

CONNEXION DIRECTIONNELLE DE CONTOURS

Jean-François PARROT* et Hind TAUD**

* Dpt de Géotectonique, Université Paris VI, 4 place Jussieu 75252 Paris (France), et
ORSTOM 70 route d'Aulnay, 93140 Bondy (France)

** Université Paris VI, et Laboratoire d'Electronique et de Traitement du Signal,
Université Mohammed V, rue Ibn Battouta, Rabat-Agdal (Maroc)

1. RESUME

La segmentation de contours fait fréquemment disparaître des portions de contour créant des discontinuités plus ou moins importantes que la méthodologie présentée ici fait disparaître en connectant les extrémités des éléments de contours selon des critères directionnels.

Les contours ainsi reconstitués peuvent être analysés dans leur intégralité par une méthode de reconnaissance de formes, réduisant d'autant le nombre d'éléments traités, ou bien fournir des documents où les traits structuraux ne présentent aucune discontinuité.

Un suivi de contour préalable tient compte des croisements et produit des données relatives à la position de tous les pixels constituant chaque élément de contour. Le sens de la direction de chacune des extrémités est calculé en fonction de la position du pixel extrême et de celle d'un pixel voisin. La position relative du pixel voisin dépend de la distance choisie pour définir la direction.

L'orientation de toutes les extrémités étant définie, chaque extrémité est jointe aux extrémités voisines comprises dans une distance donnée par un vecteur dont on calcule l'orientation. La connexion est effectuée si l'orientation de l'un de ces vecteurs est voisine de l'orientation de l'extrémité traitée.

Les exemples choisis illustrent les possibilités offertes par l'algorithme dans l'étude des structures linéaires, des structures circulaires et des parcellaires.



2. INTRODUCTION

Les contours extraits à partir de données numériques par des méthodes classiques de segmentation de contours (cf. notamment Rosenfeld et Kak, 1982), sont généralement tronçonnés en éléments disjoints qu'il convient de connecter si l'on désire appréhender un contour dans sa quasi-intégralité.

Les algorithmes de reconstitution font souvent partie intégrante de la segmentation de contours (cf. Gonzales et Wintz, 1990). Ils sont généralement basés sur l'application de filtres et la combinaison des informations qu'ils fournissent, ou sur l'application de la Transformée de Hough, et concernent des images multi-niveaux. Ils reconstituent les contours, mais ils présentent parfois l'inconvénient de laisser subsister des discontinuités qui limitent les possibilités d'analyse qu'offre la Reconnaissance de Formes.

La méthodologie que nous proposons reconstitue les contours en prenant en compte l'orientation dans l'espace des extrémités des éléments constitutifs d'un même contour. Elle est basée sur un suivi de contour entraînant une caractérisation de chacun des pixels constitutifs de ces éléments et sur un tri des extrémités susceptibles d'être connectées en fonction de critères définis par l'utilisateur.

3. METHODOLOGIE

La méthode comprend : (a) suivi et individualisation des différents éléments de contour et calcul de la direction des extrémités de chacun des éléments de contour; (b) connexion directionnelle.

Avant de décrire l'algorithme, il convient de définir les termes et les concepts employés.

3.1. CONCEPTS ET DEFINITION

Un contour C ou un élément C' de ce contour est une courbe formée par une succession de pixels de connectivité 8. Chaque contour C ou élément de contour C' est un ensemble I_S de points successifs P_t formant le contour.

$$I_S = \{ P_t = (x_t, y_t) ; t = 1, \dots, m \}$$

où x_t, y_t : coordonnées de chaque pixel

et m : nombre total de pixels de la courbe.

Extrémités $Ec(i)$ d'un élément de contour : les éléments du tableau I_S étant mis en ordre, depuis le début jusqu'à la fin de la courbe, une extrémité $Ec(i)$ d'un élément de contour C' correspond au premier ou au dernier pixel du tableau I_S (P_1 et P_m). $i = 1, \dots, q$ et q étant le nombre total d'extrémités.

Segments terminaux : il s'agit de segments de courbe de $k+1$ pixels (k étant un entier défini par l'utilisateur), et dont les extrémités respectives sont P_1, P_{1+k} et P_m, P_{m-k} .

Direction $\theta(i)$ des extrémités : en considérant que la fin d'un segment terminal correspond à l'extrémité $Ec(i)$ à partir de laquelle il est défini, l'orientation $\theta(i)$ d'un segment terminal est définie par la direction des vecteurs $P_{1+k} P_1$ et $P_{m-k} P_m$. En fixant l'origine au nord de l'image, cette direction est calculée de 0° à 359° , dans le sens de la marche des aiguilles d'une montre. $\theta(i)$ est calculé à partir de $\text{Arctg}(\Delta y/\Delta x)$, Δx et Δy étant les différences respectives entre les coordonnées de deux extrémités d'un segment terminal $[P_{1+k}, P_1]$ ou $[P_{m-k}, P_m]$.

Direction $\phi(i,j)$: c'est la direction du vecteur joignant une extrémité $Ec(i)$ à

une extrémité $Ec(j)$. Le calcul et le référentiel sont identiques à ceux définis pour la direction $\theta(i)$.

Ecart angulaire β : c'est une valeur angulaire permettant de définir, pour chaque $Ec(i)$, un intervalle de sélection Is .

Distance $D(i,j)$: c'est la distance entre deux extrémités $Ec(i)$ et $Ec(j)$ calculée par :

$$D(i,j) = [(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2]^{1/2}$$

x_i, y_i et x_j, y_j étant les coordonnées respectives de ces deux extrémités.

Distance de sélection Ds : c'est la distance maximale définie par l'utilisateur fixant la limite pour connecter deux extrémités.

3.2. PROCEDURE

Les traitements sont effectués sur une image binaire contenant l'ensemble des éléments de contour obtenus par diverses techniques de segmentation. Les portions de contour sont préalablement ramenées à des courbes de connectivité 8 (Parrot et Taud, 1991a). Des courbes répondant à ce critère peuvent par exemple être obtenues par l'algorithme de squelettisation proposé par O'Gorman (1990).

Les courbes sont individualisées une à une et une estimation de la direction de chacune des extrémités est faite, les éléments de courbe étant liés lorsque ces extrémités satisfont les critères requis. L'étape relative à l'individualisation reprend l'algorithme que nous avons développé (Taud et Parrot, 1991a), (Parrot et Taud, 1991a) et dont le principe est succinctement rappelé.

3.2.1. Individualisation des contours et calcul de la direction des extrémités.

Le suivi de contour par le mouvement d'une fenêtre glissante en se basant sur le code de Freeman (Freeman et Davis, 1977), et l'application d'une décision

lors d'un croisement de deux courbes, permettent d'individualiser une à une les courbes binaires rencontrées. Cet algorithme prend en compte aussi bien des courbes fermées que des courbes ouvertes. Par ailleurs, la prise de décision en cas de croisement s'appuie sur des conditions tenant compte des valeurs successives des codes de Freeman avant et après le croisement.

Lorsqu'une courbe est individualisée, les coordonnées des pixels sont provisoirement rapportées dans un tableau l_s à partir duquel sont effectués les calculs relatifs à la direction $\theta(i)$ des extrémités de la courbe (cf. ci-dessus). Notons que si le nombre de pixels d'un élément de contour C' est inférieur au nombre de pixels formant les segments terminaux, c'est à dire lorsque m est inférieur à $k+1$, cet élément est éliminé. Ceci présente l'avantage de nettoyer l'image en éliminant les pixels isolés et les petits éléments de contour. Par ailleurs, quand les coordonnées des extrémités $E_c(i)$ (P_1 et P_m) sont identiques, c'est à dire lorsque le contour est fermé, le calcul de la direction $\theta(i)$ des extrémités n'est pas effectué pour cet élément.

Les opérations de suivi de contour et les calculs des directions sont répétés jusqu'à la dernière courbe que comprend l'image traitée.

A la fin de cette étape, on obtient un tableau T renfermant les q éléments retenus associant les positions $P(i)$ des extrémités et leurs orientations $\theta(i)$.

3.2.2. Connexion des extrémités

Les opérations concernant la connexion des extrémités s'appuient sur l'exploitation des données du Tableau T , à savoir la position $P(i)$ des extrémités et la valeur en degrés de l'orientation $\theta(i)$ de ces extrémités.

Soit i allant de 1 à $q-1$, et j allant de $i+1$ à q , pour que deux extrémités $E_c(i)$ et

$E_c(j)$ soient connectées, trois conditions doivent être remplies :

- condition 1 $D(i,j) \leq D_s$

la distance $D(i,j)$ joignant deux extrémités doit être inférieure ou égale à la distance de sélection D_s .

-condition 2 $|\theta(i,j) - \lambda| \leq \beta$

$\theta(i,j)$ est l'angle décrit par les directions $\theta(i)$ et $\theta(j)$ et est calculé de la façon suivante :

$$\theta(i,j) = |\theta(i) - \theta(j)|, \text{ si } \theta(i,j) \geq 180, \text{ alors } \theta(i,j) = |\theta(i,j) - 360|$$

λ peut prendre les valeurs 0, 90 ou 180 selon les cas à traiter (cf. plus loin);

-condition 3 $|\alpha(i,j) - \gamma| \leq \beta$

l'angle $\alpha(i,j)$ est décrit par les directions $\theta(i)$ et $\phi(i,j)$.

$$\text{avec } \alpha(i,j) = |\theta(i) - \phi(i,j)|$$

$$\text{si } \alpha(i,j) \geq 180, \text{ alors } \alpha(i,j) = |\alpha(i,j) - 360|$$

γ peut prendre les valeurs 0 ou 90, voire d'autres valeurs (cf. plus loin).

Quand l'ensemble des données j a été traité, s'il existe parmi les extrémités $E_c(j)$ plusieurs candidats satisfaisant les trois conditions précédentes, seul est retenu celui dont la valeur $\alpha(i,j)$ est la plus faible. Ces extrémités $E_c(i)$ et $E_c(j)$ sont dans ce cas liées par une droite (Figure 1).

On passe ensuite à l'extrémité $E_c(i)$ suivante.

Cet algorithme général peut connecter différents types de contours. Quand il s'agit de joindre des éléments circulaires ou linéaires, la valeur λ est de 180, ce qui signifie que l'on compare la direction $\theta(i)$ à la direction correspondant au sens opposé de la direction $\theta(j)$, et la valeur γ est égale à 0, ce qui signifie que le

vecteur $\phi(i,j)$ doit être plus ou moins dans le prolongement du vecteur $\theta(i)$, à l'écart angulaire β près. Dans le cas plus spécifique des parcellaires, les valeurs λ et γ diffèrent selon les cas de figure rencontrés.

3.3. PARCELLAIRE

La jonction des contours dans le cas d'un parcellaire demande une adaptation spécifique de l'algorithme d'individualisation décrit précédemment, et comporte la prise en compte de plusieurs cas de connexion définis par les valeurs de λ et γ .

Si dans le cas général le suivi de contour prend une décision sur la direction à suivre en cas de croisement, ici le croisement est simplement considéré comme une extrémité de segment non soumise au calcul des paramètres caractéristiques des extrémités. Ainsi seules les "véritables" extrémités sont prises en compte.

On retrouve en fin d'individualisation un tableau T consignnant la position x,y des extrémités et leurs directions respectives.

La phase relative à la connexion des extrémités répertoriées obéit aux conditions suivantes :

- condition 1 $D(i,j) \leq D_s$
- condition 2 $|\theta(i,j) - \lambda| \leq \beta$
- condition 3 $|\alpha(i,j) - \gamma| \leq \beta$

Notons qu'il existe 5 cas de figure définissant les valeurs respectives de λ et γ pour des rectangles (Figure 2) :

1. connexion de deux extrémités de même sens :

$\lambda = 0$ et $\gamma = 90$, $\phi(i,j)$ étant perpendiculaire à $\theta(i)$;

2. connexion de deux extrémités perpendiculaires : Il existe deux cas :

$\lambda = 90$ et $\gamma = 0$ quand $\phi(i,j)$ est dans le prolongement de $\theta(i)$;

$\lambda = 90$ et $\gamma = 90$ quand $\phi(i,j)$ est perpendiculaire à $\theta(i)$;

3. connexion de deux extrémités de sens opposé : Il existe deux cas:

$\lambda = 180$ et $\gamma = 0$ quand $\phi(i,j)$ est dans le prolongement de $\theta(i)$;

$\lambda = 180$ et $\gamma = 90$ quand $\phi(i,j)$ est perpendiculaire à $\theta(i)$;

S'il existe plusieurs extrémités satisfaisant les trois conditions précédentes pour un même cas de figure, seule est retenue celle dont la valeur $\alpha(i,j)$ est la plus faible.

Notons que l'algorithme est applicable à des parallélogrammes en estimant la valeur des deux angles complémentaires qui définissent ces parallélogrammes, la valeur de γ fixé à 90 dans le cas des rectangles, prenant alors successivement la valeur de ces deux angles (par exemple 60 et 120).

4. EXEMPLES DE TRAITEMENT

Les traitements destinés à illustrer les résultats fournis par la méthode ont été appliqués, dans un premier temps, à des images de courbes digitalisées représentant des cas théoriques d'éléments de contour à connecter. Trois cas ont été retenus : des éléments de contour circulaires (Figures 3a et 3b), des éléments de contours linéaires (Figures 3c et 3d) et des éléments de contours formant un parcellaire (Figures 3e et 3f). Chaque couple de figures illustre les contours avant et après traitement.

Par ailleurs, la méthode a été également appliquée à des images de contours issus soit de données satellitaires, soit des produits dérivés de Modèle Numérique de Terrain. Ces applications entrent dans le cadre d'étude thématique concernant des thèmes géomorphologiques et structuraux.

L'exemple reporté dans cet article (Figures 4a et 4b) est issu d'une étude portant sur l'orientation d'éléments structuraux dans un ensemble dunaire à l'aide d'une technique de reconnaissance de formes (Taud et Parrot, 1991b). L'algorithme a été développé en Fortran sur Domain HP Apollo, et figure dans le logiciel ADONIS (Parrot et Taud, 1991b). Le temps de calcul dépend du nombre de contours à traiter : à titre d'exemple, pour un traitement en mode graphique, quelques secondes sont nécessaires pour chacune des trois images digitalisées de 200x200 pixels.

5. DISCUSSION ET CONCLUSION

Les premiers résultats obtenus à l'aide de la méthodologie de connexion directionnelle se révèlent satisfaisants. Les éléments de contour sont connectés en fonction d'une distance entre extrémités et d'un écart angulaire entre la direction que présente l'extrémité d'un élément de contour et le vecteur joignant cette extrémité avec celles qui l'entourent. Cette distance D_s dite distance de sélection et la valeur de l'écart angulaire β sont définis par l'utilisateur, ce qui permet de modifier les critères de connexion, voire de réitérer le traitement sur l'image obtenue en modifiant ces critères.

Si cette procédure présente l'avantage de connecter les éléments de contour, en revanche elle s'appuie en partie sur des critères de sélection définis par le thématicien. La recherche d'une procédure non supervisée est envisageable, notamment pour la connexion des éléments circulaires et linéaires. Elle passe notamment par la définition automatique de l'écart angulaire β et du nombre k de pixels définissant la longueur d'un segment terminal.

Par ailleurs, pour des contours non linéaires, quand la distance séparant deux extrémités est importante, la connexion par des segments de droite tend à

détériorer la forme originale du contour. Il convient alors dans ce cas de diminuer la valeur attribuée à la distance de sélection D_s .

La connexion directionnelle de contours représente une étape primordiale pour une étude faisant appel à la Reconnaissance de Formes. Dans le cas des parcellaires, elle ouvre par exemple la possibilité d'étudier statistiquement les surfaces définies par les contours fermés de chaque parcelle.

6. REFERENCES

FREEMAN, H. and DAVIS, L.S., 1977. A corner-finding algorithm for chain coded curves. IEEE Trans. Comput., vol C-26, p. 297-303.

GONZALES, R.C. and WINTZ, P., 1999. Digital image processing. Addison-Wesley Publishing Compagny, 503 p.

O'GORMAN, L., 1990. $k \times k$ thinning. Computer vision, Graphics, and Image processing, n° 51, p. 195-215.

PARROT, J.-F. and TAUD, H., 1991a. Detection and classification of circular structures on SPOT images. IEEE Trans. Geosc. and Remote Sensing (sous presse).

PARROT, J.-F. et TAUD, H., 1991b. Logiciel ADONIS (Automatic Detection Of Numerical Image Structures). Laboratoire de Télédétection UPMC PARIS VI, 62 p.

ROSENFELD, A. and KAK, C., 1982. Digital picture processing, Academic Press, New-York/London (2d edition), 2 vol.

TAUD, H. and PARROT, J.-F. 1991a. Detection of circular structures on satellite images. Int. J. Remote Sensing, (in press).

TAUD, H. et PARROT, J.-F. 1991b. Reconnaissance de formes appliquee aux systemes dunaires. Quatrièmes journées scientifiques du Réseau de Télédétection de l'UREF, Québec ce volume).

LEGENDE DES FIGURES

Figure 1.- Exemple de connexion d'éléments de contour pour $\beta = 30$, $\lambda = 180$ et $\gamma = 0$; l'angle α défini par $\phi(2)$ étant plus petit que l'angle α défini par $\phi(1)$ entraîne la connexion des éléments (C'1) et (C'3).

Figure 2.- Les cinq cas de figure définissant les valeurs respectives de λ et γ pour des parcelles rectangles : A. $\lambda = 0$, $\gamma = 90$; B. $\lambda = 90$ et $\gamma = 0$; C. $\lambda = 90$ et $\gamma = 90$; D. $\lambda = 180$ et $\gamma = 0$; E. $\lambda = 180$ et $\gamma = 90$.

Figure 3.- Trois exemples de connexion de contours. A et B : contours linéaires; C et D : contours circulaires; E et F : parcelle illustrant tous les cas de figure.

Figure 4.- Exemple de connexion sur des contours provenant d'une image SPOT entrant dans le cadre de l'étude structurale du Grand Erg Occidental (in Taud et Parrot, 1991b).

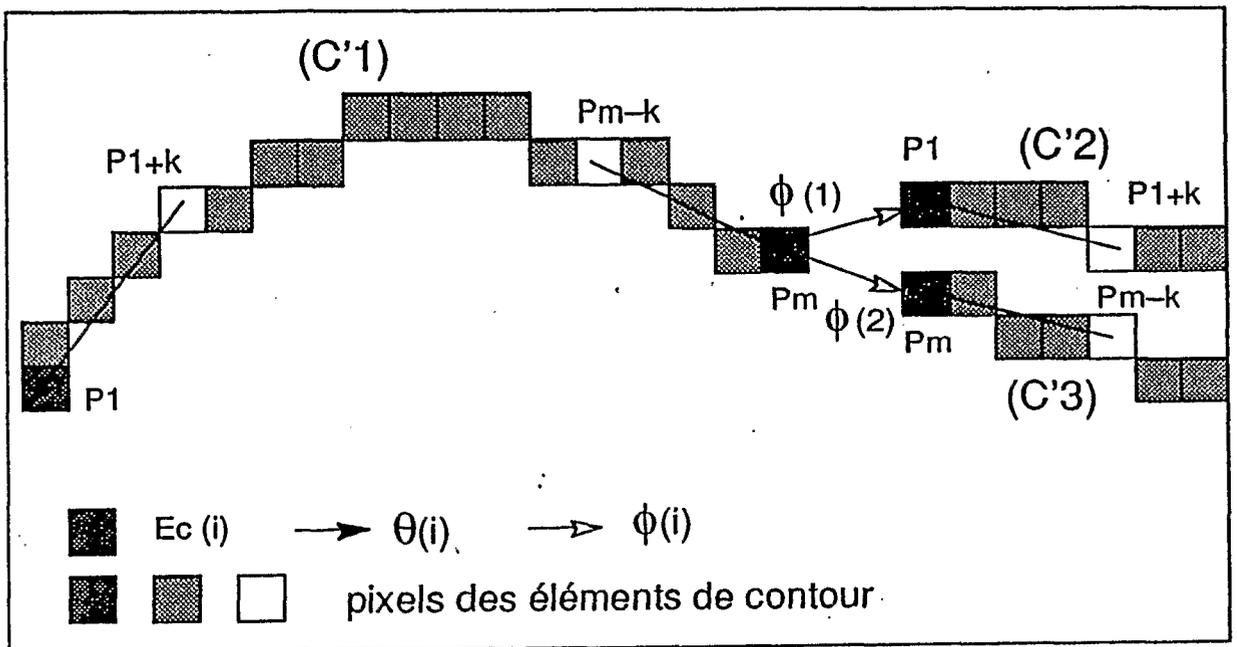


Figure 1.

Figure 2.— Les cinq cas de figure définissant les valeurs respectives

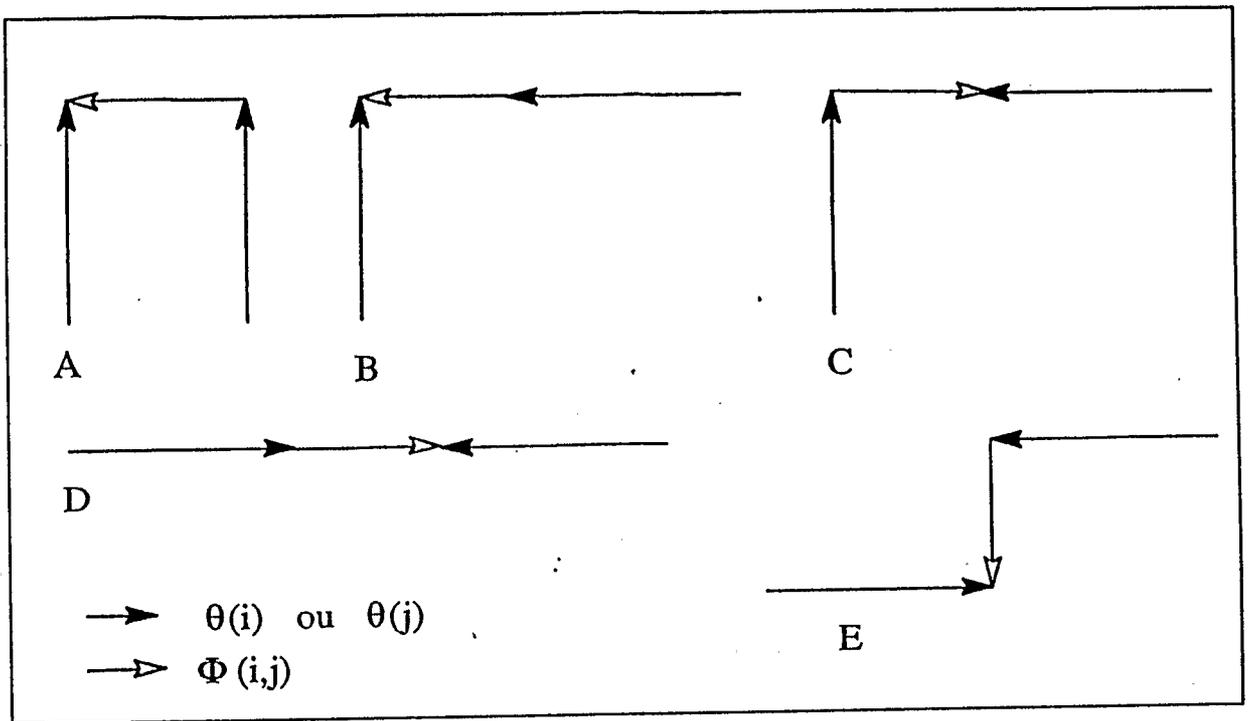
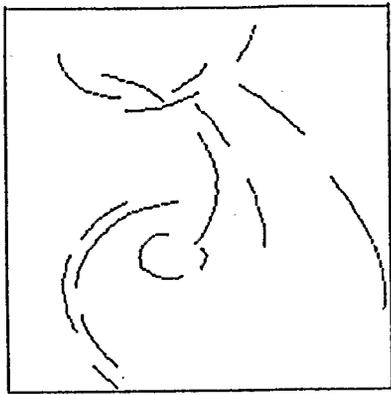
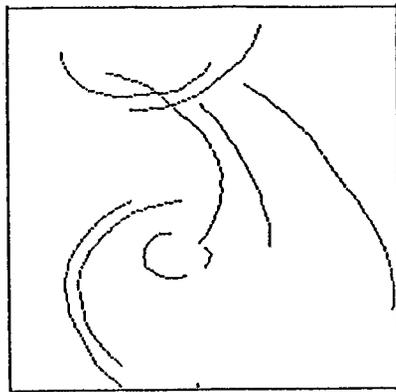


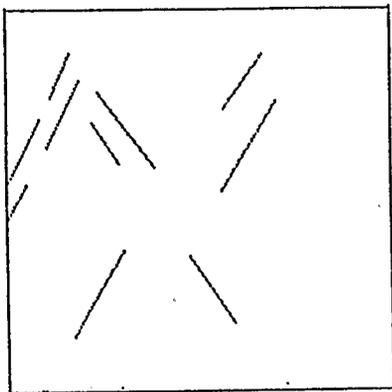
Figure 2.



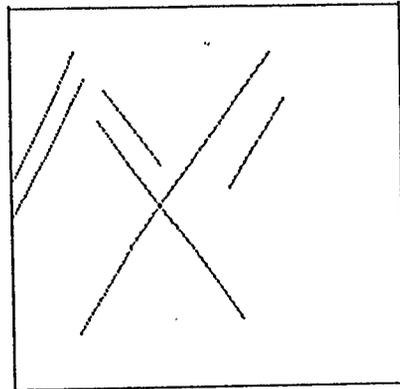
A



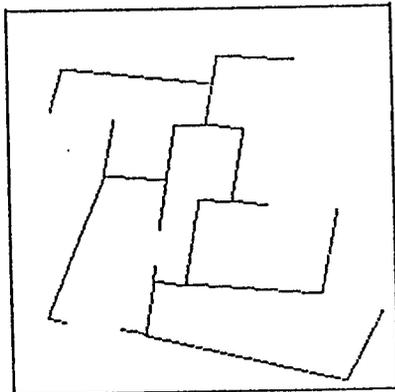
B



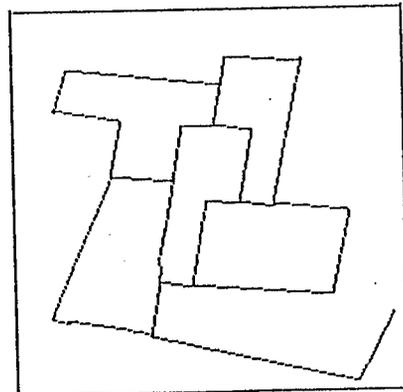
C



D

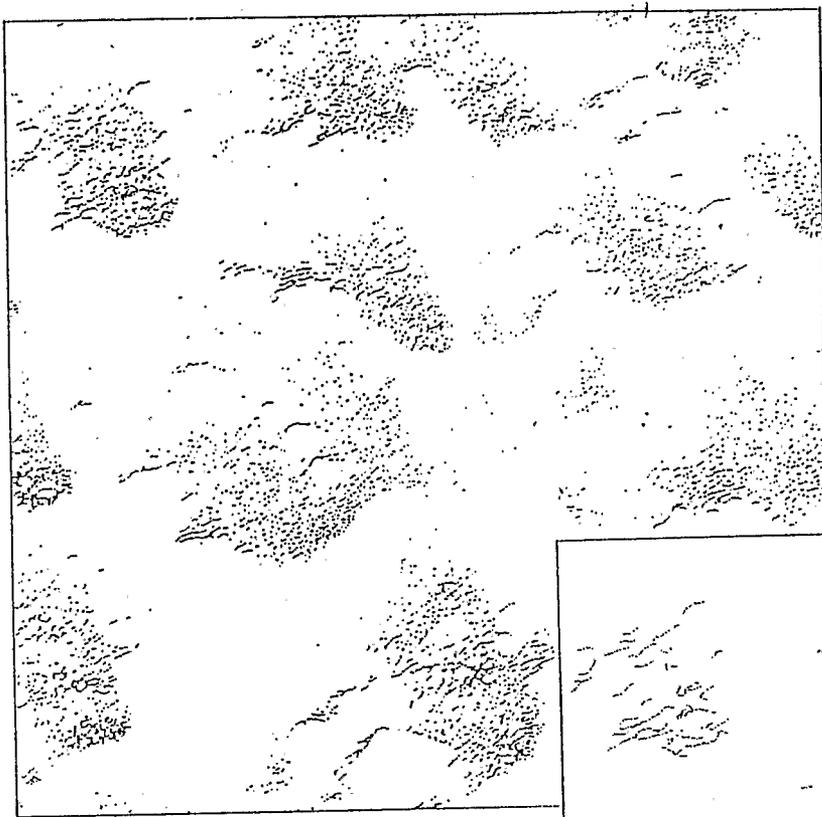


E



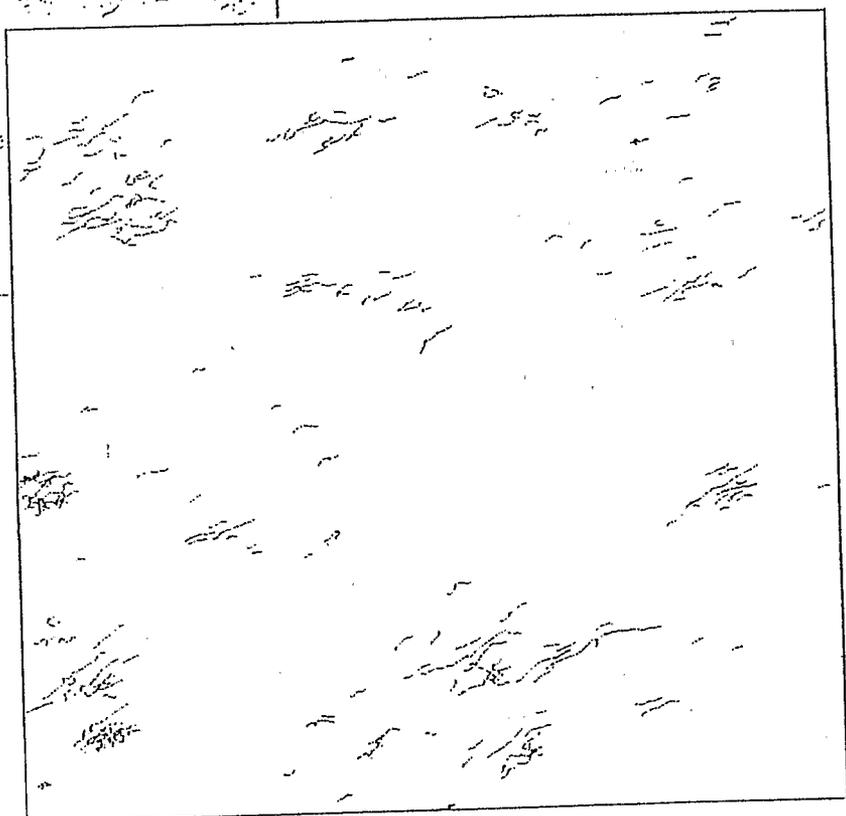
F

Fig. 3



A

$k = 5$
 $D_s = 40$
 $\lambda = 180$
 $\gamma = 0$
 $\beta = 20$



B

Fig. 4

