

## **Intégration Télédétection - S.I.G : Reconstitution du Modèle Géométrique et Restitution Interactive des Eléments Planimétriques à l'aide d'un S.I.G**

**Abdelkader DJILLALI - Mohamed A. TRACHE**

*Centre National des Techniques Spatiales*

1, Avenue de la Palestine - 31200 Arzew (Algérie)

Fax : +213 647.34.54

**KEYWORDS** : Remote sensing – Geo-referencing – SPOT – Image processing – GIS – Information extraction

### **RESUME**

Les images spatiales fournies par les générations actuelles de satellites de télédétection recèlent d'un potentiel informatif très important, en particulier lorsqu'elles sont utilisées comme source primaire ou de mise à jour des informations dans les Systèmes d'Information Géographique. L'exploitation accrue de tels supports d'information, en particulier pour les régions faiblement cartographiées, passe par le renforcement de l'intégration Télédétection – S.I.G et l'atténuation des contraintes matérielles et financières qui y sont associées.

Cette communication présente une méthodologie mise au point de restitution de l'information planimétrique à partir d'images satellitaires SPOT dans un contexte de S.I.G. La procédure s'appuie sur une méthode analytique de correction géométrique intégrant les données fournies avec l'image brute (géométrie interne, données externes). L'extraction des éléments planimétriques repose sur une restitution interactive directe mettant en jeu les techniques d'amélioration d'images et les possibilités offertes par l'outil S.I.G. La rectification n'intervient qu'en dernière étape du processus et s'effectue sur le fichier vectoriel.

Les résultats sont présentés et comparés à un extrait de carte topographique au 1/50 000 de la région d'Oran (Algérie). Mise en œuvre dans un environnement matériel simplifié et économiquement supportable, cette méthodologie peut ouvrir des perspectives intéressantes de production de l'information géographique pour des régions à couverture cartographique obsolète ou inexistante.

### **1. INTRODUCTION**

Dans un contexte de S.I.G, les images de télédétection représentent une source majeure de données ouvrant la possibilité d'une variété considérable d'applications topographiques et thématiques. Mais leur utilisation est tributaire du niveau de précision géométrique, condition impérative de leur intégration. Aussi est-il indispensable de prendre en compte de manière rigoureuse les aspects géométriques et thématiques qui lui sont inhérents afin de rendre son utilisation géographique similaire à celle d'un document cartographique.

En pratique, plusieurs problèmes techniques influent sur le degré avec lequel les données de télédétection peuvent être effectivement intégrées dans un S.I.G. Ces problèmes se répartissent en deux catégories : ceux liés au géocodage (géométrie) et ceux se rapportant à l'interprétation et à l'extraction de l'information à partir des images (restitution). Dans ce contexte, nous nous intéressons à la mise au point d'une méthodologie de restitution de l'information planimétrique à partir d'images satellitaires SPOT dans un contexte de S.I.G.

### **2. PROBLEMES DE GEOMETRIE**

L'utilisateur de télédétection doit avoir une parfaite conscience des perturbations induites par le capteur, le satellite et l'objet observé sur l'image, afin de pouvoir les intégrer dans son schéma d'interprétation. Les possibilités offertes par les S.I.G de croisement des données d'origines diverses et le fait que les données introduites dans l'ordinateur n'ont virtuellement pas d'échelle imposent de définir pour chaque type de données le niveau de précision associé et de développer les recherches sur la propagation des erreurs dans les S.I.G.

## 2.1 Paramètres conditionnant la précision de l'image

L'image doit avoir une échelle constante pour être intégrée dans un S.I.G. Les variations d'échelles sont introduites par plusieurs facteurs tels l'angle de prise de vue, le relief du terrain, le système de balayage et l'altitude du satellite. La qualité des images est essentiellement liée aux performances des systèmes d'observation et à l'efficacité des traitements radiométriques et géométriques subis par les données (qualité interne des méthodologies mises en œuvre : choix des images, qualité des algorithmes utilisées, ...). Les méthodes de correction géométrique les plus souvent utilisées sont de type non paramétrique (méthodes polynomiales). Elles ne tiennent pas compte d'une situation réelle de prise de vue. Elles admettent implicitement que la métrique de l'image est constante (CALOZ et al, 1991). Les mouvements d'attitude du satellite font que ces méthodes ne sont acceptables que pour de très petites surfaces (TOUTIN et al, 1994).

D'autre part, les polynômes de degré élevé ont l'inconvénient de recourir à l'extrapolation sur les parties de l'image où aucun point d'appui n'est disponible. Les polynômes se conduisent mal sur le plan numérique. Un grand nombre de points est nécessaire pour éviter la dégradation du modèle dans des parties de l'image. 30 à 40 points sont exigés pour satisfaire la correction (WESTIN, 1991). L'image est rééchantillonnée deux fois, causant des dégradations non nécessaires.

Une autre variante de l'approche non paramétrique prend en compte le relief. Cette option qui consiste à utiliser un Modèle Numérique d'Altitude (MNA) pour redresser l'image se heurte à des problèmes de recalage cartes - images. Comme on produit le MNA à partir des courbes de niveaux numérisées d'une carte, la géométrie du MNA est celle de la carte. Les corrections polynomiales créent des artefacts lorsqu'on superpose des données multisources. Comme ces artefacts ne correspondent pas à une réalité physique et sont dépendants des conditions de prise de vues, les résultats et traitements obtenus par un jeu de données s'appliquent très mal, voire pas du tout, à un autre jeu de données différent, limitant ainsi certaines généralisations à des applications futures (TOUTIN et al, 1994).

Le problème du rééchantillonnage reste d'actualité. En pratique, plusieurs solutions d'interpolations ont été élaborées assurant des performances diverses avec des coûts informatiques variés: règle du plus proche voisin (PPV), interpolation bilinéaire, interpolation bicubique ou l'interpolation par orthoprojection qui est une alternative aux trois méthodes (CALOZ et al, 1991). Il est évident que ces différents algorithmes modifient les valeurs de luminance originales. L'étude menée par EUGENE et al. (1987) a permis d'évaluer de manière quantitative les conséquences du rééchantillonnage sur les propriétés spectrales et radiométriques des images. Elle a montré que le rééchantillonnage modifie la structure spatiale et interne de la contenance radiométrique.

## 2.2 Solutions apportées

Toutes ces raisons justifient que des efforts conséquents aient été engagés pour développer de nouvelles méthodes de transformation de l'image en document cartographique pour leur utilisation dans un S.I.G et orientent la réflexion vers les directions suivantes :

- dans un contexte d'intégration Télédétection et S.I.G, la meilleure manière de privilégier la dynamique et la géométrie de l'image est de ne faire aucune simplification dans toute la chaîne de traitement. Autrement dit, il s'agit d'éviter le rééchantillonnage en appliquant la correction sur le fichier vectoriel, restitué à partir de l'image brute.
- appliquer la correction géométrique "dite paramétrique" qui, à l'inverse des méthodes polynomiales sensibles à la distribution spatiale des points et leur élévation, n'est pas influencée par ces facteurs pour autant qu'il n'y ait pas d'extrapolation. La résolution de la compensation s'effectue avec très peu de points d'appui (6 à 8). Ces modèles, qui tiennent compte des paramètres de prise de vue (Satellite – Capteur - Terre) en corrigeant les distorsions dues à l'attitude, sont devenus indispensables pour l'intégration des données de télédétection (DJILALI, 1996).

## 3. MODELE DE GEOMETRIE PROPOSE

Les considérations ci dessus orientent vers le choix de l'approche paramétrique. Le modèle reposant sur cette approche intègre toutes les informations disponibles comme la géométrie interne du capteur, les éphémérides et les données d'attitudes fournies avec l'image. L'établissement de la relation de tout élément d'une image brute à un point de la surface terrestre est réalisée à l'aide des données auxiliaires fournies avec l'image. Pour décrire les champs de direction de visée, nous aurons à utiliser plusieurs référentiels définissant la géométrie de l'image SPOT.

### 3.1 Le repère satellite (orbital local instantané (S,T,R,L))

Les éphémérides recalculées fournies permettent, pour un instant donné, de calculer les coordonnées de position du satellite (S) ainsi que les composantes de sa vitesse inertielle (V) par interpolation de Lagrange de degré 7.

Nous disposons ainsi :

- du centre de masse S du satellite par rapport au repère géocentrique GRS80,
- du vecteur vitesse  $V_x, V_y, V_z$  dans ce repère.

On peut déterminer le repère orbital local instantané (fig. 1) par les calculs vectoriels suivants :

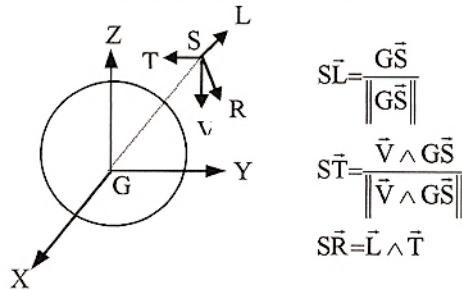


Figure 1. Eléments de géométrie du repère satellite

Les vecteurs  $(\vec{L}, \vec{T}, \vec{R})$  représentant respectivement les vecteurs unitaires des axes de lacet, de tangage et de roulis.

### 3.2 Le repère Attitude

Le CNES (France) publie les mesures des vitesses de dérive en lacet, roulis et tangage à raison d'une mesure par intervalle de temps de 125ms, fournie par rapport repère (S, T, R, L) par numéro de ligne et valeur en  $10^{-6}$  °/s. Nous disposons alors, pour différents instants (72 ou 73 mesures par scène), des estimations des valeurs angulaires du repère attitude par rapport au repère orbital local (fig. 1).

Après intégration, nous pouvons interpoler, pour un instant  $t$  donné (ligne correspondante), les valeurs des angles en roulis, tangage et lacet (estimation de l'attitude A). La détermination de ces vitesses de dérive permet de déterminer les écarts de pointage des deux repères à l'instant  $t$ , à une constante d'intégration près (fig. 2). La variation du tangage reste assez importante (fig. 3).

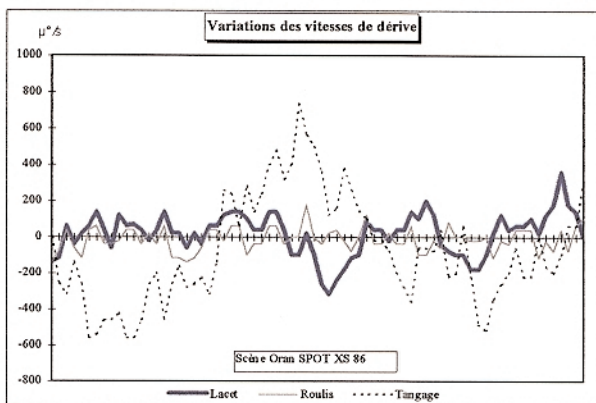


Figure 2. Variations de l'attitude de dérive du satellite mesurées à bord sur l'espace de 9s.

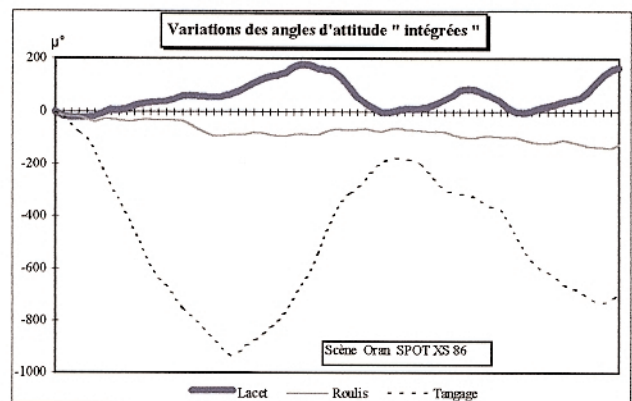


Figure 3. Variations de l'attitude du satellite déduite, à une constante d'intégration près.

### 3.3 Le repère Capteur (Géométrie interne)

Chaque instrument HRV (SPOT) est lié à un repère HRV (S, X<sub>hi</sub>, Y<sub>hi</sub>, Z<sub>hi</sub>) [avec  $i=1,2$  pour HRV<sub>1</sub> et HRV<sub>2</sub>]. Il présente les caractéristiques suivantes :

Deux barrettes de détecteurs, enregistrant l'une en mode panchromatique (P) et l'autre en mode multispectral (XS).

Un dépointage systématique en tangage : suivant le mode utilisé, la barrette est situé à  $\phi$  en avant ou en arrière ( $\phi = \pm 0.529^\circ$ ).

Un dépointage systématique en roulis : Le pas du miroir et le n° du HRV sont pris en compte pour évaluer la rotation entre le référentiel attitude et le référentiel instrument (Il y a 91 pas de miroir de  $0.6^\circ$ ). L'orientation du miroir est de  $+0.163^\circ + 0.6(n - 48)$  pour HRV<sub>1</sub> et  $-0.163^\circ + 0.6(n - 48)$  pour HRV<sub>2</sub>

Pour une scène, le CNES fournit des données auxiliaires présentant différents types d'informations : pas du miroir, identification de l'instrument HRV<sub>i</sub> (cette identification permet de définir le signe de l'angle de dépointage systématique en roulis), mode spectral de la scène (qui permet de définir l'angle de dépointage systématique en tangage).

#### 4. MODELISATION

Pour corriger une image spatiale de ses déformations et la rendre superposable à un fond cartographique, il faut calculer les paramètres définissant la modélisation de la prise de vue, et établir une correspondance géométrique entre les points de l'image et ceux de l'image corrigée ou la carte.

Ce modèle est obtenu à partir de la résolution de l'équation de colinéarité (équation au vecteur d'observation).

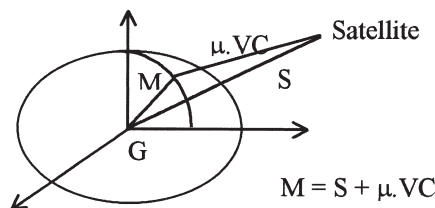


Figure 4. Triangle Fondamental d'Observation

VC, vecteur unitaire porté par la direction Satellite - Point observé est obtenu par le produit de matrice suivant :

$$VC(t) = R_{o\text{Satellite}}(t) * A_{\text{Attitude}}(t) * r_{\text{Interne}} * \beta(t) \quad (1)$$

Avec

M: Vecteur position du point observé.

S: Vecteur position du satellite à l'instant d'observation.

$\mu$  : Facteur d'échelle.

$\beta(t)$  : vecteur d'observation en coordonnées dans la géométrie du capteur.

##### 4.1 Paramètres de la modélisation adoptée

L'approche consiste à baser la compensation sur la forme explicite des équations projectives. Cette méthode, bien connue, a été souvent employée en photogrammétrie de précision. Elle a été ici adaptée à la "photogrammétrie images satellites". Pour tout point M identifié, la mesure des coordonnées images donne les valeurs correspondants en coordonnées dans le repère capteur. Par ailleurs, connaissant les positions approchées de M et S dans le repère lié à la Terre, on obtient les valeurs des paramètres calculés VC<sub>x</sub> et VC<sub>y</sub> par les formules suivantes :

$$VC = R(M - S) \quad (2)$$

$$R = R_o \cdot A \cdot A_o \cdot r \quad (3)$$

Pour simplifier la notation, nous définirons les matrices de passage suivantes :

$$r : [\text{Barrette} - \text{Satellite}], A_o \cdot A : [\text{Satellite} - \text{Orbital}], R_o : [\text{Orbital} - \text{Géocentrique}].$$

avec A : [attitude (variables)], A<sub>o</sub> : [attitude (constantes) complémentaire].

L'abscisse barrette  $x_s$  est déterminée à partir du centre de la barrette et se déduira de l'expression:

$$x_s = (C - C_o) \delta \cdot 10^{-6} \quad \text{où } \delta = 24 \text{ en mode XS et } 12 \text{ en mode P} \quad (4)$$

L'équation générale s'écrit :

$$\frac{1}{\mu} \begin{pmatrix} \mathbf{xS} \\ \mathbf{0} \\ -\mathbf{fo} \end{pmatrix} = \mathbf{r} \cdot \mathbf{A}_0 \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{R}_0 (\mathbf{M} - \mathbf{S}), \quad (5)$$

$$\text{avec } \mathbf{fo} = \frac{1083 \text{ mm}}{\cos(0.529)}$$

$\mathbf{fo}$  : focale apparente.

On a les deux relations suivantes :

$$\mathbf{xS} = \frac{-\mathbf{fo} \cdot \mathbf{i} \cdot \mathbf{r} \cdot \mathbf{A}_0 \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{R}_0 \cdot (\mathbf{M} - \mathbf{S})}{\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} \cdot \mathbf{A}_0 \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{R}_0 \cdot (\mathbf{M} - \mathbf{S})} \quad (6)$$

$$\mathbf{0} = \mathbf{j} \cdot \mathbf{r} \cdot \mathbf{A}_0 \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{R}_0 \cdot (\mathbf{M} - \mathbf{S})$$

avec :

$\mathbf{r}$  = constante ;  $\mathbf{Co}$  = le numéro de la colonne centrale (1500.5 en XS et 3000.5 en P) ;  $\mathbf{S} = \mathbf{So} + \mathbf{dS}$  ;  $\mathbf{M} = \mathbf{Mo} + \mathbf{dM}$  où  $\mathbf{Ao}$ ,  $\mathbf{dS}$  sont les paramètres de la modélisation ;  $\mathbf{i} = (1,0,0)$ ,  $\mathbf{j} = (0,1,0)$ ,  $\mathbf{k} = (0,0,1)$  ;  $\mathbf{A}$ ,  $\mathbf{Ro}$ ,  $\mathbf{S}$  : dépendent du n° de ligne L de la mesure.

La direction de visée est définie par :

$$\mathbf{VC} = [\mathbf{VCx}/\mathbf{VCz}, \mathbf{Vcy}/\mathbf{VCz}, 1]. \quad (7)$$

Pour modéliser la focale, on prend  $(1+F)$  comme coefficient d'anisotropie appliqué à la composante ligne, c'est à dire la composante x. La direction de visée calculée aura pour composantes :

$$\mathbf{UC} = [(1+F) \mathbf{VCx}/\mathbf{VCz}, \mathbf{Vcy}/\mathbf{VCz}, 1] \quad (8)$$

Le rayon de visée observé a pour composantes :

$$\mathbf{UO} [(C - Co) \delta 10^{-6}, 0, -fo]. \quad (9)$$

Ce qui donne  $\mathbf{UO} = \mathbf{UC}(L, M, S, A, F)$ . Cette relation n'est pas linéaire. Elle sera linéarisée en fonction des paramètres du modèle.

## 4.2 Mono Restitution

Le point d'impact au sol de la visée diffère de celui d'un couple de visées (stéréoscopie) où le point est obtenu par l'intersection des deux directions de visées. Si l'on suppose que l'on connaît à priori l'altitude Z du point visé, la valeur  $\mu$  correspondant au point visé peut être calculée à l'aide de l'équation de la droite  $M = S + \mu V$ .

En se déplaçant dans l'image, nous avons directement les coordonnées planimétriques des points ou des éléments cartographiques que l'on veut extraire dans le système de la carte. Pour que cette image puisse être rectifiée avec une valeur cartographique correspondant au 1/50 000, il est nécessaire de connaître en tout point l'altitude avec une précision compatible. Pour 3° de débatement, une carte au 1/250 000 suffira largement pour obtenir le MNA.

Pour l'estimation de la qualité de la modélisation, nous avons réparti aléatoirement un ensemble de points terrain en deux groupes "appui" et "contrôle". La rigidité de la modélisation a été testée en fonction d'une répartition géographique efficace des points d'appui. Les écarts moyens quadratiques en x et y obtenus sur les points de vérification sont respectivement de 30.6m (x) et 24.1m (y).

## 5. APPROCHE DE RESTITUTION DE L'INFORMATION

La thématique qui correspond à la fois à la sémantique de la nomenclature et à la réalité du terrain est recherchée en fonction de critères précis par rapport aux lignes directrices de la nomenclature de la carte et aux possibilités offertes par le traitement numérique des images et les outils S.I.G.

Pour extraire les classes d'objets, différentes méthodes de traitements d'images sont proposées dans la littérature, basées sur une approche pixel, zonale ou une approche par objet. Depuis le lancement du satellite SPOT, plusieurs travaux ont été menés pour tirer le meilleur parti des images et extraire des éléments cartographiques.

L'ensemble des auteurs souligne la difficulté à extraire par procédure automatique les éléments cartographiques. Il s'avère que ces traitements exigent un grand nombre de règles et de paramètres, chiffre qu'il faut multiplier par le nombre d'opérateurs et de paramètres contextuels calculés (BERTHOD et al, 1988).

L'essentiel de ces travaux est consacré à la mise au point des techniques de rehaussement des images de façon à faciliter le travail du photointerprète dans l'identification des éléments cartographiques. Plusieurs travaux allant dans ce sens ont été menés. Cette amélioration de l'interprétation des images correspond aussi bien à une demande en cartographie topographique, qu'en cartographie thématique (JALOUX, 1987).

Pour l'extraction, il ne s'agit pas de reproduire l'image sous une forme vectorielle, mais de pouvoir restituer un thème au besoin pour des fins d'applications cartographiques. C'est à partir de l'information résultant de l'interprétation ou classification des différents thèmes géographiques que la méthode de correction et de conversion sera développée (en établissant un lien physique entre les informations de la télédétection et de la cartographie). A l'issue de ces étapes, les graphiques obtenus ainsi que leurs attributs sémantiques vont alimenter le S.I.G qui devra les gérer et les manipuler conjointement avec les objets issus d'autres sources telles les cartes numérisées ou les levés terrain.

### 5.1 Séparation thématique des classes

Différentes méthodes de classification automatique sont disponibles. Le thématicien a la possibilité de corriger interactivement les contours sur ces images classées (amélioration de la classification d'une manière interactive). La conversion matrice - vecteur peut être réalisé pour un seul thème (masque) ou plusieurs à la fois. La plupart des S.I.G offrent cette possibilité à l'aide des modules de vectorisation qui assument la reconnaissance des éléments du dessin formant les entités de la carte (point, ligne, polygone).

### 5.2 Système interactif

La méthodologie de conception du processus est basée sur une typologie des traitements mis en œuvre pour des problématiques données. Pour ce faire, le photo interprète dispose d'outils puissants tels le renforcement de contrastes, pseudo-couleurs, filtres, ... qui vont lui permettre d'atteindre cet objectif (processus de production de l'information).

A l'aide d'images rehaussées, le photo interprète peut tracer les objets linéaires en numérisant les contours aisément, comme en photo-interprétation habituelle. Le travail se fait intégralement sur l'écran, en numérisant les parcelles et des portions de lignes. L'utilisateur a la possibilité de rappeler les images qu'il juge intéressantes pour le suivi de son interprétation.

Chaque objet de ces fichiers extraits possède un descripteur spécifiant le type d'unité au sol (classes du sol, types de routes, ...) et une liste de coordonnées composant les points. L'interface avec cette base est assuré par un module qui préserve les identificateurs des fichiers non corrigés avant et après traitement géométrique. La figure 5 présente le processus général de l'extraction.

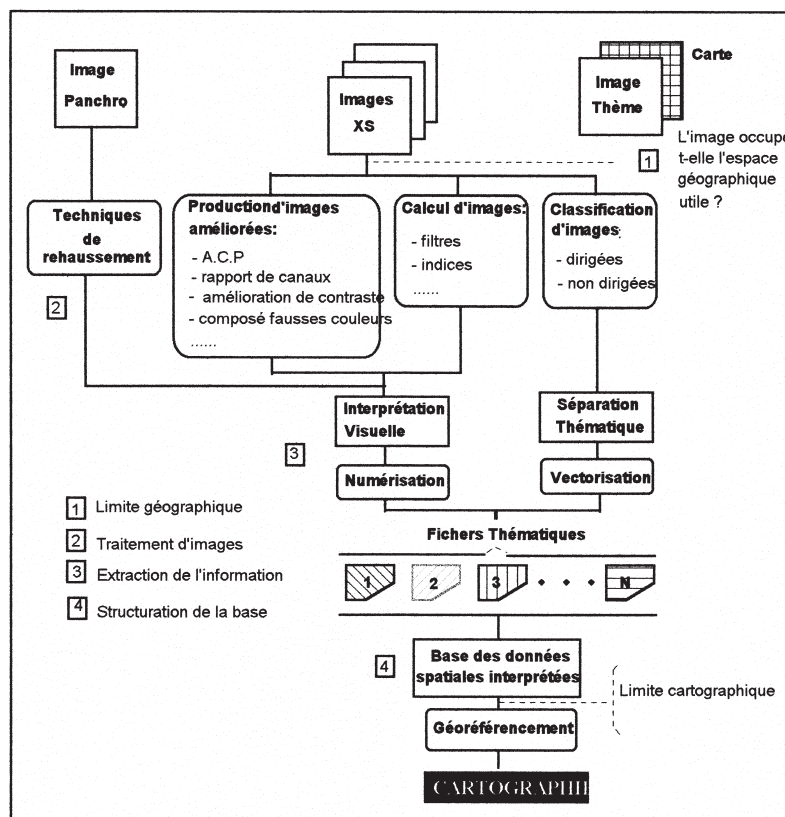


Figure 5. Approche spectrale pour la cartographie

## 6. APPLICATION: EXTRACTION DES INFORMATIONS CARTOGRAPHIQUES

Le secteur d'étude correspond au feuillet de la carte topographique au 1/50 000. La coupure test choisie est celle d'Oran (Ouest algérien). Cette coupure a été complétée en 1965 puis une seconde fois par l'Institut National de Cartographie en 1986 (INC). Lors de cette révision, l'INC a repris entièrement le dessin de la coupure pour le mettre en accord avec les nouvelles spécifications de rédaction cartographiques algériennes.

La confrontation de cette interprétation initiale avec la carte n'a pas révélé d'erreurs d'identification sur les objets suivants : lacs, voies ferrées, réseau hydrographique, aéroports, centre urbain. Concernant le réseau routier, l'interprétation révèle quelques incohérences. De nombreuses pistes sont surclassées en routes, et il s'avère difficile d'assurer le suivi continu du réseau à l'intérieur des villes. Le réseau ferroviaire est aisément identifiable en raison de la faible courbure des tracés. Les lignes de transports d'énergie caractérisées par leur caractère linéaire ont été d'identification difficile.

Globalement, on peut donc affirmer que le produit issu de cette première photo-interprétation se révèle d'une qualité cartographique insuffisante (manque de finesse géométrique, manque d'information sur la sémantique des objets représentés). Le passage à des produits de qualité cartographique (numérique ou non) exige le recours à des données externes, même sans valeur géométrique, de manière à pallier le manque d'informations sémantiques (BERNARD, 1995).

Les figures suivantes (fig. 6 et 7) illustrent les possibilités d'extraction des informations utilisant le S.I.G IDRISI. La figure 6 représente les informations extraites sur image. La figure 7 présente le résultat de l'interprétation initiale en visualisant le fichier vectoriel corrigé géométriquement, formé de quatre couches d'information: végétation, réseau routier /chemin de fer, hydrographie, centres urbains en dehors de la ville d'Oran.

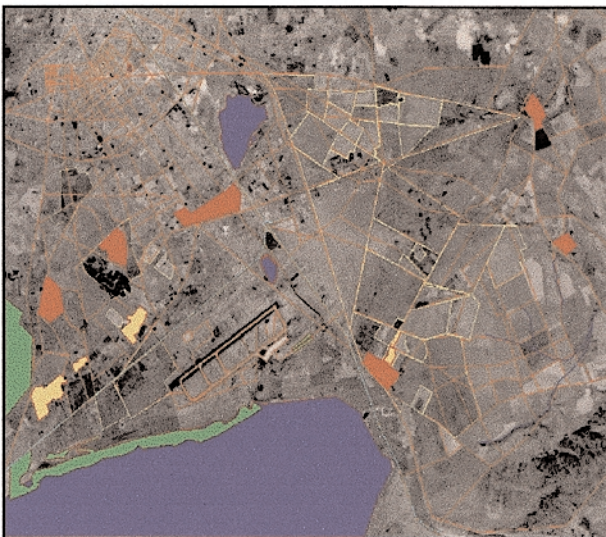


Figure 6. Informations extraites sur image



Figure 7. Fichier vectoriel corrigé géométriquement

## 7. CONCLUSION

La cartographie spatiale est désormais reconnue comme une source potentielle de données géographiques et permet de faire face à des situations d'obsolescence voire d'absence de cartographie. Elle est également appréciée en tant qu'outil de mise à jour cartographique pour des territoires importants. L'approche exposée dans ce papier, basée sur une compensation globale et rigoureuse des observations et s'appuyant sur des méthodes de traitement S.I.G pour l'analyse spatiale interactive peut s'avérer extrêmement prometteuse dans ce contexte et permet de raffermir la synergie entre la télédétection et les techniques de cartographie et de photogrammétrie.

Sous réserve d'informations complémentaires pouvant faciliter le travail du photo interprète et lever les incertitudes d'identification, il est avéré que l'on peut espérer une précision de restitution permettant de réaliser une cartographie régulière en planimétrie au 1/50 000 .

Dans un contexte de S.I.G, la possibilité de croisement avec des couches d'informations pour corriger la numérisation et reconstituer la topologie, offre de grandes perspectives d'exploitation de l'imagerie spatiale.

Enfin, il faut souligner que cette approche a été mise en œuvre sous un environnement matériel accessible (environnement P.C), ce qui constitue un atout indéniable pour son adoption par le plus grand nombre d'utilisateurs, en raison de son faible coût

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] **BERTHOD M. et al, 1990.** Extraction automatique d'information cartographique à partir d'images Spot. IGARS
- [2] **BERNARD M., 1995.** Eléments de spécifications des surcharges apportées aux spatio-cartes. Bul. du Comité Français de Cartographie. CFC n° 142-143, Mars 1995, pp. 131-139.
- [3] **CALOZ R., BLASER T. J., WILLEMIN G., 1991.** Création d'une orthoimage à l'aide d'un modèle numérique d'altitude - Influences des modes de rééchantillonnages radiométriques. Journées AUPELF - UREF. Montréal 21-23 octobre 1991, pp. 1-13.
- [4] **CNES, SPOT IMAGE, 1986.** Guide des utilisateurs des données Spot.
- [5] **DJILALI A. 1996.** Exploitation cartographique des images spatiales dans un environnement de S.I.G – Thèse de Magister du Centre National des Techniques Spatiales, pp.100–140.
- [6] **DOWMAN I.J., 1988.** Equipement for Map Production from Spot Data. CERCO seminar on the Spot system and its cartographic applications. Paris 6-9 juin 1988, pp. 19 - 53.
- [7] **EUGENE E.D. and RAAD K.S., 1987.** Effet of resampling on the geometric and radiometric fidelity of digital images. University of New Brunswick Fredericton N.B. Canada. 1987.
- [8] **FOIN P., 1987.** Evaluation des possibilités cartographiques de SPOT sur la zone d'Aix . Colloque SPOT 1. Editions CEPADUES, pp. 1221-1227.
- [9] **JALOUX A, 1987.** Contribution des images SPOT à la cartographie topographique. Colloque SPOT 1. Editions CEPADUES, pp.. 1195-1200.
- [10] **PRIEBBENOW R. and CLERICI E., 1987.** Cartographic applications of Spot imagery. Comptes rendus du Colloque International sur Spot -1 : Utilisation des images, bilans, résultats. CEPADUES Ed., Paris, 1987, France, pp. 1189 - 1194.
- [11] **TOUTIN T., 1994.** Système de rectification des images de télédétection. Journal canadien de télédétection, Vol 20 n° 2, Mars/Avril 1994, pp. 172-179
- [12] **WESTIN T., 1991** Precision rectification of Spot imagery. PERS, 1985, vol. 51, n°9.

## REMERCIEMENTS

Ce travail représente une part d'un projet de recherche conduit au Centre National des Techniques Spatiales bénéficiant d'un financement de la DCRSDT/MESRS dans le cadre des Programmes Nationaux de Recherche (référence. 08/TS/97/CNTS).