

## Note de recherche

# COMPENSATION PAR SEGMENT ET BLOC D'IMAGES PANCHROMATIQUES ET MULTI-BANDES DE SPOT<sup>^</sup>

Thierry Toutin ,

Ressources naturelles Canada, Centre canadien de télédétection  
588, rue Booth, Ottawa (Ontario) K1A 0Y7  
Tél. : (613) 947-1293 ; Bélinographe : (613) 947-1385  
[thierry.toutin@cct.rncan.gc.ca](mailto:thierry.toutin@cct.rncan.gc.ca)

## Résumé

*Cette recherche démontre le potentiel et évalue les conditions d'expérimentation de la compensation de segments et bloc d'images de SPOT avec le modèle physique 3D de correction géométrique développé au Centre canadien de télédétection pour les images de source multiple. En premier lieu, les segments sont automatiquement créés à partir d'images acquises de la même orbite. Les résultats avec onze images panchromatiques et six images multi-bandes de SPOT démontrent que la même précision peut être obtenue sur des grands blocs d'images que sur une seule image avec un nombre limité de points d'appui (PA) et des points de liaison dans tous les recouvrements. Quand les différences d'angles de visée d'images ou de segments adjacents sont inférieurs à 30°, l'altitude doit être ajoutée à ces points de liaison car, la géométrie d'intersection est trop faible. Quand les différences d'angles de visée d'images ou segments adjacents sont inférieurs à 6°, la précision du bloc peut être réduite par un facteur de six et on doit alors ajouter des PA sur ces images pour retrouver la précision initiale du bloc.*

## Abstract

This research demonstrates the potential and evaluates the conditions of experiment of SPOT image path and bloc adjustment using 3D physical model for geometric correction of multi-source images developed at the Canada Centre for Remote Sensing. In a first step, image paths are automatically generated with the images acquired from the same orbit. Results with eleven panchromatic and six multiband SPOT images show that the same accuracy can be obtained with large image blocks than with a single image using a limited number of ground control points (GCPs) and tie points in all image overlaps. When the viewing angle differences of adjacent images/paths are less than 30°, the elevation should be added to these tie points because the intersection geometry is too weak. When the viewing angle differences of adjacent images/paths are less than 6°, the final accuracy of the block can be reduced with a factor of six and GCPs have to be added on these images to recover the initial block accuracy.

---

<sup>^</sup> Publié dans le Journal Canadien de télédétection, 2003, 29(1):36-42

## **INTRODUCTION**

Comme en photogrammétrie où l'on crée des bandes et des blocs de photographies aériennes, il apparaît naturel de créer avec les images de télédétection des segments à partir d'une même orbite et des blocs d'images à partir de segments adjacents. Le traitement géométrique se réalise alors avec un procédé de compensation simultanée de bloc d'images/segments au lieu d'image par image, séparément ; ce qui réduit par un facteur de dix à vingt le nombre de points d'appui (PA).

Cet article présente la méthode et le système pour créer et traiter des segments et des blocs d'images panchromatiques et multi-bandes de SPOT et évaluer les conditions d'expérimentation en milieu opérationnel. Des résultats comparatifs entre les traitements d'une image, de segment(s) ou de bloc(s) seront ensuite montrés pour valider la stabilité et robustesse du système ainsi que la précision obtenue. L'outil mathématique de correction géométrique utilisé est celui qui a été développée pour SPOT (Toutin, 1985) et adapté au Centre canadien de télédétection (CCT) pour les images de source multiples (Toutin, 1995). En fonction des configurations du bloc et des angles de visée entre les images adjacentes, différentes stratégies pour l'utilisation du système dans un cadre opérationnel sont présentées.

## **CRÉATION DE SEGMENTS ET DE BLOC**

Comme les données de télédétection sont acquises de façon continue mais découpées «artificiellement» en images, il est possible de «re-coller» les images acquises d'une même orbite et à la même date pour créer des segments continus dans la direction nord-sud. Pour les images brutes de niveau 1 (sans aucun traitement géométrique), les lignes d'images dans les recouvrements se superposent exactement, et on peut donc «re-coller» les images en un segment en utilisant (i) les données de temps et/ou d'attitude pour les faire correspondre dans les recouvrements ou (ii) les méta-données, qui donnent la relation entre les lignes d'image et le segment original. Les deux méthodes peuvent se réaliser automatiquement au moment de la lecture des données pour créer le segment avec ses données d'éphémérides et d'attitude (Sakaino *et al.*, 2000). La première méthode est recommandée pour les produits SPOT avec le format canadien ou l'ancien format de SPOT-Image, et la deuxième méthode pour les produits SPOT avec le nouveau format CAP de SPOT-Image.

Si à cause de la couverture nuageuse ou autre raison, des images d'un même segment sont acquises à partir de dates différentes, elles ne peuvent plus être «re-collées» car, elles ne sont pas acquises de la même orbite physique. Les images ou segments de deux dates différentes doivent être alors considérés

comme indépendantes, et des points de liaison (PL) doivent être utilisés pour créer un lien dans la direction nord-sud. Si la géométrie d'intersection, représentée par la différence d'angles de visée ( $\Delta A_V$ ) ou le rapport base-sur-hauteur (B/H), est très faible ( $\Delta A_V < 6^\circ$  ;  $B/H \approx 0,01$ ), l'utilisation de PL avec une altitude connue (PL\_alti) est obligatoire pour rigidifier la géométrie entre les deux images et la Terre.

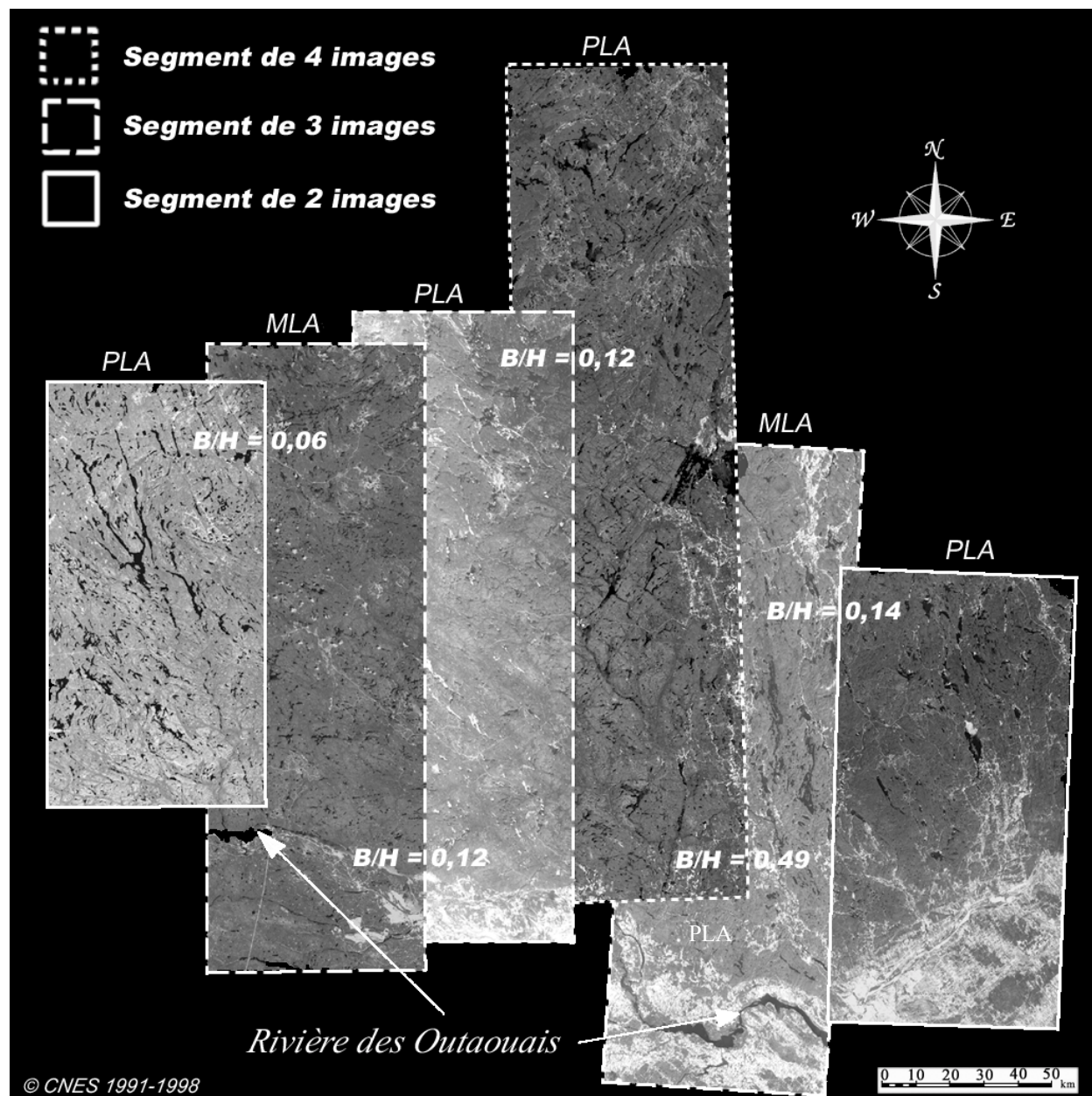
Finalement, le bloc est ensuite constitué entre les images et/ou segments adjacents dans la direction est-ouest. Le lien entre les images et segments dans la direction est-ouest s'effectue aussi avec des PL communs dans les recouvrements entre images/segments. Comme les images de SPOT peuvent être acquises à partir d'angles de prise de vue très variables (visée perpendiculaire à l'orbite de  $\pm 30^\circ$ ), les géométries d'intersection peuvent être très variables, générant des différences d'angles de visée de quelques degrés à  $60^\circ$  ou des B/H de 0,1 à 1,0, respectivement. Mais d'après Light *et al.* (1980), des B/H de 0,6 à 1,0 sont nécessaires pour les exigences de précision de la cartographie topographique. Par conséquent, quand les B/H seront plus grands ou plus petits que 0,6, des PL ou des PL\_alti respectivement, devront être utilisés.

## EXPÉRIMENTATION

Le site d'étude est la vallée de l'Outaouais dans la province de Québec avec une dénivellation de 500 m. Les données cartographiques sont 110 cartes topographiques au 1 : 20 000, qui ont une précision de 10 m en planimétrie et 5 m en altimétrie. Onze images en mode panchromatique (PLA) et six images en mode multi-bande (MLA) avaient été acquises pour un autre projet par le Ministère des Ressources naturelles du Québec (Figure 1 et Tableau 1). Le bloc de 17 images se répartit sur six segments de deux à quatre images, acquis à partir de la même orbite et à la même date : deux segments de deux images, trois segments de trois images, un segment de quatre images. Les segments ont directement été créés au moment de la lecture des données avec la première méthode précédemment décrite. Les angles de prise de vue varient de  $0^\circ$  à  $28^\circ$ , générant de faibles B/H entre segments de 0,06 à 0,49. Suivant la taille du segment, de 20 à 49 points d'appui pour un total de 230 points-image (précision de 10 m en X et Y, de 5 m en Z et une précision de pointé sur l'image légèrement inférieure au pixel) ont été acquis par segment en évitant les extrapolations en planimétrie et en altimétrie.

L'outil de correction géométrique est basé sur le modèle 3D physique développé pour SPOT (Toutin, 1985) et adapté pour les images de sources multiples (Toutin, 1995). Avec trois PA précis (1-2 m), il permet d'obtenir une précision d'un tiers de pixel pour SPOT. Quand les PA sont moins précis (5-10 m), le nombre requis pour la compensation est alors fonction de leur précision (Toutin, 1995) : cela permet

d'éviter la propagation de leurs erreurs dans la compensation par MC du modèle 3D physique.



**Figure 1** : Localisation géographique des images panchromatique (PLA) et multi-bandes (MLA) de SPOT sur la Vallée de l'Outaouais et détermination des différents segments de 2, 3 ou 4 images avec les B/H dans les recouvrements entre segments est-ouest.

Deux groupes de tests de compensation sont effectués avec ces données en faisant varier le nombre d'images et de segments dans le bloc et le nombre de PA utilisés pour le calcul de compensation par MC :

1. Tous les points sont utilisés comme PA pour une image (comme référence pour comparaison avec les autres résultats), pour les segments de deux, trois et quatre images et pour le bloc de six segments ;

2. Avec un nombre limité des PA sur les segments extérieurs ou tous les deux segments et des PL\_alti dans chaque recouvrement de segments pour différentes configurations de blocs.

**Tableau 1** : Description des données de SPOT panchromatique (PLA) et multibandes (MLA) sur la Vallée de l’Outaouais, Québec, Canada

Segment	Nombre d’images	Mode d’acquisition	Date d’acquisition	Taille du pixel	Angle de visée	B/H entre segments
1	2	PLA	04/07/94	10 m	-1,6°	0,06
2	3	MLA	11/09/95	20 m	+1,6°	0,12
3	3	PLA	24/05/98	10 m	+8,8°	0,12
4	4	PLA	04/07/94	10 m	+1,9°	0,49
5	3	MLA	26/06/96	20 m	+27,6°	0,14
6	2	PLA	24/08/91	10 m	+18,5°	

## RÉSULTATS

### Avec tous les PA

Le Tableau 2 donne les résiduelles moyennes quadratiques (RMQ) et les résiduelles minima/maxima en mètres pour ces différentes compensations : une image seule, les segments de deux à quatre images et le bloc en entier. Le calcul avec une image seule est utilisé comme référence pour les autres tests. Les résiduelles reflètent la qualité des PA quand un grand nombre de PA est utilisé. Les résultats pour les compensations pour une image seule et pour les segments de deux et trois images correspondent à une moyenne des résultats pour chacune des possibilités (e.g., le résultat pour une image seule est la moyenne des résultats pour chacune des 11 images panchromatiques). Dans la compensation du bloc, tout PA appartenant à plus d’un segment (condition de colinéarité) est aussi utilisé comme PL (conditions de coplanarité).

Ces résultats montrent l’applicabilité et la stabilité du modèle de compensation par blocs quel que soit le type de segments (segments de deux à quatre images et le bloc) puisque les résultats sont similaires à ceux d’une image : de l’ordre d’un demi pixel. La redondance des PA contribue ainsi à diminuer la propagation de leur erreur (10 m). On doit noter que dans les segments de trois images et dans le bloc interviennent les deux segments MLA (pixel de 20 m) ; ce qui contribue à augmenter les résiduelles (RMQ et min./max.) à cause de l’erreur de pointé. Les erreurs de  $\pm 20$ -30 m, qui sont aussi dues aux segments

MLA (en caractère gras dans le Tableau 2), correspondent aux mêmes PA dans les différents tests (segment de trois images et bloc de six segments). Puisque le même PA donne à peu près les mêmes résiduelles quelle que soit la compensation, ces résiduelles reflètent la qualité du pointé de ce PA.

**Tableau 2** : Nombre approximatif de points d'appui (PA) par image ou segment, résiduelles moyennes quadratiques (RMQ) et minimum/maximum (en mètres) sur les PA des différentes compensations par image, segment ou bloc.

Tests de compensation par image, segment ou bloc	Nombre de PA	RMQ (m)		Minima/Maxima (m)	
		X	Y	X	Y
Une image PLA	15	4,7	4,5	-10/11	-9/10
Segments de deux images PLA	20-33	4,8	5,3	-9/12	-12/10
Segments de trois images MLA*	46-48	8,5	9,0	<b>-29/21</b>	<b>-27/23</b>
Segment de quatre images PLA	49	3,0	4,0	-7/5	-11/10
Bloc de six segments PLA/MLA*	230	7,6	7,1	<b>-29/21</b>	<b>-20/23</b>

\* Les plus grandes erreurs sont dues aux erreurs de pointé deux fois plus grandes dans les segments MLA que dans les segments PLA.

En résumé :

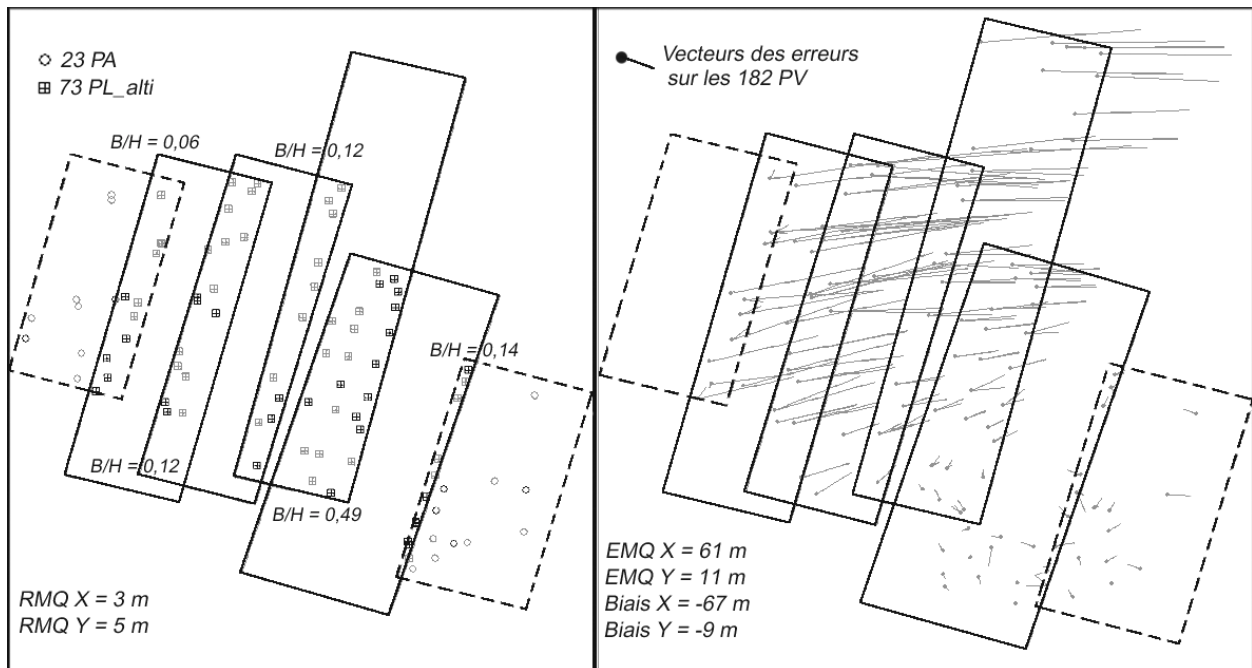
1. Les RMQ sont du même ordre de grandeur que l'erreur cartographique grâce à la redondance des PA dans la compensation par MC ;
2. Les résiduelles maxima et minima sont inférieurs à trois fois les RMQ, montrant une cohérence à l'intérieur des segments ou du bloc sans générer d'erreur locale ; et
3. Les plus grandes erreurs dans les segments de trois images MLA se retrouvent aussi dans le bloc (en caractère gras dans le Tableau 2) démontrant une cohérence dans le modèle de compensation de bloc.

Ces deux derniers points démontrent que le système permet alors de détecter les erreurs potentielles quand leurs résiduelles sont plus grandes que les RMQ, mais seulement si un plus grand nombre de PA que le minimum théoriquement requis est utilisé.

### Avec un nombre limité de PA

Des tests en fonction du nombre de PA ont permis de vérifier qu'environ douze PA était un bon compromis pour éviter la propagation de leurs erreurs et pour conserver une précision de l'ordre de 10 m. Ce résultat, cohérent avec des précédentes recherches (Toutin, 1995) est alors appliqué pour le deuxième groupe de tests, avec en plus des PL\_alti dans chaque recouvrement de segments (puisque  $B/H < 0,6$ ) pour créer un lien entre les segments intérieurs et extérieurs. La Figure 2 présente le résultat de la

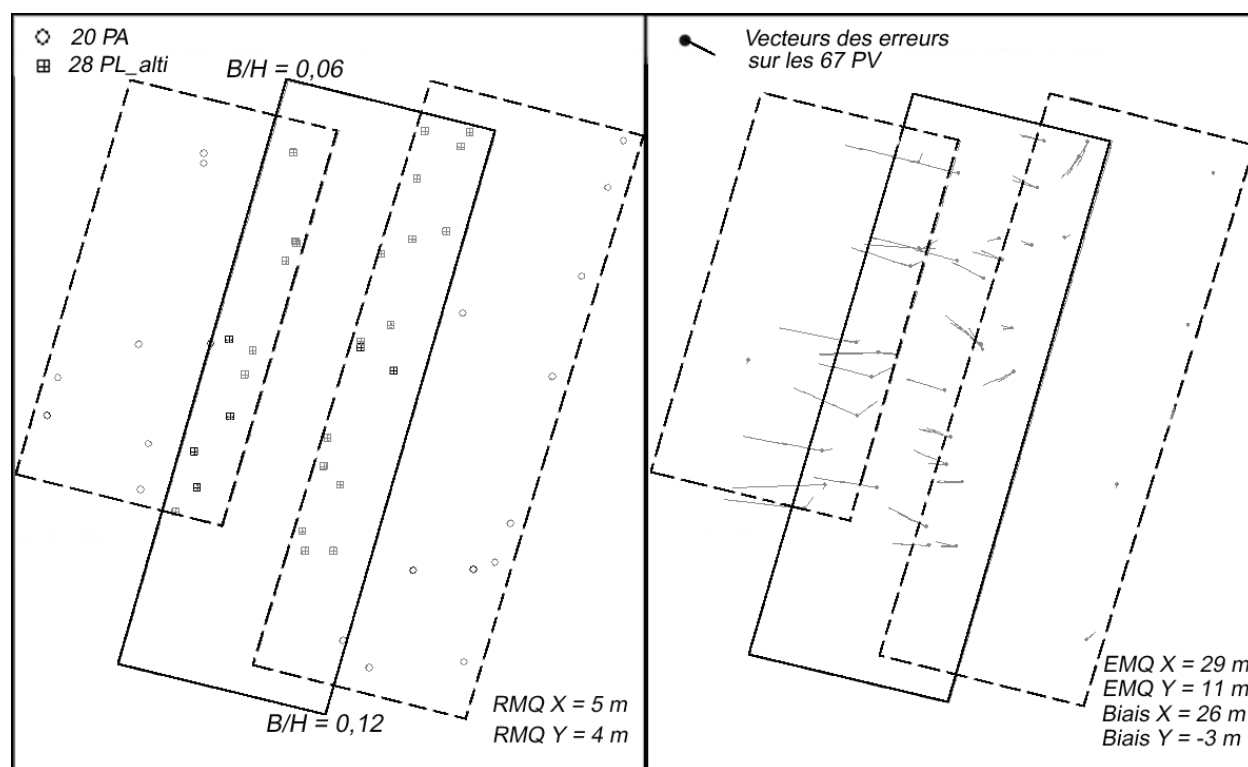
compensation par bloc de six segments avec 8-12 PA sur les segments extérieurs (1 & 6) et 11-24 PL\_alti dans chaque recouvrement de segments (partie gauche). La partie droite de la Figure donne les vecteurs-erreur des 182 points de vérification (PV) (un vecteur-erreur par point-segment) : les erreurs moyennes quadratiques (EMQ) en X sont très grandes (61 m) avec des erreurs maxima de 200 m. Par contre, les erreurs en Y sont similaires aux résultats précédents (11 m). On note aussi sur la Figure 2 que les erreurs en X proviennent des segments 1 et 2 de gauche (B/H de 0,06), et qu'ensuite elles se propagent jusqu'au segment 4. En effet, les vecteurs-erreur des PV dans le recouvrement, qui correspondent au segment 1, sont grands en comparaison des vecteurs-erreur qui correspondent au segment 2 : « l'information se transmet » donc mal du segment 1 au segment 2, et ainsi de suite. Par contre, il n'y a pas de propagation d'erreurs à partir des segments 6 et 5 grâce à de meilleurs B/H (0,14 et 0,49). En effet, les couples de vecteurs-erreur des PV dans ces recouvrements sont similaires ; ce qui en plus indique une bonne superposition relative entre les deux segments. Ces trois interprétations donnent une forte indication que les faibles géométries d'intersection entre segments (principalement entre les segments 1, 2 et 3) sont responsables de ces mauvais résultats en X.



**Figure 2** : Résultat de la compensation par bloc de six segments avec leur valeur de B/H : dans la fenêtre de gauche, la distribution des 8-12 PA (symbole cercle) sur les segments extérieurs (1 & 6) et 11-24 PL\_alti altimétriques (symbole carré) dans les recouvrements avec leurs RMS (en mètres); dans la fenêtre de droite, les vecteurs-erreur sur les PV (un PV appartenant à deux segments a un vecteur-erreur pour chaque segment) avec leurs EMQ et biais (en mètres).

Pour confirmer ces interprétations, la compensation par bloc est réalisée avec une distribution presque identique de PA sur les segments extérieurs du bloc et de PL\_alti dans tous les recouvrements :

- (1) avec les trois segments de gauche (1 à 3) qui ont des faibles B/H (de 0,06 ET 0,12) (Figure 3) ; et
- (2) avec les quatre segments de droite (3 à 6), qui ont de meilleurs B/H (de 0,12 à 0,49) (Figure 4).

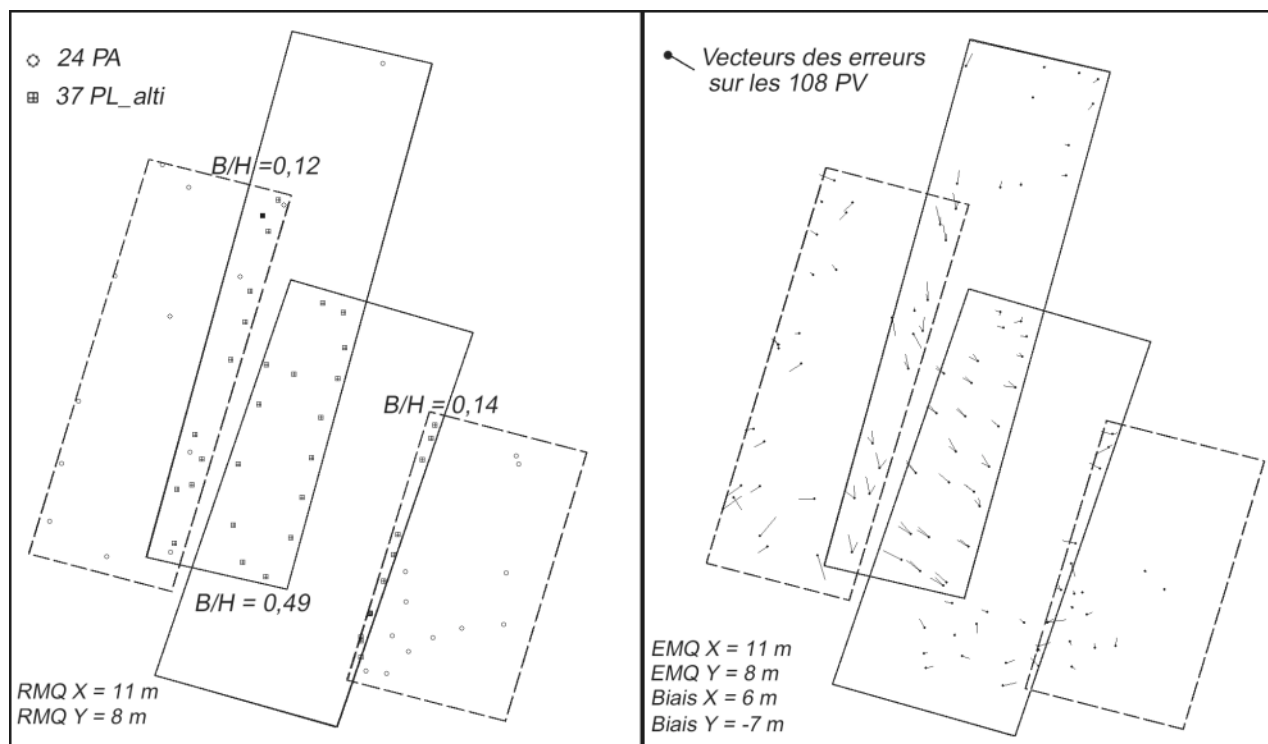


**Figure 3** : Résultat de la compensation par bloc des trois segments de gauche avec leur valeur de B/H : dans la fenêtre de gauche, la distribution des 8 et 12 PA (symbole cercle) sur les segments extérieurs (1 & 3) et 11 et 17 PL\_alti (symbole carré) dans les recouvrements avec leurs RMS (en mètres); dans la fenêtre de droite, les vecteurs-erreur sur les PV (un PV appartenant à deux segments a un vecteur-erreur pour chaque segment) avec leurs EMQ et biais (en mètres). Plus les vecteurs-erreurs pour les PV dans les recouvrements sont identiques, plus la précision relative entre ces deux segments est bonne

On s'aperçoit que les EMQ calculées sur environ 67 PV pour la compensation des trois segments de gauche donnent encore de mauvais résultats (28 m en X et 11 m en Y) alors que ceux de la compensation des quatre segments de droite donnent des résultats (12 m en X et 10 m en Y) plus similaires à ceux du bloc entier avec tous les PA (8 m en X et 7 m en Y). Les EMQ en X plus grands que les EMQ en Y et les EMQ en Y similaires pour les deux tests (3 et 4 segments) confirment que la cause principale de la propagation des erreurs est le B/H de 0,06 entre les segments 1 et 2. Par conséquent, des B/H inférieurs à 0,1, correspondant à des différences d'angle de visée de 6°, doivent donc être évités dans une

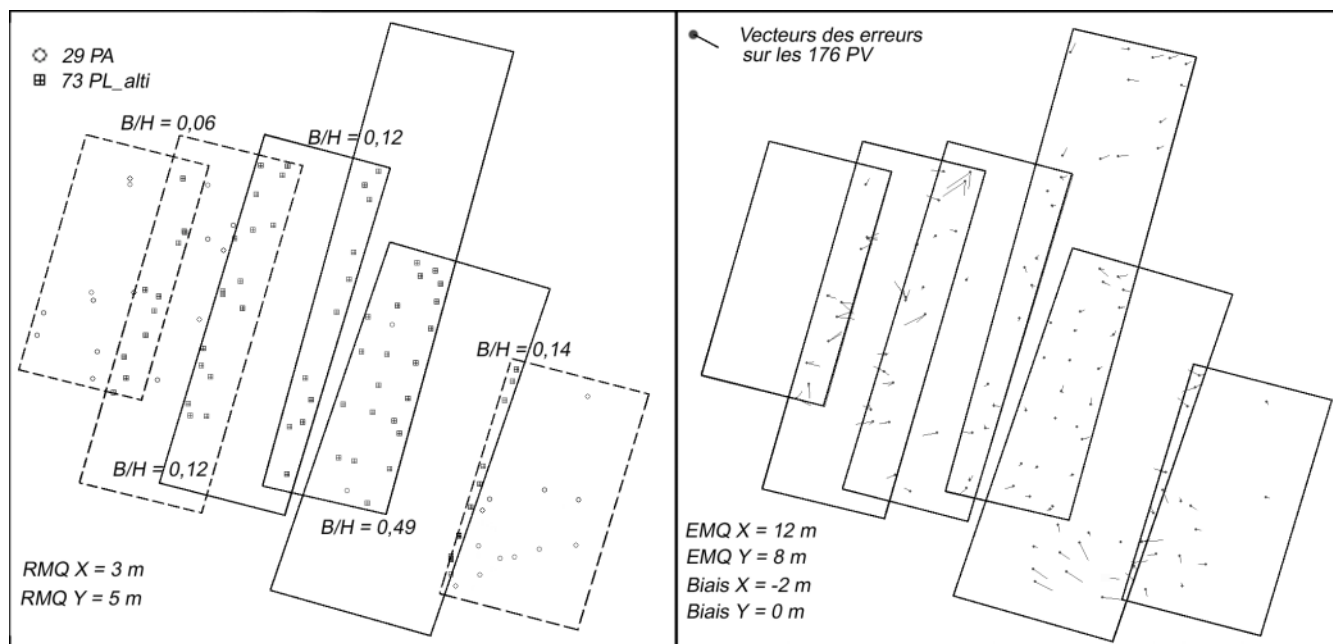


compensation par bloc. Si cela survient, des PA sur chacune des images ou segments générant des B/H inférieurs à 0,1 doivent être ajoutés.



**Figure 4** : Résultat de la compensation par bloc des quatre segments de droite avec leur valeur de B/H : dans la fenêtre de gauche, la distribution des 12 PA (symbole cercle) sur les segments extérieurs (3 & 6) et 10-15 PL altimétriques (symbole carré) dans les recouvrements avec leurs RMS (en mètres) ; dans la fenêtre de droite, les vecteurs-erreur sur les PV (un PV appartenant à deux segments a un vecteur-erreur pour chaque image) avec leurs EMQ et biais (en mètres). Plus les vecteurs-erreurs pour les PV dans les recouvrements sont identiques, plus la précision relative entre ces deux segments est bonne.

Ainsi ajoutant six PA sur le segment 2, la compensation par bloc des six segments est réalisée (Figure 5). Les EMQ calculés sur 176 PV sont alors de 12 m en X et 9 m en Y, résultats plus similaires aux précédents résultats du bloc de quatre segments ou du premier groupe de tests du Tableau 1. De plus, l'analyse des couples de vecteurs-erreur dans les recouvrements montre que, comme les vecteurs-erreur pour ces PV sont identiques en terme de grandeur et de direction, la précision relative entre ces deux segments est bonne. Cela démontre que « l'information se transfère » bien des segments extérieurs avec PA aux segments intérieurs sans PA par le biais des PL\_alti, et que cette méthode et ce système de compensation sont stables et robustes, pour autant que les conditions préalablement données soient remplies.



**Figure 5 :** Résultat de la compensation par bloc de six segments avec leur valeur de B/H : dans la fenêtre de gauche, la distribution des 6-12 PA (symbole cercle) sur les segments (1, 2 & 6) et 10-24 PL altimétriques (symbole carré) dans les recouvrements avec leurs RMS (en mètres); dans la fenêtre de droite, les vecteurs-erreur sur les PV (un PV appartenant à deux segments a un vecteur-erreur pour chaque segment) avec leurs EMQ et biais (en mètres). Plus les vecteurs-erreurs pour les PV dans les recouvrements sont identiques, plus la précision relative entre ces deux segments est bonne.

## Conclusions

Après avoir montré la formation de segments et de blocs d'images de SPOT, les résultats de compensation par segments et bloc de segments ont démontré la validité de la méthode avec le modèle 3D physique de correction géométrique du CCT. Il permet d'obtenir la même précision (meilleure que le pixel) sur un bloc de segments que sur une image seule, pour autant qu'il n'y ait pas d'extrapolation en planimétrie mais aussi en altimétrie. Cohérence et stabilité sont ainsi obtenus dans la compensation, quel que soit le nombre de segments avec un nombre restreint de PA sur les segments extérieurs et des PL dans les recouvrements. Des erreurs relatives entre segments sont aussi inférieures au pixel. Les résultats ont aussi permis de déterminer des règles d'utilisation de la méthode. Si les images sont acquises avec des différences d'angles de visée de  $6^\circ$  ou moins, générant dans les recouvrements des B/H inférieurs à 0,1 on doit obligatoirement utiliser des PA sur chacune de ces images dans la compensation du bloc. Si des images sont acquises avec des différences d'angles de visée de  $6^\circ$  à  $30^\circ$ , générant dans les recouvrements des B/H compris entre 0,1 et 0,6 respectivement, on doit obligatoirement utiliser des PL\_alti dans les recouvrements. Les tests et les résultats avec ce bloc de segments sont particulièrement intéressants et

encourageants car, les images (MLA réduisant la précision) avec leur angle de visée (créant des B/H tous inférieurs à 0,5) n'avaient pas été choisies de façon appropriée pour une expérience de compensation par bloc. Ces images ne seraient même pas un bon choix dans un cadre opérationnel de compensation par bloc d'images.

## Remerciements

L'auteur remercie le Ministère des Ressources naturelles du Québec et M. Paul Briand de VIASAT Geo Technologie inc. pour les images de SPOT sur la Vallée de l'Outaouais. Il remercie aussi M. Yves Carbonneau et M. René Chénier de Consultants TGIS inc. pour l'adaptation du logiciel de compensation par bloc et le traitement des données.

## Références

Light, D.L., Brown D., Colvocoresses A., Doyle F., Davies M., Ellasal A., Junkins J., Manent J., McKenney A., Undrejka R. and Wood G. 1980. Satellite Photogrammetry, in *Manual of Photogrammetry, Fourth Edition*, American Society of Photogrammetry, Bethesda, USA, pp. 883-977.

Sakaino S., Suzuki H., Cheng P., and Toutin Th. 2000. Updating maps of Kazakhstan using stitched SPOT images, *Earth Observation Magazine*, Vol. 9, No 3, pp. 11-13.

Toutin, Th. 1995. Multisource data fusion with an integrated and unified geometric model, *EARSel Journal Advances in Remote Sensing*, Vol. 4, pp. 118-129, Also available from [www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/rd/sci\\_pub/bibpdf/1223.pdf](http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/rd/sci_pub/bibpdf/1223.pdf) [cited 01/09/02]

Toutin, Th. 1985. *Analyse mathématique des capacités stéréoscopiques du système SPOT*, Thèse de Docteur-ingénieur, Ecole Nationale des Sciences Géodésiques, Paris, France, 163 pages.

Veillet, I. 1991. *Triangulation spatiale de blocs d'images SPOT*, Thèse de Doctorat, Observatoire de Paris, Paris, France, 101 pages.