

# UTILISATION DE GRADIENTS DANS LE TRAITEMENT DE DONNÉES DE TÉLÉDÉTECTION PAR SATELLITES

D.-J. DAVID

Université de Paris 1

## Introduction

L'utilité de la télédétection par satellites pour la connaissance des paysages et leur cartographie automatique n'a pas besoin d'être rappelée ici (1), on sait le développement immense qu'elle a eu depuis plus de quinze ans ; de très nombreux satellites ont été lancés et le sont encore et ils déversent en permanence d'énormes quantités de données qu'il s'agit d'exploiter.

L'ensemble des données relatives à une zone terrestre déterminée forment ce qu'on appelle une scène. La scène est partagée en éléments, ou pixels, qui représentent la portion de terrain la plus fine que le système satellite + capteurs soit capable de distinguer : c'est la résolution du système. Les pixels sont disposés sur une grille en forme de parallélogramme ; la géométrie de cette grille et la résolution sont les caractéristiques du satellite considéré (ou de sa famille).

Sur chaque pixel, on connaît un ou plusieurs nombres, selon que les données sont monocanal (ex. NOAA) ou pluricanal (ex. LANDSAT). Chaque nombre est la réponse du pixel dans un certain domaine spectral.

Le traitement de cartographie automatique sur ordinateur fait intervenir trois étapes :

1. un prétraitement des données brutes telles qu'elles sont reçues pour effectuer diverses corrections dont les principales portent
  - sur la géométrie, pour obtenir une grille orthogonale et isotrope, et parfois corriger des distorsions au bord des images
  - sur les valeurs elles-mêmes afin d'éliminer par exemple l'influence d'un capteur défectueux. C'est à cette catégorie qu'appartiennent les différentes opérations de lissage.
2. le traitement proprement dit, qui est d'une manière ou d'une autre une *classification* s'efforçant d'attribuer à chaque pixel une classe de paysage auquel il est censé appartenir. C'est bien sûr cette étape qui est la plus riche et la plus difficile d'interprétation.
3. la cartographie qui va représenter chaque pixel par une zone semblable à son étendue réelle sur le terrain, couverte d'un tracé figurant la classe à laquelle ce pixel appartient. Le choix de cette étape correspondent au tracé représentatif qu'on emploie ; ils sont conditionnés par le médium utilisé pour produire la carte : écran, imprimante graphique ou traceur. On peut utiliser des couleurs (une pour chaque classe) ou des caractères, et souvent on concevra un jeu de caractères ad-hoc.

Un des problèmes les plus importants de la cartographie automatique des données de télédétection est de faire apparaître, si possible automatiquement, les structures des scènes représentées, notamment les alignements, les contours de classe, etc. Ces caractères apparaissent parfois d'office dès qu'on examine la carte produite, notamment certains alignements. Certains contours aussi peuvent apparaître facilement, mais dans d'autres cas, notamment lorsque les paysages sont très mélangés à l'échelle de la résolution, il faut des traitements explicites pour dégager les structures.

Cet article examine l'utilisation de gradients à cet effet.

## Les gradients

Nous nous plaçons ici dans le cas de données monocanal (dans le cas contraire, on fera le même traitement pour chaque canal). Les données forment donc une fonction des coordonnées  $x$  et  $y$  du pixel correspondant :  $F(x, y)$ .

Le gradient de la fonction caractérise sa variabilité. Dans l'univers discontinu des pixels, et si l'on suppose que la largeur et la hauteur de maille représentent l'unité de distance, le gradient a pour composantes :

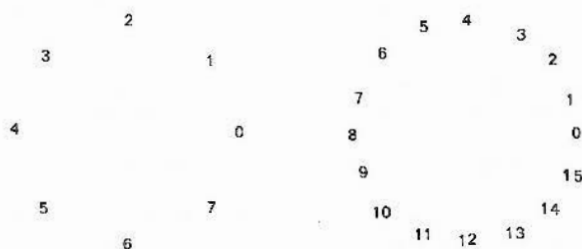
$$\begin{aligned}G_x &= F(x+1, y) - F(x, y) \\G_y &= F(x, y+1) - F(x, y)\end{aligned}$$

L'utilité du gradient pour délimiter les paysages vient de ce que, pour la plupart des cas, le passage d'un paysage à un autre est accompagné d'une variation de la réponse spectrale nettement plus grande que les variations observées lorsqu'on reste dans le même paysage. Les exceptions à cette règle sont :

1. le passage d'un paysage à l'autre n'est pas accompagné d'une variation notable de la réponse spectrale : cela signifie simplement que le domaine spectral utilisé n'est pas adapté à la télédétection de cette sorte de paysages ; il faut alors prendre un autre domaine (malheureusement le choix doit être fait avant le lancement du satellite !) ou utiliser des données de plusieurs canaux.
2. il y a plusieurs paysages très imbriqués dans la zone considérée ; cela peut être dû à une résolution insuffisante pour le type d'étude concernée.

Si on fait abstraction de ces cas défavorables, l'exploitation du gradient devrait permettre de déceler les changements de paysage. On s'intéressera à deux valeurs tirées de  $G_x$  et  $G_y$ , caractérisant, la première l'*amplitude* du gradient, c'est-à-dire la grandeur

de la variation, la seconde la *direction* du gradient (ligne de plus grande pente). L'amplitude est représentée le plus souvent par la longueur du vecteur gradient  $G1 = Gx^2 + Gy^2$  ; mais d'autres mesures sont utilisables comme  $G2 = Gx + Gy$ . Pour la direction, le rapport  $Gy/Gx$  donne la tangente de l'angle formé entre l'axe horizontal et le vecteur. Les signes sont très importants et on pourra caractériser la direction par un nombre comme sur les figures suivantes :



Nous donnerons plus tard des expressions fournissant de tels nombres.

Dans les cas les plus simples, on aura des contours de paysages rien qu'en cartographiant les pixels pour lesquels l'amplitude du gradient dépasse un certain seuil. Une façon plus sûre sera de tracer, ligne de balayage par ligne de balayage, les maxima locaux de l'amplitude du gradient.

On pourra aussi essayer de suivre un contour en cherchant, autour d'un point déjà tracé, quel est le maximum local de l'amplitude du gradient et en prenant ce maximum comme point suivant. L'examen des directions dans un tel suivi décèlera si le contour se ferme.

Si le long d'une ligne de balayage, le gradient passe rapidement d'une direction à la direction opposée, c'est qu'on a une zone de structure étroite ou filiforme, qui coupe la ligne de balayage.

## Différents modes de calcul du gradient

Nous nous bornons dans cet article aux données de type amplitude de gradient, laissant les questions de direction de côté.

Les expressions que nous avons données ci-dessus pour  $Gx$  et  $Gy$  font intervenir le voisin de droite et le voisin du dessus du pixel considéré. Elles sont très dissymétriques et des expressions plus symétriques faisant intervenir si possible tous les pixels du voisinage seraient certainement préférables. Déjà les expressions :

$$Gx = \frac{(F(x+1,y) - F(x-1,y))}{2}$$

$$Gy = \frac{(F(x,y+1) - F(x,y-1))}{2}$$

sont plus symétriques.

Nous nous sommes toutefois dans cet article borné à la formule :

$$G = [F(x,y+1) - F(x,y)] + [F(x+1,y) - F(x,y)]$$

## Gradient logarithmique

Indépendamment de ce problème, il se pose la question de savoir si l'on ne doit pas rapporter la valeur du gradient obtenue à la valeur de la fonction (réflectance) elle-même : on a un peu l'impression qu'un gradient de 10 obtenu à un point où la fonction vaut 10 (elle passe de 5 à 15 d'un point au point suivant) est plus significatif qu'un même gradient de 10 obtenu là où la fonction vaut 100 (passage de 95 à 105).

Nous avons appelé «gradient logarithmique» le gradient obtenu en tenant compte de cette remarque. Nous avons adopté la formule :

$$G = \frac{([F(x,y+1) - F(x,y)] + [F(x+1,y) - F(x,y)])}{M}$$

où  $M$  est la moyenne de  $F(x,y)$ ,  $F(x,y+1)$  et  $F(x+1,y)$ .

## Gradient maximum

Pour obtenir le contour d'une frontière de paysage, nous allons tracer tous les points pour lesquels le gradient dépasse un certain seuil. De fait, il suffit que le gradient dépasse ce seuil dans une seule direction. Nous sommes donc amené à proposer d'adopter pour gradient le maximum des deux valeurs :

$$G_{mx} = \frac{[F(x+1,y) - F(x,y)]}{\text{moyenne}(F(x+1,y), F(x,y))}$$

$$G_{my} = \frac{[F(x,y+1) - F(x,y)]}{\text{moyenne}(F(x,y+1), F(x,y))}$$

$$G_{mx} = \sup(G_{mx}, G_{my}).$$

## RESULTATS

Les figures qui suivent représentent la pointe d'Arçay à partir de données Spot. Les points tracés sont ceux pour lesquels le gradient dépasse une certaine valeur-seuil. Tout le problème est de choisir cette valeur-seuil. Nos essais, résumés par les figures qui suivent permettent de tirer les conclusions suivantes :

1. Quel que soit celle des trois formules de gradient choisie parmi les trois que nous avons proposées, les résultats sont les mêmes.
2. Si l'on choisit un seuil trop élevé, on obtient des frontières interrompues ; si l'on choisit un seuil trop bas, on obtient des frontières empâtées. Aucune des trois formules ne permet de trouver un seuil qui fournisse des frontières à la fois fines et sans interruptions.

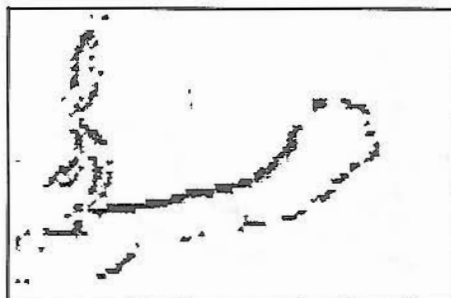


Figure 1  
Gradient normal, seuil 10 : On a par endroits des frontières empâtées, tout en ayant des manques ailleurs.

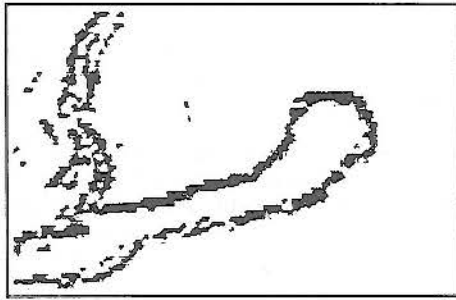


Figure 2  
Gradient normal mais seuil 7 : Les lignes sont encore plus empâtées, il y a moins de manques.

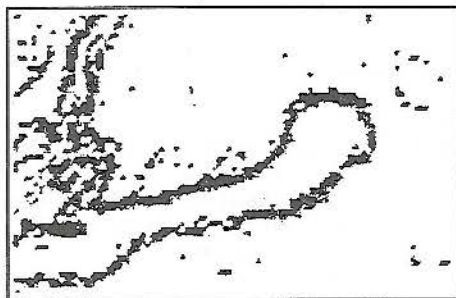


Figure 3  
Gradient logarithmique, seuil 10 : Les lignes sont très empâtées.

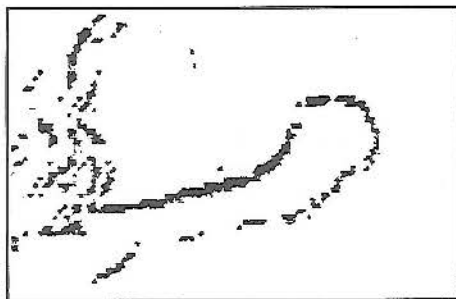


Figure 4  
Gradient logarithmique, seuil 16 : Les lignes restent un peu empâtées et les manques apparaissent.

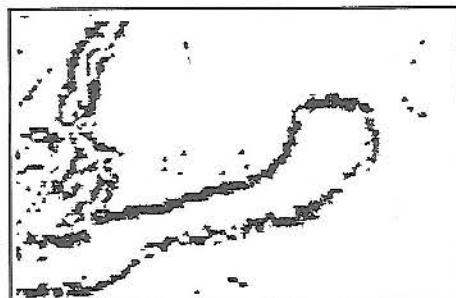


Figure 5  
Gradient maximum, seuil 12 : Résultats analogues à la figure 3.

## La squelettisation

Plutôt que de chercher indéfiniment une valeur qui donne un tracé à la fois fin et sans manques - et les résultats ci-dessus montrent la difficulté d'une telle recherche - il est préférable de choisir une valeur de seuil qui fournissent un tracé empâté mais sans manques, et ensuite d'appliquer une méthode de squelettisation qui affine le tracé après coup.

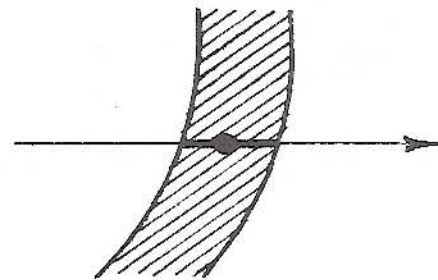
Or des méthodes de squelettisation existent (voir notamment [2]).

Pour notre part, nous avons employé, dans un premier temps, la méthode rudimentaire suivante :

L'image est balayée horizontalement. Comme les lignes frontières sont empâtées, l'intersection d'une telle ligne avec la ligne de balayage forme un petit segment : on ne dessine que le milieu de ce segment, ce qui fournit une ligne frontière fine (cf fig. 6 a). Il reste un problème : si la ligne frontière cherchée est très inclinée (presque horizontale), l'application pure et simple de cette méthode perdrait le tracé d'une grande partie de la ligne.

Pour ce cas, nous traçons tout le segment d'intersection (cf. fig. 6b). On décide de tracer tout le segment si sa longueur dépasse un certain seuil, par exemple 10 pixels.

a)



b)

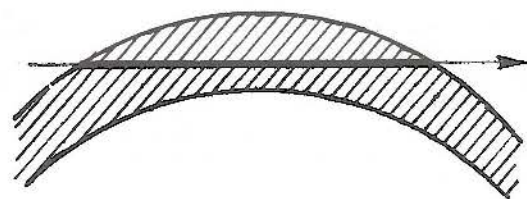


Figure 6

Mais un nouveau problème apparaît alors ; de tels segments vont être tracés pour des lignes de balayage successives, ce qui va donner des portions de lignes empâtées. Dans notre méthode complète, on effectue concurremment un balayage vertical et le tracé résulte de la confrontation des deux balayages.

La figure 7, ci-dessous montre deux résultats obtenus, toujours dans notre zone de la Pointe d'Arçay.

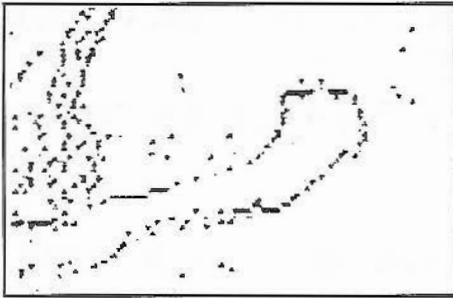


Figure 7 a)  
Gradient maximum, seuil de gradient 12, seuil  
de segmentation 12.

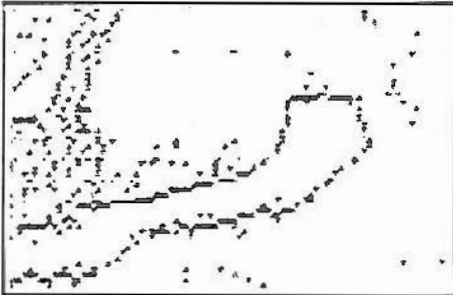


Figure 7b)  
Seuil de gradient 10, seuil de segmentation 8.

## Conclusion

Bien entendu, les résultats précédents ont besoin d'être affinés, mais ils sont très encourageants : le tracé automatique des frontières de paysages est possible par des méthodes de gradients. Il faut, bien sûr aussi se placer dans le cas où la technique des gradients est utilisable, donc s'intéresser à des paysages qui ont des réflectances spectrales suffisamment différentes. Il faut en outre que le paysage ne soit pas trop tourmenté par rapport à la résolution des images étudiées.

Cette étude a montré en outre, que la méthode de calcul du gradient adoptée a peu d'influence sur les résultats : il suffit d'adapter la valeur du seuil choisi.

La facilité d'obtention des tracés de frontières rend les programmes de traitement capables de fonctionner sur micro-ordinateurs. Couplé à la disponibilité des données de certains satellites sur disquettes, ce fait a d'importantes implications pédagogiques : il devient possible, à un coût abordable, de démontrer aux étudiants les techniques les plus modernes de cartographie automatique.

Le système de programmes que nous avons utilisé est écrit en TURBO-PASCAL sur IBM PC. L'auteur le met à disposition de tout lecteur qui en fera la demande.

## Références

1. D-J David, G. Joly, F. Verger 4th Symposium on Remote Sensing p. 558 Québec mai 1977
2. G. Joly Traitements des fichiers images p. 73 Ed. Paradigme Caen 1986