

Présenté en Commission III

Groupe de travail N° III/3

Communication

TITRE : INFLUENCE DES PARAMETRES PHYSIQUES DE PRISE DE VUE DANS LA RECTIFICATION AUTOMATIQUE D'IMAGES.

AUTEUR : ROBERT JEANSOULIN (\*)  
Chercheur CNRS, équipe "Langages et Systèmes Informatiques"  
Université Paul Sabatier et Filière Informatique de l'ENSEEIH  
Route de Narbonne - TOULOUSE - FRANCE.

SOMMAIRE : L'étude de la rectification automatique d'images de télédétection nous a amené à examiner le comportement des divers algorithmes utilisés (filtrage, détection de contours, recherche de ressemblance) en fonctions des paramètres physiques de la prise de vue :

- fréquences spatiales dominantes pour la résolution étudiée ;
- composition du paysage observé (végétation, eau, neige...) pour les dates et le canal spectral choisis ;
- type et amplitude des déformations spécifiques du capteur et limite de tolérance des modèles de déformation, prédits ou évalués automatiquement, pour les mouvements du vecteur.

Cette étude de l'influence des paramètres physiques est destinée à guider l'utilisateur dans le choix d'une stratégie optimale pour des conditions déterminées.

MOTS-CLES : Détection de contours, recalage automatique, modèles de déformation, corrections géométriques, traitement glissant.

(\*) Travail effectué dans le cadre d'une collaboration de recherche avec le Centre National D'études Spatiales.

Responsables scientifiques : MM. BRUEL (responsable du groupe Traitement d'Images du LSI)  
et SAINT (CNES/OT/TI).

## 1. RECHERCHE D'UNE STRATEGIE POUR LE RECALAGE AUTOMATIQUE

Pour réaliser la mise en coïncidence de deux prises de vue, ou d'une prise de vue avec des données cartographiées, on peut déjà utiliser tout un arsenal de méthodes et d'algorithmes [1][2] [3].

S'il est vrai qu'il existe des systèmes opérationnels qui effectuent la mise en coïncidence d'images, ceux-ci sont en général adaptés à des capteurs et des données bien précises (cartographie des images LANDSAT sur les USA ou le Canada, superposition d'images METEOSAT). Il n'y a donc pas à l'heure actuelle de méthode universelle de recalage et de rectification automatique.

Par contre, il est très intéressant de savoir quels traitements utiliser en fonction des données à traiter : c'est pour définir cette stratégie que nous proposons d'étudier l'influence de certains paramètres physiques - jugés dominants - sur les résultats que nous allons tout d'abord définir.

## 2. EXAMEN GLOBAL ET EXAMEN PONCTUEL DANS UN MODELE DE VISION

Dans l'opération visuelle - et mentale - de mise en coïncidence, il y a succession alternée entre examen global et examen local :

- globalement : repérage grossier de zones susceptibles de contenir de bons points d'appui (amers) et défilement rapide sur les zones intermédiaires ;

- ponctuellement : affinement du recalage sur les amers des zones jugées favorables ;

- globalement à nouveau : définition d'une déformation comme solution de continuité entre plusieurs déformations élémentaires (translations, homothéties, rotations) définies sur des groupements locaux d'amers (c'est ce que nous nommerons "traitement glissant").

Cette opération de "va et vient" peut être répétée un grand nombre de fois très rapidement. Elle est faite en imbrication avec une autre opération - la distinction est purement formelle, pour simplifier la modélisation - que l'on qualifie de détection de contours et de segmentation en zones homogènes. Il y a la même alternance entre les images :

- globalement : repérage de zones à fort contraste, donc susceptibles de contenir des discontinuités d'origine physique ;

- localement : reconnaissance et positionnement précis de ces discontinuités sous forme de contour d'image ;

- globalement : passage d'un contour à un autre par homogénéisation des zones intermédiaires (i.e. : suppression des contrastes jugés non significatifs).

On peut modéliser une telle démarche par des traitements de relaxation [4], dont les coefficients seraient calculés, non seulement en fonction de données intrinsèques (notion de connexité, de régularité) mais aussi en fonction de données extérieures (simultanéité de présence entre images).

Dans notre étude nous nous sommes limités à l'analyse de certains résultats, regroupés sous la forme suivante :

1. Résultats globaux : application sur l'ensemble des deux images d'une chaîne de recalage que nous avons développée au CNES [3] qui permet de déterminer :

- Le pourcentage d'amers validés par l'algorithme choisi, parmi toutes les tentatives ;

- La répartition géographique de ces amers et leur cohérence vis à vis du modèle qu'ils permettent de générer.

2. Résultats ponctuels : application, entre deux points supposés identiques, du module central de la chaîne de recalage, avec sortie graphique qui visualise :

- le filtrage et le seuillage sur chaque zone ;
- les histogrammes des radiométries brutes et filtrées ;
- l'allure de la surface de corrélation.

Ce sont ces résultats que nous allons mettre en relation avec les paramètres physiques suivants.

### 3. RESOLUTION SPATIALE ET TAILLE DES OBJETS

Le théorème d'échantillonnage de Nyquist met en relation - de façon théorique - la fréquence spatiale du signal émis par la source et la fréquence de l'échantillonnage. Mais l'utilisation de ce théorème est rendue extrêmement difficile à cause de la notion de "signal à bande passante spatiale limitée" (comment la définir et la mesurer si la source est une portion de paysage ?). De plus, le signal reconstruit sous les hypothèses du théorème est continu alors que la source émet des discontinuités spatiales liées à sa nature topographique.

Dans l'algorithme de recalage automatique utilisé, comme dans la plupart de ceux rencontrés dans la littérature, il est nécessaire de reconnaître, à l'intérieur d'une fenêtre d'examen de 30 x 30 pixels, des objets dont le contour a été détecté après un filtrage qui opère sur des voisinages de 3 x 3 pixels minimum. La dizaine de pixels est donc la taille minimale utilisable. La relation entre la résolution R et la surface minimale S des objets de forte homogénéité utilisables, peut s'écrire sous forme de rapport exprimé en pixels et doit vérifier :

$$10 \leq \frac{S}{R^2} \quad (\text{ou } S \geq 10.R^2)$$

Une borne supérieure à cette expression n'est pas indispensable, mais elle permettrait d'assurer une plus grande répétitivité de rencontre des zones favorables : pour le cas des images à très haute résolution (images GDTA avec le capteur DAEDALUS) il est parfois nécessaire de sous-échantillonner préalablement des zones homogènes trop larges (ceci a pour effet de diminuer très rapidement  $\frac{S}{R^2}$ ), afin de les faire "rentrer" dans la fenêtre d'examen.

TABLEAU 1. INFLUENCE DE LA VARIATION DE LA  
RESOLUTION DE DIVERS CAPTEURS.

Capteur	Résolution axiale	Surface S minimale (arrondie)	Type d'objets utilisables	Répétitivité*
DAEDALUS G.D.T.A.	3 m.	100 m <sup>2</sup>	petit parcellaire, constructions d'origine humaine	bonne éventuellement sous-échantillonnage: facteur 0.5
SPOT	10 m	1000 m <sup>2</sup>	petit parcellaire, grandes constructions moyen parcellaire, très grandes constructions	bonne
	20 m	4000 m <sup>2</sup>		bonne
LANDSAT-D	30 m	1 ha.	moyen parcellaire, surfaces d'eau	assez bonne
LANDSAT (1-2-3)	80 m	5 ha.	grand parcellaire, surfaces d'eau	moyenne à faible
METEOSAT	5 km	250 km <sup>2</sup>	grands lacs, côtes non rectilignes, grandes îles	faible : utiliser une banque d'amers

\* répétitivité : cette notion est mesurée par le pourcentage de mises en coïncidence réussies parmi toutes les tentatives effectuées sur un découpage d'un territoire donné (en France dans notre étude) par une grille régulière. Pour l'image METEOSAT une grille régulière fournira peu de points appartenant à des côtes, d'où la nécessité d'un catalogue de coordonnées géographiques.

#### 4. BANDE SPECTRALE ET PROPRIETES DE CONTRASTE DU PAYSAGE

Le meilleur résultat de corrélation locale sera obtenu sur des fenêtres d'examen contenant au moins deux classes d'objets, suffisamment différenciées, afin de pouvoir détecter un contour ayant une signification physique. Pour que cette condition soit remplie on aura intérêt, pour une zone donnée du paysage, à déterminer simultanément :

- quelles sont les classes d'objets dont la présence est la plus probable, aux deux dates données, et pour une résolution donnée ;

- quelle est la longueur d'onde qui permet de différencier au mieux ces classes, pour chacune de ces dates.

##### 4.1. IMAGES LANDSAT SUR LA BEAUCE (ORLEANS-FRANCE)

Six dates différentes ont été étudiées. Le tableau suivant donne le pourcentage de corrélations validées par l'algorithme ponctuel (sur 24 tentatives) pour les canaux 5 (0.6-0.7 µm) et 7 (0.8-1.1 µm) de LANDSAT.

1976	7 mars 12 avril	12 avril - 30 avril	30 avril - 4 juillet	11 juillet 30 juillet	30 juillet 16 Aout
canal 5	0	75	92	83	96
canal 7	33	96	8	0	71

Le choix est immédiat : - pour la fin de l'hiver et au début du printemps il s'agit de différencier sol nu, végétation vivace (prairie, fo-

rêt) et zones d'humidité, c'est bien le canal 7 qu'il faut utiliser.

- pour le printemps et l'été, en période d'activité des cultures (qui sur cette zone couvrent l'essentiel du paysage) il faut choisir le canal qui les différenciera le plus : c'est bien le canal 5 qui donne les meilleurs résultats.

D'autres études ont été faites avec des images LANDSAT sur d'autres zones (Côte Atlantique, Gironde) qui montrent l'intérêt du canal 7 dès qu'il s'agit de différencier l'eau avec d'autres éléments du paysage.

#### 4.2. IMAGES DAEDALUS sur le Lauragais (Toulouse-France)

Des tests de recalage ont été effectués sur une région dont la vérité-terrain a été particulièrement étudiée [5] [6] et nous pouvons confirmer, avec un capteur qui travaille à une résolution très différente, que les mêmes conclusions se retrouvent.

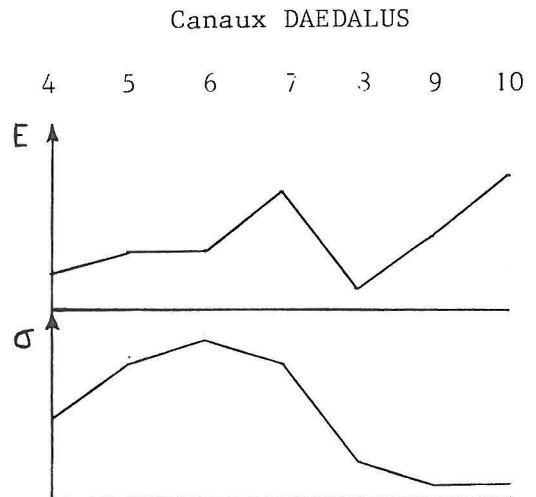
##### Exemple

Courbe des écarts radiométriques entre diverses cultures présentes avec la probabilité  $p$  sur l'image du 19 juin.

$R_1 = \text{colza}$ ,  $R_2 = \text{blé dur}$ ,  $R_3 = \text{prairie}$

$$E = \sum_{(i,j)} p(R_i, R_j) |R_i - R_j|$$

Variances  $\sigma$  de l'erreur sur 13 positions-test.



La meilleure différenciation d'éléments du paysage, qui provoqueront des contours identiques aux deux dates choisies, sera obtenue dans les canaux 9-10 de DAEDALUS (0.75-1.1  $\mu\text{m}$ , proches du canal 7 LANDSAT). Les meilleurs résultats de recalage sont effectivement obtenus avec l'utilisation de ces canaux : meilleur pourcentage de validation, meilleure répartition géographique et meilleure cohérence par rapport au modèle.

#### 5. DEPLACEMENT DU CAPTEUR, LOI DE BALAYAGE ET DEFORMATIONS GEOMETRIQUES DE L'IMAGE.

Les déformations géométriques de l'image, qui proviennent de deux origines physiques distinctes : le balayage et le déplacement, sont prises en compte à deux niveaux très différents du traitement :

- prédiction des positions des aires de recherche sur l'image à recaler, correspondant aux fenêtres choisies sur l'image de référence,
- construction d'un modèle géométrique pour la rectification.

##### 5.1. MODELE DE PREDICTION

- Pour un balayage plan, dans un angle déterminé par rapport à l'axe de déplacement du vecteur, la loi dite "panoramique" est une bonne approximation de la déformation introduite. Cette loi peut être approchée par un sim-

ple modèle polynômial du premier degré si le champ de visée est faible (ce qui est le cas pour LANDSAT).

- Pour un déplacement rectiligne du vecteur, les positions relatives des lignes successives de balayage seront déterminées par la connaissance de l'angle de balayage et de ses variations, ainsi que par l'écartement des lignes et ses variations. Un modèle polynômial du premier degré sera encore suffisant si les variations sont négligeables (cas LANDSAT) mais ne sera valable que globalement si on se contente de valeurs moyennes pour remplacer les inconnues du vol.

L'influence de la validité du modèle de prédiction porte sur deux types de données :

- la position prédite elle même, et sa marge d'incertitude dont il faut tenir compte pour la taille de la fenêtre d'examen et la taille de la surface de corrélation sur laquelle on cherche à localiser le "pic de corrélation".

- L'allure de la surface de corrélation et de son pic éventuel.

Capteur	Modèle	Adaptativité	taille de la surface de corrélation et actions proposées
LANDSAT	1° degré	oui	33 x 33 pixels au démarrage de l'algorithme puis taille décroissante (jusqu'à 7 x 7) en fonction des mises à jour du modèle
DAEDALUS G.D.T.A.	panoramique	non	33 x 33 pixels. possibilité d'un second traitement avec les paramètres déterminés localement au cours du premier traitement.

Remarques :

- pour LANDSAT la validité du modèle du 1° degré est à la fois globale et locale, donc on peut prendre en compte chaque nouvel amer reconnu pour affiner de mieux en mieux le modèle, d'où la possibilité de travailler sur des tailles de surface de corrélation de plus en plus petites.

- pour DAEDALUS au contraire il n'est pas possible d'étendre à toute l'image un modèle calculé sur une partie : en effet la dérivée des paramètres physiques du vol (vitesse, altitude, dérive) peut localement changer de signe plusieurs fois afin de maintenir une valeur globalement constante à ces paramètres. Par contre, on a envisagé un traitement - certes coûteux (presque le prix de deux recalages complets) - qui consiste à recommencer le traitement mais avec un modèle qui tient compte des variations qui ont pu être calculées (au moins par endroits) au cours du premier passage.

5.2. MODELE DE RECTIFICATION

Pour LANDSAT, à cause de la remarque précédente, on pourra rectifier l'image avec le modèle obtenu directement après la dernière mise à jour provoquée par le dernier amer repéré.

Pour les images DAEDALUS l'utilisation d'un modèle polynômial calculé globalement sur tous les amers repérés, s'avère insuffisant, même au 5° degré : les résidus calculés sur la cohérence du modèle, comme les écarts

mesurés sur des points-test repérés visuellement, sont trop importants (de l'ordre de la dizaine de pixels) et les valeurs maximales sont observées sur le positionnement en ligne. Par contre sur chaque ligne la loi de balayage est apparemment bien modélisée par la loi panoramique (2 à 3 pixels d'écart maximum). Le problème est donc de définir les zones sur lesquelles les paramètres du déplacement sont à variation lente puis de regrouper les divers modèles associés à ces zones par un traitement glissant.

Nous proposons la démarche suivante (voir figure) :

1. Les tests de recalage sont faits séquentiellement sur des lignes régulièrement espacées sur l'image de référence ;
2. Pour chaque ligne étudiée on cherche à simuler une ligne de balayage correspondante : il faut pour cela un nombre minimum d'amers assez bien répartis sur cette ligne ;
3. Si la ligne a pu être reconstituée on remplace les positions issues du recalage par leurs projections sur cette ligne (régression linéaire) ;
4. On définit un modèle élémentaire, polynômial de degré 1, entre chaque couple de lignes reconstituées et consécutives, en tenant compte des points qui n'ont pas été éliminés par la régression ;
5. On lisse le passage d'un modèle élémentaire au suivant pour générer le traitement glissant.

Comme nous le proposons au § 5-1, ce traitement glissant peut être utilisé comme modèle de prédiction pour un deuxième recalage, et a été effectivement utilisé pour rectifier des images aériennes prises à basse altitude sur la région du LAURAGAIS (Toulouse - FRANCE).

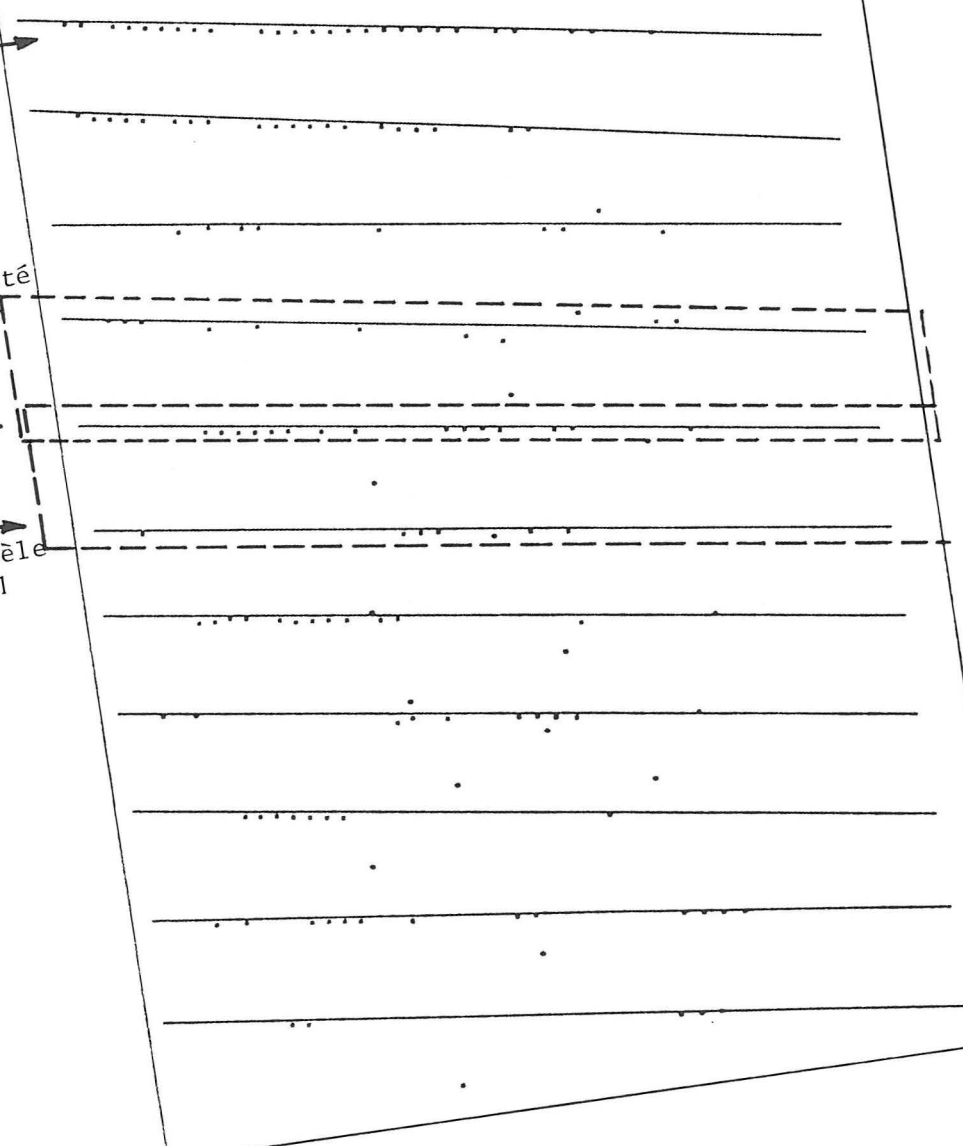
Figure 5.2. Schéma du Traitement glissant.

Régression  
linéaire

domaine de validité  
du modèle élémen-  
taire  $i$

intervalle  
de lissage

domaine de  
validité du modèle  
élémentaire  $i+1$





## CONCLUSIONS

L'étude de l'influence des paramètres physiques dans la pratique du recalage automatique a permis tout à la fois de déterminer certaines causes d'échec d'un traitement qu'on ne maîtrise pas encore, et de définir des actions qui permettent de surmonter certaines difficultés en adoptant une démarche proche de celle de la mise en coïncidence visuelle. D'autre part une étude de ce type peut favoriser la constitution de "banques d'amers" optimales pour un territoire et un capteur déterminés.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] M.L. NACK  
"Temporal Registration of multispectral digital satellite using their edge images".  
AAS/AIAA 06-75.
- [2] M. GOLDBERG  
Dept. of Electrical Engineering. University of Ottawa.  
"Processing of Remote Sensing Data and Optimisation"  
Ecole d'Eté de Physique Spatiale du CNES (08-78).
- [3] R. JEANSOULIN  
Rapport final de la Convention CNES-LSI sur le Recalage Automatique d'Images (01-80).
- [4] A. ROSENFELD, R.A. HUMMEL. IEEE SMC-6.  
et A. ROSENFELD, S. PELEG. IEEE SMC-8.
- [5] A. KILLMAYER  
"Agriculture et Télédétection : étude de quelques relations entre propriétés biologiques et optiques des couverts végétaux"  
Mémoire de l'Ecole Supérieure d'Agriculture de Purpan Toulouse (06-79).
- [6] G. SAINT et A. KILLMAYER (CNES), G. GUYOT et J. RIOM (INRA)  
"Relations between biological and phenological characteristics of vegetation and its radiometric properties : examples in Agriculture and Forestry".  
XIV International Symposium on Remote Sensing of Environment (04-80). SAN JOSE-COSTA RICA.