



**SEGMENTATION MULTISPECTRALE  
PAR UN ALGORITHME  
DE LIGNE DE PARTAGE DES EAUX**

**P. SECCHI, G. FOULON**

**ONERA** 29, avenue de la Division Leclerc 92320 Châtillon - France

*Email : secchi@onera.fr, foulon@onera.fr*

**RÉSUMÉ**

Le problème de la segmentation d'images multispectrales, telles que les images satellitaires, où la quantité d'information peut être relativement importante incite naturellement à rechercher des méthodes de changement de repère optimal pour lesquelles les informations sont au maximum décorréliées. Les approches rencontrées jusqu'à présent utilisent une transformation globale des images initiales suivie d'une segmentation. La méthode que nous présentons propose un procédé de décorrélation local des informations intégré à un algorithme de segmentation par ligne de partage des eaux.

**ABSTRACT**

The multispectral image segmentation problem, such as remote sensing images, where information quantity can be quite extensive, naturally involved optimal transformation methods which leads to a maximal decorrelation between every channel. Usual approaches tends to globally transform the original images followed by a segmentation process. The purpose of our method is to gather a local information decorrelation process to segmentation algorithm based on water partings determination.

**1. INTRODUCTION**

Les différentes méthodes de segmentation d'image couleur traditionnellement codées en trois canaux RVB s'appuient sur un changement de repère où l'information couleur est mieux interprétable. Le nouveau repère s'exprime classiquement en termes de luminance, teinte, saturation (système IHS, contraction de l'anglais Intensity-Hue-Saturation). Ce changement de repère, dont il existe plusieurs définitions s'appuyant sur des thèses neurophysiologiques différentes, est généralement de type non linéaire à tendance cylindrique (transformation d'un point-vecteur en 2 longueurs et un angle) et parfois même linéaire (ex : le système matriciel d'Ohta, [Oht 80]). Quel que soit le changement de repère préconisé, la philosophie sous-jacente consiste à projeter l'image à 3 dimensions (composantes RVB) dans un espace mieux adapté à fin de segmentation. Ce changement de repère s'applique à toute l'image et est le même pour toutes les images candidates, à la restriction qu'elles soient RVB. Une possibilité d'améliorer le changement de repère consiste à utiliser la statistique de l'image pour piloter ce dernier et donc l'adapter à la nature de l'image alors que les techniques IHS précédentes ne le permettaient pas. Le changement de repère

optimal correspondant s'obtient alors par application de la transformée de Karhunen-Loeve [Bru 93] qui calcule le repère où les points de l'image sont le plus aisément décorrélables. Cela se traduit par une variance maximale sur les axes du nouveau repère. Toutefois, dans le cadre de la segmentation d'images, ces transformations appliquées à la totalité de l'image présente un intérêt relativement limité. Une meilleure utilisation des possibilités de ces transformations peut être faite à un niveau local, par exemple en les intégrant à une procédure de segmentation de type croissance de régions. C'est l'approche que nous proposons ici.

L'expérience accumulée depuis une dizaine d'années au sein de notre laboratoire sur les problèmes liés à la segmentation monospectrale ou multispectrale, par des techniques classiques de croissance de régions, [Bre 87] ou [Sec 90], ont conduit au développement d'une approche similaire fondée sur la ligne de partage des eaux. Ce concept, connu en topographie, est repris par analogie en analyse d'images numériques par morphologie mathématique [Ser 82, 88], [Beu 90]. L'originalité de notre méthode réside dans l'extension d'un tel algorithme au cas multispectral et surtout dans la nature de l'information utilisée pour



déterminer les bassins versants formant in fine la segmentation cherchée. Au lieu d'utiliser l'image d'un gradient mono-spectral ou multispectral comme information basique nous exploitons une mesure de corrélation spectrale locale et optimale comme critère d'aggrégation.

## 2. MÉTHODOLOGIE

La méthode élaborée repose sur le principe de la croissance de régions. D'autres principes auraient pu être utilisés, citons par exemple la division-et-fusion, l'approche pyramidale et les modèles markoviens. Notre priorité étant la prise en compte d'informations multispectrales, le choix qui a été fait n'est point restrictif car une hybridation de cette méthode est toujours possible avec l'une ou l'autre de ces techniques. Les choix conduisant à l'élaboration d'une telle segmentation sont guidés par un ensemble de critères, hormis les critères de qualité ou d'évaluation des résultats qui sont trop souvent subjectifs, dont la liste est donnée ci-dessous par ordre d'importance décroissante :

- minimisation du nombre de paramètres,
- signification physique des paramètres,
- capacité d'extraire l'information pertinente parmi N canaux,
- prise en compte directe et indifférenciée d'un nouveau canal ou de pseudo-canaux,
- prise en compte de la fiabilité d'un capteur donc d'un canal donné,
- simplicité de la mesure de l'homogénéité locale,
- temps d'exécution acceptable compte tenu de la quantité d'informations à traiter.

Le respect de ces différents critères a guidé notre réflexion vers les techniques de changement de repère optimaux, telle que la transformée de Karhunen-Loève ou la transformée cosinus. Elles calculent le repère dans lequel tous les points de l'image sont le plus aisément décorrélables, ce qui se traduit par une variance maximale sur les axes du nouveau repère. Ce type de transformation est mis en œuvre dans l'analyse en composantes principales (ACP), méthode souvent utilisée en télédétection pour la classification au niveau du pixel. Cette technique consiste à diagonaliser la matrice de covariance de l'ensemble des points de l'image. Or, il est évident que cette approche n'est point optimale car l'hypothèse d'homogénéité statistique est souvent insatisfaite sur les différentes parties de l'image. En fait, pour la segmentation d'images, le changement de repère optimal cherché dépend de la position dans l'image. Une approche basée sur l'estimation locale en chaque point du meilleur espace de représentation est une solution paraissant mieux adaptée aux

caractéristiques locales d'une image ainsi qu'aux méthodes de croissance de régions. La dimension de cet espace est égale au nombre de canaux en entrée de la segmentation, ce nombre n'étant pas limitatif, au contraire.

## 3. CROISSANCE DE RÉGIONS

Soit  $n$  le nombre de canaux spectraux d'origine et pseudo-canaux issus d'un calcul de paramètres ( $n \geq$  nombre de capteurs), on suppose, sans nuire à la théorie, que les images sont de même taille et superposables entre elles. Le problème posé est alors de segmenter une image vectorielle  $I(x,y)$  paramétrée par la position  $x,y$  du pixel :

$$I(x,y) \in \prod_{i=1,n} [0..2^{q_i} - 1]$$

où  $q_i$  est la dynamique en bits du canal  $i$ . On convient de noter la composante n°  $i$  du vecteur  $I$  par  $I(x,y)_i$ .

Si maintenant l'on note  $Q[x,y]$  la matrice de covariance au point  $(x,y)$  estimée par le calcul sur un pavé  $\Omega$  de surface  $S$  centré sur  $(x,y)$  selon :

$$Q[x_g, y_g](i,j) = \frac{1}{S-1} \sum_{(x,y) \in \Omega} I(x,y)_i \cdot I(x,y)_j - \overline{I(x_g, y_g)_i} \cdot \overline{I(x_g, y_g)_j}$$

alors le critère d'arrêt d'une croissance de région classique autour d'un point-germe  $(x_g, y_g)$  s'exprime par la forme quadratique suivante :

$$C_{x_g, y_g}(x,y) = \frac{1}{\sqrt{n}} \cdot \|I(x,y) - \overline{I(x_g, y_g)}\|_{Q_g} > K$$

avec :

$$\|U\|_Q = U^t \cdot Q^{-1} \cdot U$$

Ce critère permet de prendre en compte des poids, soit a priori, soit fixés à partir d'un apprentissage ou encore calculés en fonction de paramètres mesurables dans les images (ex : rapport signal à bruit), sur la fiabilité du canal  $i$  ou l'importance qu'on souhaite lui accorder. Si  $p_i$  est le poids a priori du canal  $i$ , alors le critère devient :

$$C_{x_g, y_g}(x,y) = \frac{1}{\sqrt{n}} \cdot \left\| \left( I(x,y) - \overline{I(x_g, y_g)} \right) \otimes P \right\|_{Q_g} > K$$

avec :

$$[u \otimes v]_i = u_i \cdot v_i \quad \text{et} \quad P_i = \frac{p_i}{\sqrt{\sum p_i^2}}$$

Ici interfèrent les notions de poids estimés a priori  $p_i$  avec ceux inférés a posteriori par la matrice  $Q$ . Les points-germes à partir desquels on fait croître les régions sont classiquement les points qualifiés de plus forte homogénéité. Cette dernière peut être évaluée localement par la valeur de la trace de  $Q$ . Les points-germes peuvent alors être obtenus par tri successif



des pixels restant à segmenter en cherchant ceux de trace de  $Q$  minimale. Le problème du choix itératif des points-germes réside dans le contrôle de la croissance des régions, prises les unes après les autres, donc dans l'adaptation du seuil  $K$  en fonction du germe choisi. De plus, la relation d'ordre introduite entre les points-germes ne permet pas d'obtenir le même résultat, suivant que la segmentation s'applique à l'image entière ou à une imagerie. Ce problème est crucial dès lors que les images sont de grande taille donc trop volumineuses pour l'espace mémoire d'un ordinateur (ex : scènes SPOT). La segmentation s'applique alors à une mosaïque de l'image d'origine, d'où l'importance de l'invariance des résultats vis-à-vis d'un pré-découpage arbitraire. La méthode de ligne de partage des eaux, décrite plus loin, montre comment s'affranchir de ces inconvénients.

La mesure d'homogénéité statistique associée à la procédure de croissance de régions décrite ci-dessus est la distance de Mahalanobis entre deux distributions locales. Cette mesure de corrélation dans le nouvel espace est liée à la covariance des mesures dans chacun des canaux. Elle est par nature indépendante du type d'information que contiennent les canaux. On peut notamment ajouter ou substituer aux canaux d'origine des pseudo-canaux tels que gradients locaux ou détections de contours pour opérer une coopération région-contour. La richesse et la souplesse du traitement multispectral permet également de prendre en compte des paramètres texturaux du second ordre par adjonction de pseudo-canaux quantifiant localement cette information. Ces informations, primordiales en segmentation, n'auraient pas pu être considérées directement avec des algorithmes manipulant uniquement les distributions locales des canaux d'origine. Elles sont généralement l'objet d'une phase post-segmentation, apparentée à une classification, cherchant à identifier les régions à un ensemble de classes prédéfini.

En fait, la covariance n'indique que l'ordre de grandeur des fluctuations et leurs synchronisations mutuelles ou non. La pose d'une frontière entre deux régions est donc valide lorsque ces fluctuations varient brutalement d'un ordre de grandeur ou lorsque leur synchronisation mutuelle est en défaut.

#### 4. LIGNE DE PARTAGE DES EAUX

A l'origine la ligne de partage des eaux, notée LPE, est une notion purement géographique liée directement à la topologie du terrain. L'ensemble des lignes de crête, lignes joignant les points les plus élevés d'un terrain, forment la LPE. L'analogie mathématique de ce concept est multiple : maxima locaux du module du gradient dans la direction du

gradient, passages par zéros du laplacien, attracteurs des minima en morphologie mathématique. Chaque définition mathématique conduit à une solution numérique différente. Nous avons choisi d'expérimenter l'approche morphologique basée sur la détection préalable de minima régionaux. A tout minima détecté est associé un bassin versant, c'est-à-dire par analogie la zone géographique d'où une goutte d'eau, suivant le chemin de plus grande pente, arrive dans ce minimum. Le complémentaire des bassins versants est la LPE cherchée. Évidemment, chaque région de la segmentation finalement obtenue est prédéterminée par la position et la distribution des régions-germes. En conséquence, la détermination préalable de ces zones doit faire l'objet d'un intérêt tout particulier et être en étroite relation avec la mesure d'homogénéité utilisée pendant la phase ultérieure de croissance. Lors d'une LPE classique, la mesure utilisée est un gradient monospectral [Vin 91] ou une fonction de gradients monospectraux dans le cas multispectral. La méthode proposée repose sur la mesure de la trace de la matrice de covariance en chaque point de l'image :

$$T(x,y) = \sum_{i=1}^N Q[x,y](i,i)$$

Les régions-germes, apparentées aux minima régionaux de l'image  $T$ , sont détectées, après lissage, par une érosion géodésique idempotente [Ble 92]. Cette opération morphologique particulière, notée  $\otimes_{iX,t} Y$ , opère à partir d'un ensemble transformable  $Y$  formé des minima locaux détectés lors d'une première passe et d'un ensemble initial  $X$  défini par le voisinage de rayon 1 de  $Y$ . Les images  $X$  et  $Y$  sont binaires. On a les formules de calcul suivantes :

$$\begin{aligned} Y(x,y) &= \{(x,y) \mid T(x,y) = (T \otimes B)(x,y)\} \\ X(x,y) &= (Y \oplus B)(x,y) - Y(x,y) \\ R_{\min}(x,y) &= T(x,y) \otimes_{iX,t} B^{\infty} \end{aligned}$$

où  $B$  est un élément structurant plat (disque de rayon 1).

La transformation géodésique idempotente permet d'éliminer les minima locaux qui possèdent un chemin descendant vers un autre minimum local et qui, par conséquent, ne sont pas des minima régionaux. L'algorithme d'inondation progressive des bassins versants, ou encore de montée des eaux, s'inspire de celui proposé par [Vin 91]. Le principe retenu est de considérer les seuils successifs de la fonction d'homogénéité spectrale et de calculer les zones d'influence géodésiques d'une itération à l'autre le plus rapidement et le plus exactement possible. Cette méthode de segmentation présente l'avantage, par rapport aux méthodes de croissance de régions précédemment étudiées, de ne pas nécessiter l'ajustement d'un quelconque seuil sur la mesure d'homogénéité et de délivrer des résultats indépendants d'un éventuel fenêtrage



par mosaïque d'imagettes. La frontière entre deux régions s'obtient naturellement au moment où les zones d'influence géodésiques des deux bassins versants correspondants se rencontrent. Au terme de la montée des eaux, deux régions adjacentes peuvent fusionner entre elles sur des critères de taille ou de valeur moyenne des traces des matrices de covariance en chaque point de leur frontière commune. Les résultats sont ainsi globalement améliorés, notamment lorsqu'une même région se forme à partir de plusieurs minima régionaux.

## 5. CONCLUSION-RÉSULTATS

La méthode de segmentation présentée ici s'applique au cas spécifique des données multispectrales ou d'images en provenance de systèmes de perception multi-capteurs qui peuvent être superposées entre elles par une calibration géométrique préalable. Dans le cas monospectral, la méthode perd totalement de son intérêt et d'autres méthodes sont préférables.

A titre d'exemple, cette méthode a été testée dans le domaine de la télédétection (images LANDSAT TM ou SPOT XS). Les tests et les résultats obtenus sur des images avec un nombre important de canaux (ex : la segmentation de l'image LANDSAT TM<sup>1</sup> de Fos/Mer se fait à partir des 7 canaux d'origine) confirment tout l'intérêt de cette méthode dans ce cadre applicatif particulier. Elle s'applique également avec succès au cas général de l'imagerie en couleur. Par ailleurs, des tests sont en cours pour valider cette méthode sur des images couleur de scènes naturelles d'environnement extérieur non structuré.

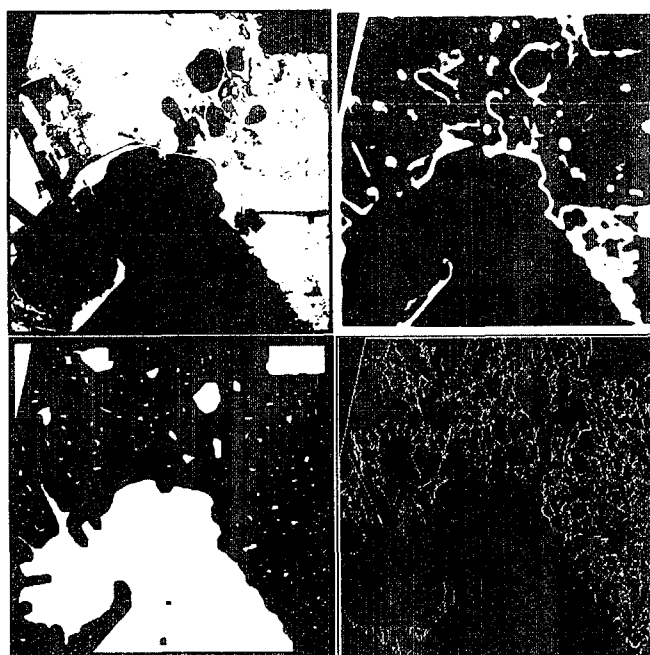
## 6. RÉFÉRENCES

- [Beu 90] BEUCHER S., "*Segmentation d'images et morphologie mathématique*", Thèse de l'École Nationale Supérieure des Mines de Paris, Juin 1990.
- [Ble 92] BLEAU A., J. de GUISE and A.-R. LEBLANC, "*A New Set of Fast Algorithms for Mathematical Morphology*", CVGIP : Image Understanding, Vol. 56, N° 2, September, pp. 210-229, 1992.
- [Bre 87] BRETAUDEAU F., C. ENAULT et P. SECCHI, "*Segmentation d'images texturées : application à des images de télédétection*", 6ème Congrès RFIA, Antibes, pp. 177-192, 1987.
- [Bru 93] BRUN-BUISSON A., V. LATTUATI et D. LEMOINE, "*Présegmentation d'images couleur par la transformée de Karhunen-Loeve*", 14<sup>e</sup> colloque GRETSI, Juan les Pins, pp. 743-746, 1993.

- [Naj 94] NAJMAN L., "*Morphologie mathématique : de la segmentation d'images à l'analyse multivoque*", Thèse de l'Université Paris Dauphine, Avril 1994.
- [Oht 80] OHTA Y., T. KANADE and T. SAKAI, "*Color information for region segmentation*", CGIP, Vol. 13, pp. 222-241, 1980.
- [Sec 90] SECCHI P., "*Segmentation d'images et fermeture de contours par corrélation d'histogrammes locaux : application aux images de télédétection SPOT*", Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, PARIS VI, 1990.
- [Ser 82] SERRA J., "*Image Analysis and Mathematical Morphology*", Academic Press, London, 1982.
- [Ser 88] SERRA J., "*Image Analysis and Mathematical Morphology, Volume 2 : Theoretical Advances*", Academic Press, London, 1982.
- [Vin 91] VINCENT L. and P. SOILLE, "*Watersheds in digital spaces : an efficient algorithm based on immersion simulations*", IEEE Tr. PAMI, Vol. 13, N° 6, pp. 583-598, 1991.

## 7. REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par le Service des Recherches de la Direction de la Recherche et de la Technologie (DGA/DRET/SDR/G1) au titre du contrat N°94002021.



a	b
c	d

- a) LANDSAT TM : image composite de Fos-sur-Mer, France.
- b) Image des traces des matrices de covariance (pavé 11x11)
- c) Minima régionaux par transfo. géodésique idempotente.
- d) Contours de la segmentation multispectrale par LPE.

<sup>1</sup> Copyright EURIMAGE pour les images LANDSAT TM.  
Copyright ISTAR : traitement de rectification niveau 3 (lambert 3).