

Automatisation de la sélection des points de contrôle dans les images RADARSAT à partir d'une base de données topographiques

I. Couloigner*, **N. Spicher****, **E. LeBlanc***, **K.P.B. Thomson***, **B. Moulin**** et **Y. Bédard***

*Centre de Recherche en Géomatique, Pavillon Casault, - **Département Informatique, Pavillon Pouliot - Université Laval, Québec G1K 7P4, Qc, Canada

isabelle.couloigner@scg.ulaval.ca

Aperçu biographique

Diplômée en Électronique de l'école d'ingénieurs Louis de Broglie en France, I. Couloigner obtient un doctorat en "Sciences Pour l'Ingénieur" de l'Université de Nice-Sophia Antipolis (France) en 1998. Son domaine de recherche porte sur le traitement d'images de télédétection. Elle poursuit ses travaux de recherche en imagerie radar en tant qu'assistante de recherche au Centre de Recherche en Géomatique (CRG) depuis mars 1999 au sein de l'équipe BNDT/RADARSAT.

Après une maîtrise d'informatique à Grenoble (France), N. Spicher prépare son diplôme d'ingénieur en informatique du Conservatoire Nationale des Arts et Métiers de Paris, antenne de Grenoble (France). Elle effectue son stage ingénieur au CRG au sein de l'équipe du projet BNDT/RADARSAT. N. Spicher possède une bonne expérience sur de gros systèmes IBM.

Après un baccalauréat en génie géologique à l'université Laval en 1999, E. LeBlanc poursuit ses études par une maîtrise en géomatique à l'université Laval. Elle effectue ses travaux de recherche de maîtrise au CRG au sein de l'équipe BNDT/RADARSAT.

Y. Bédard obtient un baccalauréat en arpentage en 1980 et une maîtrise en géodésie en 1983 de l'Université Laval. L'Université du Maine lui décerne un doctorat en génie civil en 1986. Il joint, en 1986, le corps professoral du Département des sciences géomatiques de l'Université Laval. Il fut le directeur du CRG de sa création jusqu'en 1995 et cofondateur du Centre de Développement de la Géomatique pour lequel il fut le directeur scientifique de sa création, en 1995, jusqu'en 1997. Les recherches d'Y. Bédard portent sur la conception et le développement des systèmes d'information à référence spatiale, l'adaptation des ateliers de génie logiciel au domaine de la géomatique, les bases de données spatio-temporelles ainsi que le développement de méthodes de géomatization des organisations.

Diplômé en génie de l'école centrale de Lyon (France), B. Moulin obtient un doctorat en informatique de l'université Lyon 1 en 1979. Il joint le corps professoral du département d'informatique de l'université Laval en 1981. Il a été membre fondateur et premier président du GIRICO. Ses activités de recherche se situent en informatique de gestion et en intelligence artificielle. Plus particulièrement, elles portent sur la modélisation des systèmes d'information, les méthodologies de développement de systèmes d'information et de systèmes à base de connaissances ainsi que sur les systèmes experts, les systèmes multiagents et les technologies orientées-objet. B. Moulin est également chercheur régulier du CRG.

Diplômé de l'université Queens-Belfast (Irlande du Nord) en physique en 1962, K.P.B. Thomson poursuit ses études à l'université de Toronto et obtient en 1963 et 1970 une maîtrise et un doctorat en physique. Durant plusieurs années, il a travaillé en tant que chercheur au CCT. Il joint le corps professoral du département des Sciences Géomatiques de l'université Laval en 1985, et fut le directeur du CRG de 1995 à 1998. Son domaine de recherche est la télédétection. Il s'intéresse particulièrement à l'étude des données radar. K. Thomson est actuellement le directeur scientifique du réseau des centres canadiens d'excellence GEOIDE.

Résumé

Les utilisateurs d'images RADARSAT s'appuient sur des points de contrôle afin d'effectuer de la correction géométrique ou de la mise en correspondance des images. Malheureusement, la sélection des points de contrôle est un processus manuel qui jusqu'à ce jour ne fait pas l'objet d'une standardisation. La sélection des points de contrôle peut s'avérer difficile de par la nature des images RADARSAT et du territoire observé ou bien à cause du manque de certitude sur la qualité même des points de contrôle. Nos travaux visent à développer une méthode et un outil logiciel permettant d'identifier automatiquement des points de contrôle de qualité dans des images RADARSAT à l'aide d'une base de données topographiques. Différentes stratégies sont élaborées pour répondre à différents contextes. Ces stratégies se regroupent en deux approches de mise en correspondance des deux sources de données : le vectoriel et le matriciel. Dans le cadre de l'approche vectorielle, une méthode pour identifier automatiquement des points de contrôle appartenant aux étendues d'eau dans les images RADARSAT a été développée. Les points de contrôle appartenant aux intersections de routes seront par la suite identifiés, en parallèle avec l'étude de l'approche matricielle.

Abstract

The users of RADARSAT images need ground control points (GCP) to geometrically correct or to match the images. But the selection of GCP has been done manually until now. Thus, the quality of the rectified images depends on the ability of the operator to select high quality GCP. This selection is more difficult in SAR images due to their particular geometry and radiometry. We are working on the development of a method and software to automatically identify high quality GCP in RADARSAT images using data from a topographic database. Different strategies have been elaborated to fit with different contexts. These strategies are regrouped in two approaches for the matching of the two data sources: the vector and the raster approach. For the vector approach, a method has been developed to automatically identify GCP from the category "stretches of water". The next step is to identify GCP from the category "intersections" for the vector approach, in parallel with the study of the raster approach.

Introduction

La plupart des applications des données RADARSAT exigent des produits images qui soient corrigés géométriquement avec une précision qui corresponde à celle d'une base cartographique. De plus en plus, les images RADARSAT sont intégrées dans des bases de données à référence spatiale contenant des données de diverses sources. Par ailleurs, comme l'avantage principal du radar est la fiabilité de l'acquisition des données, même à travers la couverture nuageuse, il est fréquent de vouloir travailler avec des ensembles d'images RADARSAT d'une même région à plusieurs dates différentes. Or la comparaison des données multi-dates exige également la mise en cohérence des images. Plusieurs logiciels existent pour faire la correction géométrique ainsi que la mise en cohérence des images (Toutin and Carbonneau, 1992). Néanmoins, de par la nature des images radar, telle que les caractéristiques géométriques et le bruit multiplicatif (Polidori, 1997), un point faible subsiste : la sélection des points de contrôle nécessaires à ces opérations. En effet, la sélection des points de contrôle est une opération manuelle qui souffre de plusieurs sources d'erreurs. Ces erreurs sont dues soit à la nature même des images radar, soit à l'incertitude sur la qualité des points de contrôle. Par exemple, s'il y a déplacement d'une intersection de routes sur le territoire, la mise à jour de ce déplacement n'est pas toujours présente sur les cartes topographiques disponibles. De plus, dans certaines régions, telles que le grand Nord du Québec, la sélection des points de contrôle est difficile à effectuer.

L'infrastructure canadienne des données géospatiales (ICDG) nous offre une nouvelle opportunité d'accès à une couche d'information qui contient des points de contrôle à l'échelle du territoire canadien, la base nationale des données topographiques (BNDT) du Canada. Ces points de contrôle étant destinés au repérage d'objets remarquables sur le territoire, nous voulons nous en servir pour faciliter l'opération de sélection des points de contrôle sur les images RADARSAT. L'objectif de notre projet est donc le développement d'une méthode et d'un outil logiciel pour détecter et identifier des points de contrôle dans des images RADARSAT afin de faire la mise en cohérence des images par rapport à une base de données topographiques. Ce projet est multidisciplinaire, à

savoir qu'il comprend une partie télédétection, une partie système d'information à référence spatiale et une partie informatique.

Différentes méthodes de mise en cohérence automatiques existent dans la littérature : association de formes similaires (patrons de reconnaissance) pour des images optiques (Della Ventura *et al.*, 1990) ou utilisation de la corrélation qui existe entre deux images radar (CNES, 1996). Le projet européen ARChangeL présente, quant à lui, une méthode de mise en correspondance, par similarité de contours, sur des images optiques et radar (Dare *et al.*, 1998). Cependant ces méthodes ne sont pas entièrement efficaces face à la problématique qui nous intéresse. Notre étude se place en amont de ces méthodes, à savoir la sélection automatique des points de contrôle. Iisaka et Sakurai-Amano (1996) ont développé une méthode automatique de sélection de points de contrôle en utilisant les intersections de routes et en intégrant des informations issues de cartes routières. Toutefois, compte tenu de la géométrie particulière et du bruit des images radar, cette méthode n'est pas entièrement efficace et ne peut être utilisée telle quelle pour la très grande majorité du territoire canadien.

Dans cette communication, nous présentons dans un premier temps différentes stratégies que nous avons élaborées pour appairer les points candidats extraits des images RADARSAT avec les points leur correspondant dans la BNDT. Cet appariement s'effectue suivant différentes catégories de données communes aux images et à la BNDT, telles que les étendues d'eau ou intersections de routes. Cet appariement permet de sélectionner des points de contrôle de bonne qualité et bien répartis dans les images. Dans un deuxième temps, nous présentons la méthode développée pour identifier des points de contrôle issus de la catégorie « étendue d'eau ». Cette méthode se divise en trois étapes : extraction des étendues d'eau sur l'image RADARSAT avec leurs informations pertinentes (centre de gravité, superficie, rectangle englobant), extraction des informations similaires de la BNDT pour la même zone d'étude, et appariement des points candidats pour identifier les points de contrôle de qualité. Une application de cette méthode est présentée sur une image RADARSAT contenant deux feuillets de la BNDT. Nous concluons quant aux résultats trouvés par rapport aux résultats escomptés, ainsi qu'avec les travaux futurs de notre projet.

Les données

Notre recherche porte sur deux régions de la province de Québec :

- La région de Québec qui contient des zones urbaines, agricoles et forestières. Cette région possède donc la plupart des points de contrôle typiques qui se retrouvent habituellement sur les images de télédétection ;
- Le Nord du Québec – la région de la baie d'Ungava – qui représente un défi pour la mise en cohérence des images radar étant donné le manque de points de contrôle précisément identifiables.

La méthodologie sera développée sur la région de Québec et appliquée ensuite aux zones nordiques.

Le jeu de données RADARSAT se compose de trois images en mode haute résolution et une image en mode standard descendant sur la région de Québec, et de deux images en mode standard (1 en ascendant et 1 en descendant) sur la région Nord. Nos données RADARSAT sont au format Path Image Plus (taille pixel : 3.125 m pour le mode haute résolution et 8 m pour le mode standard) afin d'avoir une meilleure précision pour les cibles ponctuelles. Le jeu de données BNDT se compose de quatre feuillets au 1/50000 et de deux feuillets au 1/250000 pour la région de Québec, et de deux feuillets au 1/50000 et d'un feuillet au 1/250000 pour la région Nord. La précision des données BNDT peut varier d'une entité à l'autre, mais elle est généralement de 10 m en milieu urbain, 25 m en milieu rural et 125 m en milieu isolé. Cette précision est, de plus, fonction du type des données sources utilisées pour la construction des feuillets (BNDT, 1997).

À partir des données de la BNDT, l'ICDG a créé une couche de cohérence, la CCDI, qui est « constituée de points facilement identifiables à diverses échelles cartographiques qui permettent de géoréférencer les données spatiales provenant de différentes sources. » (CITS, 2000). La CCDI est donc constituée d'informations pertinentes et géoréférencées sur les objets présents dans la BNDT, telles que le centre de gravité, la superficie ou la longueur des objets, ou le nombre de branches des intersections et leur orientation. Les données BNDT/CCDI sont fournies dans le système de coordonnées lié à la projection UTM et au système de référence horizontal NAD83. Or, les images RADARSAT ne sont pas géoréférencées (c'est précisément ce que nous cherchons à faire). Elles sont référencées uniquement par rapport à la position du satellite au moment de la prise de vue, et donc la position des pixels est donnée en coordonnées géographiques. Il est donc nécessaire de transformer la projection utilisée pour les données topographiques en coordonnées géographiques des points (latitude et longitude en degrés décimaux).

Les stratégies développées

Tout d'abord, les clients susceptibles d'être intéressés par le produit logiciel que nous voulons développer travaillent dans des entreprises différentes, aux moyens matériels, humains et financiers très divers. Il nous semble de ce fait intéressant de réfléchir à diverses opportunités d'orientation pour notre étude.

Pour les images, il faut, dans un premier temps, procéder par les choix des objets pertinents à extraire des images car selon l'objet, le traitement est différent. Par exemple, les algorithmes de reconnaissance des formes sont différents s'il s'agit de surfaces (par exemple, une étendue d'eau) ou de réseau routier. Pour la BNDT et la CCDI, il est facile de restreindre le champ de recherche pour l'identification des points de contrôle, connaissant la catégorie à laquelle ils appartiennent et les coordonnées géographiques de la zone d'étude sur l'image RADARSAT.

Différentes stratégies ont donc été élaborées pour sélectionner automatiquement les points de contrôle sur les images RADARSAT afin de laisser l'opportunité au client de choisir la stratégie adéquate à ses moyens. Ces stratégies peuvent se diviser en deux grandes parties suivant l'appariement effectué : soit l'appariement vectoriel, soit l'appariement matriciel des deux sources de données.

Identification des données communes à extraire des images et de la BNDT/CCDI

Différents types d'objets utilisables et extractibles de la BNDT pour identifier et caractériser les points de contrôle ont été définis en fonction des possibilités de détection et d'extraction sur les images RADARSAT. Ces objets se regroupent en trois grandes catégories :

- Les éléments surfaciques, tels que les étendues d'eau (naturelles ou artificielles), les îles et îlots, ou les centres de ski ;
- Les intersections entre routes, entre routes et rivières, et les échangeurs d'autoroutes ;
- Les éléments linéaires, tels que le réseau routier, les rivières, les ponts.

Ces trois catégories sont facilement extractibles dans la BNDT et dans la CCDI par l'utilisation de différentes requêtes.

Dans le cas des images RADARSAT, l'extraction des différentes catégories est plus ou moins aisée. Ainsi, il est plus facile d'identifier une étendue d'eau d'une autre qu'une intersection de routes d'une autre par exemple. Aussi, la mise en correspondance des deux sources de données va s'effectuer par catégorie. Nous cherchons, dans un premier temps, à mettre en correspondance les informations pertinentes reliées à la catégorie « étendue d'eau », puis dans un deuxième les informations liées à la catégorie « intersection ». Nous couvrirons ainsi les différents types de points de contrôle que l'on peut typiquement trouver dans la région de Québec, que cela soit en milieu urbain (peu d'étendues d'eau, réseau routier très important), rural (quelques étendues d'eau, réseau routier important) ou forestier (beaucoup d'étendues d'eau, réseau routier presque inexistant).

Appariement vectoriel

Pour l'approche vectorielle de la mise en correspondance des deux sources de données, la BNDT ne sert pas à proprement parler car les attributs qu'elle contient ne permettent pas d'effectuer un traitement d'extraction de données vectorielles. En fait, les informations telles que les coordonnées des centres de gravité, les coordonnées du rectangle englobant ou les superficies des objets surfaciques sont calculées par le logiciel SIG utilisé, et ainsi, les valeurs fournies sont fonction du logiciel utilisé. Ceci est un choix de traitement demandé par les utilisateurs de la BNDT. Dans ce cas, la BNDT ne sert qu'à des fins de vérification en visualisant les objets extraits sous forme de carte. La CCDI quant à elle, contient toutes les informations nécessaires, dans des champs séparés et accessibles facilement par un système de requêtes. Le ou les feuillets cartographiques à traiter sont identifiés à partir des coordonnées géographiques de la zone d'étude sur les images RADARSAT.

Pour obtenir les informations similaires (centre de gravité, superficie, ...) des objets présents dans les images RADARSAT, un traitement d'images et de reconnaissance de formes est développé suivant la catégorie à laquelle appartiennent les futurs points de contrôle. Il est bien évident que ces traitements tiennent compte des propriétés physiques inhérentes aux images radar comme la présence du speckle (le bruit) par exemple.

L'appariement vectoriel consiste à effectuer la mise en correspondance les deux sources de données afin de sélectionner les points de contrôle de qualité parmi les points candidats. La comparaison des informations repose sur l'identification des mêmes phénomènes terrestres et sur l'exploitation explicite des données sémantiques et géométriques. À cette fin, des patrons de reconnaissance sont créés aussi bien pour les données issues des images que pour celles issues de la CCDI. Ces patrons de reconnaissance sont établis à partir des centres de gravité des différents objets extraits. Ces patrons de reconnaissance permettent de tenir compte des déformations géométriques potentielles dues à l'acquisition des images radar lors de l'appariement des deux sources de données. C'est la comparaison des patrons de reconnaissance suivant différents critères, tels que la distance entre les centres de gravité et l'orientation des vecteurs ainsi créés, qui listera les points de contrôle de qualité.

Appariement matriciel

Quant à l'approche matricielle, elle consiste à effectuer la mise en correspondance d'images issues des deux sources de données. Pour ce faire, des mini-matrices autour des points de contrôle potentiels vont être créées à partir des structures vectorielles déjà présentes dans la BNDT (lacs, routes, ...). Comme pour l'approche vectorielle, les traitements se feront par catégories, à savoir « étendues d'eau », « intersections », ...

Les coordonnées géographiques des mini-matrices seront connues, aussi la comparaison des structures rasterisées avec les structures matricielles de l'image RADARSAT s'effectueront dans une même zone d'étude, ce qui réduira le temps de traitement. Cette comparaison matricielle des structures nous permettra de les associer ou pas. Et la mise en correspondance des mini-matrices avec les structures présentes dans les images permettra alors d'extraire des points de contrôle (centre de gravité des objets, points sur les contours des objets, ...) de façon automatique. Différentes techniques de mise en correspondance des structures matricielles pourront être développées : association de formes similaires (Della Ventura *et al.*, 1990), appariement par similarité de contours (Dare *et al.* 1998), ...

Approche vectorielle : extraction des points de contrôle appartenant aux étendues d'eau

Pour l'instant, nous nous sommes exclusivement intéressés aux points de contrôle issus des étendues d'eau. La méthode pour sélectionner automatiquement ce type de points de contrôle se déroule en trois étapes que nous allons développer dans cette partie :

- Extraction des points candidats des images RADARSAT;
- Extraction des points candidats de la CCDI;
- Appariement des informations.

Extraction des points candidats des images RADARSAT

Pour extraire les étendues d'eau des images RADARSAT, nous utilisons un filtre réducteur de speckle pour éliminer le bruit tout en essayant de conserver les transitions entre les objets. En fait, nous employons un filtrage itératif qui consiste en trois passes du filtre Lee-sigma sur les images en jouant sur les paramètres, sachant que le coefficient de variation des images RADARSAT vaut en moyenne 0.42 :

- Filtre Lee-sigma avec $\sigma = 0.26$, multiplicateur $a = 0.5$ et fenêtre glissante 3×3 ;
- Filtre Lee-sigma avec $\sigma = 0.26$, multiplicateur $a = 1.0$ et fenêtre glissante 5×5 ;
- Filtre Lee-sigma avec $\sigma = 0.26$, multiplicateur $a = 2.0$ et fenêtre glissante 7×7 .

Ce filtrage itératif nous permet, dans la majorité des cas, d'obtenir une image présentant un histogramme bimodal. Le premier mode de l'histogramme est alors représentatif des étendues d'eau. Cependant, il peut arriver que ce filtrage itératif ne suffise pas à l'obtention d'une image bimodale : il faut donc y ajouter un filtre médian (5×5) pour obtenir l'image souhaitée. Puis, pour obtenir l'image binaire des étendues d'eau, un seuillage binaire est effectué sur l'histogramme bimodal. Les petits artefacts présents sur l'image seuillée sont éliminés par lissage. Enfin, un algorithme de reconnaissance de formes permet d'obtenir la superficie, le centre de gravité et le rectangle englobant pour chaque forme extraite de l'image binaire. Cette liste d'informations représente la liste des points candidats extraits des images RADARSAT.

Extraction des points candidats de la CCDI

Le ou les feuillets cartographiques de la CCDI à traiter sont identifiés à partir des coordonnées géographiques de la zone d'étude sur les images RADARSAT. Ces coordonnées sont fournies en degrés décimaux. 0.010 degrés sont ajoutés aux coordonnées des coins fournies par la zone d'étude pour la recherche dans la CCDI afin de tenir compte d'une déformation possible des images. Les rectangles englobant des lacs à traiter sont supposés appartenir à la zone d'étude.

Dans l'image, les coordonnées sont données en terme de « coins » : les deux coins utilisés sont le coin haut gauche et le coin bas droit de la zone d'étude. Nous pouvons remarquer sur la Figure 1 que le coin haut gauche correspond aux valeurs de latitude Nord et de longitude Ouest des données CCDI et le coin bas droit correspond aux valeurs de latitude Sud et de longitude Est des données CCDI.

La première condition à tester, sur les valeurs issues des fichiers CCDI, est donc pour le rectangle englobant que sa :

- Latitude_Sud est supérieure ou égale à la valeur du coin bas de la zone d'étude de l'image ;
- Latitude_Nord est inférieure ou égale à la valeur du coin haut de la zone d'étude de l'image ;
- Longitude_Ouest est supérieure ou égale à la valeur du coin gauche de la zone d'étude de l'image ;
- Longitude_Est est inférieure ou égale à la valeur du coin droit de la zone d'étude de l'image.

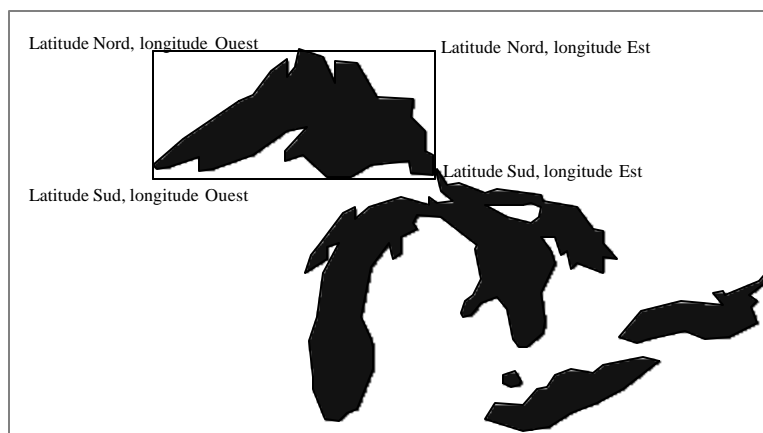


Figure 1 : Les Grands Lacs - schéma du rectangle englobant et valeurs de latitude et longitude associées

De plus, nous avons choisi un seuil pour la taille des lacs à traiter, ceci pour limiter le nombre de lacs extraits. Ce seuil est fixé à 2000 pixels pour les images. Or 1 pixel de l'image en mode haute résolution correspond à $3.125 \times 3.125 \text{ m}^2$, le seuil est donc de 19531.25 m^2 pour les lacs issus de la CCDI. Et pour une image en mode standard, la taille du pixel est de $8 \text{ m} \times 8 \text{ m}$, le seuil est donc de 128000 m^2 dans ce cas.

Deux cas peuvent se présenter pour l'extraction des informations de la CCDI :

- soit la zone d'étude extraite de l'image RADARSAT est incluse dans un seul feuillet cartographique, ceci correspond dans ce cas à une extraction « mono-table »,
- soit la zone d'étude extraite de l'image RADARSAT est en partie sur un feuillet et en partie sur un ou plusieurs autres, qui lui sont adjacents. Nous parlons alors d'extraction « multi-tables ».

Les informations extraites pour chaque étendue d'eau qui répond aux critères de superficie et de localisation sont son centre de gravité et sa superficie. Cette liste d'informations constitue les points candidats de la CCDI.

Appariement des informations

Nous disposons après traitement de deux listes de points candidats avec le même type d'informations provenant de nos deux sources de données. Pour sélectionner les points de contrôle de qualité, l'appariement des deux listes se déroule en deux étapes :

- Recherche des formes extraites des images qui correspondent aux étendues d'eau extraites de la CCDI ;
- Comparaison des patrons de reconnaissance établis pour les données Image et les données CCDI.

Une étude préliminaire sur plusieurs zones d'étude a montré que l'écart, que ce soit en longitude ou en latitude, entre le centre de gravité des lacs issus de la CCDI et leur correspondant extrait de l'image était relativement constant suivant les images RADARSAT (Tableau 1).

Tableau 1 : Résultat des écarts en longitude et en latitude entre les centres de gravité des couples (lac CCDI, lac Image) pour les différentes images RADARSAT en mode haute résolution sur la région de Québec

		•longitude	•latitude
Québec Fin Nord 3 zones d'étude - 40 lacs	moyenne =	0.0092	-0.0015
	écart-type =	0.0011	0.0005
	min =	0.0073	-0.0029
	max =	0.0116	-0.0008
Québec Fin Sud 1 zone d'étude - 7 lacs	moyenne =	0.0054	-0.0007
	écart-type =	0.0009	0.0001
	min =	0.0039	-0.0009
	max =	0.0062	-0.0006
Québec Fin Centre 2 zones d'étude - 35 lacs	moyenne =	0.0053	-0.0009
	écart-type =	0.0023	0.0003
	min =	0.0012	-0.0015
	max =	0.0087	-0.0006

Aussi, pour l'étape 1 de l'appariement, les couples (lac CCDI, lac Image) vont se créer suivant l'algorithme présenté à la figure 2.

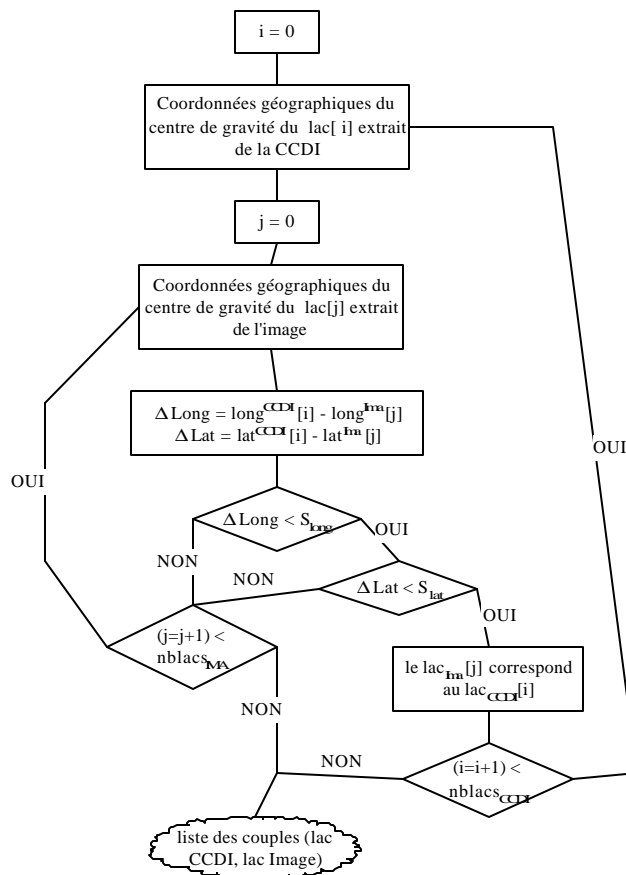


Figure 2 : Première étape de l'appariement des données : algorithme de création des couples (lac CCDI, lac Image)

Pour l'étape 2 de l'appariement, nous devons dans un premier temps construire les patrons de reconnaissance des étendues d'eau couplées pour la CCDI comme pour l'image. Ces patrons de reconnaissance sont établis, à partir du lac qui se situe le plus au centre de la zone d'étude, en calculant la norme et l'orientation par rapport au Nord géographique des vecteurs (lac I, lac le plus au centre).

Pour comparer les patrons de reconnaissance entre eux, les intervalles de confiance des écarts en norme et en orientation des vecteurs sont calculés. L'intervalle de confiance est une plage située de part et d'autre de la moyenne de la population de points considérée. Nous pouvons alors déterminer, à partir d'un certain niveau de confiance, les bornes minimale et maximale d'appartenance de la population moyenne des écarts en norme et en orientation des vecteurs (lac I, lac le plus au centre). Une fois ces intervalles de confiance calculés, les points de contrôle de qualité sont sélectionnés suivant le critère :

Si les écarts en norme et en orientation du vecteur (lac I, lac le plus au centre) entre la donnée CCDI et la donnée Image sont inclus dans les intervalles de confiance calculés, alors le centre de gravité du lac I issu de l'image est un point de contrôle de qualité avec sa localisation connue dans la CCDI.

Extraction des points de contrôle appartenant aux étendues d'eau : un exemple d'application

Nous présentons dans cette section une application sur une zone d'étude qui représente le quart haut gauche (8384 lignes par 7600 colonnes) de l'image RADARSAT de haute résolution centrée sur (46°58'N ; 70°58'W). La zone étudiée (Figure 3.a) est en milieu forestier où le réseau routier est peu représentatif, mais où il y a de très nombreux lacs.

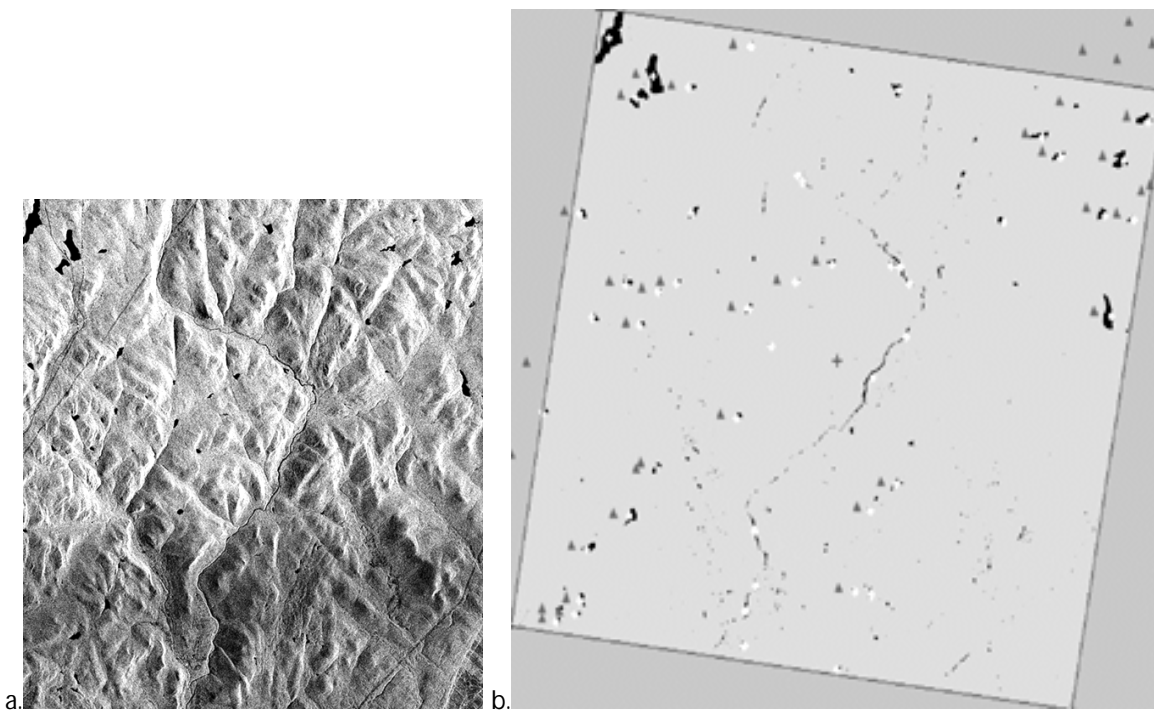


Figure3. a) Zone d'étude sur l'image RADARSAT haute résolution centrée sur (46°58'N ; 70°58'W) - b) Image binaire des étendues d'eau extraites de l'image a avec les centres de gravité calculés pour l'image (losange blanc) et extraits de la CCDI (triangle gris foncé).

La figure 3.b présente l'image binaire des étendues d'eau extraites par le traitement d'image présenté précédemment, ainsi que les centres de gravité des étendues d'eau de superficie supérieure à 2000 pixels (losanges blancs). De nombreux lacs apparaissent sur cette figure. Cependant, comme la rivière est assez large, certaines portions de la rivière sont considérées comme des étendues d'eau par l'algorithme de reconnaissance

de formes. Ainsi, l'algorithme de reconnaissance de formes reconnaît 48 étendues d'eau dont il a calculé le centre de gravité, la superficie et le rectangle englobant. À partir des coordonnées géographiques de la zone d'étude (Figure 4), les informations pertinentes (centre de gravité, superficie) des lacs présents dans cette zone d'étude ont été extraites des feuillets cartographiques correspondant de la CCDI. Notre zone d'étude couvre ici 2 feuillets au 1/50000 de la CCDI (Figure 4). 40 lacs de superficie supérieure au seuil défini ont ainsi été extraits.

La Figure 3.b présente également la position des centres de gravité des étendues d'eau qui ont été extraites de l'image et de la CCDI pour notre zone d'étude (triangles gris foncé). Un grand nombre d'étendues d'eau extraites de l'image est associé à un lac extrait de la CCDI. Cependant, de nombreuses étendues d'eau restent solitaires. La première étape d'appariement des données permet d'éliminer ces lacs solitaires : seules 28 étendues d'eau sont couplées et vont servir à la construction des patrons de reconnaissance de forme pour l'image et pour la CCDI (Figure 4).

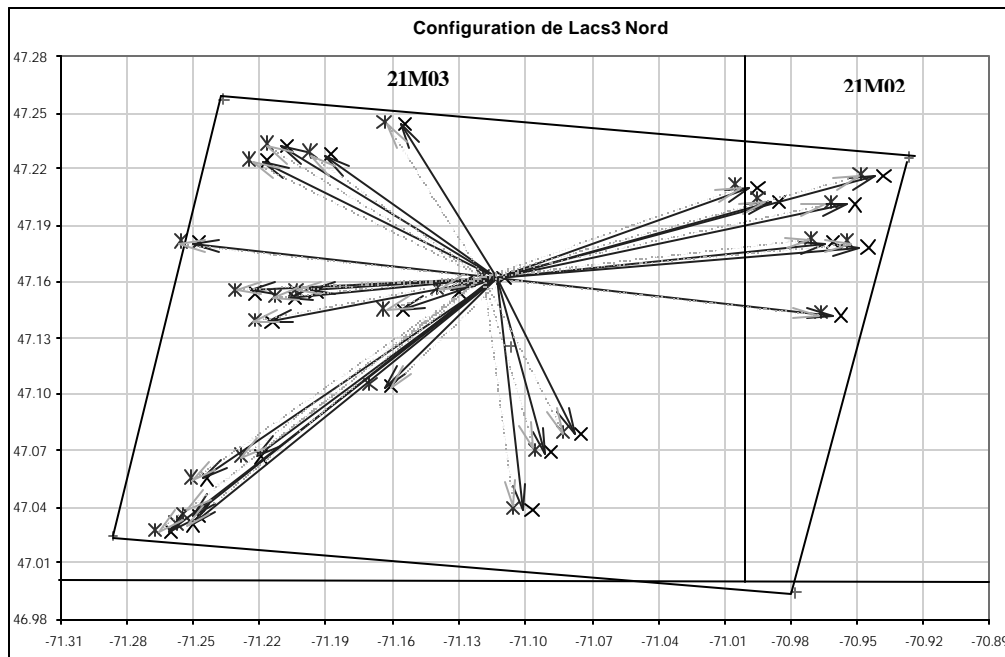


Figure 4 : Patrons de reconnaissance des 28 lacs extraits associés à l'Image (en gris foncé) et à la CCDI (en gris clair).

L'étape 2 de l'appariement des données est résumée dans le tableau 2. Si le niveau de confiance utilisé pour calculer les intervalles de confiance vaut 95%, seuls 4 vecteurs répondent au critère de sélection des points de contrôle de qualité, ce qui correspond à 5 points de contrôle. Le nombre de points de contrôle de qualité sélectionnés augmente avec le niveau de confiance (6 points à 99% de confiance et 8 points à 99.99% de confiance), puisque les intervalles de confiance augmentent.

Il faut savoir également que les 6 premiers lacs sont situés sur un feuillet et tous les autres, dont le lac le plus au centre, sur un autre feuillet adjacent. Ceci explique pourquoi aucun des 6 premiers lacs ne répond au critère de sélection : les écarts en norme et en orientation sont légèrement supérieurs à la population moyenne des vecteurs (Tableau 2). De fait, les feuillets cartographiques de la BNDT-CCDI ne possèdent pas tous la même précision géométrique. Aussi, pour la comparaison des patrons de reconnaissance, il semblerait que ceux-ci devraient être établis avec des centres de gravité appartenant tous au même feuillet CCDI afin que plus de points de contrôle de qualité soient sélectionnés. Notre étude va donc se poursuivre dans cette voie.

Tableau 2 : Présentation des écarts en valeur absolue, en norme et en orientation, entre les vecteurs constituant le patron de reconnaissance pour l'Image et ceux constituant celui pour la CCDI. Le lac le plus au centre de la zone d'étude est le lac 21. Test de sélection des points de contrôle de qualité pour un niveau de confiance à 95% et à 99%. Les points surlignés sont les points de contrôle de qualité sélectionnés.

nom_lac	d(lac, lac21)	Orientatio n (lac,lac21)	Test sur norme à 95%	Test sur orientation à 95%	Test sur norme à 99%	Test sur orientation à 99%
g:lac_3.dat	0.0023	0.44	rejet	rejet	rejet	rejet
g:lac_12.dat	0.0011	0.49	rejet	rejet	rejet	rejet
g:lac_8.dat	0.0027	0.54	rejet	rejet	rejet	rejet
g:lac_20.dat	0.0005	0.14	conservation	rejet	conservation	rejet
g:lac_11.dat	0.0011	0.60	rejet	rejet	rejet	rejet
g:lac_10.dat	0.0009	0.51	rejet	rejet	conservation	rejet
g:lac_6.dat	0.0011	0.28	rejet	conservation	rejet	conservation
g:lac_35.dat	0.0006	0.11	conservation	rejet	conservation	rejet
g:lac_36.dat	0.0004	0.77	conservation	rejet	conservation	rejet
g:lac_41.dat	0.0001	0.11	rejet	rejet	rejet	rejet
g:lac_23.dat	0.0012	0.67	rejet	rejet	rejet	rejet
g:lac_2.dat	0.0000	0.84	rejet	rejet	rejet	rejet
g:lac_27.dat	0.0005	0.54	conservation	rejet	conservation	rejet
g:lac_33.dat	0.0004	0.28	conservation	conservation	conservation	conservation
g:lac_7.dat	0.0006	0.38	conservation	conservation	conservation	conservation
g:lac_24.dat	0.0005	0.21	conservation	rejet	conservation	conservation
g:lac_26.dat	0.0000	0.05	rejet	rejet	rejet	rejet
g:lac_5.dat	0.0001	0.06	rejet	rejet	rejet	rejet
g:lac_31.dat	0.0008	0.24	conservation	conservation	conservation	conservation
g:lac_9.dat	0.0000	0.12	rejet	rejet	rejet	rejet
g:lac_38.dat	0.0003	0.01	rejet	rejet	conservation	rejet
g:lac_25.dat	0.0005	0.08	conservation	rejet	conservation	rejet
g:lac_39.dat	0.0003	0.20	rejet	rejet	rejet	rejet
g:lac_44.dat	0.0003	0.37	rejet	conservation	rejet	conservation
g:lac_17.dat	0.0001	0.14	rejet	rejet	rejet	rejet
g:lac_45.dat	0.0001	0.07	rejet	rejet	rejet	rejet
g:lac_47.dat	0.0007	0.27	conservation	conservation	conservation	conservation
moyenne =	0.0006	0.3155				
écart-type =	0.0006	0.2317				
Intervalle Confiance à 95% =	0.0002	0.0874	Intervalle Confiance à 99% =	0.0003	0.1149	
l_min =	0.0004	0.2281	l_min =	0.0003	0.2007	
l_max =	0.0009	0.4029	l_max =	0.0010	0.4304	

Conclusion et Perspectives

La problématique de notre projet multidisciplinaire est de développer une ou plusieurs méthodes et un outil logiciel pour identifier automatiquement des points de contrôle de qualité sur les images RADARSAT à partir d'une base de données topographiques. Ces points de contrôle serviront alors pour effectuer par exemple de la correction géométrique des images, ou de la mise en correspondance d'images multi-dates.

Différentes stratégies ont été élaborées pour résoudre notre problématique afin que le futur utilisateur puisse choisir la stratégie adéquate pour ses moyens matériels. Ces stratégies sont élaborées suivant deux approches de mise en correspondance de nos deux sources de données : l'approche vectorielle ou l'approche matricielle.

Une méthode vectorielle a été développée afin d'identifier automatiquement des points de contrôle de qualité dans les images RADARSAT, points appartenant à la catégorie « étendues d'eau ». Notre méthode donne de bons résultats. Cependant, quelques ajustements restent encore à effectuer au niveau de l'appariement des jeux de données extraits de nos deux sources de données. Ces ajustements permettront de sélectionner un plus grand nombre de points de contrôle de qualité et mieux répartis dans les images.

La suite de nos travaux va concerner l'élaboration d'une méthode vectorielle d'identification de points de contrôle de qualité qui appartiennent à la catégorie « intersection ». En parallèle, une étude sera effectuée pour résoudre l'approche matricielle de la mise en correspondance de nos deux sources de données pour identifier des points de contrôle de qualité. Les outils ainsi développés devraient faciliter l'intégration et l'utilisation des données RADARSAT dans les systèmes d'information géographique. Parallèlement, la surabondance de points de contrôle assurera une meilleure distribution spatiale de ces points et, par conséquent, une plus grande précision cartographique pour les utilisateurs des images RADARSAT. Ces deux résultats se traduiront en avantages des plus intéressants pour tout utilisateur désireux tirer profit des données RADARSAT puisque non seulement l'opération de mise en cohérence des images RADARSAT sera accélérée mais également, la précision cartographique obtenue sera supérieure.

Remerciements

Notre projet est réalisable grâce à l'aide apportée par le FCAR - Action concertée RADARSAT, le Centre d'Information Topographique de Sherbrooke (Canada), et l'Agence Spatiale Canadienne.

Bibliographie

BNDT, 1997. Normes et spécifications de la base nationale de données topographiques, édition 3.1. Manuel technique de Géomatique Canada, mai 1997.

CITS, 2000. Site officiel (<http://www.cits.rncan.gc.ca/~cdal/>) sur la couche de cohérence réalisée par le CITS, Centre d'Information Topographique de Sherbrooke.

CNES, 1996. Philosophy and instructions for the use of the DIAPASON interferometry software system developed at CNES. Manuel technique du Centre National des Etudes Spatiales.

Dare, Ruskoné and Dowman, 1997. Algorithm development for the automatic registration of satellite images. In Proceedings of IRW '97, NASA Goddard Space Flight Center, 1997, 10 p.

Della Ventura, Rampini and Schattini, 1990. Image registration by recognition of corresponding structures. IEEE transactions on Geoscience and Remote-Sensing, vol. 28, n°3, p.303.

Iisaka and Sakurai-Amano, 1996. Automated GCP detection for SAR imagery : I. Road intersections. In Proceedings of the International SPIE Symposium on Optical Science, Engineering and Instrumentation, Denver, Colorado, 1996, 5 p.

Polidori, L., 1997. Caractéristiques des images SAR, chapitre 3 de Cartographie Radar (Gordon and Breach science publishers, Amsterdam, Pays-Bas), pp. 35-60.

Toutin, T. and Carbonneau, Y., 1992. MOS and SEASAT Image Geometric Corrections. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol.30, n°3, pp. 603-609.
