

## INTEGRATION D'IMAGERIE SATELLITAIRE DANS UN SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

(Bernard LORTIC)

avec le concours de M. RAKOTO, D. REMY & F. PELLETIER

**RESUME** - La tentation est grande pour tout opérateur d'un système de bases de données localisées de pouvoir "gérer" toute l'imagerie aérienne ou spatiale disponible sur le domaine géographique de la base.

La nécessité est impérieuse pour tout utilisateur de données satellitaires (d'images quasi-verticales) par voies informatiques de registrer les images (données) de différentes dates sous un même référentiel.

La présente communication montre, sur l'exemple de la ville de Quito, quels sont :

**les problèmes à résoudre :**

- l'image est constituée de pixels jointifs ;
- sa représentation et son stockage ne peuvent se faire que sous une projection, définie.

Dans le cas contraire il faudrait transcoder chaque pixel en ajoutant les coordonnées explicitement ;

- toute image de la surface de la planète comporte des déformations : distorsion due aux optiques du capteur, roulis, lacets, tangage de la plate-forme (satellite ou avion), relief ;

- les données images sont très encombrantes : une image SPOT représente à peu près 30 Méga-octets pour l'A.I.Q.. Nous disposons en début de programme de sept images ;

- les solutions doivent pouvoir intégrer l'imagerie aérienne sur Quito (la dernière mission de photo aérienne est de ) ;

**les solutions adoptées par l'A.I.Q. (proposition ATP CNRS/CNES) :**

- pointés stéréoscopiques par vidéoplotter ;
- recalage géographique par création des surfaces de déformation par interpolation ;
- corrélation automatique par la méthode SSDA ( ) ;
- itération du processus.

L'intérêt de cette méthode est de pouvoir disposer de données constamment améliorées, alors qu'actuellement l'intégration est chère et unique.

Une démonstration pourra être faite des outils et des résultats sur des images de Quito (prise de vue de quatre dates très différentes) et de Marnes-la-Vallée (prise de vue de quatre dates d'origines très diverses).

## INTRODUCTION

On peut rêver de disposer d'un système d'information total. Ce qui impliquerait que l'on dispose en chaque point de l'espace-temps de toutes les informations disponibles. Ce type de système est partiellement réalisé en médecine où l'on imagine actuellement des systèmes de représentation du corps humain en trois dimensions permettant de mieux référencer, visualiser et transmettre les différentes pathologies. On réalise ainsi un écorché visuel dans lequel on peut plonger l'œil sinon la main.

Cependant, ce type de systèmes ne décrit pas vraiment l'objet en trois dimensions mais plutôt une série de surfaces en "pelures d'oignons", bien positionnées dans l'espace à trois dimensions.

Heureusement, l'approche géographique privilégie pour le moment la surface de la planète. On n'envisage pas de coder chaque point de l'espace quelle que soit sa profondeur. Ce qui est en question c'est plutôt la surface terrestre, dans un référent cartographique, avec une série d'attributs comme la pente, l'altitude, mais aussi la population, la végétation, la géologie, les données climatiques, etc..

Ce qui veut dire que l'approche actuelle reste une approche cartographique, avec les présupposés de projections, ellipsoïdes de référence, surfaces et points immatériels y afférents. Nous resterons dans ce cadre traditionnel pour répondre au désir de l'utilisateur d'un système de bases de données localisées qui voudrait pouvoir gérer toute l'imagerie aérienne et spatiale disponible sur un domaine géographique.

D'autre part, l'utilisateur de données satellitaires (images verticales ou obliques) reste tributaire de techniques maintenant habituelles, comme le fait que traitement d'image doit nécessairement s'effectuer sous une forme matricielle, qu'elle soit carrée ou hexagonale. Pour faire se correspondre précisément des images de dates et provenances différentes, cet utilisateur doit donc empiler des matrices de pixels.

Ces deux impératifs, cartographie et matrice de points, ramenés à des prétentions modestes, ou du moins envisageables, ont conduit à définir des outils et un ensemble de procédures utilisables pour intégrer l'imagerie aérienne ou spatiale dans un système d'information géographique. Nous nous situons délibérément dans le cadre d'un institut tel que l'ORSTOM, et dans les applications en cours actuellement avec le système \*SAVANE (M. Souris). Cette méthode est destinée à satisfaire aussi bien l'AIQ (Atlas informatisé de Quito), que l'atlas régional de l'état de Veracruz ou des études de terroir au Sénégal.

Nous allons décrire une méthode de recalage d'images, étape indispensable à leur intégration dans une banque de données-images pour extraire une fenêtre, après définition de la zone d'étude et de croiser données-images avec les autres informations de la base. Comment intégrer des images aériennes et spatiales avec une cartographie dans un système de gestion de cette information géographique ?

Nous avons suivi quelques principes :

- le recalage d'images se fera suivant une projection déterminée. Car on ne peut travailler que sur une matrice de points représentant une projection plane. Il n'est pas envisageable, pour des questions d'encombrement, de stocker la données en coordonnées géographiques auxquelles seraient associées des valeurs de radiométrie ;

- les images sont stockées au sein de la base de données images dans leur totalité, avec les fichiers descriptifs. Il est impératif que ces images soient recalées géométriquement ;

- le système de gestion effectuera l'extraction en fonction d'un point bas et d'une taille de pixel définie. On se reportera au fonctionnement d'un système tel que SAVANE : le système permet de déterminer la fenêtre, l'échelle, les données disponibles et leur domaine de validité.

L'utilisation des images peut être une contemplation méditative statique. Elle peut être aussi dynamique par animation d'images. Elle peut être également une simple extraction d'information : statistique descriptive par entité zonale (par exemple, quantité d'eucalyptus dans l'îlot 456).

Elle peut surtout être un croisement des informations. Quels sont les rapports entre les zones actuellement en cours d'aménagement que l'on obtient par analyse des images panchromatiques de SPOT, les autorisations de construire et le plan d'urbanisme ?

Sur un exemple d'une portion de la ville de Quito, nous montrerons les étapes de la superposition de deux images enregistrées en oblique par SPOT, l'une le 23 juin 1986 (22° d'incidence droite); l'autre le 26 novembre 1986 (8° d'incidence gauche).

Nous montrerons ensuite un produit dérivé : ces données peuvent créer un modèle numérique de terrain utilisable, entre autres, pour une restitution en perspective (appelée vision 3D) en noir et blanc et en composition colorée.

Ces données sont enfin recalées sur la cartographie utilisée dans l'AIQ. L'ensemble des images SPOT, "*Thematic Mapper*", mais aussi leurs dérivées (modèles numériques de terrain, classifications thématiques) sont disponibles, visualisables et manipulables par l'atlas informatisé.

## 1. SUPERPOSITION DE DEUX IMAGES

### 1.1. Constitution du couple stéréoscopique

La procédure décrite tient compte d'une situation un peu particulière de l'application géographique : la ville de Quito est située dans une région de relief accidenté, avec un fort gradient d'altitude. On passe en 25 km, de 2 000 mètres au Rio Guyalabamba à 4 500 mètres au sommet du volcan du Pichincha.

Si les déformations des images peuvent être dues aux variations d'altitude du satellite (ou de l'avion), roulis ou lacet, les différences les plus importantes sont dues au relief. Si l'on peut parler de déformation en région plane, il vaudrait

mieux parler de géométries différentes en région montagneuse. Or, si l'on veut avoir une chance raisonnable d'obtenir des images sans nuage, il faut pouvoir se contenter d'images du satellite SPOT en prises de vue obliques. Superposer ces images revient à traiter le relief et la démarche décrite est une démarche de photogrammétrie.

Nous utiliserons les deux images SPOT panchromatiques suivantes :

- image SPOT de juin 1986, angle de prise de vue de 22° à droite.  
Fichier de 1 000 x 1 200 pixels de dix mètres ;

- image SPOT de novembre 1986, angle de prise de vue de 8° à gauche. Fichier de 800 x 1 000 pixels de dix mètres.

Pour effectuer l'orientation correcte du couple stéréoscopique, on repéré les coordonnées-images de trois points d'appui de même altitude. Nous avons choisi ici trois points d'appui à une altitude sensiblement égale à 2 650 mètres, que nous pouvons repérer sur la cartographie de l'Institut géographique militaire, et sur les images de SPOT.

		1	184
Point numéro 1 :	Nov. x=598, y=033	----->	
	Juin x=782, y=172	:	
		:	139
Point numéro 2 :	Nov. x=427, y=410	2	187
	Juin x=614, y=556	----->	3 184
		:	----->
		:	146
Point numéro 3 :	Nov. x=950, y=672	v	: 148
	Juin x=1134, y=820		v

Vecteurs de déplacement

Les vecteurs de déplacement ainsi obtenus montrent qu'il faut utiliser une rectification par le programme \*Degré 1 (M.Rakoto), qui effectue la rotation, la translation et l'homothétie de l'image.

## 1.2. Prise d'un premier semis de points d'appui

(Stéréogrammétrie par scintillement)

Le programme \*COORTOOL (B. Lortic), écrit d'après les normes du logiciel \*PLANETES (M. Rakoto), est dérivé du logiciel \*VISUTOOL. Son but est d'obtenir la liste des vecteurs de déplacement de chaque point d'appui. Chaque vecteur est noté sous la forme : Ydépart, Xdépart, Yarrivée, Xarrivée.

Ce programme provoque l'alternance rapide de deux images, que nous appellerons "scintillement", et la possibilité de commander un déplacement par le clavier numérique. La comparaison par scintillement est une méthode fréquente en photométrie. Les performances seront nettement meilleures en visualisation noir et blanc.

Pour des raisons de rapidité, il est préférable sur les machines SUN actuelles, de travailler sur des petites fenêtres de 256x256. Il est cependant nécessaire d'avoir une certaine surface de comparaison : une fenêtre de 16x16 par exemple n'est pas assez grande pour une bonne interprétation visuelle. COORTOOL est un programme interactif qui s'apparente aux programmes de jeux vidéo classiques.

Il s'agit pour l'opérateur :

- 1) de pointer avec le curseur sur l'image de référence un objet identifiable sur les deux images ;
- 2) de lancer le clignotement des deux images et d'apprécier le déplacement relatif de l'objet en x et en y ;
- 3) d'arrêter le clignotement (je n'ai pas encore géré les "événements" pendant le processus de clignotement), et de corriger le décalage par les flèches du clavier ;
- 4) de relancer le clignotement, etc. ;
- 5) lorsque l'opérateur constate la superposition parfaite du pixel pointé au départ de l'opération, une touche lui permet de stocker les coordonnées des deux pixels homologues.

On peut archiver, même sans entraînement visuel, une centaine de points d'appui par heure. Notons que cette méthode purement visuelle, permet à l'opérateur d'apprécier un déplacement d'un demi-pixel. C'est ainsi qu'il est plus agréable, parce que plus précis, de travailler sur un pixel doublé.

### 1.3. Création des surfaces de déplacement

A chaque point d'appui sont donc associés un déplacement en y (dans le sens du déplacement du satellite) et un déplacement en x (parallèlement à la direction oblique de la vision). L'interpolation des vecteurs de déplacement se fait en deux fois : d'abord en x puis en y. Nous utilisons actuellement le programme \*FACETT (M. Rakoto), qui interpole les valeurs du semis de points d'appui par "tessellation de Voronoi".

Notons que la surface de déplacement en x est l'interpolation des valeurs de parallaxe. On constate la bonne concordance avec l'altitude lorsque l'on compare les courbes de niveau de la carte IGM, et celles issues de la comparaison des images SPOT.

### 1.4. Première rectification géométrique

Le programme \*RECALAGE crée une nouvelle image dont la géométrie est donnée par les surfaces de déformation. La radiométrie du point de coordonnées (x,y) est la radiométrie du point (x + déplacement en x, y + déplacement en y) de l'image à recaler. La rectification géométrique est donc locale alors que les programmes de rectification géométrique habituels utilisent une fonction générale, les points d'appui inter-agissant les uns sur les autres.

Par analogie, le programme \*DEGRE 1 utilise des surfaces de déplacement planes ; le programme \*DEGRE 2 (M. Rakoto) utilise des surfaces qui sont des portions de coniques.

On recale donc l'image de droite sur l'image de gauche, et non pas dans ce cas-là les deux images sur une projection verticale. On constate visuellement que le couple d'images ainsi obtenu se superpose bien, excepté pour les accidents de terrain de fréquence élevée. Les grandes vallées sont bien marquées et le scintillement sur écran vidéo ne laisse apparaître que quelques "palpitations" des vallons de petite taille et des ravins de pente forte.

### 1.5. Affinage du tissu de points d'appui

Le même programme \*COORTOOL va effectuer automatiquement, mais sous contrôle visuel, la stéréogrammétrie du nouveau couple d'images.

Soit un indice de dissimilarité calculé par la somme des valeurs absolues des différences des pixels homologues. Lorsque l'on calcule cet indice pour la position relative des matrices de  $x-n$  à  $x+n$ , cet indice décroît pour passer par un minimum lorsque les pixels des deux matrices sont bien superposés. Si les images ont une radiométrie identique, cet indice s'annule totalement lorsque les deux matrices sont superposées correctement. Il suffit donc de noter les valeurs du déplacement  $n$  et  $m$  pour lequel l'indice est minimum. Le déplacement se calcule en effet en colonnes, mais aussi en lignes de  $y-m$  à  $y+m$ .

Le programme \*COORTOOL utilise la mesure d'un indice de dissimilarité sur une maille hexagonale de treize pixels. Pour un déplacement de plus ou moins cinq lignes et plus ou moins dix colonnes.

Il y a malheureusement beaucoup de confusion surtout, comme c'est le cas général, quand les images sont de dates différentes. Pour éviter ces erreurs, on introduit préalablement au contrôle visuel final, des conditions de validité de l'indice. On peut citer simplement le cas des grandes surfaces uniformes pour lesquelles l'indice sera presque toujours très faible : l'indice ne sera pris en compte que si la variance a une valeur forte.

52	53	145	65	35	89	89	89	189	89
	I-----I					I-----I			
34	I 134	34	134	I 34	87	I 89	188	88	I 88
	I			I		I			I
156	I 51	33	52	I 154	87	I 185	89	188	I 84
	I			I		I			I
59	I 26	56	152	I 53	185	I 89	87	84	I 186
	I-----I					I-----I			
125	58	59	57	154	85	86	84	87	89

Exemple de calcul de l'indice de dissimilarité sur une matrice de 3x3 ; l'indice est égal à 733 pour n et m égaux à zéro.

	I-----I												
52	I	53	145	65	I	35	89	89	89	189	89		
	I				I			I-----I					
34	I	134	34	134	I	34	87	I	89	188	88	I	88
	I				I			I				I	
156	I	51	33	52	I	154	87	I	185	89	188	I	84
	I-----I				I			I				I	
59		26	56	152		53	185	I	89	87	84	I	186
								I-----I					
125		58	59	57		154	85		86	84	87		89

L'indice est minimum, égal à 386, pour la position y-1 et x.

Précédemment le programme demandait à l'opérateur de choisir lui-même ses points d'appui. Grâce à cet indice, nous pouvons maintenant faire en sorte que le programme balaye l'image automatiquement. Après chaque écriture de coordonnées, le nouveau point se décale vers la droite avec un pas qui peut être variable. Le résultat du calcul du décalage est soumis au jugement de l'opérateur par scintillement des deux portions d'images autour des points d'appui.

Les valeurs de déplacement ainsi obtenues sont ajoutées à celles des surfaces de déformation précédentes par le programme \*CALCVEC, calculant les vecteurs de déformations. L'interpolation des surfaces et le recalage des images sont réitérés. La surface de déformation donnant la parallaxe s'est affinée.

Cette méthode de recalage, économique compte tenu des tarifs pratiqués actuellement par les sociétés de services, présente une grande souplesse et permet à l'utilisateur de pratiquer différents niveaux de qualité de recalage. Elle repose principalement sur les performances exceptionnelles de l'oeil lorsqu'il travaille par scintillement.

Le contrôle visuel permet de mieux suivre les erreurs de détection de pixels homologues par l'indice de dissimilarité.

On constate par exemple que les agencements de pixels du tissu urbain se marient très bien lorsque l'on utilise de petites fenêtres. Les risques d'erreur sont apparemment faibles. A l'inverse, certaines formes de parcellaire agricole posent des problèmes importants. Il peut se produire d'abord une inversion des valeurs de luminance du même champ à cause d'un changement de saison. Il existe un grand nombre de zones de forme incertaine et au contenu mal transcrit par l'image satellite à l'échelle de travail. Les pixels de forêt, par exemple, sont difficilement "variables".

Mais, visuellement, on se rend compte aussi des limites de cette méthode sur un terrain comme celui de Quito., profondément entaillé de ravines abruptes. La pente y est souvent si forte qu'une des deux images ne montre pas le fond de

la vallée (cas des vallées nord/sud). Il peut se produire aussi, même si le fond est géométriquement visible, une confusion entre l'ombre propre (versant lui-même) et l'ombre portée sur l'autre versant qui ne permet pas de marier les pixels de fond de vallée (cas des vallées est/ouest).

## 2. VISUALISATION 3D

Le fait que la méthode de recalage développée implique la création d'une "maquette numérique de terrain" nous a amené à créer un certain nombre de sous-produits, comme la visualisation en perspective.

Le premier exemple va illustrer la souplesse de cette méthode visuelle : le recalage géométrique d'une image panchromatique avec l'image "éclairage", issue du programme \*ECLAIR (D. Rémy), s'effectue très rapidement par la méthode décrite précédemment. En effet, la corrélation visuelle entre une image SPOT et une image de la projection verticale du modèle numérique de terrain (MNT) qui respecte l'azimut du soleil (dans ce cas 140°), est très facile par superposition des ombres.

Le programme \*VISUCAVAL (B. Lortic) permet alors de visualiser l'image panchromatique en 3D. La luminance, produit de l'éclairage par le facteur de réflexion de la surface terrestre, nous est donnée par l'image satellitaire, la position de chaque point est donnée par le MNT créé par le logiciel \*BABEL (M. Souris).

Il est possible aussi d'utiliser la surface de déformation comme une valeur des altitudes et l'imagerie multispectrale peut donner l'éclairage multispectral. La composition colorée classique en télédétection est alors présentée en relief.

## 3. INTEGRATION A LA BASE DE DONNEES

Pour intégrer de l'imagerie à la base de données géographiques, il importe de choisir la projection utilisée le plus fréquemment par les divers utilisateurs, car les transformations de projections ne sont pas encore envisagées.

L'opération de recalage effectuée précédemment entre deux images obliques, doit s'effectuer en vue du recalage entre les images et la cartographie disponible.

La digitalisation par l'AIQ d'une cartographie au 1:2 000 de l'IGM représentant les limites des pâtés de maisons dans une projection UTM. Les images SPOT et Thematic Mapper disponibles sont recalées sur cette projection.

Cette technique nouvelle ouvre un vaste domaine d'utilisation. Nous pouvons ainsi obtenir par l'imagerie satellitaire la densité de végétation. L'intégration à la base de données permet d'obtenir cette information pour chacun des îlots. De même, il sera relativement facile d'obtenir, pour chacun des îlots, le nombre de bâtiments construits entre deux dates d'acquisition d'images différentes.



Les fichiers images ont toujours des tailles très importantes. Sur la surface couverte par la ville de Quito, nous avons actuellement suffisamment d'images pour devoir créer une banque de 200 Mégaoctets :

- 96 Mo pour les images SPOT panchromatiques ;
- 24 Mo pour les multispectrales ;
- 70 Mo pour une image de Thematic Mapper.

Toute acquisition d'imagerie fera grossir la banque très rapidement.

Les fichiers images sont donc stockés séparément, éventuellement sur bande magnétique ou dans l'avenir sur disque vidéo. Par contre leurs fichiers de gestion seront constamment intégrés au système.

Ces fichiers de gestion doivent comporter :

- des renseignements propres à l'image : la date et l'heure, le type du capteur, la ou les fenêtres radiométriques, la résolution d'origine, les paramètres d'ensoleillement ;
- des renseignements liés à leur intégration à la base de données et au système de gestion : les coordonnées du point bas-gauche de l'image, la taille du pixel, la projection utilisée, etc.).

Le système de gestion de la banque de données indique à l'utilisateur quelles sont les images disponibles et la taille du pixel à utiliser, en d'autres termes le domaine de validité de l'image.

## CONCLUSION

Nous voyons le caractère très empirique du processus de recalage d'images.

Choix d'un référentiel, immuable de préférence, outils de recalage indépendants de la technologie d'acquisition de l'image et des qualités intrinsèques et extrinsèques au système imageur.

Constatons que l'ensemble de la démarche est dictée par une croyance peut-être bien naïve : "la cartographie existante est un référentiel admissible".

Quelques questions restent en suspens :

- que faire en l'absence de cartographie ? D'autres équipes de l'ORSTOM nous donnent la solution : utilisons NOAA, CZCS, Météosat et une méthode de recalage qui tient compte des paramètres intrinsèques à l'outil ;
- comment recalcr des données de grande échelle, par exemple une mission de photographie aérienne au 1:5 000 ème ?
- les données images sont-elles indépendantes les unes des autres ?
- doit-on utiliser certaines propriétés pour simplifier le travail de recalage ?

Divers points de la procédure de recalage décrite ci-dessus peuvent et vont être améliorés, par exemple par l'utilisation de l'algorithme de Viterbi, qui peut accélérer la détection des points homologues.

Mais dès maintenant, cette méthode très souple est utilisable par bien des équipes de recherche.

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- W.E.L. GRIMSOM, 1981. *From images to surfaces*. MIT Press, 1981.
- Y. SHIRAI, 1987. *Three dimensional computer vision*. XII, 296p., 313 Fig.,  
Spinger-Verlag.
- American society of photogrammetry, 1952. *Manual of photogrammetry*.  
Washington DC.
- Bertil HALLERT, 1960. *Photogrammétrie. Principes de base. Levés généraux*.  
340p., Mc Graw-Hill. Londres.