

LA CORRECTION GÉOMÉTRIQUE RIGOUREUSE : UN MAL NÉCESSAIRE POUR LA SANTÉ DE VOS RÉSULTATS*

«Docteur» Thierry Toutin
Centre canadien de télédétection
588, rue Booth, 3e étage
Ottawa (Ontario) K1A 0Y7
Téléphone : (613) 947-1293; Télécopieur : (613) 947-1385

RÉSUMÉ

Depuis la première utilisation des données de télédétection en 1972, des symptômes avant-coureurs se sont propagés comme un virus dans la plupart des systèmes d'analyse numérique : le mal de la correction géométrique. Cette maladie chronique se présente sous la forme de syndrome pour ceux qui en sont atteints : l'impact des distorsions et le besoin des corrections.

Après l'analyse des symptômes de ce mal, un diagnostic est posé : c'est un mal nécessaire mais, heureusement, curable. Différentes prescriptions sont comparées, qualitativement et quantitativement, en terme de posologie, d'effets secondaires, de convalescence, de rechute et de guérison : la meilleure étant une méthode rigoureuse photogrammétrique qui tient compte de toutes les distorsions géométriques du système global et qui respecte la nature de chaque composante du système, donc l'intégrité des données.

ABSTRACT

Since the first use of remote sensing data in 1972, an illness has generated symptoms which have propagated as a virus in most digital image analysis systems: the geometric correction disease. This chronic disease gives the syndrome to those that are affected: the distortion impact and its correction needs.

After analyzing the symptoms, diagnostic is given: it is a necessary illness but, fortunately, curable. Different regulations are compared, qualitatively and quantitatively, in terms of posology, secondary effects, convalescence, relapse, and recovery: the best being a rigorous photogrammetric method, which takes into account every geometric distortion of the global system and which respects the nature of each system component, thus the integrity of the data.

* Publié dans le Journal canadien de télédétection, 1996, Vol. 22, No. 2, pp. 184-189.

ANALYSE DES SYMPTOMES

Depuis 1972, des symptômes avant-coureurs se sont propagés comme un virus dans la plupart des systèmes d'analyse numérique : le mal de la correction géométrique. Pour ceux qui en sont atteints, cette maladie chronique se manifeste sous la forme de ce syndrome : l'impact des distorsions et le besoin des corrections.

En 1972, l'impact des distorsions était négligeable pour différentes raisons :

- les images avaient toujours une visée au nadir et le pixel était assez grossier (80 m);
- les produits résultant du traitement des images étaient analogiques;
- l'interprétation des produits se faisait de façon visuelle; et
- la fusion et l'intégration de données multisources n'existaient pas.

En 1996, l'impact des distorsions, bien que ces dernières soient du même type, n'est plus du tout négligeable :

- les images ont parfois une visée latérale et le pixel se raffine (10 m et moins);
- les produits résultants sont numériques;
- l'interprétation des produits se fait souvent par ordinateur;
- la fusion de données multisources (plusieurs capteurs et plate-formes) est une pratique courante; et
- l'intégration de données multiformats (vecteur / matriciel) rejoint la tendance en géomatique.

Il faut donc constater que les données, les traitements, les produits, l'analyse et l'interprétation ont créé des besoins, pour corriger les distorsions géométriques, très différents entre ces deux périodes : en 1972, ils étaient embryonnaires et, en 1996, ils sont devenus vitaux.

L'évolution de ces besoins, associée à celle des techniques et des technologies, nous impose ce mal qu'est la correction géométrique, pour la bonne santé de nos produits, de nos analyses et de nos interprétations. Bien que le traumatisme ne soit pas encore fatal, il y a urgence cependant.

DIAGNOSTIC

Étant donné l'évidence des symptômes énumérés, le diagnostic est relativement simple à poser : c'est un mal nécessaire mais, heureusement, curable.

Nécessaire, à cause du contexte épidémique dans lequel évolue la géomatique. Celle-ci intègre des données multisources et multimédias pour lesquelles une précision géométrique de positionnement est essentielle. La bonne corrélation entre les différentes données permet une analyse plus précise et une interprétation plus fiable de celles-ci.

Curable, car de nombreux docteurs à travers le monde ont examiné les origines du mal en disséquant les différents facteurs qui corrompent la création de l'image. Tel un cancer gangrénant les différentes parties de votre système, la contamination se propage pixel par pixel, infectant l'intégrité géométrique et radiométrique de vos données. La source de ces maux a été diagnostiquée en laboratoire et elle est liée à trois composantes du système de prise de vue :

- la plate-forme avec sa position, sa vitesse et son orientation;
- le capteur avec ses angles d'orientation, son temps d'intégration ou son impulsion et son champ de vue instantané; et
- la Terre avec les paramètres de l'ellipsoïde qui est une approximation du géoïde et l'altitude du terrain.

Bien qu'elles soient apparemment indépendantes, les distorsions relatives à ces composantes sont fortement corrélées, c'est-à-dire qu'elles propagent le même effet dans le processus de création de l'image. Voici quelques exemples de symbioses entre les différentes distorsions et déformations :

- le roulis de la plate-forme et l'angle de prise de vue du capteur;
- l'effet panoramique du capteur, l'altitude de la plate-forme et la courbure de la Terre;
- la variation du lacet de la plate-forme et la rotation de la Terre;
- l'altitude du terrain, la variation de vitesse de la plate-forme et le temps d'intégration du capteur; et
- le champ de vue instantané du capteur, la variation linéaire du roulis et la position géographique sur la Terre, etc.

Ainsi, on ne doit pas retenir le capteur seul comme instrument de prise de vue, mais plutôt avoir une approche holistique dans le diagnostic : considérer la géométrie totale de prise de vue «plate-forme + capteur + Terre» dans l'évaluation des distorsions et de leurs conséquences. Le développement d'un modèle de correction géométrique doit refléter la réalité physique de la géométrie globale, tout en respectant la nature et l'intégrité de chaque composante : «penser globalement mais agir localement...».

PRESCRIPTIONS

Il fut un temps où les traumatismes légers occasionnés par les distorsions géométriques que subissaient vos données ne nécessitaient que des soins palliatifs : une correction polynomiale du deuxième ordre voire, à tort, du troisième ordre si on diagnostiquait une urgence. Toutefois, l'accoutumance à une telle prescription peut laisser des cicatrices à vos résultats et, souvent, faire subir un stress à leur propriétaire.

C'est pourquoi, avant de vous trouver aux soins intensifs, utilisez la meilleure prescription, laquelle résulte des recherches relatives aux techniques de pointe : une méthode rigoureuse de correction géométrique qui tient compte de toutes les distorsions du

système global et qui respecte la nature de chaque composante du système, donc l'intégrité de vos données.

Bien que développée à titre expérimental en laboratoire, cette prescription s'applique aisément à différents types d'images dans un contexte de production. La posologie recommandée est, une seule fois par image et sans aucune restriction (même en cas d'allergie du détenteur des données).

Le tableau 1 présente un parallèle entre la méthode polynomiale et la méthode rigoureuse, dite photogrammétrique (Toutin, 1995). Il montre également, en caractères gras, trois des ingrédients essentiels de la prescription qui font en sorte que la correction géométrique est rigoureuse et robuste.

Tableau 1 : Comparaison des caractéristiques des deux méthodes

MÉTHODE POLYNOMIALE	MÉTHODE PHOTOGRAMMÉTRIQUE
Ne respecte pas la géométrie de prise de vue	Respecte la géométrie de prise de vue
N'est pas relié aux causes des distorsions	Reflète les différentes distorsions
Ne tient pas compte de l'attitude	Utilise les données d'éphémérides et d'attitude
Ne corrige pas l'altimétrie	Tient compte de l'altimétrie (MNA)
Corrige localement aux points d'appui	Corrige globalement l'image
Ne filtre pas les erreurs	Filtre les erreurs grâce à la connaissance de la géométrie
Pas de compensation simultanée d'images	Compensation simultanée de plusieurs images
Correction d'image à image pour l'intégration	Correction d'images à terrain
Nécessite beaucoup (20) de points d'appui par image	Utilise peu (3-8) de points d'appui par image
Sensible à la distribution des points d'appui	Peu influencé par la distribution des points d'appui (modèle global)
Problème de choix des points de liaison	Choix des points d'appui en fonction de chaque image

Bien qu'il soit connu que les fonctions polynomiales ne soient pas adaptées pour corriger avec précision et fiabilité des images aéroportées ou spatiales, de nombreux utilisateurs s'en servent encore, sans connaître les implications sur les produits résultants et les traitements ultérieurs. Colwell (1983) donne plus d'information sur les fonctions polynomiales.

Afin de mieux visualiser comment agit cette prescription, prenons en exemple le Système de rectification des images de télédétection (SRIT) développé par Géomatique Canada du ministère des Ressources naturelles du Canada (Toutin et Carbonneau, 1992).

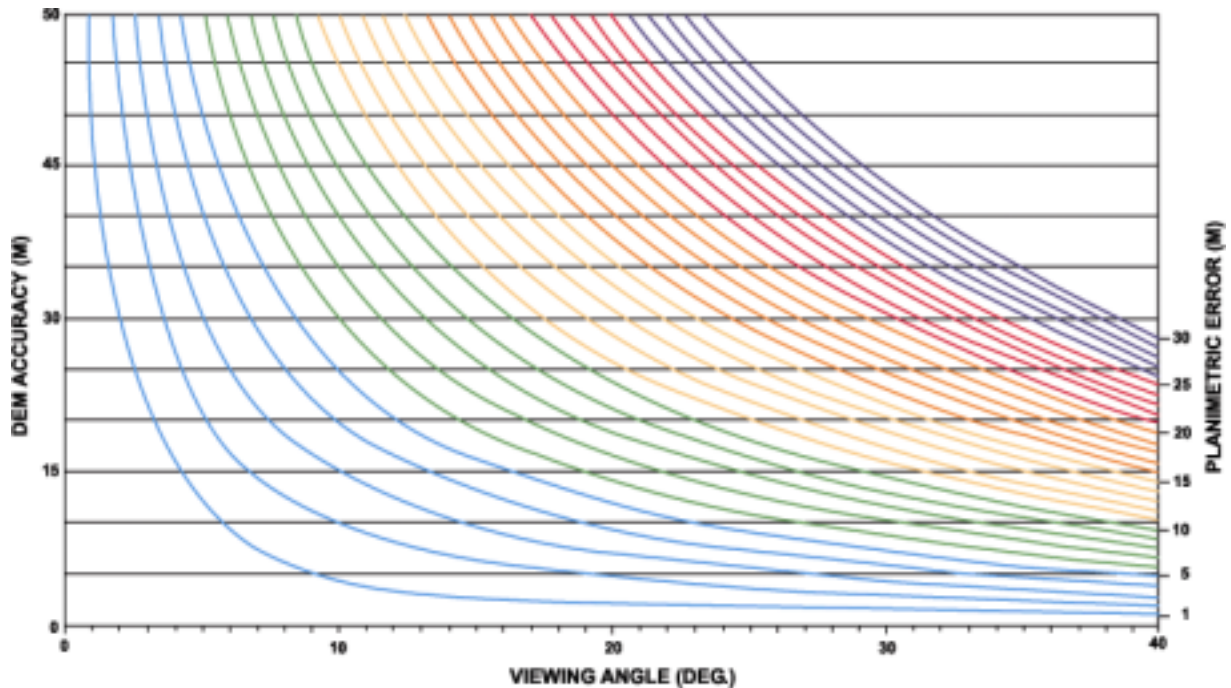
A l'intérieur du SRIT, quatre modules ont été mis au point pour les différentes étapes du traitement :

- (1) lecture des images et, si elles existent, des données d'éphémérides et d'attitude.
- (2) gestion interactive des points terrain d'une ou de plusieurs images, qui permet de trouver le meilleur jeu de points d'appui en minimisant les résiduelles et les erreurs sur les points d'appui et de vérification, respectivement;
- (3) calcul des paramètres du ou des modèles de correction géométrique par un procédé itératif des moindres carrés; et
- (4) création des images rectifiées (ortho-images) et des mosaïques, dans le système de projection cartographique choisi par l'utilisateur (UTM, MTM, Lambert, etc.). L'utilisateur peut introduire un modèle numérique d'altitude (MNA) ou une altitude moyenne, selon le relief, l'angle de prise de vue et la précision recherchée dans l'application.

Le tableau 2 est un abaque qui donne quantitativement la relation entre les trois paramètres précédemment cités. En prenant en considération ses besoins, l'utilisateur, grâce à cet abaque, détermine l'un de ces paramètres en fonction des deux autres. L'exemple 1 montre qu'avec une image acquise à un angle de 10° et un MNA avec une erreur altimétrique de 45 m, l'erreur planimétrique engendrée sur la rectification de l'image est de 9 m. L'exemple 2 montre que, pour atteindre une précision planimétrique de 5 m avec un MNA précis à 10 m, l'image doit être captée avec un angle de prise de vue inférieur à 23° .

Pour les deux méthodes (polynomiale et photogrammétrique), les étapes du traitement décrites sont à peu près similaires, excepté pour les paramètres de prise de vue et pour l'altimétrie (points d'appui et MNA) qui n'interviennent que dans la méthode photogrammétrique. Afin de montrer l'impact de ces deux prescriptions sur les résultats et les images en couleur composée, une image SPOT panchromatique (SPOT-PAN) et quatre images radar à antenne synthétique (RAS) aéroportées avec des visées opposées (est et ouest) de la région de Sherbrooke (Québec, Canada) ont été ensuite corrigées géométriquement par ces deux méthodes avec un MNA, puis les ortho-images RAS-est et RAS-ouest sont mosaïquées. Les radiométries sont finalement combinées en utilisant le codage intensité-teinte-saturation (ITS) avec RAS-ouest/SPOT-PAN/RAS-est.

Tableau 2 : Erreur planimétrique sur l'ortho-image en fonction de la précision du MNA et de l'angle de prise de vue



L'analyse des comparaisons entre les deux méthodes sur les résultats du traitement géométrique se réalise en deux étapes :

- l'analyse quantitative avec les erreurs sur 50 points de vérification (PV) après que les paramètres des modèles aient été calculés avec 15 points d'appui (PA); et
- l'analyse qualitative avec une comparaison des éléments cartographiques (routes, rivières, forêt, coupe de forêt, etc.) sur les deux ortho-images en couleur composée par ITS.

Le tableau 3 donne les erreurs moyennes quadratiques, maxima et le biais calculées sur les 50 PV différents des 15 PA. Dans tous les cas, la méthode photogrammétrique donne de meilleurs résultats que la méthode polynomiale. Dans la direction X, l'écart est encore plus visible à cause des distorsions altimétriques qui sont modélisées rigoureusement dans la méthode photogrammétrique.

Tableau 3 : Erreurs moyennes quadratiques, maxima et biais (mètres) sur 50 points de vérification

IMAGE MÉTHODE		SPOT-P		RAS1-ouest		RAS2-ouest		RAS1-est		RAS2-est	
		Ex	Ey	Ex	Ey	Ex	Ey	Ex	Ey	Ex	Ey
Photogram- métrique	EMQ	3,8	3,4	5,0	4,3	10,9	6,6	9,1	9,0	7,5	7,6
	E _{max}	-8,7	-9,9	-11,7	8,5	-24,4	-20,2	23,7	-22,8	-17,6	15,1
	Biais	1,4	-0,1	0,2	0,0	0,3	0,3	4,1	-1,8	0,3	-1,2
Polynomiale 2e ordre	EMQ	30,0	16,3	13,3	10,3	21,8	14,6	15,7	10,0	21,4	9,1
	E _{max}	-68,1	31,8	-35,7	-25,2	-46,0	35,1	46,9	27,5	-61,8	-17,5
	Biais	-11,8	11,5	-1,8	-1,4	3,8	-2,9	3,9	-0,2	3,4	-3,3

La Figure 1 est une comparaison de deux sous-ortho-images composées (4 x 3 km; pixel de 5 m) par la méthode photogrammétrique (en haut) et par la méthode polynomiale (en bas) sur lesquelles le fichier vectoriel des routes (précision 3-5 m) a été superposé. Les traitements radiométriques effectués sont les mêmes pour les deux images.

L'image du haut est beaucoup plus homogène dans les couleurs, les surfaces, les variations. Comme il y a plus de contrastes entre les éléments, leurs limites sont nettes et bien définies.

Dans l'image du bas, les variations de couleurs sont plus grandes donnant une impression de texture et l'image semble plus floue. Comme il y a moins de contraste entre les éléments, ils apparaissent moins bien définis.

Utilisant le fichier vectoriel de la carte topographique, l'analyse de certains éléments cartographiques a montré que dans l'image du bas, (les lettres a, b, etc. se rapportent à des parties d'image identifiées sur la Figure 1) :

- a : les éléments linéaires (routes, rivières) sont dédoublés ou même disparus (pont, routes); ce qui correspond à une erreur relative de superposition;
- b : le manque de netteté dans cette partie ne permet pas de discerner la route de la forêt et des sols nus;
- c : sur des éléments surfaciques, des artefacts sont créés; il y a une inversion entre forêt (couleur verte) et coupe de forêt (couleur bourgogne);
- d : la texture et les variations de couleur ne correspondent pas à de l'information réelle.

Ces exemples, avec d'autres similaires qui peuvent être dénombrés sur ces sous-images, montrent bien que les erreurs de superposition géométrique ont généré dans l'image en couleur composée des erreurs de mixage radiométrique, et ainsi des artefacts et de

l'information erronée qui n'ont pas de réalité physique.

Le fichier vectoriel des routes, superposé à ces sous images, permet de vérifier la précision géométrique : l'analyse visuelle confirme les résultats statistiques précédents pour la méthode polynomiale (30-50 m), mais montre une amélioration pour la méthode photogrammétrique (10 m) avec des erreurs maxima de vingt mètres. Des vérifications sur d'autres parties d'images montrent la consistance des résultats. Ces valeurs correspondent à l'erreur absolue de superposition.



Figure 1 : Sous-ortho-images en couleur composée RAS ouest/SPOT-PLA/RAS est (4 x 3 km; pixel de 5 m) avec superposition du fichier vectoriel des routes, par la méthode polynomiale (en bas) et par la méthode photogrammétrique (en haut).

CONVALESCENCE ET GUÉRISON

Pour toute maladie chronique, il faut savoir agir avec efficacité si on veut espérer que la convalescence soit plus ou moins longue...

Ce processus complet de la correction géométrique permet de suivre et de maîtriser la propagation des erreurs de l'image brute à l'ortho-image en fonction de la précision des différentes données (image, points d'appui, MNA). Réciproquement, la compréhension de cette propagation donne à la personne qui fait usage du processus l'occasion de mieux gérer l'acquisition des données et de minimiser les frais d'acquisition des données (PA, MNA, images). Les deux exemples suivants démontrent comment, selon l'application, elle peut établir ses choix.

- 1) Pour une application topographique nécessitant une précision de 5 m, l'utilisateur devrait choisir :
 - une image SPOT panchromatique ;
 - de 6 à 8 points d'appui avec des coordonnées cartographiques XYZ de précision 3 m, stéréonumérisés à partir de photos aériennes, et des coordonnées-image précis au tiers de pixel ; et
 - un MNA d'une précision de 5 à 10 m en fonction du relief et de l'angle de visée (voir le tableau 2).

- 2) Pour une application thématique nécessitant une précision de 20 m, l'utilisateur devrait choisir :
 - une image SPOT multibande ou LANDSAT-TM ;
 - de 6 à 8 points d'appui avec des coordonnées cartographiques numérisées sur une carte topographique au 1:20 000 ou 15 points d'appui à partir d'une carte topographique au 1:50 000, et des coordonnées-image précis au demi-pixel ; et
 - un MNA avec une précision de 50 à 100 m ou un plan moyen d'altitude en fonction du relief et de l'angle de visée (voir le tableau2).

Ce ne sont pas des règles absolues, mais l'expérience acquise avec une correction géométrique rigoureuse sur différents jeux de données (type d'images, quantité de points d'appui, précision du MNA, précision recherchée, etc.) peut aisément se transposer sur une nouvelle application et de nouvelles données. Ce qui n'est pas le cas avec les corrections polynomiales qui créent des artefacts lorsqu'on superpose des images multisources. Comme ces artefacts ne correspondent pas à une réalité physique et comme ils sont dépendants des conditions de prise de vue, les résultats et traitements ultérieurs obtenus par un jeu de données s'appliquent très mal ou, alors, ne s'appliquent pas du tout à un autre jeu de données, limitant ainsi certaines généralisations et applications futures.

L'étape suivante de la convalescence, qui conduit à la guérison, est l'utilisation de petits trucs résultant des caractéristiques de la méthode rigoureuse :

- les points d'appui doivent être choisis à la plus haute et à la plus basse altitude de votre site d'étude;
- le choix des points d'appui est spécifique à chaque type d'image. Il faut donc choisir des points d'appui en fonction des caractéristiques de chaque capteur : par exemple, pour une image radar d'ERS-1, il vaut mieux choisir des lacs et des rivières et, pour une image de SPOT, des routes;
- une distribution régulière des points d'appui dans l'image est inutile, car c'est une correction globale, et non locale, de l'image;
- si un MNA n'est pas disponible, différents plans d'altitude moyenne peuvent être choisis pour différentes parties d'images et, ainsi, minimiser cette distorsion en fonction de l'application et de la précision recherchées; et
- on peut utiliser des points communs à deux ou à plusieurs images comme points de liaison. Cette compensation simultanée augmente la robustesse géométrique entre les images pour obtenir une meilleure précision relative, donc une meilleure intégration radiométrique des images entre elles.

Avec la compréhension et l'application de la méthode rigoureuse, le mal de la correction géométrique est en bonne voie de guérison. En effet, il faut voir en toute maladie l'élément positif : celui de vous sortir de l'impasse. Cela demande un changement d'attitude et de mentalité devant ce mal, afin d'intégrer les nouveaux concepts. Sinon, même à l'urgence, on ne peut plus rien faire pour vous. Alors que les autres seront déjà sortis du bloc opératoire et en voie de guérison totale, où en serez-vous ?

RÉFÉRENCES

Colwell, R.N., 1983, Manual of Remote Sensing, 2nd Edition, Vol. 1 (Falls Church, Virginia, USA, Sheridan Press).

Toutin, Th. et Y. Carbonneau, 1992, La création d'ortho-images avec MNA : description d'un nouveau système, Journal canadien de télédétection, Vol. 18, No. 3, pp. 136-141.

Toutin, Th., 1995, Intégration de données multi-sources : comparaison de méthodes géométriques et radiométriques, International Journal of Remote Sensing, Vol. 16, N0 5, pp. 2795-2811.

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie Mme Chantal Seuthé du ministère des Ressources naturelles du Québec pour les soins intensifs qu'elle a prodigués au malade tout au long de la consultation, et de son accord pour l'utilisation du texte en partie publié dans le bulletin Numérimage publié par le Service des technologies à référence spatiale.