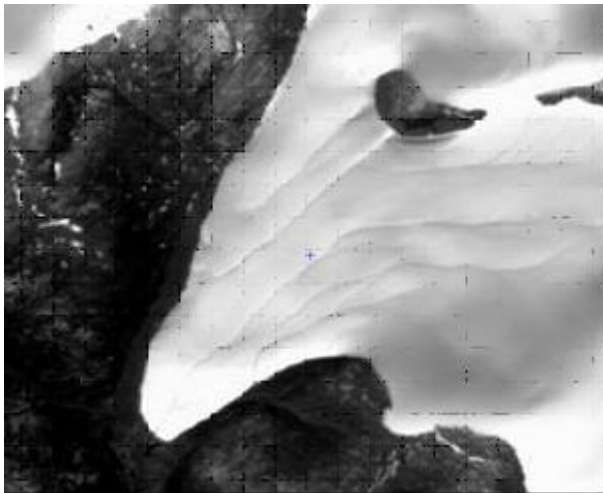


Figure 3: Hydrographie sur glacier

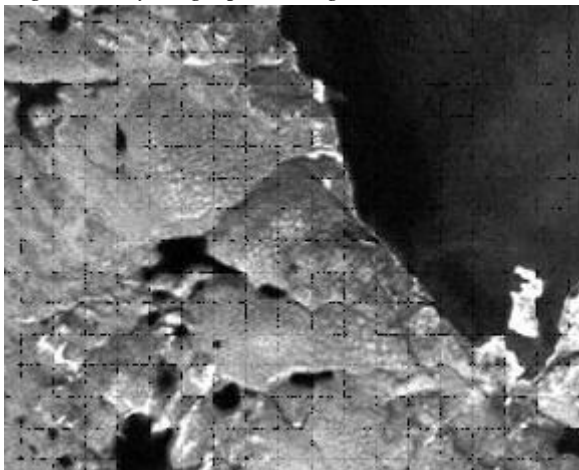


Figure 4: Sols polygonaux

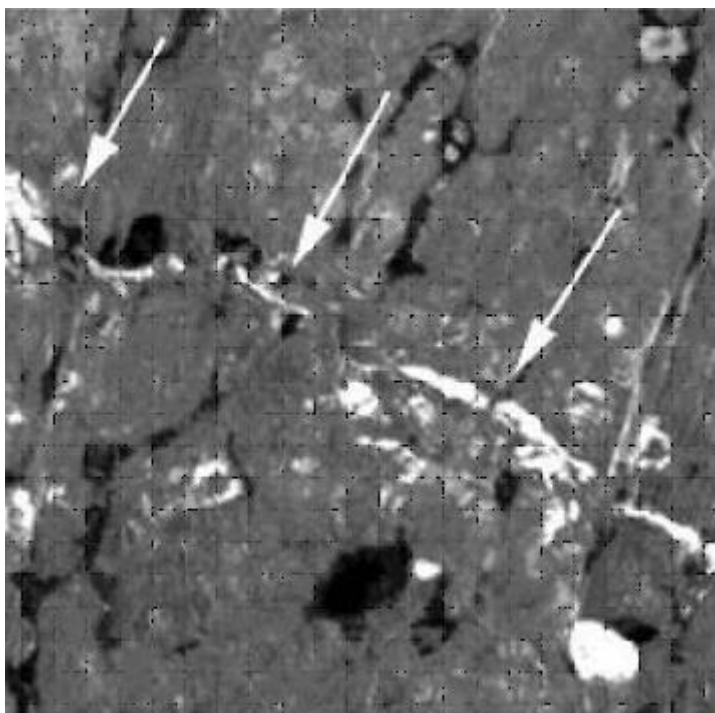


Figure 5: Esker

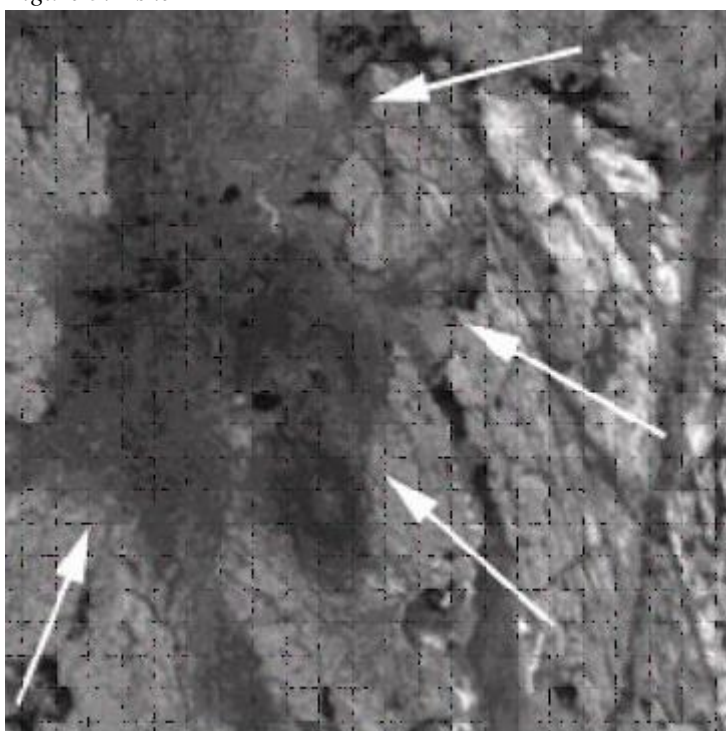


Figure 6: Sols saturés d'eau

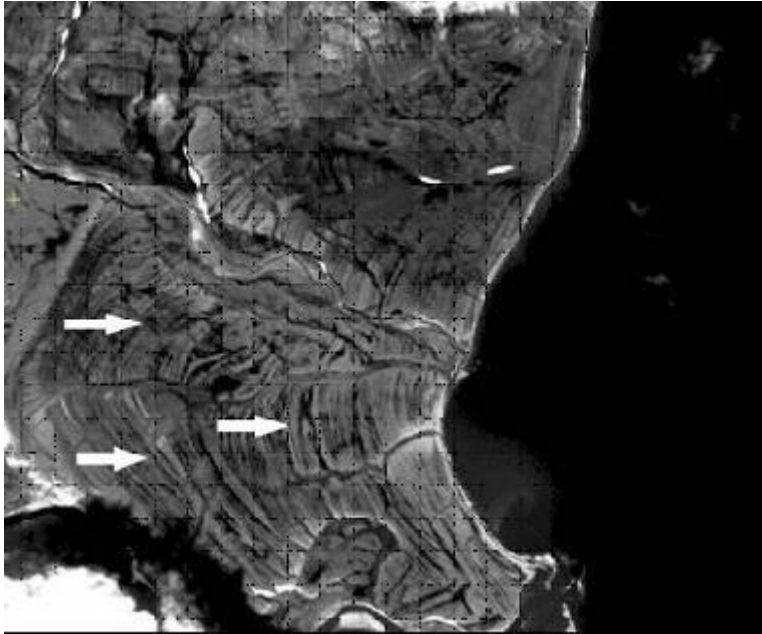


Figure 7: Flèches littorales et levées de plage

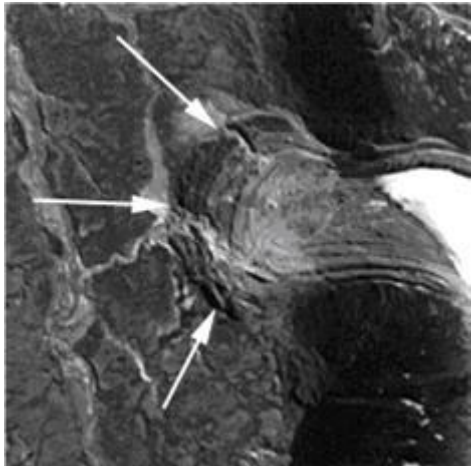


Figure 8: Moraine frontale

La précision planimétrique (X, Y) a été évaluée en comparant les vecteurs captés sur SPOT5/HRS avec les données topographiques captées à partir des photographies aériennes de 1959. La précision (Circular Error) obtenue avec un niveau de confiance de 90 % (CE90) était de 15 m.

Pour la création des données altimétriques, l'approche par corrélation (image matching) a donné de mauvais résultats, probablement liés à la faible diversité radiométrique des images. Ainsi, la production d'une grille altimétrique doit être réalisée par la stéréorestitution de lignes de rupture, des éléments de l'hydrographie ainsi que par des points d'élévation. Le MNT résultant est alors de très bonne qualité. Le MNT créé avec SPOT5/HRS est comparé avec celui fait par photographies aériennes (Figures 9):

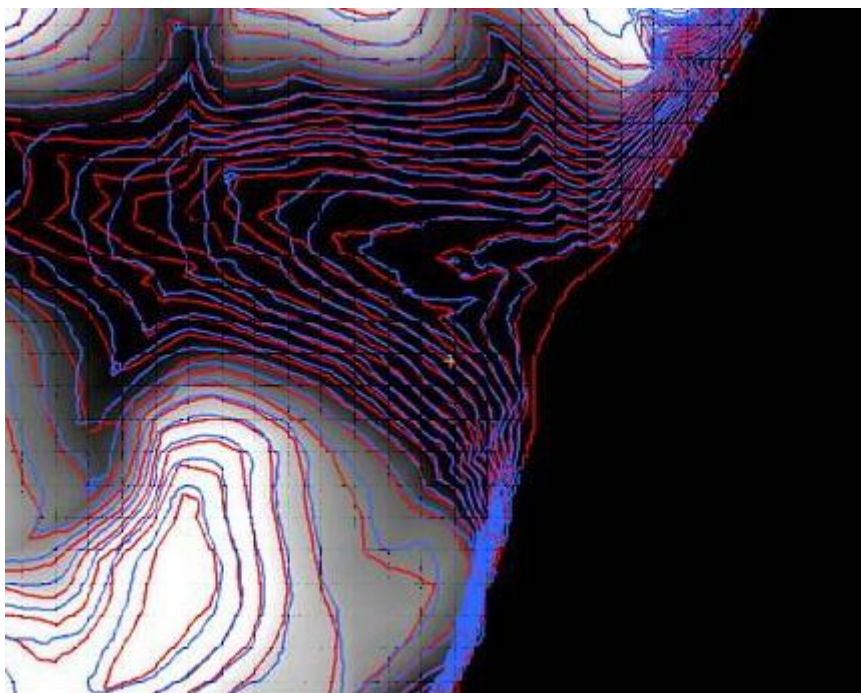


Figure 9 : Courbes de niveau des deux MNTs (en bleu les courbes du MNT photos, et en rouge les courbes dérivées du MNT SPOT5/HRS). Les courbes qui ne se superposent pas correspondent à un glacier, ce qui montre la variation temporelle entre les deux sources de données (environ 50 ans).

La précision altimétrique (Z) a été évaluée en comparant le MNT SPOT5/HRS avec des points d'élévation provenant du satellite ICESat (Beaulieu, 2009). On a observé un biais de 2,5 m et un écart-type de 11,5 m sur le MNT. Ces valeurs sont similaires à celles obtenues par Berthier et Toutin, 2008 (biais de 2,6 m et écart-type de 18 m) et Tsakiri-Strati, 2006 (biais de 7,6 m et RMS de 13,4 m) dans le même environnement montagneux.

PLAN D'ACQUISITION D'IMAGES SPOT5/HRS

Tel que mentionné précédemment, les images SPOT5/HRS servent comme source de données pour la production cartographique dans le Nord du Canada depuis 2010. La région à cartographier (Figure 10) comprend 306 tuiles cartographiques définies selon le système national de référence cartographique du Canada (SNRC). Elle couvre approximativement 210 000 Km². Suite à une recherche dans les images archivées SPOT5/HRS, 52 scènes (120 km x 60 km) acquises entre 2004 et 2009, les données disponibles permettaient la production de 114 tuiles cartographiques. Deux campagnes d'acquisition d'images se sont succédées en 2010 et 2011 entre les mois de juillet et septembre (période de dégel) pour compléter la couverture stéréoscopique de la zone à cartographier.

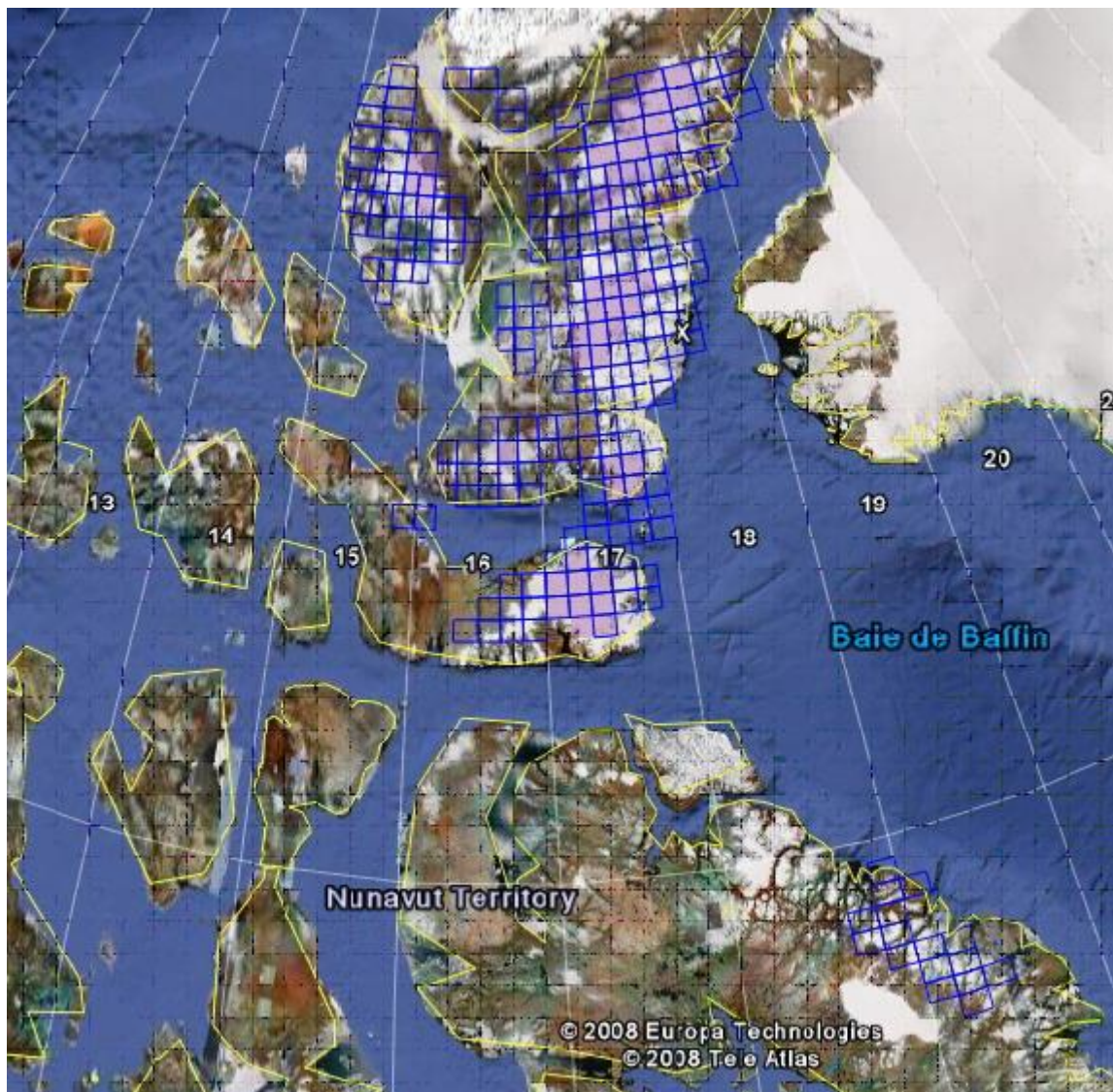


Figure 10 : Région d'intérêt pour l'acquisition d'images SPOT5/HRS. 192 tuiles cartographiques (en bleu) où les zones prioritaires sont indiquées par une trame mauve.

ACQUISITION ET VALIDATION DE LA COUVERTURE SPOT5/HRS

Avec ses deux télescopes, HRS capte simultanément (à un intervalle de 90 secondes) un couple d'images stéréoscopiques de 120 km de large (transversal) par 600 km (maximum) de long (longitudinal) avec un B/H de 0.8 (Figure 11)..

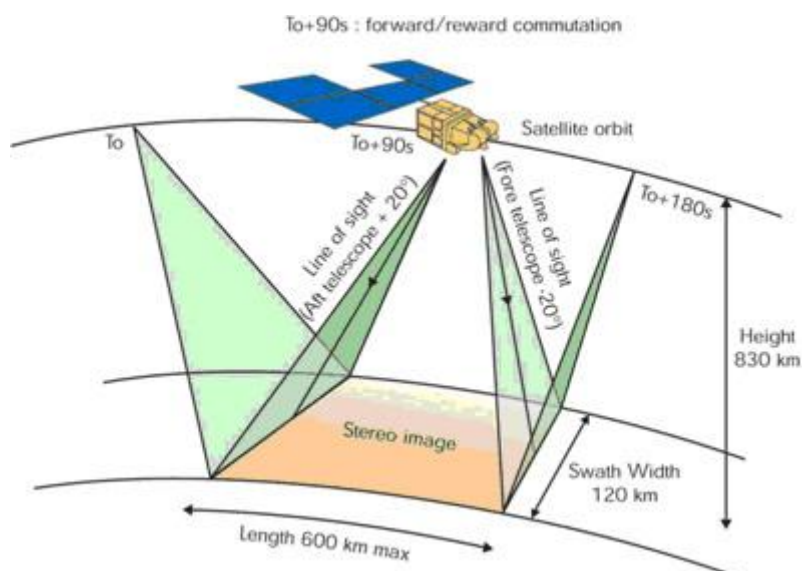


Figure 11 : Caractéristiques d'acquisition des images SPOT5/HRS

Pour 2010, la zone mise en programmation par SPOT5 couvrait 179 feuillets, soit environ 150 700 km². Entre juin et août 2010, HRS a acquis 91 couples de scènes, couvrant au total plus de 655 000 km², dont 97 456 km² de la zone ciblée (une fois écartés les nuages et les recouvrements). 67 couples ont été finalement sélectionnés par le CITS, couvrant 21 613 km².

VALIDATION DES IMAGES

Outre le contrôle de qualité chez SPOT Image, un système de validation a été mis en place au CITS afin de pouvoir sélectionner les images qui permettent d'identifier des éléments topographiques et de générer des MNT, que ce soit pour les images en archives ou pour les images récemment acquises. Dans un premier temps l'analyse des Quick Looks (QL) affichées dans Google Earth (Figure 12) permet d'identifier quelles tuiles cartographiques peuvent être produites. Les critères de qualité d'image portent sur la couverture nuageuse et les conditions de neige et de glace au sol. Dans un second temps, les images originales sont visionnées en 3D afin de confirmer leur utilisation (absence de nuages de basse altitude, état du couvert nival, etc.)

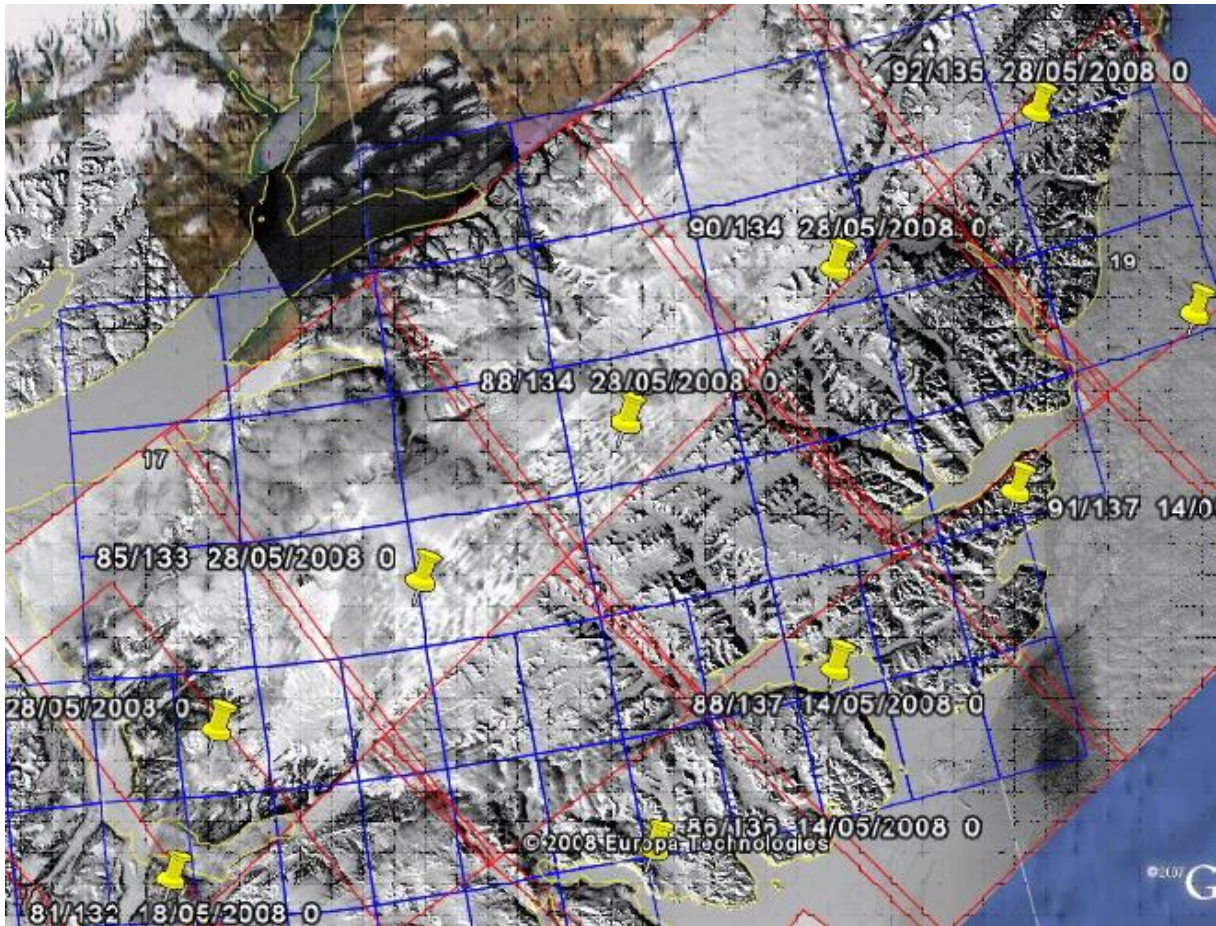


Figure 12 : Quick Looks et empreintes(en rouge) SPOT5/HRS affichées dans Google Earth. Les tuiles cartographiques du SNRC y sont représentées en bleu.

PRODUCTION CARTOGRAPHIQUE

Le mode opératoire au CITS pour la production de données topographiques est l'octroi de contrats sur une base compétitive à des entrepreneurs qualifiés. Les données produites par l'entrepreneur qualifié sont livrées au CITS qui effectue le contrôle de la qualité et retourne la rétroaction dans le cas où la donnée produite ne rencontre pas les spécifications techniques incluses au contrat.

La précision attendue de la modélisation 3D dépend principalement du contrôle terrain (points d'appui) que l'on associe au couple d'images stéréoscopiques. Malgré le fait qu'avec les images HRS il est possible de monter un modèle 3D sans points de contrôle additionnel, nous avons constaté qu'en ajoutant quelques points de contrôle de bonne qualité (position de la coordonnée image, précision et dispersion des points d'appui) la précision était améliorée, passant de 6,3 m (X) et 10 m (Y) à 5,4 m (X) et 5,5 m (Y). La source de nos points de contrôle provient de la couche de cohérence issue de la banque de données des levés aériens (BDLA) qui se trouve sur le site Web de la Geobase (www.geobase.ca). Ces données photogrammétriques sont peu nombreuses en haute latitude. Il arrive qu'on ne retrouve qu'un seul point de contrôle sur une image HRS. Afin d'assurer un nombre suffisant, une bonne précision et une distribution uniforme de points de contrôle sur les images, nous suggérons d'effectuer la modélisation 3D par bloc d'images afin d'avoir au moins 6 points de contrôle dans le couple d'images stéréo.

Pour les images qui étaient en archive, plusieurs d'entre elles avaient été acquises en hiver. L'identification des éléments topographiques pose certains problèmes lorsque le terrain est recouvert de neige et que les étendues d'eau sont gelées. Les ortho-images SPOT4/5 acquises en été et disponibles sur le site Web de la GeoBase aident à confirmer la présence de ces éléments. Pour les acquisitions d'images HRS de 2010 et 2011, la date de prise de vue correspond à la période de dégel qui s'échelonne du mois de juillet au mois de septembre à ces latitudes.

La topologie et la structure des vecteurs topographiques captés sur les images sont validés automatiquement, après quoi une vérification interactive du captage des éléments topographiques est réalisée aux échelles de visionnement variant entre 1 :12 000 et 1 :20 000. Une fois acceptée, la planimétrie est retournée au sous-traitant afin qu'il produise un jeu de données altimétriques (MNT) en y

intégrant un semis de points 3D (X, Y, Z), ruptures de pentes, etc.. Ce fichier est validé pour sa structure (planéité des étendues d'eau, sens d'écoulement, altitude 0 pour les océans et présence de rivages) et sa cohérence altimétrique. Cette dernière est validée à partir d'une banque de données de points altimétriques provenant du satellite ICESat. (Beaulieu, 2009).

Les figures suivantes illustrent un exemple de vecteurs captés à partir d'un couple 3D d'image SPOT5/HRS et un exemple de MNT généré à partir de ces vecteurs et d'un semis de points 3D provenant de ces mêmes modèles stéréoscopiques.

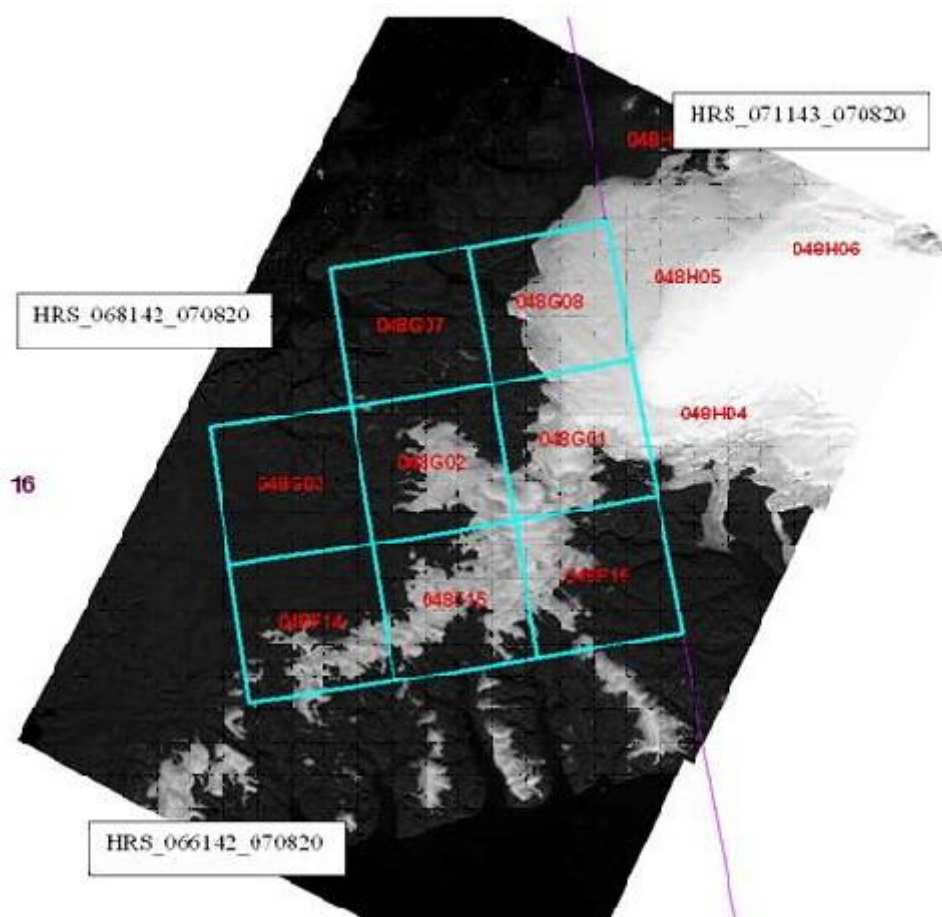
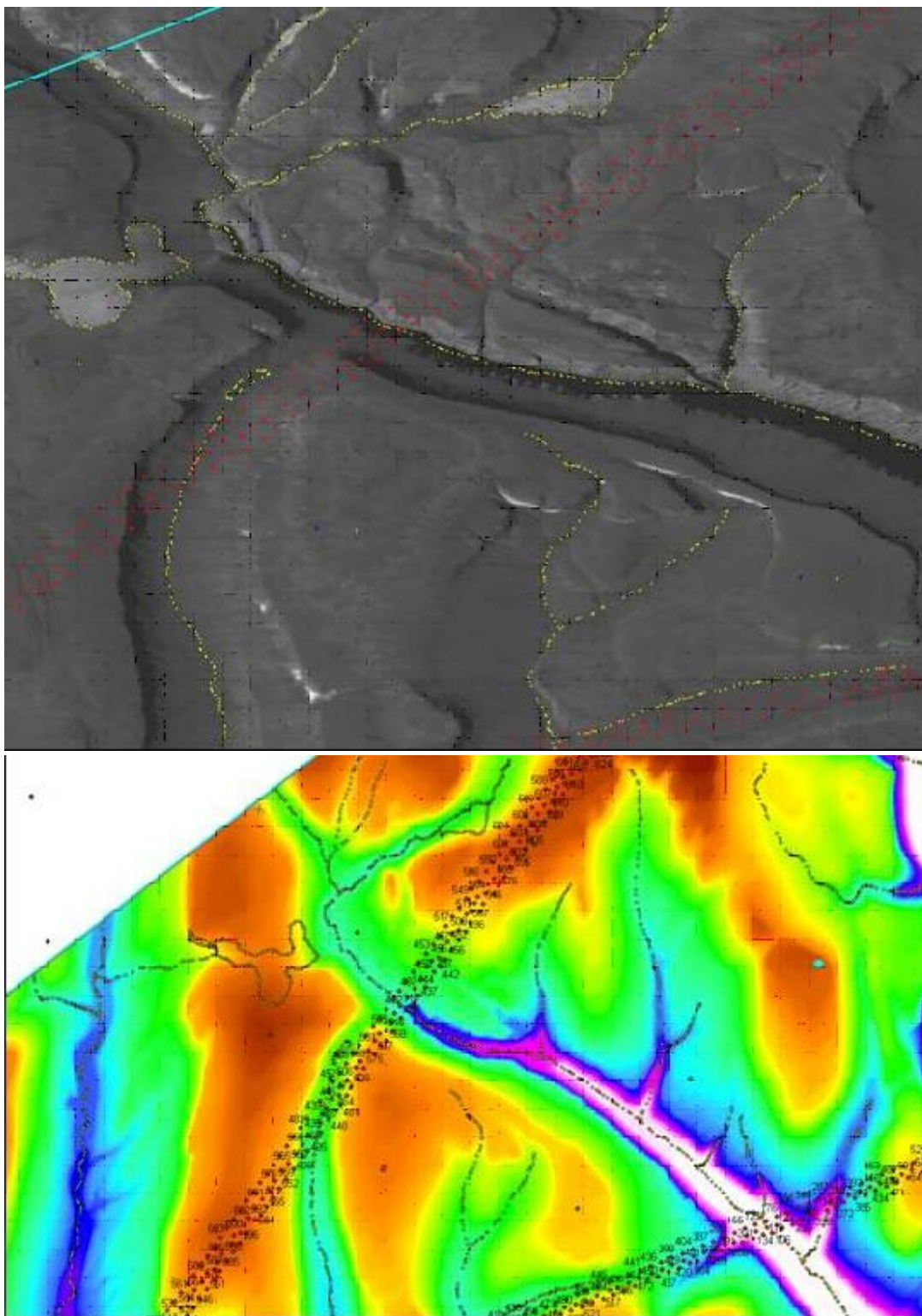


Figure 13 : Mosaïque de trois images SPOT5/HRS utilisée pour la production du feuillet cartographique 48F16 (polygone inférieur droit)



a) b)

Figure 14 : L'image de gauche (a) illustre les vecteurs en jaune (hydrographie et limites de glaciers) superposés à un modèle 3D SPOT5/HRS, ainsi que les points ICESat (en rouge) servant à la validation altimétrique. L'image de droite (b) représente le MNT qui est généré à partir des informations vectorielles (X,Y,Z) extraites du modèle 3D HRS. La points de validation ICESat y sont représentés.

CONCLUSION

À ce jour, les jeux de données topographiques produits en relief montagneux ont une précision planimétrique (Circular Error) à 90% de confiance (CE90) de 15 mètres et une précision altimétrique (Linear Error) à 90% de confiance (LE90) variant entre 14 et 20 mètres. L'imprécision planimétrique

provient principalement de la quantité, répartition, précision et positionnement des points d'appui lors de la création du modèle stéréoscopique et de l'habileté à tracer un vecteur topographique, tandis que l'imprécision altimétrique peut être attribuée à la faible étendue dynamique des images sur les neiges et glaces permanentes. L'utilisation de données satellitales SPOT5/HRS et Radarsat-2 comme sources de données, auront permis au Canada de compléter sa couverture en cartographie topographique à l'échelle de 1/50 000.

RÉFÉRENCES

Beaulieu, A.; Clavet, D., 2009. Accuracy Assessment of Canadian Digital Elevation Data using ICESat. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 75, No. 1, pp. 81–86.

Clavet, D., Beaulieu, A. 2006. Capacités de SPOT5/HRS pour l'acquisition de données topographiques à l'échelle de 1/50 000, Document interne, Centre d'information topographique. 20p.

Berthier E. and Toutin, Th. 2008. SPOT-5 HRS digital elevation models and their applications to the monitoring of glacier changes. A case study in North-West Canada and Alaska. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 112, No. 5, pp. 2443-2454.

Tsakiri-Strati et al, 2004. DEM evaluation generated from HRS SPOT5 data, ISPRS commission 1. ISPRS XX, Istanbul, Turkey