

MOSAIQUES NUMERIQUES D'IMAGES

Ph. HEBERT - PMF/TI/EA

B. ROUGE - PMF/TI/EA

CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES

18, Avenue Edouard Belin - 31055 TOULOUSE CEDEX

FRANCE

Commission : GT 1/4

I - INTRODUCTION

Réaliser une image synthétique (une mosaïque) en assemblant plusieurs images élémentaires est une nécessité reconnue dans l'utilisation des photographies aériennes. Les images numériques acquises par des scanners embarqués sur avion ou sur satellite n'échappent pas à cette nécessité et ceci pour plusieurs raisons :

- . les besoins des utilisateurs des images de télédétection et les progrès effectués dans le domaine de la technologie des capteurs (détecteurs, optiques, systèmes de stabilisation) orientent les constructeurs vers la fabrication de systèmes d'acquisition d'images à haute résolution spatiale. Celle-ci a pour effet de réduire en proportion la zone de terrain représentée par une image constituée d'un nombre de points (pixels) donné. En conséquence, le besoin de regrouper des images voisines pour obtenir des surfaces au sol plus importantes devient évident.
- . le découpage en images élémentaires des traces de satellite suivant un carroyage géographique déterminé a pour conséquence de situer les mêmes zones à cheval sur deux images.
- . un des modes de fonctionnement du satellite SPOT permet l'acquisition simultanée de deux images (60 x 60 km) avec un recouvrement de 4 kilomètres.
- . enfin, la construction et la mise au point de nouveaux capteurs embarqués sur satellite demande d'effectuer des simulations. Celles-ci peuvent être constituées à partir de bandes images acquises à partir de scanners aéroportés.

La constitution de mosaïques pose des problèmes tant géométriques que radiométriques. Une image fournit des informations sur les propriétés géométriques et radiométriques des objets observés. Mais elle est unique et possède des caractéristiques intrinsèques liées en particulier au mouvement du vecteur et aux conditions atmosphériques. En d'autres termes, il est impossible de rendre parfaitement identique (en géométrie et en radiométrie) par des traitements appropriés, les parties des images représentant la même zone de terrain (zone de recouvrement).

L'objectif est néanmoins de tendre vers cette identité par divers traitements déterministes pour les perturbations mesurables et identifiées, et statistiques pour la correction des erreurs résiduelles.

II - PRESENTATION DU PROBLEME

2.a) - Objectif

Faire une mosaïque c'est réaliser une image synthétique en assemblant plusieurs images élémentaires (issues du même capteur) et possédant des zones communes. Cette image devrait posséder les mêmes caractéristiques de cohérence géométrique et d'aspect radiométrique qu'aurait une image acquise en une seule fois sur la même zone.

Le problème à résoudre consiste à minimiser la "distance" entre les deux images représentant le même objet sur le terrain. Ceci est vrai tant du point de vue géométrique que radiométrique.

2.b) - Problèmes liés à la géométrie

Les déformations géométriques des images ont des origines diverses que nous n'exposerons pas ici. Nous distinguons cependant, deux catégories liées aux conditions de prises de vue :

- . les images acquises par des scanners placés sur satellite : les déformations de ces images sont dues soit à des perturbations relativement bien connues dont on peut mesurer les effets avec une précision déterminée (corrections déterministes) soit à des événements survenant à basse fréquence que l'on peut corriger de façon satisfaisante par un modèle mathématique établi à partir de points d'appui (corrections mathématiques ou statistiques). Le produit final possède des qualités géométriques à peu près constantes d'une image à l'autre pour un type de traitement.
- . les images acquises par des scanners embarqués sur avion : bien que les déformations soient provoquées par les mêmes phénomènes, leurs amplitudes sont plus importantes et leurs fréquences plus élevées. Dans ce cas, nous ne possédons pas toujours des informations suffisamment précises pour pouvoir effectuer des corrections de façon déterministe. D'autre part la modélisation mathématique devient plus délicate dans la mesure où les modèles polynomiaux atteignent des degrés "élevés" et qu'il est nécessaire d'extraire un nombre important de points d'appui. Alors la qualité géométrique de l'image corrigée peut être plus ou moins bonne d'une image à l'autre.

Dans tous les cas, ces déformations sont aggravées pour des images relatives à des zones à fort relief. L'utilisation d'un modèle numérique de terrain permet d'améliorer la correction qui reste cependant, tributaire de la densité du maillage et de la précision de la mesure de l'altitude et de la position du vecteur.

Enfin la mise en coïncidence des deux images d'un même objet est d'autant plus difficile à atteindre que la résolution spatiale est élevée.

2.c) - Problèmes liés à la radiométrie

Le but recherché est de mettre à niveau les radiométries de chaque image élémentaire pour éliminer les transitions au voisinage des raccordements et pour donner à l'image mosaïque une impression visuelle de cohérence. Il faut éviter, cependant, le plus possible d'altérer la signification des radiométries de chaque image. Ces deux objectifs peuvent être atteints simultanément dans certains cas, lorsque les différences radiométriques ont des causes liées à des phénomènes déterministes comme la variation de l'incidence de visée, de l'éclairage solaire ou la transparence atmosphérique. Ces corrections détermi-

nistes ne permettent jamais d'obtenir une très bonne égalisation des radiométries et doivent être complétées par des méthodes statistiques.

III - LE PRE-TRAITEMENT GEOMETRIQUE DES IMAGES

3.a) - Cas des images satellites et des orthophotographies

Les techniques actuelles de modélisation des déformations permettent sans difficulté d'obtenir les précisions de correction de quelques pixels à la fraction de pixel (SPOT : niveau 2 et niveau 3, LANDSAT, orthophotographies numériques de clichés aériens).

3.b) - Images acquises par scanneurs aéroportés

Elles nécessitent l'application d'une méthode de correction géométrique spécifique. Les propriétés géométriques après corrections dépendent de nombreux facteurs qui peuvent varier d'une image à l'autre : les conditions aérologiques qui induisent des perturbations plus ou moins importantes en roulis, tangage, lacet, la longueur de l'axe de prise de vue, le pas d'échantillonnage.

La méthode que nous avons développé a pour objectif :

- . de s'affranchir de la longueur des axes de prises de vue,
- . d'assurer une meilleure coïncidence dans les zones communes.

Pour atteindre ces deux objectifs, nous développerons les notions de modélisation glissante et de points de recouvrement.

3.b.1) - Principe général

Il consiste à substituer à des points d'appui réels repérés d'une façon classique, un semis de points fictifs régulièrement répartis dans l'espace de référence dont on calcule les coordonnées dans l'espace à corriger par l'intermédiaire de modèles glissants. Connaissant pour l'espace de référence les coordonnées de chaque point d'une part et les coordonnées de ces mêmes points dans l'espace à corriger d'autre part, le problème à résoudre est celui, bien classique, de l'identification des déformations par une méthode des moindres carrés. Le modèle de déformation comprend : les coefficients de polynôme du 5ème ordre représentant les fréquences basses de la déformation et une grille des écarts des coordonnées des points d'appui calculés par le polynôme et les coordonnées de ces points dans l'espace à corriger. Cette grille modélise les fréquences plus élevées.

3.b.2) - Modèles glissants

La modélisation par pavés glissants consiste à déterminer des zones de l'image dont les déformations de faible amplitude, par hypothèse, peuvent être modélisés par polynômes du 1er ordre. De proche en proche, on calcule une suite de modèles locaux sur l'ensemble de l'image (fig. 1). Les divers modèles locaux permettent de calculer dans leur zone de validité, les coordonnées des noeuds d'une grille régulière de l'espace de référence dans l'image brute (fig. 2).

La détermination des zones à faibles déformations se fait à l'aide de points d'appui, régulièrement répartis, repérés sur l'image brute (préalablement corrigée des déformations dues au mouvement de roulis) et sur la référence. Ces points ordonnés suivant une distance croissante par rapport à l'origine

ne de la référence seront utilisés suivant l'ordre d'apparition.

La première zone s'étendra jusqu'à ce que la prise en compte d'un nouveau point d'appui fasse dépasser un seuil fixé pour les résidus de modélisation. On initialisera alors une nouvelle zone et ainsi de suite.

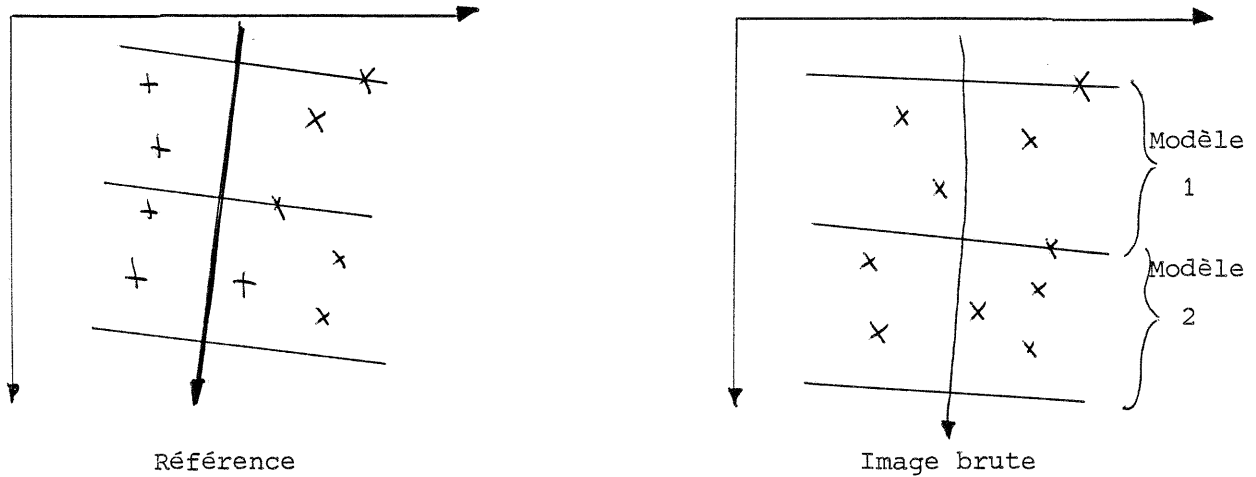


Figure 1 : Détermination des modèles locaux

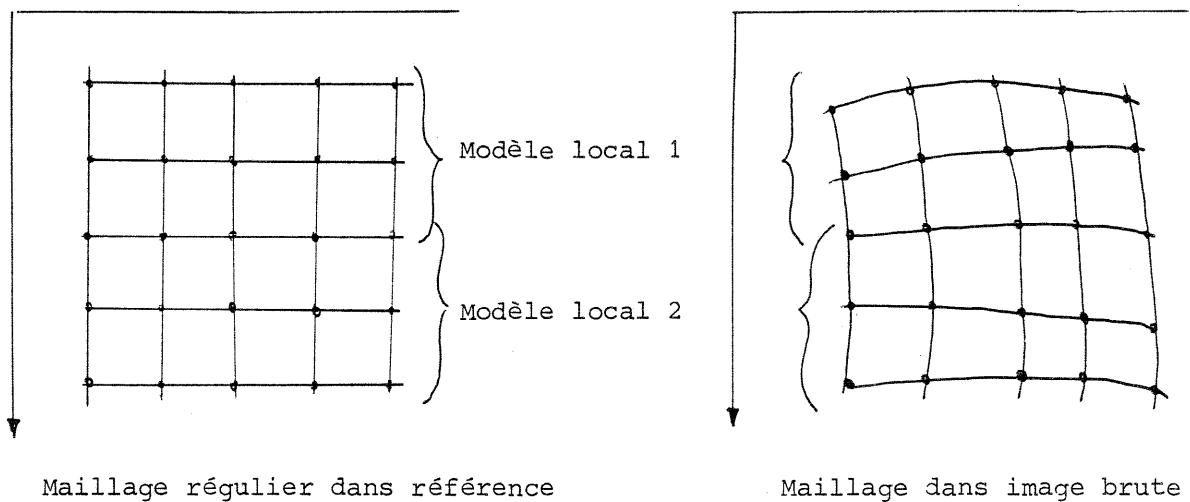


Figure 2 : Utilisation des modèles locaux

3.b.3) - Points de recouvrement

Telles que définies précédemment, les lois de déformation calculées entre chacune des images de la mosaïque et le système de référence, ne garantissent pas que les qualités géométriques des images sur les zones communes seront suffisantes pour avoir une bonne superposition. D'où l'introduction de points de recouvrement dont le but est d'améliorer les lois de déformation des parties d'images en recouvrement.

Les points de recouvrement sont des points homologues c'est-à-dire qui représentent le même objet sur chacune des images formant le couple à assembler. Ils ont donc les mêmes coordonnées dans la référence.

Le traitement consiste à estimer sur ces points particuliers les résidus des erreurs de la modélisation relatifs à chaque image. Il minimise les écarts en modifiant les coordonnées des noeuds des mailles encadrant les points de recouvrement.

IV - HOMOGENEISATION ET CHOIX DE LA COUPURE

Comme nous l'avons indiqué précédemment, il est nécessaire d'effectuer les diverses mises à niveau des images les unes par rapport aux autres. Ces mises à niveau sont appliquées tout d'abord globalement puis localement pour chaque image. Nous ne développerons pas ici les diverses corrections de type déterministe qui sont largement traitées dans la littérature.

4.a) - L'homogénéisation

Le paysage est en général différencié, d'autre part les conditions de prise de vue ne sont pas les mêmes et ne peuvent être complètement ramenées à des conditions identiques, il reste donc des effets induits sur la radiométrie de la totalité de l'image. Une méthode de correction correcte doit donc allier à la fois des corrections sur toute l'image avec des corrections locales. Les zones de correction locale de la partie commune doivent être suivies de zone de transition afin de rattraper la radiométrie de l'image globale, faute de quoi il resterait une transition brutale.

4.b) - Détermination de la coupure

. 1er Cas : méthode de coupure brutale

Nous coupons là, où la distance radiométrique de 2 voisinages communs est minimale. Ce procédé séquentiel automatique doit être lentement variable.

Dans les cas où les modèles de corrections géométriques sont discontinus ou que le résidu de déformation est important ou qu'il y a perte de l'information, il faut procéder à une assistance manuelle pour le choix de la coupure en forçant le passage de celle-ci aux endroits où le recouvrement est le meilleur.

. 2ème Cas : méthode de coupure souple

Nous recherchons l'aire de coupure la plus favorable à partir de critères radiométriques et nous utilisons les deux radiométries d'une façon pondérée, c'est-à-dire que le poids affecté à l'image dont on est le plus proche, est le plus grand et inversement. La transition est donc continue.

4.c) - Présentation d'une méthode totalement automatique

On suppose que les corrections géométriques ont déjà été effectuées. Il y a deux phases de traitement.

4.c.1.) - Traitement global

Egalisation de chaque image composante par application d'une translation radiométrique afin de ramener chacune d'elle à la radiométrie globale.

4.c.2) - Traitement ligne par ligne

. 1ère Etape

Egalisation de chaque segment commun significatif à partir d'une loi linéaire ramenant les caractéristiques des histogrammes jusqu'à l'ordre 3 aux mêmes valeurs.

. 2ème Etape

Recherche de la fenêtre optimale dans le segment significatif commun en vue de la coupure souple avec une limitation du déplacement de la fenêtre d'une ligne sur l'autre pour respecter la continuité.

. 3ème Etape

Application d'une loi linéaire de passage pondéré par un critère de distance avec marge d'affaïssement.

4.c.3) - Temps calcul

Une mosaïque monocanal de 4 200 colonnes par 3 800 lignes composée de 6 images a demandé sur le CDC 750, 671 secondes de temps CP et 892 de temps IO.

- 1ère Remarque

Nous avons pu observer que le positionnement optimal de la fenêtre dans le segment commun significatif suivant un critère radiométrique est en fait également un critère de meilleure géométrie en ligne.

Dans le cas d'une mosaïque sur l'Equateur, nous avons pu observer des erreurs géométriques de l'ordre de 10 points dûs à un modèle de terrain pas assez précis qui ont été totalement évitées par un bon positionnement géométrique de la fenêtre sur les lieux géométriquement les plus précis. En fait, cet algorithme absorbe convenablement les déformations hautes fréquences géométriques en ligne pourvu que la fenêtre soit bien dimensionnée.

- 2ème Remarque

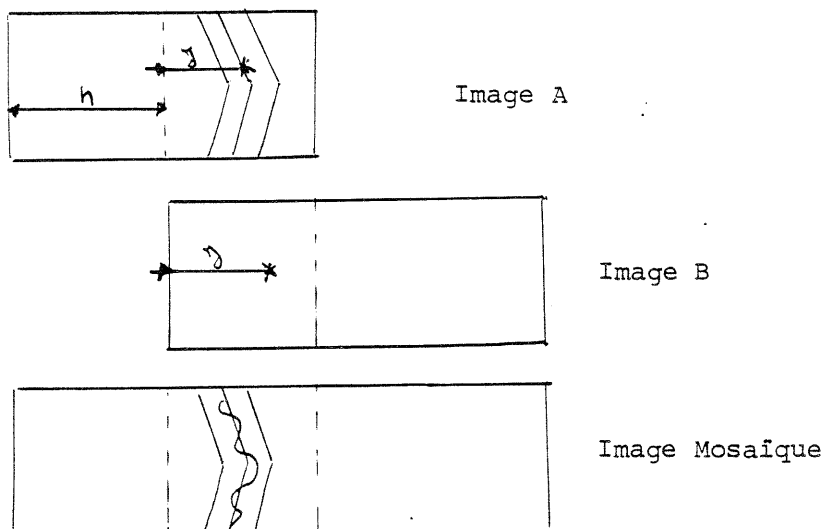
La première remarque amène à proposer une généralisation à n lignes de la méthode précédente. La prise en compte d'une trace glissante permettrait d'obtenir une meilleure continuité des coefficients de la transformation linéaire d'une ligne à l'autre. Ceci permettrait également de ne plus considérer seulement une fenêtre glissante, mais un rectangle glissant, ce qui permet d'obtenir la position optimale en ligne et colonne et non plus seulement en ligne comme avec la fenêtre.

4.d) - Méthode assistée

Elle concerne plus particulièrement les images dont le résidu de correction géométrique est important (images avion).

Soit $|A, B|$ un couple d'images positionnées l'un par rapport à l'autre suivant les coordonnées géographiques de leur origine.

Soit j la coordonnée suivant une ligne d'un objet de l'image B, les coordonnées du même objet dans l'image A est $n + j$.



On cherche à déterminer pour chaque ligne un point du rang j qui réponde au critère suivant :

- le point retenu est celui dont la somme, sur un voisinage donné, des valeurs absolues des différences des valeurs radiométriques des points $n + j$ et j soit minimum

$$D_j = \sum_{i=a}^{l=a} |L_{n+j+i} - R_{j+i}| \quad \text{minimum}$$

avec le nombre de points du voisinage y compris le point courant : $2a + 1$

$L_1 \dots L_k$ valeurs radiométriques de la ligne courante de l'image A

$R_1 \dots R_k$ valeurs radiométriques de la ligne courante de l'image B

Cette recherche se fait de part et d'autre d'une ligne déterminée interactivement, avec contrôle immédiat du résultat.

V - EXEMPLES D'APPLICATIONS

- Simulations SPOT 20 mètres,
- Exemple de raccordement radiométrique,
- Mosaïque Equateur 5 mètres,
- Visualisation des lignes de coupure.

VI - CONCLUSIONS

Ces méthodes de génération de mosaïques permettent de couvrir un grand nombre de cas. Quelques améliorations restent à apporter dans les techniques présentées, en particulier dans le domaine des mosaïques effectuées à partir des images acquises par scanneurs aéroportés, l'utilisation de modèles numériques de terrain devrait permettre d'améliorer sensiblement la qualité des corrections géométriques.

Quant à la méthode automatique, elle est directement applicable à l'imagerie SPOT.



Simulation SPOT 20 mètres constituée à partir de
6 images élémentaires acquises par caméra à balay-
age électronique (Push-Broom)



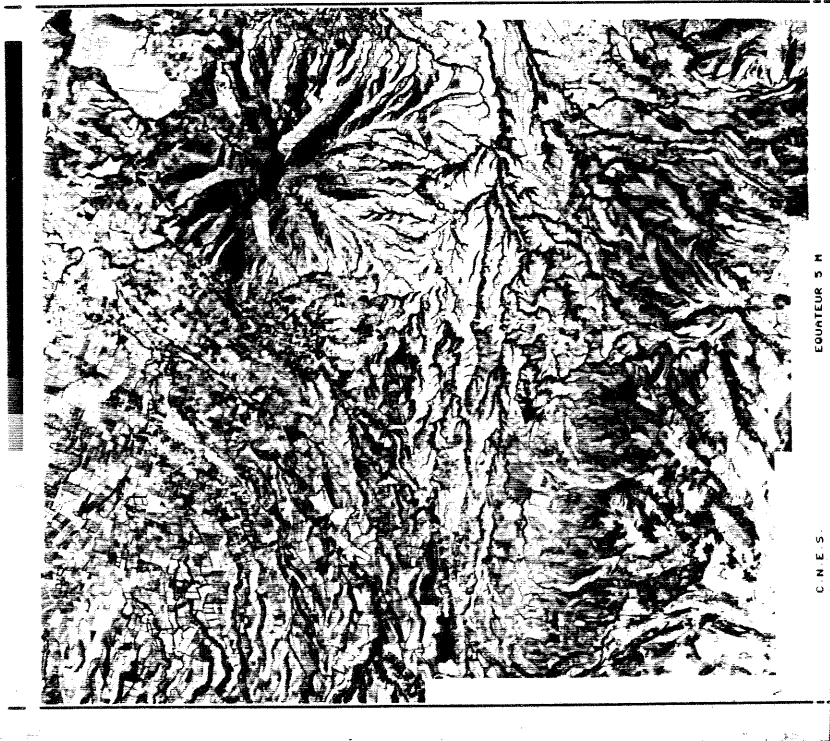
Mosaïque sur 2 images
Montpellier

Exemple de raccordement
géométrique sans mise à
niveau radiométrique.

Mosaïque sur 2 images
Montpellier

Avec mise à niveau radio-
métrique globale.





Mosaïque

EQUATEUR 5 m

Mosaïque EQUATEUR
Détail de coupure
entre deux ortho-
photographies

