

ACQUISITION SEMI-AUTOMATIQUE DE POINTS D'APPUI  
SUR UN COUPLE D'IMAGES STEREOSCOPIQUES\*

Thierry Toutin  
Centre canadien de télédétection  
Ottawa, Ontario, K1A 0Y7 Canada

RÉSUMÉ

Une méthode semi-automatique d'acquisition de points d'appui sur un couple d'images est présentée. Après avoir défini les points d'appui dans l'image de référence, la corrélation automatique recherche les points dans l'image conjuguée. Les points sont alors validés avec les coordonnées réelles. Pour rendre la méthode opérationnelle, une autre validation est développée utilisant le modèle de correction géométrique. En fonction de la précision recherchée, l'utilisateur peut alors décider du nombre de points d'appui, de leur acceptation, rejet ou même de re-pointer en stéréoscopie certains points.

1.0 INTRODUCTION

La stéréoscopie à partir d'images est un outil très intéressant pour l'extraction tridimensionnelle d'information planimétrique et/ou altimétrique. Préalablement à l'extraction, l'orientation relative des deux images entre elles et l'orientation absolue du couple avec un référentiel terrestre doivent être réalisées. Pour cela, certains modèles paramétriques, qui décrivent les transformations terrain/images et inversement, sont très couramment utilisés au niveau opérationnel dans les systèmes de traitement d'images.

Ces modèles paramétriques ne requièrent en théorie que très peu de points d'appui (de un à cinq) qui peuvent aussi être complétés par des points de liaison stéréoscopique. En fait pour un couple radar, un seul point d'appui serait suffisant. En pratique c'est assez différent car, un certain nombre d'incertitudes dans les paramètres de modélisation du système et d'erreurs dans la définition et la mesure des points d'appui et de liaison se propagent dans le calcul du modèle stéréoscopique et donc dans l'extraction. L'utilisateur acquière, dans tous les cas, plus de points (appui et liaison) que la théorie ne le préconise. La tâche devient alors plus longue et fastidieuse.

A cause de leur importance dans toute la chaîne de traitement d'images, les orientations relative et absolue des images d'un couple stéréoscopique ont toujours été une activité de recherche importante dans le domaine de la photogrammétrie (Heipke, 1997). L'aspect numérique des données, des traitements et des systèmes a permis d'automatiser certaines des étapes, en particulier celles reliées à la corrélation d'images. Depuis les années 80, des recherches similaires ont aussi été réalisées avec des images de télédétection. Guindon (1985) utilise la corrélation automatique d'images pour trouver des points de liaison entre une image radar aéroportée et une image Landsat-TM avec une erreur de  $\pm 20$  m. D'autres développements plus récents utilisent différentes primitives d'images avant la corrélation (Petit-Frère, 1992) ou les ondelettes (Djamdjani and Bijaoui, 1995) ; ces méthodes ont principalement été testées sur des images stéréoscopiques de SPOT dans un contexte de recherche. Peu d'entre elles sont opérationnelles, à cause certainement du manque de robustesse ou de la lourdeur d'emploi.

---

\* Presented at the Fourth International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition/  
21<sup>st</sup> Canadian Symposium on Remote Sensing, Ottawa, Ontario, Canada, 21-24 June 1999.

Le but de cet article est de développer une méthode semi-automatique simple avec des outils de traitement déjà existants pour l'acquisition et la validation des points d'appui (PA) sur un couple stéréoscopique. L'intervention de l'utilisateur permet de prendre les décisions aux différentes étapes et de valider les résultats (choix du point, acceptation ou rejet, précision recherchée, etc.) tout en laissant au système les tâches de calcul (pré-traitement, corrélation, calcul des coordonnées, etc.). Différents traitements et tests sont réalisés avec des couples d'images de RADARSAT en mode fin et standard sur la région de Sherbrooke, Canada. Pour rendre la méthode opérationnelle, robuste et simple, des suggestions sont alors proposées en fonction des résultats et de la précision recherchée.

## 2.0 SITE ET DONNÉES D'EXPÉRIMENTATION

Les données cartographiques sont celles de la Zone d'essai de Sherbrooke (Québec, Canada) pour les applications topographiques de la télédétection (Lasserre et Lemieux 1990). La zone d'essai est constituée de deux feuillets au 1:50 000 : la moitié nord du feuillet 21E4 (Coaticook) et la moitié sud du feuillet 21E5 (Sherbrooke); ce qui donne une couverture terrestre d'environ 26 km par 40 km. La dénivelée maximale dans cette zone est de 450 m avec des pentes allant jusqu'à quarante degrés dans les stations de ski alpin. Les seules données utilisées dans cette recherche consistent en :

- des cartes-papier au 1:50 000 et 1:250 000; et
- deux cents points d'appui (PA) dont les coordonnées cartographiques ont été saisies à l'aide d'un stéréo-comparateur modèle STK-1 avec une précision moyenne quadratique d'un à trois mètres dans les trois axes. Ces points sont principalement des intersections d'autoroutes, de routes, de chemins ou de voies ferrées.

Les données de télédétection (Tableau 1) consistent en sept images de RADARSAT (bande C, polarisation HH), qui ont été acquises grâce au programme Opportunité de recherche et développement des applications (ADRO) parrainé par l'Agence spatiale canadienne (ASC) :

- quatre scènes en mode fin, espacement du pixel de 6,25 m, acquises d'orbite ascendante (F1 et F5) ou d'orbite descendante (F2 et F4) ; et
- trois scènes en mode standard, espacement du pixel de 12,5 m, acquises d'orbite descendante.

Tableau 1 : Caractéristiques générales des images de RADARSAT sur le site de Sherbrooke, Canada.

Mode et faisceau	Date d'acquisition	Orbite	Angle (degrés)	Couverture (km)	Résolution (m)	Pixel (m)
Fin F1	20/10/96	Asc.	37° - 40°	50 x 50	9,1 x 8,4	6,25 x 6,25
Fin F2	21/10/96	Desc.	39° - 42°	50 x 50	8,7 x 8,4	6,25 x 6,25
Fin F4	04/10/96	Desc.	43° - 46°	50 x 50	8,1 x 8,4	6,25 x 6,25
Fin F5	08/06/96	Asc.	45° - 48°	50 x 50	7,8 x 8,4	6,25 x 6,25
Standard S1	24/10/96	Desc.	20° - 27°	100 x 100	26 x 27	12,5 x 12,5
Standard S4	14/10/96	Desc.	34° - 40°	100 x 100	25,7 x 27	12,5 x 12,5
Standard S7	22/10/96	Desc.	45° - 49°	100 x 100	20,1 x 27	12,5 x 12,5

Ces données sont représentatives des images de RADARSAT les plus utilisées : orbites ascendante (asc.) ou descendante (desc.), différents modes (fin, standard), faisceaux et angles d'incidence (20° à 60°). Les images ont été traitées en distance au sol (suivant la projection ellipsoïde sans correction du relief), orientées suivant la trace de l'orbite, codées en 16 bits sans traitement radiométrique. Quatre différents couples stéréoscopiques généralement utilisés ont été créés pour l'évaluation : F2-F4, F1-F5, S4-S7 et S1-S7 de résolution fine ou grossière avec des angles variables d'intersection (4° à 23°).

### 3.0 DESCRIPTION DE LA MÉTHODE

La méthode se décompose principalement en quatre étapes. Les deux premières sont réalisées par l'utilisateur, la troisième par le système et la quatrième est interactive. Celles-ci sont (i) la définition grossière d'un point-référence, (ii) le pointé monoscopique des PA, (iii) la recherche des PA conjugués et (iv) la validation des PA.

La définition grossière d'un point-référence se réalise par un pointé sur les deux images au centre du modèle stéréoscopique. Il permet alors de définir grossièrement la translation de coordonnées entre les deux images, qui est utilisée dans l'étape 3. Une précision de pointé d'une dizaine de pixel est suffisante.

Le pointé monoscopique des PA et des points de liaison se réalise sur une des deux images, choisie comme image de référence. La précision de pointé est de  $\pm 1-2$  pixels. Les Figures 1 et 2 représentent deux exemples de PA sur deux des couples testés : un d'orbite ascendante en mode fin F1-F5 et l'autre d'orbite descendante en mode standard S1-S7, respectivement. La taille des imagerie est de 256 pixels. La définition du PA et sa caractérisation dans son contexte (de la taille de l'imagerie) sont deux aspects importants pour retrouver le PA conjugué par corrélation automatique.

Le PA 1012 est une intersection en T, bien définie, de deux routes principales, à droite d'une rivière. D'autres éléments cartographiques, tels un chemin de fer à gauche de la rivière et un petit bras de rivière sur la droite de l'imagerie, sont bien définis sur F1-F5. Par contre si le chemin de fer n'est pas visible sur S1-S7, le bras de rivière est plus long et un élément surfacique, un champ, est reconnaissable en dessous du PA. Ces éléments caractérisent donc bien le PA dans son contexte. Quant au PA 2364, l'intersection en X de deux routes secondaires est moins bien définie, surtout dans S1-S7 à cause de la route orientée verticalement. De plus, il n'y a pas ou peu d'éléments linéaire ou surfacique très caractéristiques et identiques entre les deux images d'un même couple. Ce PA est donc moins bien caractérisé par sa définition et dans son contexte.

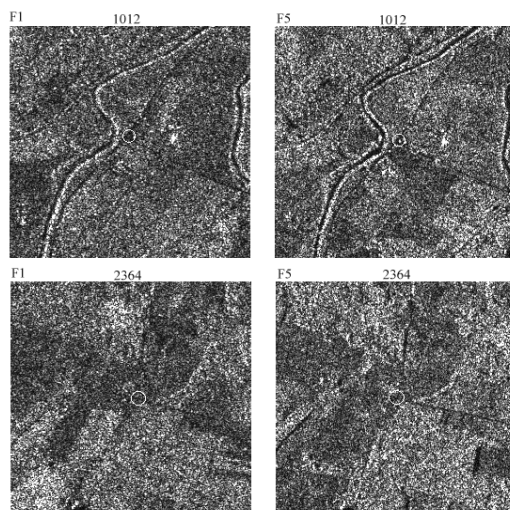


Figure 1 : Exemple de deux PA sur le couple F1-F5

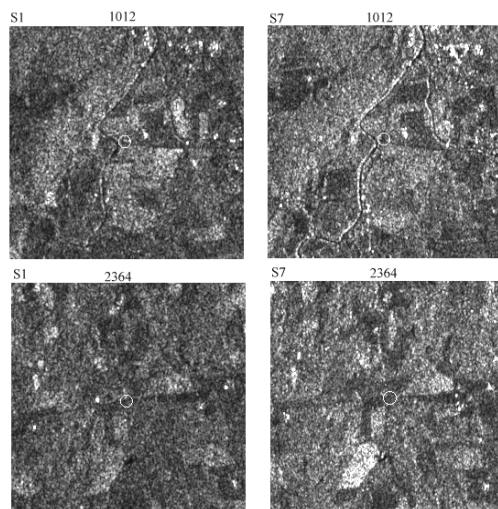


Figure 2 : Exemple de deux PA sur le couple S1-S7

La recherche des PA dans l'image conjuguée est réalisée dans un premier temps de façon manuelle sur un stéréo-restituteur numérique, le DVP, adapté au CCT pour les images radar (Toutin, 1995). Le pointé stéréoscopique des PA a une précision de l'ordre d'un pixel, et sert à l'étape de validation. Dans un deuxième temps, on emploie la corrélation automatique avec un corrélateur de surface, qui utilise une fenêtre de référence variable (10 à 140 pixels) et une fenêtre de recherche de 256 pixels. Pour chaque point de la fenêtre de recherche, une valeur de corrélation normalisée est calculée avec les niveaux de gris de la fenêtre de référence. Le maximum local définit la bonne position spatiale du PA conjugué. Différents pré-traitements (filtrage, gradient d'amplitude) et d'autres corrélateurs (contours, ondelettes) sont testés dans une moindre mesure pour évaluer de potentielles améliorations.

La validation des PA se réalise de deux façons. La première façon est de comparer les résultats de la corrélation automatique avec les coordonnées-image obtenues par le pointé stéréoscopique manuel. Le calcul du pourcentage de réussite en fonction de la distance et celui de l'erreur sur les coordonnées-image permettent de valider la méthode et les paramètres des différents traitements. Comme dans un contexte opérationnel les coordonnées des PA dans l'image conjuguée ne sont bien sûr pas connues, la deuxième façon de valider la corrélation est de calculer par moindres carrés les orientations relative et absolue du couple stéréoscopique avec les PA (Toutin, 1995). Les résidus sur les coordonnées X, Y et Z de chaque PA et les résidus moyens quadratiques (RMQ) permettent d'accepter ou de rejeter chaque PA en fonction de la précision finale recherchée et du nombre de PA disponibles. Cela peut se faire par l'utilisateur ou automatiquement avec un calcul itératif des orientations. Les PA appartenant à un intervalle de confiance (1, 2 ou 3 fois les RMQ) peuvent être affichés sur l'écran, et l'utilisateur peut alors re-pointer en stéréoscopie les mauvais PA, si nécessaire.

#### 4.0 ANALYSE DES RÉSULTATS

Les premiers résultats sont liés à la taille de la fenêtre de référence, qui varie de 10 à 140 pixels afin d'évaluer dans la corrélation l'impact du contexte cartographique par rapport à la définition seule du point. Le critère de validation est le pourcentage de réussite en fonction de la distance, obtenue en comparant les coordonnées dans l'image conjuguée du PA corrélé par rapport à celles du PA stéréo-restitué. La Figure 3 donne pour les quatre couples ces résultats, dans laquelle les courbes représentent

les distances de 1, 3, 5 et 9 pixels. Jusqu'à une taille de 40 pixels les pourcentages de réussite augmentent, démontrant la nécessité du contexte cartographique pour la corrélation d'un PA. A partir d'une taille de 60-80 pixels, les pourcentages ne s'améliorent que très peu (quelques %), mais les temps de calcul augmentent. De plus, 20% à 30% et 90% des PA ont été corrélés avec une erreur d'un et neuf pixels, respectivement. Suivant la précision finale recherchée, l'utilisateur peut donc décider du nombre de PA à acquérir en fonction de ce pourcentage.

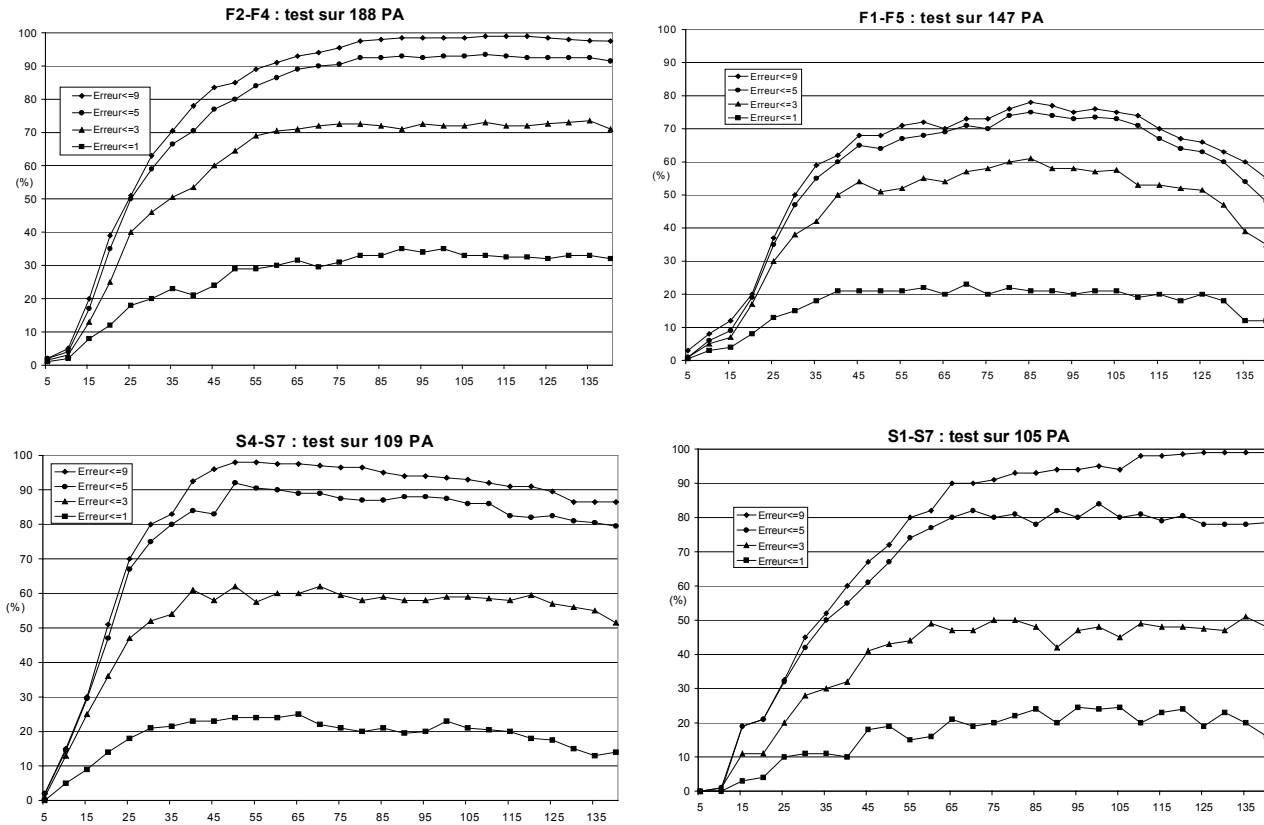


Figure 3 : Pourcentage de réussite pour chaque distance (1, 3, 5 et 9 pixels) en fonction de la taille de la fenêtre de référence (en pixels) pour F2-F4, F1-F5, S4-S7 et S1-S7

La Figure 4 donne les EMQ calculées sur tous les PA en colonne et ligne en fonction de la taille de la fenêtre de référence, seulement pour le F1-F5. Elle confirme la taille optimale de la fenêtre de référence (80 pixels) et donne l'erreur de corrélation dans les deux axes (28 m et 38 m). Cette erreur permet alors une évaluation de sa propagation dans le calcul des orientations du couple.

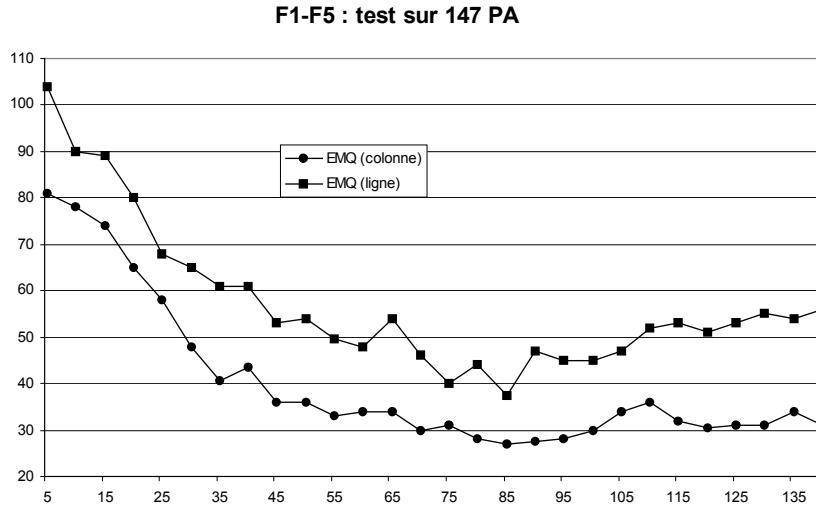


Figure 4 : Erreurs moyennes quadratiques (en mètres) en colonne et en ligne des PA en fonction de la taille de la fenêtre de référence (en pixels) pour F1-F5

Afin d'améliorer le positionnement spatial des PA et les pourcentages de réussite, des tests complémentaires sur le pré-traitement et d'autres corrélateurs ont été effectués et seront présentés en détail durant le Symposium. En résumé, le pré-traitement des images, tels le filtrage du chatoyement (Lopes *et al.*, 1993) ou l'utilisation d'un opérateur linéaire de gradient qui retire le bruit et rehausse les arêtes (Paillou and Gelautz, 1998) détériorent même les résultats d'environ 50%, et ne présente qu'un avantage, celui de réduire la taille de la fenêtre. Quelle que soit la qualité des outils de pré-traitements, ils réduisent les contrastes et lissent les images, générant une perte d'information et de précision de localisation. En outre, la corrélation calculée sur de larges fenêtres agit déjà «comme un filtre» (Toutin, 1999). Les temps de calcul sont plus longs réduisant ainsi l'intérêt au niveau opérationnel. Les corrélateurs de contours ou ceux utilisant les ondelettes n'ont pas, non plus, amélioré les résultats, mais par contre augmentent les temps de calcul.

Pour rendre la méthode opérationnelle, la deuxième validation calcule la compensation par moindres carrés des deux orientations à partir des PA. Les RMQ en X, Y et Z sont des bons indicateurs de la précision des PA (Toutin, 1998). La Figure 5 donne les RMQ en fonction de la taille de la fenêtre de référence pour F1-F5 et S1-S7. Les variations sont plus subtiles principalement en Y, mais on dénote une amélioration des résultats autour de la fenêtre optimale (80 pixels) déterminée précédemment. L'analyse des résidus de chaque PA pour cette fenêtre montre que les points sont répartis par groupe correspondant plus ou moins à un, deux et trois RMQ. L'utilisateur peut donc choisir de rejeter manuellement ou automatiquement les PA au-dessus d'un seuil relié aux RMQ, en fonction de la précision recherchée et du nombre de PA disponibles. Le calcul des orientations peut alors se réaliser de façon itérative. Par exemple, en prenant tous les PA de S1-S7 corrélés avec la fenêtre de 80 pixels les RMQ en X, Y et Z sont tombées à 14 m, 12 m et 15 m, respectivement après trois itérations, dans lesquelles les résidus des PA supérieurs à 3, 2 et 1 RMQ ont été successivement retirés. Le dernier calcul a été réalisé avec 58 PA, à peu près 50% du nombre initial, ce qui correspond au pourcentage de réussite pour la distance de trois pixels (Graphe de S1-S7 dans Figure 3).

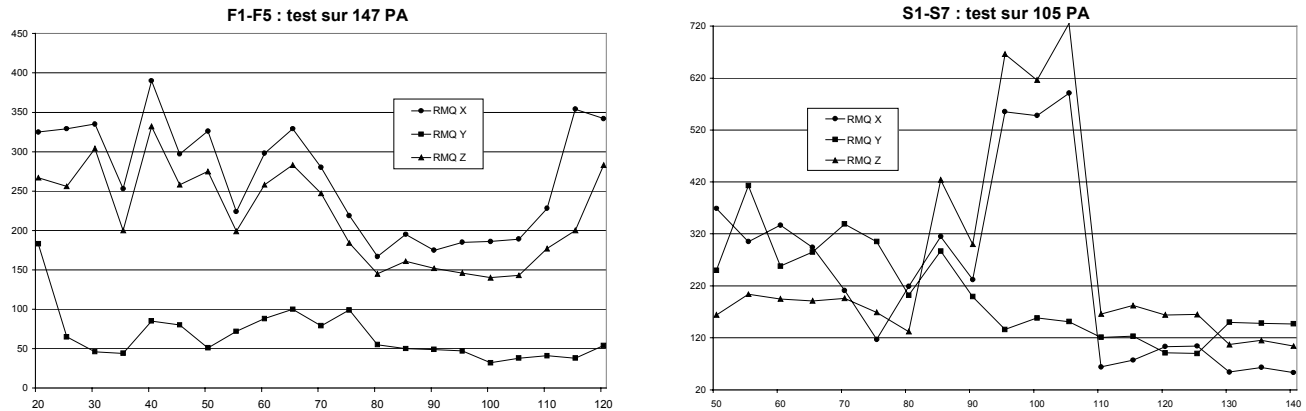


Figure 5 : Résidus moyens quadratiques (en mètres) du calcul de la compensation par moindres carrés des orientations en fonction de la taille de la fenêtre de référence (en pixels) pour F1-F5 et S1-S7

## 5.0 CONCLUSION

Une méthode d'acquisition semi-automatique de PA sur quatre couples stéréoscopiques d'images de RADARSAT a démontré l'intérêt de combiner les capacités de décision de l'utilisateur avec celles de calcul des systèmes. Après que l'utilisateur ait pointé le PA sur l'image de référence, la corrélation automatique de surface est utilisée pour le trouver sur l'image conjuguée. Les tests font varier la taille de la fenêtre de référence et les erreurs sur les coordonnées-image sont calculées par comparaison avec les PA préalablement stéréo-restitués. En fonction du pourcentage de réussite et du temps de calcul, la taille optimale de la fenêtre est de 80 pixels, ce qui permet de tenir compte de la définition du point et du contexte cartographique. Les pré-traitements d'images détériorent les résultats et d'autres types de corrélateurs (contour, ondelettes) ne les améliorent pas, alors que le temps de calcul est plus élevé.

Dans un contexte d'opération, le calcul de la compensation par moindres carrés des orientations relative et absolue du couple peut être utilisé pour la validation de la corrélation des PA. En fonction des résidus sur chaque PA et des RMQ, l'utilisateur peut manuellement ou automatiquement rejeter de façon itérative les PA, dont les résidus sont supérieurs à un seuil proportionnel aux RMQ. En tenant compte de la précision finale recherchée et du nombre de PA disponibles, dépendant du type d'images et de terrain, l'utilisateur peut finalement décider de re-pointer certains PA pour améliorer la précision ou augmenter le nombre de PA dans le calcul des orientations relative et absolue.

## 6.0 REMERCIEMENTS

Les images de RADARSAT ont été acquises dans le programme ADRO de l'Agence spatiale canadienne. L'auteur remercie M. Eric Benhamou de l'Institut National de Télécommunications, Paris, France et M. René Chénier de Consultants TGIS inc. pour l'acquisition et le traitement des données.

## 7.0 RÉFÉRENCES

- J.-P. Djamdji and A. Bijaoui, "Disparity Analysis: A Wavelet Transform Approach", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 33, No. 1, pp.67-76, January 1995.

- B. Guindon, “Automated control point acquisition in radar-optical image registration”, *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol. 11, No. 1, pp. 103-112, January 1985.
- C. Heipke, “Automation of interior, relative and absolute orientation” *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. 52, pp. 1-19, 1997.
- M. Lassere and J.-P. Lemieux, “Sherbrooke Data Set for Topographic Applications” *Final Report. EMR, Canada*, p. 40, 1990.
- A. Lopes, E. Nezry, R. Touzi and H. Laur, “Structure detection and statistical adaptive speckle filtering in SAR images,” *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 14, no. 9 pp. 1735-1758, June 1993.
- Ph. Paillou and M. Gelautz, “The Optimal Gradient Matching Method: Application to X-SAR and Magellan Stereo-Images”, *Proceedings of IGARSS’98*, Seattle, Washington, USA, 6-10 July, pp. 2357-2359, July 1998.
- J. Petit-Frère, «Prise en compte des différences photométriques entre images dans les techniques de stéréorestitution», *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Washington, D.C., USA, Vol. 29 (B4), pp. 392-398, 1992.
- Th. Toutin, “RADARSAT for Stereoscopy: Radar Stereo Pairs for DEM Generation”, *GIM International*, Vol. 13, No. 1, pp.6-9, January 1999.
- Th. Toutin, «Evaluation de la précision géométrique des images de RADARSAT», *Journal canadien de télédétection*, Vol. 24, No. 1, pp.80-88, janvier 1998.
- Th. Toutin, “DEM Generation with a Photogrammetric Approach: Examples with VIR and SAR Images”, *EARSeL Journal “Advances in Remote Sensing”*, Vol. 4, No. 2, pp.110-117, March 1995.