

**NOUVEAUX ALGORITHMES POUR L'EXTRACTION DE LIGNES DE CRETE  
APPLICATION AUX MODELES NUMERIQUES DE TERRAIN**

Serge RIAZANOFF \* - Bernard CERVELLE \*\* - Jean CHOROWICZ \*\*\*

\* Informatique Internationale, DGLA, 20 rue Saarinen, Siliç 232, 94578 Rungis cedex, France

\*\* Lab. Minéralogie-Cristallographie, CNRS Tour 16, Université Paris VI et Paris VII, 4, place Jussieu 75252 Paris, France

\*\*\* Lab. Géologie Structurale, CNRS Tour 26, Université Paris VI, 4, place Jussieu 75252 Paris, France

**RESUME**

Une nouvelle méthode d'extraction de lignes de crête sur une image digitale a été mise au point. Son principe est de construire des lignes en se déplaçant sous contrainte dans l'image, à partir de points préalablement choisis, par exemple des maxima locaux. Par rapport à la démarche statistique classique, cette démarche "structuraliste" fournit des résultats qui permettent une meilleure compréhension de la topographie de l'image.

Trois algorithmes fondés sur cette méthode dynamique sont présentés et appliqués à un Modèle Numérique de Terrain.

**SUMMARY**

A new method for ridge-line extraction from digital image has been developed. This method is based on the lines drawing by moving under logical constraints in the image, starting from previously selected points, the local minima for instance. With regard to the classical statistical processing, this "structural" approach leads to results that allow a better understanding of the image topography.

Three algorithms based on this dynamic method are presented and applied to a digital elevation model.

# NOUVEAUX ALGORITHMES POUR L'EXTRACTION DE LIGNES DE CRETE APPLICATION AUX MODELES NUMERIQUES DE TERRAIN

Serge RIAZANOFF - Bernard CERVELLE - Jean CHOROWICZ

## I INTRODUCTION

En avant-propos, nous signalons au lecteur que pour des raisons de concision, il est essentiellement fait référence à la notion de crête. La notion de talweg qui lui est symétrique se déduit naturellement de ce qui suit. Ce caractère symétrique sera par ailleurs systématiquement exploité lors de la mise en oeuvre de l'extraction.

En préalable à toute analyse, l'objet de la recherche doit être précisé; or, bien qu'intuitivement la notion de crête ne soit étrangère à personne, il est assez difficile d'en donner une définition satisfaisante. DUFOUR (1983) note que "ces lignes (caractéristiques) résistent à une définition mathématique simple".

L'extraction de lignes de crête présente un intérêt à la fois thématique et méthodologique:

- thématique puisque ces lignes font partie d'un ensemble plus vaste appelé "lignes caractéristiques" dont le relevé est un objet d'étude du topographe et dont l'organisation spatiale est un élément important pour l'interprétation du géologue.
- méthodologique puisque les méthodes mises au point en vue d'extraire les lignes de crête peuvent souvent être réinvesties pour l'extraction de contours ou éléments de contours. HARALICK (1983 puis 1984) en fournit la preuve.

Après avoir brièvement passé en revue au paragraphe II ('La démarche statistique') quelques travaux d'autres auteurs, nous exposons au paragraphe III ('La démarche structuraliste') notre méthode et nos algorithmes. Précisons que l'opposition "statistique"/"structuraliste" mise en avant dans cet article n'a d'autre but que de souligner l'originalité de notre démarche; nous ne prétendons pas faire référence à des catégories reconnues par ailleurs.

La recherche a été effectuée sur un Modèle Numérique de Terrain d'une région située au sud-est de Digne; secteur de Norante (fig. 1). Ce MNT représente 351 profils de 401 points. La structure principale orientée NO-SE est la "Montagne de Coupe".

## II LA DEMARCHE STATISTIQUE

La démarche statistique a été la plus couramment utilisée jusqu'à maintenant (HARALICK, 1983; KIM, 1985; VEILLET, 1986). Elle s'intéresse à chaque pixel de l'image, indépendamment du résultat de l'examen du pixel précédent. Si le point P vérifie une certaine relation avec son voisinage, alors il sera étiqueté comme "point de crête". Pour chacun des auteurs cités, nous essayons de dégager la définition de crête sous-jacente.

La surface peut être analysée soit de manière discrète, soit à l'aide d'un modèle continu.

### 2.1 Analyse discrète

KIM (1985) considère que les points présentant un changement de pente convexe dans l'une des 4 directions (N-S, NO-SE, E-O, et NE-SO) sont des "points de crête". La pente est la différence entre deux pixels voisins en 8-connexité.

VEILLET (1986) définit les "points de crête" comme lieu convexe de variation importante de la direction de plus forte pente.

### 2.2 L'utilisation d'un modèle continu

Dans une fenêtre (3\*3, 5\*5, ...) représentant le voisinage de chaque pixel, on considère que la distribution discrète est un échantillonnage de valeurs réelles d'une fonction continue sur ce voisinage.

HARALICK (1983) recherche la direction minimisant la dérivée seconde (la maximisant en valeur absolue). Si, suivant cette direction, la dérivée première est proche de 0, alors il s'agit d'un "point de crête".

### 2.3 Critique de la démarche statistique

La recherche de "points de crête" indépendamment les uns des autres étudie la notion de "ligne de crête", notion qui nous semble pourtant essentielle. Avec les méthodes statistiques, si l'image s'y prête, la collection de points obtenus peut former à posteriori les lignes recherchées. Cependant, pour l'essentiel, le réseau extrait est non-connexe et les segments sont d'épaisseur non négligeable.

Pour illustrer cette démarche, nous présentons (fig. 2) les résultats obtenus en appliquant la méthode de KIM.

## III LA DEMARCHE STRUCTURALISTE

Nous proposons un procédé d'extraction dynamique de "lignes de crête".

### 3.1 Définitions et méthode

La méthode informatique mise au point est inspirée du modèle physique de ruissellement de l'eau sur un relief.

On définit d'abord le talweg comme "lieu concave de convergence des eaux".

La crête est définie de manière duale comme "lieu convexe de convergence de l'anti-ruissellement". La crête est en quelque sorte le talweg de "l'anti-relief" (relief inversé).

Crêtes et talwegs se croisent en des points singuliers: les COLS. DUFOUR (1983) accorde à ces points une importance capitale; nos résultats montrent également leur rôle essentiel.

On peut considérer d'autres points singuliers. Citons de manière non exhaustive: les maxima locaux, les minima locaux, les points hauts (maximum local d'une zone concave), les points bas (minimum local d'une zone convexe)... Ces définitions s'appliquent à un certain voisinage; nous avons choisi une fenêtre 3\*3 centrée sur le pixel d'étude.

Nous définissons tout chemin comme la donnée du couple ("point choisi", "contrainte d'avance").

- Un point choisi est un des points singuliers (col, max.local, ... ) évoqués plus haut. Ils sont collectés en une passe sur toute l'image pour former l'ensemble des points choisis.

- Une contrainte d'avance est une fonction qui, à un CANDIDAT, à ses 8 voisins et à la direction du PERE (endroit d'où l'on vient), associe la liste des FILS (endroit où l'on va). Un candidat fait partie du chemin si et seulement si la liste de ses fils n'est pas vide, auquel cas chaque fils devient à son tour candidat et ainsi de suite...

L'image résultante est l'ensemble des chemins obtenus.

# NOUVEAUX ALGORITHMES POUR L'EXTRACTION DE LIGNES DE CRETE APPLICATION AUX MODELES NUMERIQUES DE TERRAIN

Serge RIAZANOFF - Bernard CERVELLE - Jean CHOROWICZ

Pour chacun des chemins, on décide d'arrêter la construction dans l'un des 3 cas suivants:

- le chemin sort du cadre de l'image,
- le chemin rejoint un autre chemin déjà marqué,
- le candidat en cours n'a plus de fils (ex.: pour une contrainte d'avance "DESCENDRE ...", le candidat est un MINIMUM LOCAL, on ne peut donc plus descendre).

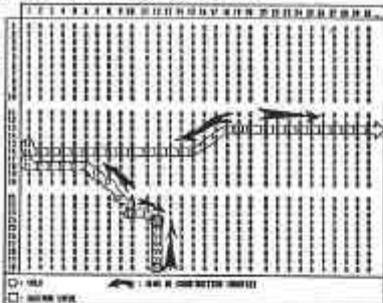
A chaque chemin correspond un point choisi. Le premier candidat est le point choisi lui-même. La recherche des fils de ce candidat particulier ne peut être réalisée par l'application de la contrainte d'avance puisque ce premier candidat n'a pas, par définition, de père. On devra donc initialiser la liste des fils du point choisi par une fonction ad-hoc qu'on appellera "contrainte d'avance initiale". La finesse de cette fonction n'a pas une très grande importance: "l'eau finit toujours par retrouver son lit". On peut par exemple retenir les 8 voisins du point choisi pour fils.

Nous présentons les résultats par paires d'images, correspondant respectivement aux crêtes et aux talwegs (fig. 3 à 6).

Nous allons décrire trois algorithmes différents fondés sur notre méthode structuraliste. Chacun de ces algorithmes est présenté pour le calcul des crêtes; en l'appliquant à l'anti-relief, on obtient l'image des talwegs.

Précisons que la restitution binaire (noir et blanc) occulte le fait que chaque point marqué possède l'étiquette du point choisi dont il est issu. Ainsi chaque ligne constitue une entité repérable.

Pour illustrer cette étiquetage, nous présentons le "dump" du fichier image des crêtes (fig. 3.a), dans la fenêtre [0..30;0..30]:



### 3.2 L'algorithme du "ruissellement" (fig. 3 et 4)

La contrainte d'avance utilisée est: "MONTER SUIVANT LA PLUS GRANDE PENTE". On choisira donc, parmi les voisins plus hauts que le point central, celui (ou ceux en cas d'égalité) qui présente la plus grande dénivellation par rapport au déplacement.

Les points choisis sont:

- les COLS (fig. 3). Un col est un point P présentant dans son voisinage au moins deux groupes de points situés plus bas que lui, intercalés avec autant de groupes de points situés plus haut que lui.

exemples de cols:



+ : points situés plus haut que P  
- : points situés plus bas que P

- les POINTS BAS (fig. 4.a); les POINTS HAUTS (fig. 4.b). On approche la définition donnée en 3.1 en considérant qu'un point bas est un point de crête (au sens de KIM, voir ci-dessus) dont aucun des voisins situés plus bas n'est point de crête.

Pratiquement toutes les crêtes et tous les talwegs que nous avons pu relever manuellement par ailleurs sont restitués par l'algorithme (fig. 3). Néanmoins nous considérons que ce réseau est trop dense. Dans l'image 3.a, les lignes issues des cols à basse altitude sont nettement moins significatives que celles issues des cols à moyenne ou haute altitude. Ce phénomène est particulièrement visible dans l'image inverse 3.b où tous les cols en altitude de la "Montagne de Coupe" sont causés de bruit ("lignes de bruit" à la transversale de cette montagne).

Dans le cas où les points choisis sont les points bas (ou les points hauts), ces derniers sont à peu près trois fois plus nombreux que les cols (fig. 4). Ce traitement affine les résultats précédents (le "chavelu" des réseaux est mieux restitué) sans apporter plus d'information quant aux grandes structures.

### 3.3 L'algorithme du "promeneur" (fig. 5)

Cet algorithme réalise un compromis entre l'approche statistique et l'approche structuraliste. Nous le décrivons pour l'extraction des crêtes (fig. 5.a).

Les points choisis sont les MAXIMA LOCAUX.

La contrainte d'avance est: "SE DEPLACER VERS DES POINTS PRESENTANT UN CHANGEMENT DE PENTE CONVEXE DANS L'UNE DES 3 DIRECTIONS" (les 4 directions moins celle du père). Si celui-ci est détecté, tous les points plus bas que le point central et situés au-delà de ce changement de pente seront les fils du candidat.

exemple:



ligne de rupture de pente

Cet algorithme revient en fait à marquer (au sens de la Morphologie Mathématique; DESTIVAL, 1986) toutes les composantes connexes de l'image 2.a possédant un maximum local.

Ce traitement permet de relever les structures principales. Il est hélas très sensible au bruit puisqu'une petite déconnexion peut entraîner le non examen de structures importantes placées en aval de celle-ci.

### 3.4 Algorithme des "cols principaux" (fig. 6)

L'idée est de croiser l'information issue des deux algorithmes précédents afin de sélectionner les "points choisis" susceptibles d'engendrer les lignes importantes.

Nous décrivons le principe d'extraction des crêtes principales (fig. 6.a).

Les points choisis sont les COLS NON MARQUES.

La contrainte d'avance est "MONTER SUIVANT LA PLUS GRANDE PENTE".

Les cols non marqués sont tous les cols ne faisant pas partie du réseau marqueur (5.b). Le réseau marqueur correspond à la montée à partir des minima locaux sur talwegs. En fait, on ne marquera pas un col se

# NOUVEAUX ALGORITHMES POUR L'EXTRACTION DE LIGNES DE CRETE APPLICATION AUX MODELES NUMERIQUES DE TERRAIN

Serge RIAZANOFF - Bernard CERVELLE - Jean CHOROWICZ

trouvant à l'extrémité d'une branche du réseau.

Le réseau de la figure 6.a est un sous-réseau de la fig. 3.a puisque l'ensemble des points choisis en 6.a est un sous-ensemble de celui en 3.a et puisqu'ils ont tous deux la même contrainte d'avance. Les cols non-retenus (cols marqués) sont représentés sur les images par des points.

Les crêtes principales sont bien restituées (fig. 6.a). A plus grande échelle, on peut espérer délimiter par ce procédé les bassins versants. On regrette néanmoins certaines connexions excessives qui sont à imputer à l'éparpillement du réseau marqueur 5.b.

Le résultat de la figure 6.b est assez intéressant, car il aboutit à une segmentation de l'image correspondant aux principaux massifs et collines. Il donne en quelque sorte les voies d'accès naturelles de cette région.

## IV CONCLUSIONS

Les procédés mis en oeuvre dans ce travail sont entièrement automatiques et donnant des résultats originaux. On souligne en particulier le caractère connexe des réseaux.

Parmi les nombreux prolongement de cette étude, nous proposons de pré-traiter l'ensemble des points choisis. Soit en affinant leur définition (DEPRAETERE, 1984, propose une classification plus fine des cols), soit en les classant suivant un critère (par exemple l'altitude) et en décidant d'un seuil.

L'extraction dynamique de lignes permet une approche quantitative nouvelle. En effet, on peut effectuer des mesures qui seront autant d'attributs et des critères objectifs permettant son analyse dans un cadre de reconnaissance de formes.

La méthode que nous proposons fournit un cadre général qui laisse une large place aux évolutions. Nous n'avons exploré ici qu'un nombre restreint de combinaisons ("point choisi", "contrainte d'avance"). Concevoir de nouveaux types de points choisis, de nouvelles contraintes d'avance, représente une mise en oeuvre informatique limitée et fournit des résultats immédiats souvent suprenants.

## BIBLIOGRAPHIE

- DEPRAETERE C. (1984) "Etudes Géomorphométriques comparatives en Afrique du Sud : applications hydrologiques et géomorphométriques", Thèse de 3ème cycle - Paris VI.
- DESTIVAL L. (1986) "Morphologie mathématique appliquée aux images des satellites de télédétection" Actes du 2ème colloque Image-CESTA - Nice, Avril 1986 pp 11,15.
- DUFOUR H.M.,  
ABGRALL F. (1983) "Eléments remarquables du relief. Définitions numériques utilisables", Bulletin du Comité Français de Cartographie - Fascicule 95 - n° 1/1983, pp 57,86.

- HARALICK R.M. (1983) "Ridges and valleys on digital images". Computer Vision, Graphics and Image Processing 22, pp 28,38.
- HARALICK R.M. (1984) "Digital step edges from zero crossing of second directional derivatives". IEEE - Vol. PAMI-6, n°1 - Janvier 84 - pp 58,68.
- KIM Y.J. (1985) "Reconnaissance de formes géomorphologiques et géologiques à partir de Modèles Numériques de Terrain pour l'exploitation des données stéréoscopiques de Spot". Thèse de Docteur Ingénieur - Univ. Paris VI, 150 pages.
- VEILLET L. (1986) "Reconnaissance de formes géomorphologiques à partir du Modèle Numérique de Terrain". ENSG - Mémoire de stage à l'UPMC (Lab. Géol. Structurale).

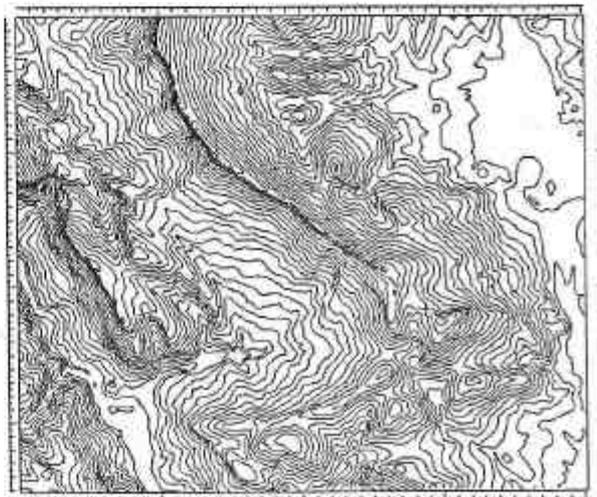


Fig. 1 : Modèle Numérique de Terrain de la Montagne de Coupe. Secteur de Norante au SE de Digne (Alpes françaises). Isocourbes à 30 mètres.

NOUVEAUX ALGORITHMES POUR L'EXTRACTION DE LIGNES DE CRETE  
APPLICATION AUX MODELES NUMERIQUES DE TERRAIN

Serge RIAZANOFF - Bernard CERVELLE - Jean CHOROWICZ

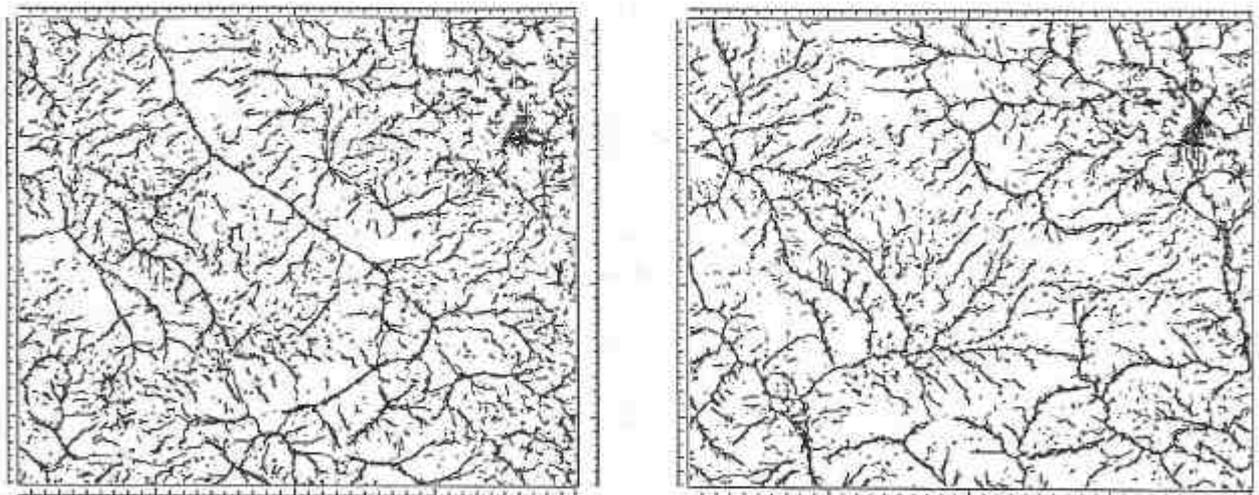


Fig. 2 : Résultats de l'étiquetage de points par la méthode des changements de pente (KIM).

- a . Image des "points de crête".
- b . Image des "points de talweg".

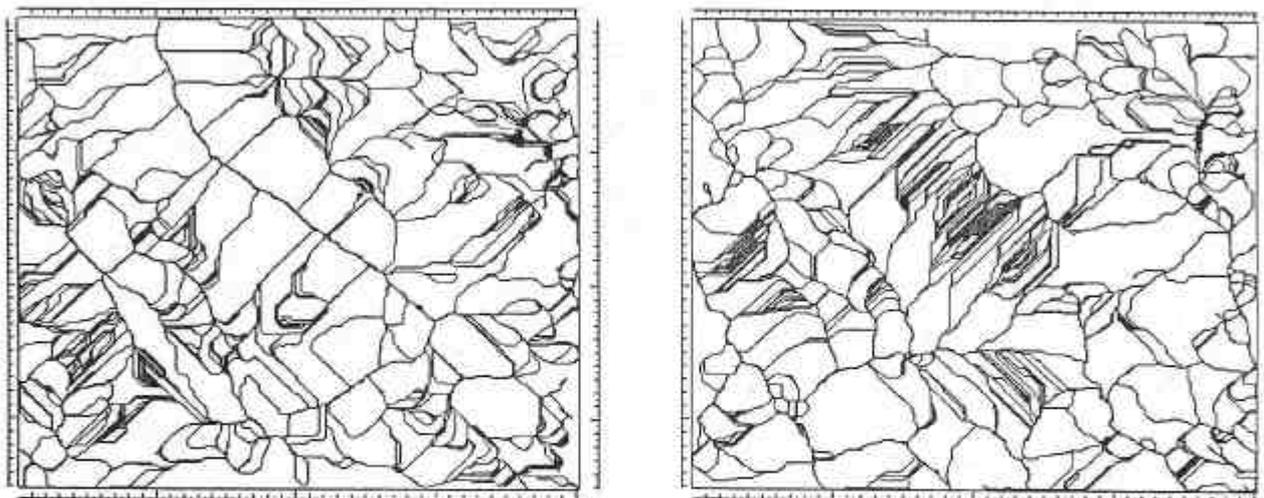


Fig. 3 : Résultats obtenus avec l'algorithme du "ruissellement".

- a . Montée à partir des cols suivant la plus grande pente.
- b . Descente à partir des cols suivant la plus grande pente.

NOUVEAUX ALGORITHMES POUR L'EXTRACTION DE LIGNES DE CRETE  
APPLICATION AUX MODELES NUMERIQUES DE TERRAIN

Serge RIAZANOFF - Bernard CERVELLE - Jean CHOROWICZ

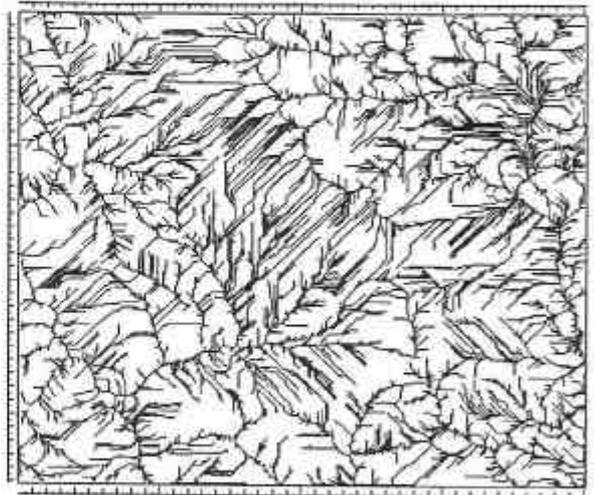
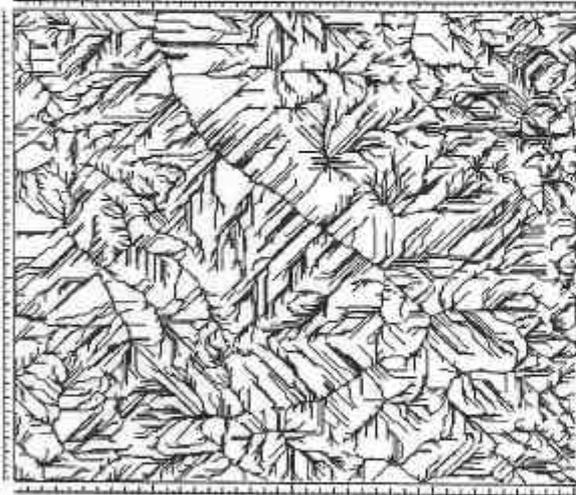


Fig. 4 : Résultats obtenus avec l'algorithme du 'ruissellement'.

- a . Montée à partir des points bas suivant la plus grande pente.
- b . Descente à partir des points hauts suivant la plus grande pente.

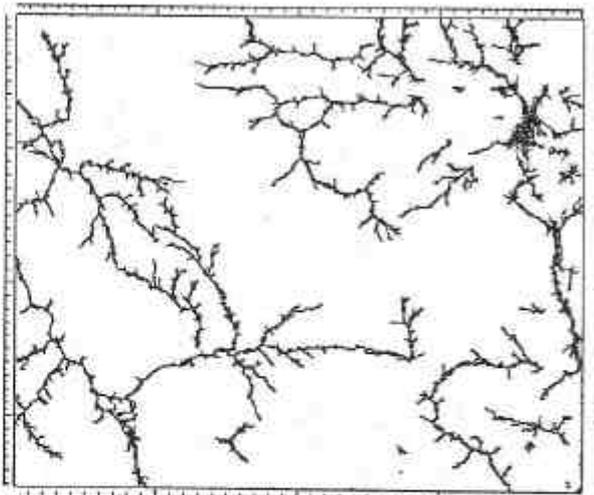
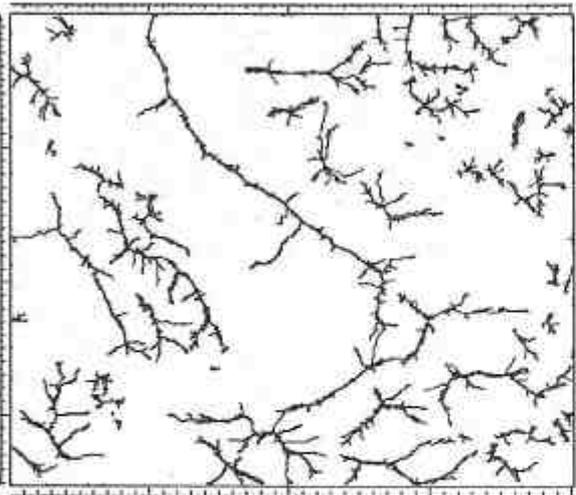


Fig. 5 : Résultats obtenus avec l'algorithme du "promeneur".

- a . Descente à partir des maxima locaux sur des points de crête.
- b . Montée à partir des minima locaux sur des points de talweg.

NOUVEAUX ALGORITHMES POUR L'EXTRACTION DE LIGNES DE CRETE  
APPLICATION AUX MODELES NUMERIQUES DE TERRAIN

Serge RIAZANOFF - Bernard CERVELLE - Jean CHOROWICZ

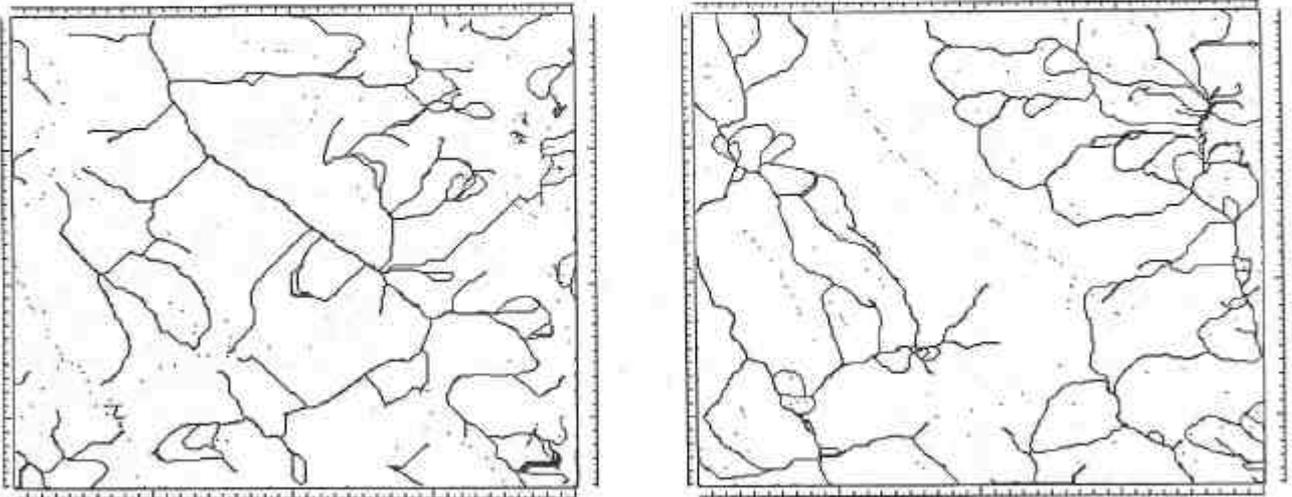


Fig. 6 : Résultats obtenus avec l'algorithme des "cols principaux".

- a . Montée à partir des cols non marqués par le réseau de talwegs 5.b, suivant la plus grande pente.
- b . Descente à partir des cols non marqués par le réseau de crêtes 5.a, suivant la plus grande pente.