



## Traitement, Synthèse, Technologie et Applications

BIARRITZ – Mai 1984 –

Extraction de paramètres de forme pour la recherche  
des structures linéaires dans les images-satellite.

The extraction of shape parameters for the detection  
of linear structures in satellite images.

P.T. Nguyen, S. Simon, L. Asfar, A. Blusson

Centre Scientifique d'IBM France, 36 Ave Raymond Poincaré, 75116 Paris

### RESUME

La photointerprétation des images-satellite est utilisée en géologie pour les études structurales: recherche des failles, fractures et linéaments. Ces derniers sont bien visibles sur les images LANDSAT.

Le traitement numérique des images peut apporter un gain de temps appréciable au géologue par:

- o l'extraction automatique ou semi-automatique des objets géologiques considérés,
- o le calcul des mesures statistiques relatives aux failles et fractures: histogrammes par direction des longueurs moyennes et cumulées (les rosaces).

Afin de réaliser des outils interactifs de traitement d'images pour ce type d'études nous avons, avec les géologues:

- o observé la "traduction" (couleur, ombres, textures, structures décalées, ...) sur les images des objets géologiques,
- o défini des critères de reconnaissance (linéarité, familles de directions, relations avec les données géophysiques, ...),
- o étudié les paramètres de forme correspondants (mesures de linéarité, de sinuosité, direction),
- o réalisé en conséquence des algorithmes qui permettent de:
  - améliorer l'image en rendant plus "lisibles" les objets recherchés,
  - sélectionner automatiquement dans l'image des objets qui ont les caractéristiques recherchées,
  - effectuer les calculs des mesures statistiques pour les objets reconnus et/ou tracés par le géologue,

Ces outils sont utilisés et mis au point à l'occasion d'une étude jointe CNES/CNRS/IBM en particulier sur la région des Cevennes en France. Les premiers résultats obtenus sont très encourageants.

### SUMMARY

The photointerpretation of satellite images is used in geology for structural analysis, i.e., the identification of faults, fractures and lineaments. The lineaments can be seen on Landsat images.

Digital image analysis can save geologists considerable efforts in structural analysis by providing:

- o automatic or semi-automatic detection of geological objects,
- o computation of statistical parameters of faults and fractures: polar histograms showing the distribution of length versus direction (rose diagrams).

In order to develop this interactive software, we have worked with the geologist to:

- o observe the "perception" (colors, shadows, textures, shifted structures, etc.) on images of these geological objects,
- o define recognition criteria (linearity, family of parallel curves, etc.),
- o study shape parameters (index of linearity, length, direction),
- o and finally to develop software allowing geologists:
  - to enhance images in order to bring out important features;
  - to select automatically on images, objects having specified characteristics,
  - to compute statistical parameters recognized and or traced by geologists.

The software was developed and used in a CNES/CNRS/IBM joint research project for the Cevennes region in France. The first results obtained were very encouraging.



Extraction de paramètres de forme pour la recherche des structures linéaires dans les images-satellite.

The extraction of shape parameters for the detection of linear structures in satellite images.

P.T. Nguyen, S. Simon, L. Asfar, A. Blusson

## I. INTRODUCTION

La photo-interprétation permet aux géologues de distinguer diverses formations géologiques sur les images satellite; dans cet article, nous nous intéressons à la détection des failles, fractures et linéaments et plus particulièrement aux apports possibles des traitements numériques et de la reconnaissance de forme pour:

- o améliorer la qualité des images,
- o mettre en évidence les objets recherchés,
- o extraire d'une façon semi-automatique ou automatique des structures linéaires,
- o et calculer des paramètres statistiques pour les analyses structurales.

Dans ce but, il nous a fallu examiner les divers critères permettant au géologue de reconnaître la présence de failles sur les images afin de choisir des traitements adéquats.

Dans une première partie nous décrivons donc quelques éléments d'analyse structurale par photo-interprétation et les besoins des géologues. Ensuite, nous passerons brièvement en revue les divers traitements existant et nous présenterons la méthode choisie. Enfin, dans une troisième partie, nous décrivons la mise en oeuvre de la méthode et les résultats obtenus.

## II. ANALYSE STRUCTURALE PAR PHOTO-INTERPRETATION

### La photo-interprétation.

Cette analyse est faite sur l'image Landsat (canal MSS7 .8-1.1 micron, résolution 57x79m) (fig.1). Le canal 7 montre en effet les détails les plus fins, la dispersion atmosphérique étant minimale dans cette partie du spectre électromagnétique. L'étude de l'image permet au géologue de détecter les grands accidents et leur importance régionale.

La zone d'étude choisie est constituée du sud des Cévennes, du sud du Causse du Larzac, du bassin de Lodève et d'une partie du Languedoc car c'est une région sur laquelle on possède beaucoup d'information du point de vue géologique.

L'analyse s'effectue en deux étapes:

- o Tracé des failles repérées sur l'image, le résultat se présentant sous forme d'une carte de linéaments (fig.7),
- o Calcul manuel de rosaces directionnelles de 2 types:
  1. rosaces fréquentielles (nombre de mesures par direction)
  2. rosaces des longueurs cumulées.
 On les réalise à partir de l'interprétation en mesurant, pour chaque linéament se trouvant dans une zone choisie, la longueur et l'angle par rapport au Nord.

Dans cette étude nous utiliserons le deuxième type de rosaces (fig.8) car ce sont les plus utilisées et les plus faciles à réaliser.

### Description des failles.

Une faille peut être définie comme un segment quasi-rectiligne caractérisé par sa longueur et sa direction.

La présence d'un linéament est marquée par divers phénomènes, parmi lesquels:

1. des contrastes de couleurs ou des zones d'ombre plus ou moins linéaires,
2. des structures décalées, coupées, brusquement interrompues, laissant supposer la présence d'un accident,
3. de grands traits morphologiques (vallées...).

On remarque que dans les régions de socle (voir fig.1 zones B et C), les lignes de failles sont moins nettes (alignements de petits segments) que dans les zones de couverture où les linéaments sont plus longs et mieux contrastés (voir fig.1 zone A).

Les phénomènes 1,2,3 peuvent être dus à d'autres objets (réseau hydrographique, lignes de crête etc...) mais notre but est avant tout d'extraire automatiquement les lignes de l'image pour les présenter aux géologues comme candidats pour l'élaboration semi-automatique de cartes de linéaments et le calcul automatique des rosaces.

1,2,3 correspondent en termes d'analyse numérique des images à des lignes de fort gradient (1,3) ou délimitant des textures différentes (2,3).

## III. RECONNAISSANCE D'OBJETS SUR UNE IMAGE.

La reconnaissance des objets par leur forme procède souvent en 4 étapes:

1. Détection de lignes  
Selon l'application on veut détecter: des lignes de fort gradient (Shaw 1979), des traits linéaires (Rosenfeld & Kak 1982), des limites de textures (Triandafyllidis & Henderson 1982, Davis & Mitche 1980).
2. Description des lignes  
Une fois l'objet délimité, il est possible de le décrire par une des méthodes suivantes (Danielson 1982, Briblesca & Guzman 1979): codage de Freeman, table de contour, approximation polygonale, description syntaxique des primitives.
3. Calcul de paramètres de forme.  
Pour reconnaître les objets, on cherche à extraire des paramètres géométriques caractéristiques, qui peuvent être (Veillon 1979, Rosenfeld & Kak 1982): longueurs des contours, direction d'un segment approximant le contour, nombre de sommets, rugosité du contour, axe majeur et mineur (rectangle enveloppant), centre de gravité etc...
4. Reconnaissance de forme.  
Une fois établie la description des objets et calculés les paramètres de forme, la reconnaissance peut s'effectuer: soit dans l'espace de l'image, soit dans un espace transformé: transformation de Fourier, de Hough, Hadamard ...



Extraction de paramètres de forme pour la recherche des structures linéaires dans les images-satellite.

The extraction of shape parameters for the detection of linear structures in satellite images.

P.T. Nguyen, S. Simon, L. Asfar, A. Blusson

#### IV. LA METHODE CHOISIE.

Les différentes étapes sont résumées dans le schéma 1 (fig.5). Nous avons cherché ici à détecter les lignes de fort gradient, car la plupart des failles correspondent, comme nous l'avons vu plus haut, à de telles lignes. Une fois ces lignes détectées, nous avons calculé pour chaque ligne quelques paramètres de forme caractérisant les failles afin de pouvoir sélectionner les candidats à présenter au géologue.

##### Extraction des lignes de fort gradient.

La construction des lignes s'effectue en 4 étapes comme décrit dans Asfar (1981) :

1. Dérivation de l'image par un opérateur de gradient: on utilise les deux noyaux de convolution suivants:

$$\begin{array}{cccccc} |1 & 1 & 0 & -1 & -1| & |1 & 1 & 2 & 3 & 2 & 1| \\ |2 & 3 & 0 & -3 & -2| & |1 & 1 & 3 & 4 & 3 & 1| \\ |3 & 4 & 0 & -4 & -3| & \text{et} & |0 & 0 & 0 & 0 & 0| \\ |2 & 3 & 0 & -3 & -2| & & |-1 & -3 & -4 & -3 & -1| \\ |1 & 1 & 0 & -1 & -1| & & |-1 & -2 & -3 & -2 & -1| \end{array}$$

pour créer une image d'angle du gradient et une image module.

2. Rétrécissement, c'est à dire élimination des points où le gradient n'est pas un maximum local dans sa direction.
3. Recherche des plus proches voisins de chaque point de contour en tenant compte des directions de gradient: on définit pour chaque point de contour un prédécesseur et un successeur numérotés de 0 à 9 suivant leur position, 0 correspondant à l'absence de voisins:

1	2	3
4	*	6
7	8	9

On crée ainsi une image de voisins où pour chaque pixel on indique le prédécesseur et le successeur.

4. Construction des lignes à partir de l'image des voisins.

La dernière étape est elle-même constituée de 2 phases:

- o On relie un point à son successeur si ce dernier l'a pour prédécesseur. On crée ainsi une première table de contours contenant pour chaque contour les coordonnées de son origine et de son extrémité, et sa longueur. L'image de voisins permet de parcourir les contours.
- o Ensuite, on détermine pour chaque contour son prédécesseur (contour sur lequel se trouve le prédécesseur de son origine) et successeur (analogue). On relie ensuite les contours en suivant la même règle que pour les points. On obtient alors une nouvelle table de contours et on modifie l'image des voisins de manière à suivre les contours en passant par le chemin le plus court.

##### Calcul des paramètres de forme.

Les principaux critères retenus ici pour l'étude de la fracturation sont la longueur des contours, leur linéarité et leur direction générale.

**Longueur:** la longueur est calculée en suivant le contour, du milieu du pixel origine au milieu du pixel extrémité: on compte +1 dans les directions

horizontale et verticale et  $+\sqrt{2}$  lorsque l'on suit les diagonales.



Exemple:  $L = 3\sqrt{2} + 1$

Cela permet d'éviter les ambiguïtés à l'origine et à l'extrémité.

**Linéarité:** Soit L la longueur du contour calculée comme précédemment. Soit D la distance euclidienne du milieu du pixel origine au milieu du pixel extrémité. Le coefficient calculé est:

$$R = L/D.$$

R vaut 1 pour les contours linéaires; ce n'est pas un coefficient de "non-linéarité" (au sens ajustement de points sur une droite) comme nous l'appellons, mais il croît avec la sinuosité et la courbure des contours.

##### Transformation de Hough.

La transformation classique de Hough est utilisée pour détecter des contours représentables par des courbes paramétrées: on discrétise l'espace des paramètres, puis on crée un tableau correspondant ayant pour entrées les paramètres, et pour chaque point de contour on incrémente de 1 les valeurs du tableau correspondant aux courbes paramétrées passant par le point. Les maxima locaux correspondent aux courbes recherchées (Ballard and Brown 1982).

ici on cherche des alignements de petits contours linéaires correspondants à des lignes de faille. Pour cela on paramétrise la droite reliant origine et extrémité de chaque contour par son angle avec l'axe horizontal compris entre 0 et 180 degrés et sa distance algébrique au centre de l'image (comptée positive si l'ordonnée à l'origine est positive, négative sinon). On calcule ainsi pour chaque contour une distance rho à l'origine et un angle thêta avec l'horizontale. On crée ensuite une image rho et une image thêta en donnant à chaque point de contour les valeurs de rho et thêta calculées. Le tableau d'accumulation est simplement l'histogramme bidimensionnel des 2 images.

Dans le cas de contours quasiment linéaires comme les failles, l'angle thêta constitue une approximation convenable de la direction générale de fracturation.

#### V. MISE EN OEUVRE ET RESULTATS OBTENUS.

**Obtention des linéaments:** Une fois les contours détectés (fig.2), on sélectionne les contours linéaires en seuillant sur longueur et linéarité. Plus les contours sont courts, plus le seuil sur la linéarité est sévère (fig.6). On obtient ainsi une image de linéaments potentiels (fig.5).

On peut aussi effectuer un seuillage directionnel pour détecter les linéaments dans des directions particulières, afin par exemple de mettre en évidence des systèmes de failles perpendiculaires ou de direction dominante (fig.6: direction 40-50 pour l'image contours seuillée sur la longueur et la linéarité).

La transformée de Hough (histogramme bidimensionnel des images rho et thêta) n'a pas permis de mettre en

évidence de façon marquante les lignes de faille, l'image contour contenant très peu de contours strictement alignés.



Extraction de paramètres de forme pour la recherche des structures linéaires dans les images-satellite

The extraction of shape parameters for the detection of linear structures in satellite images.

P.T. Nguyen, S. Simon, L. Asfar, A. Blusson

**Calcul automatique des rosaces directionnelles:** Ces rosaces sont des histogrammes polaires calculés à partir de l'image d'angle du gradient; on effectue la sommation du nombre de pixels par valeur d'angle. Par convention, on compte le nombre de pixels par tranche de 10 degrés. Les rosaces sont faites sur:

- o l'image initiale (fig.8)
- o l'image d'angle masquée par l'image des contours linéaires (fig.8).

#### Comparaison des résultats.

**Cartes de linéaments:** La comparaison entre l'interprétation du géologue et l'image contour seuillée montre que:

- o 95% des linéaments relevés sur l'interprétation sont représentés, ne serait-ce que partiellement sur l'image contour.
- o l'image contour contient beaucoup de contours supplémentaires (relief, réseau hydrographique...)(voir fig.1 zones B et C),
- o les grandes directions de fracturation se retrouvent toutes, ainsi que les intersections entre linéaments,
- o les failles interprétées sont plus longues en général que les contours correspondants, l'interprétation (morphologie...) permettant au géologue de relier des segments consécutifs même si le lien n'apparaît pas nettement sur l'image,
- o certaines failles sont absentes dans l'image contour: c'est le cas pour quelques failles du socle repérées par le géologue grâce à une limite de deux textures différentes (disposition du relief)(voir fig.1 zones C), ou pour des failles constituées par une succession de petits segments linéaires appartenant à des contours éliminés par le seuillage pour leur non-linéarité(voir fig.1,2 et 3 zones B).

**Rosaces directionnelles:** Les directions dominantes obtenues sur les rosaces ( voir fig. 8 ) sont:

	rosace 1	rosace 2
image angle initiale	40-60	40-50
image angle masquée	60-70	30-40
référence (manuelle)	40-50	40-50

Les rosaces automatiques obtenues à partir de l'image d'angle intègrent une importante quantité d'informations non structurales, le masquage permettant toutefois de mieux cerner les directions principales de fracturation malgré un certain décalage.

Ce décalage peut être dû à différents facteurs, par exemple:

- o les failles interprétées ne sont pas strictement linéaires et les contours n'en représentent souvent qu'une partie d'où un certain décalage entre direction générale du linéament et direction du contour correspondant;
- o à chaque pixel d'un contour correspond une valeur d'angle alors que le géologue n'associe à un linéament qu'une direction ce qui a pour effet de moyenniser ces valeurs.

#### VI. CONCLUSION.

Le travail le plus difficile dans la détection automatique des failles est la formalisation des

critères permettant au géologue de les reconnaître, et leur traduction en termes d'analyse numérique des images. Grâce à l'utilisation de critères simples, on obtient déjà une correspondance satisfaisante entre image contour et carte de linéaments.

Les défauts observés ( absence de certaines failles, présence de contours superflus ) vont permettre au géologue de définir de nouveaux critères moins évidents et de mieux évaluer quelle part d'information extérieure à l'image ( connaissance de la morphologie, de données géophysiques ... ) intervient dans leur démarche. Par ce processus interactif, on doit pouvoir arriver à automatiser en grande partie l'élaboration des cartes de linéaments et des rosaces directionnelles, évitant ainsi au géologue un travail long et fastidieux.

Après observation des images, on peut déjà envisager les orientations suivantes:

- o éliminer les contours superflus ( relief, réseau hydrographique...) grâce à un éditeur mis à la disposition du géologue ou automatiquement grâce à l'intégration de données importantes pour l'analyse structurale ( par exemple données géophysiques, grandes directions morphologiques connues etc...),
- o pour éviter la perte de petits segments linéaires dont la succession peut constituer une faille, relier uniquement les contours quasi-linéaires et de directions voisines, ou remplacer les longs contours par leur approximation par des lignes brisées; la transformée de Hough appliquée localement peut alors donner de meilleurs résultats,
- o essayer de détecter les limites entre différentes textures qui correspondent à des failles manquantes surtout dans les zones socle,
- o séparer des zones de socle (relief tourmenté) et de couverture (plaines, collines...) pour pouvoir appliquer des seuils différents.

#### Bibliographie

1. Asfar L (1981): A method for contour detection segmentation and classification of Landsat images; Etude F-029, Centre scientifique d'IBM France.
2. Ballard and Brown (1982): Computer vision; Prentice-Hall.
3. Bribiesca E and Guzman A (1980): How to describe pur form and how to measure differences in shape using shape numbers; Pattern recognition vol 12, pp 101-112.
4. Danielson P E (1982): An improved segmentation and coding algorithm for binary and non binary images; IBM J Res Develop vol 26 no 6, pp 698-706.
5. Davis L S and Mitiche A (1980): Edge detection in textures; Computer Graphics and Image Processing no 12, pp 25-29.
6. Triedel E and Henderson T (1982): A model for texture edges; 6th Int Conf on Pattern Recognition, Munich 1982, pp 1100-1102.
7. Shaw G (1979): Local and regional edge detectors: some comparisons; Computer Graphics and Image Processing no 9, pp 135-149.
8. Rosenfeld A and Kak A C (1982): Digital picture processing; Academic Press.
9. Veillon F (1979): One pass computation of morphological and geometrical properties in digital pictures; Pattern recognition vol 1, pp 175-189.



Extraction de paramètres de forme pour la recherche des structures linéaires dans les images-satellite.

The extraction of shape parameters for the detection of linear structures in satellite images.

P.T. Nguyen, S. Simon; L. Asfar, A. Blusson



Fig 1 Image Landsat MSS7 (région des Cévennes)

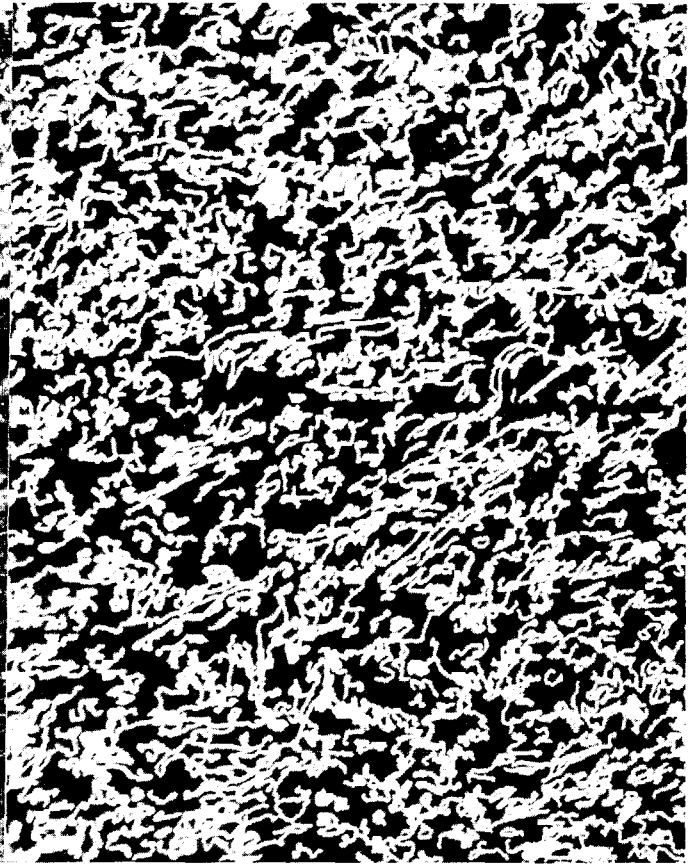


Fig 2 Image des contours (plus longs que 10 pixels)



Fig 3 Image des contours longs et linéaires

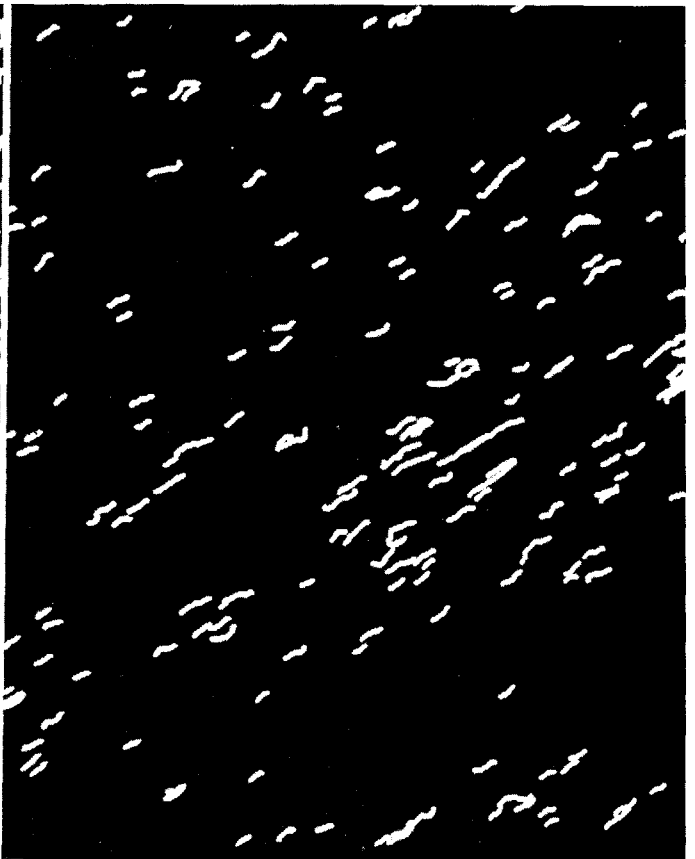


Fig 4 Image des contours longs, linéaires et ayant une direction entre  $40^\circ$  et  $50^\circ$

