

RECONNAISSANCE DE FORMES APPLIQUEE AUX SYSTEMES DUNAIRES

Hind TAUD* et Jean-François PARROT**

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

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

1. RESUME

Les données spectrales d'une sous-scène SPOT centrée sur les massifs de dunes du Grand Erg Occidental (Algérie), ont été soumises à une méthode de reconnaissance automatique de formes, en vue de différencier et de caractériser les éléments constitutifs de ces massifs. Les massifs dunaires de la zone étudiée comprennent essentiellement de grands dômes de sables grossiers recouverts par de petites dunes à sable vif et par des dépressions sub-circulaires provenant de la déflation éolienne.

La méthode ADONIS récemment développée par les auteurs, a été adaptée pour répondre aux problèmes particuliers que présentait la zone d'étude. Cette méthode repose sur une étude de contours obtenus à partir des données spectrales et texturales; elle fournit, pour chacun de ces contours, des paramètres discriminants de "contour" et de "surface".

L'analyse automatique de l'ensemble des paramètres discriminants montre, que les formes circulaires dues à la déflation éolienne, sont caractérisées par des contours présentant une direction privilégiée de la normale à la corde vers le NNW. Les petites dunes à sable vif recouvrant les dômes dunaires sont orientés WSW-ENE.



2. INTRODUCTION

La méthode de reconnaissance automatique de formes ADONIS (Automatic Detection Of Numerical Image Structures) mise au point antérieurement (Taud et Parrot, 1991a) (Taud et Parrot, 1991b) (Parrot et Taud, 1991a) permet de détecter et d'analyser les structures sub-circulaires que comportent les images satellitaires à l'aide de paramètres discriminants. Différents thèmes ont déjà fait l'objet de son utilisation.

En vue de valider la méthode ADONIS par une nouvelle application, la présente étude porte sur une sous-scène SPOT panchromatique centrée sur les massifs de dunes du Grand Erg Occidental (Algérie).

Les éléments d'information non subjectifs que fournit la méthode peuvent apporter à l'étude thématique de ces massifs dunaires des indications sur la forme et la nature des traits structuraux qui les caractérisent.

3. ZONE D'ETUDE ET PRINCIPALES FORMATIONS

La sous-scène SPOT étudiée (Fig. 1) se situe dans le NE du Grand Erg Occidental localisé au NW du Sahara (Fig. 2a). Cette région décrite par Callot (1991), localisée à l'ouest de Gardhia, ne comporte pas d'espaces interdunaires libres de sable et les grandes dunes sont constituées par des sables grossiers formant des dômes circulaires ou elliptiques (Fig. 2b). Des dunes vives de sable fin, se surimposent sur ces dômes; elles sont de petite dimension et présentent une forme de "sifs" (dune en forme de sabre); parfois jointives, elles constituent un "aklé" (groupement de dunes d'aspect réticulé). Les couloirs interdunaires présentent une couverture sableuse grossière modelée par des creusements dûs à la déflation éolienne; ces "chaudrons" circulaires de dimension hectométrique sont nombreux et parfois jointifs; ils

présentent une structure dissymétrique : leur versant nord est toujours plus pentu que le versant sud.

4. RAPPELS SUR LA METHODE ADONIS

La méthode ADONIS comporte trois étapes : (a) une mise en évidence de contours significatifs sur l'image; (b) la détection des centres et rayons des éléments sub-circulaires contenus dans ces contours; (c) la recherche de paramètres discriminants associés à ces contours, voire à la surface décrite par ces contours.

4.1. MISE EN EVIDENCE DES CONTOURS SIGNIFICATIFS

L'image des données brutes est traitée par un filtre passe-bas de taille 3x3 réitéré jusqu'à la stabilité complète de l'image. Le seuillage des valeurs de l'histogramme de l'image lissée se fait à partir d'un seuil de réflectance variable de valeur N, tel que le nombre de pixels dont les valeurs sont inférieures ou égales à ce seuil, corresponde à un pourcentage P du nombre total de pixels que comprend l'image entière. En incrémentant par exemple le pourcentage P de 10 en 10, on obtient 9 images binaires. Ces images binaires sont ensuite soumises à un lissage majoritaire (Goldberg *et al.* 1975, in Schowengerdt, 1983) réitéré jusqu'à stabilité complète de l'image. Enfin, les limites des différentes formes sont tracées en analysant les sauts de valeur entre deux pixels voisins.

4.2. DETECTION ET INDIVIDUALISATION DES ELEMENTS SUB-CIRCULAIRES.

C'est sur les contours définis précédemment que s'appliquent les différents

stades de traitement que comporte la détection des éléments sub-circulaires. Les contours sont individualisés un à un par un suivi de contour basé sur le code de Freeman (Freeman et Davis, 1977). L'algorithme développé permet de prendre une décision sur la direction à suivre, lorsqu'un croisement se présente. Chaque contour est segmenté en éléments de contour lorsqu'un changement de direction de courbure aux points critiques du contour est observé.

La détection des éléments sub-circulaires dans la méthode ADONIS est basée sur une version de la Transformée de Hough. On obtient deux valeurs : la position du centre et la valeur du rayon, à partir desquelles est défini le Cercle Référentiel (CR). Une modification a été apportée dans cet article, entraînant un gain important en temps de calcul. L'approximation des éléments de contour en éléments circulaires est faite à partir de la méthode des moindres carrés (Thomas et Chan, 1989).

4.3. PARAMETRES DISCRIMINANTS

Des paramètres discriminants décrivant la forme du contour et la nature de la surface inscrite, caractérisent chaque structure. L'analyse de ces paramètres permet de distinguer les différentes familles structurales.

Les paramètres de "surface" définis par les valeurs rencontrées dans les surfaces qu'engendrent les éléments sub-circulaires sur des plans de toute nature (données satellitaires, indices divers, produits dérivés du Modèle Numérique de Terrain, etc...) ne sont pas utilisés dans le cas présent, et seuls les paramètres de "contour" suivants sont pris en compte :

R : rayon du cercle référentiel,

CI : coefficient d'intersection représentant le pourcentage qui définit l'appartenance des pixels du contour au Cercle Référentiel; plus ce coefficient est élevé, plus le contour décrit un cercle ou une portion de cercle parfait.

CC : le coefficient de corde appréhende la forme du contour qui peut être inférieure ou supérieure au demi-cercle.

DNC : coefficient de symétrie qui rend compte de la symétrie du contour par rapport à la normale à la corde passant par le centre du CR.

DIR : direction de la normale à la corde recoupant la structure détectée.

OCC : nombre de contours ayant des valeurs du rayon et du centre qui, dans un intervalle de confiance, peuvent correspondre à une même structure.

5. APPLICATION A LA ZONE D'ETUDE

La mise en évidence des éléments structuraux que comporte une image satellitaire dépend étroitement de la texture rencontrée. Les structures peuvent correspondre soit à des limites entre plages à réflectance plus ou moins homogènes, soit à des courbes de quelques pixels d'épaisseur pouvant aller, lorsqu'ils sont nombreux, jusqu'à former des plages à réflectance hétérogène. Sur l'image SPOT panchromatique étudiée (Fig. 1), les "chaudrons" dûs à la déflation éolienne présentent des formes sub-circulaires dont les réflectances sont comprises entre 70 et 80 (pic à 76). Les dômes dunaires servant de substratum aux "sifs" dessinent des formes plus grandes et plus elliptiques de réflectance moyenne plus élevée (80 à 110, pic à 104) et sont moins homogènes.

La procédure de mise en évidence des contours décrite dans la méthode ADONIS lisse l'image des données brutes par l'application d'un filtre itératif passe-bas qui rend homogènes les plages correspondant aux dômes dunaires

et aux "chaudrons", et fait ainsi disparaître les traits structuraux que définissent les "sifs" recouvrant les dômes (Fig. 3a).

La méthode ADONIS peut s'appliquer dans son intégralité à la recherche d'informations structurales sur les contours que décrivent les "chaudrons", voire les dômes dunaires.

En revanche, la mise en évidence des contours provenant des "sifs" nécessite un traitement spécifique. L'image est soumise à un opérateur de texture (Haralick, 1979). L'image résultante est seuillée de manière à faire ressortir les traits structuraux correspondant à ces dunes vives (Fig. 4a). L'image binaire est ensuite squelettisée et les éléments de contour obtenus sont connectés selon la méthode proposée par Parrot et Taud (1991b) en vue d'obtenir des contours significatifs (Fig. 4b). Les autres étapes de la méthode ADONIS s'appliquent sans modification sur les contours ainsi obtenus.

6. RESULTATS ET DISCUSSION

L'image des données brutes ayant été soumise à deux traitements différents de mise en évidence des contours, il convient de dissocier les résultats qu'entraîne l'application de la méthode ADONIS aux contours issus de ces traitements.

6.1. CONTOURS DES "CHAUDRONS" ET DES DÔMES DUNAIRES

Un ensemble de 3193 structures élémentaires est détecté (Fig. 3b). Ce nombre relativement élevé provient d'une part du seuillage en 9 images binaires et d'autre part de l'irrégularité des contours scindés en de nombreux éléments par l'algorithme. Les traits structuraux recherchés sont triés, à partir de cet ensemble, à l'aide des paramètres discriminants décrits ci-dessus.

6.1.1. Les "chaudrons"

Les "chaudrons" de déflation ont un rayon compris entre 50 et 200 mètres, soit à l'échelle SPOT panchromatique entre 5 et 20 pixels et la forme de la courbe que dessine leur bord est régulière et sub-symétrique. Par ailleurs, la différence de réflectance entre les "chaudrons" et leur environnement étant importante, les plages correspondant aux "chaudrons" se maintiennent sans grande modification de forme sur plusieurs des 9 images binaires. On peut ainsi utiliser la notion d'occurrence OCC en fixant l'intervalle de confiance à 5. La recherche des "chaudrons" à partir de leurs contours utilise les paramètres discriminants suivants :

rayon : 5-20;

coefficient d'intersection CI : 20-100;

coefficient de symétrie DNC : 0-30;

occurrence OCC : ≥ 3 .

168 structures semi-circulaires répondant aux critères ci-dessus sont détectés (Fig. 3c). La rosace des directions des normales à la corde des arcs de cercle (Fig. 3d) dessine un axe NNE-SSW présentant une direction privilégiée vers le NNE traduisant la dissymétrie des zones de déflation éolienne.

6.1.2. Les dômes

Les dômes décrivent des structures circulaires de grand rayon ($R \geq 50$). Toutefois, la nature irrégulière de leurs contours avant et après lissage, ne permet pas de détecter des limites continues et représentatives de ces dômes. Les contours ayant un rayon de plus de 50 pixels ne mettent en fait en évidence que les limites des couloirs inter-dunaires.

6.2. CONTOURS PROVENANT DES SIFS

Pour les sifs, 276 structures (Fig. 4c) sont mises en évidence sur l'image binaire des contours. Ce nombre relativement faible s'explique par la

difficulté à faire ressortir ces formes, par l'absence de redoublement éventuel des structures consécutif au seuillage en tranches de réflectance utilisé dans le cas des chaudrons, et par le nettoyage qu'opère la connexion directionnelle. Dans ce cas, la rosace des directions de la normale à la corde (Fig. 4d) met en relief l'orientation WSW-ENE des sifs, peu de sifs présentant une orientation différente. La direction des normales à la corde est donc similaire à celle qu'indiquent les "chaudrons".

7. CONCLUSION

La détection automatique des traits structuraux sur une sous-scène SPOT de 800x800 pixels couvrant une partie de la région NE du Grand Erg Occidental, met en évidence l'orientation privilégiée que présentent les deux différents types de formation rencontrés. Les résultats obtenus soulignent la similitude de ces directions, et apportent au thématicien un élément d'information non supervisé permettant de tracer l'esquisse structurale de la région, voire de définir les facteurs génétiques.

8. REMERCIEMENTS

Ce travail représente une partie des résultats acquis lors du stage effectué au Laboratoire de Géologie Géomorphologie Structurale et Télédétection, UPCM Paris VI, dans le cadre de la bourse d'excellence de l'UREF attribuée à Hind TAUD. Par ailleurs, nous remercions Monsieur Yan Callot qui a bien voulu nous fournir l'image sur laquelle nous avons testé la méthode, en vue d'élargir ultérieurement la région étudiée dans le cadre d'une recherche thématique couvrant l'Erg Occidental et associant Messieurs Y. Callot (Paris VI), A. Simonin (Imagéo) et Madame C. Méring (ORSTOM).

REFERENCES

- CALLOT, Y., 1991. Histoire d'un massif de dunes, le Grand Erg Occidental (Algérie). *Sécheresse*, n° 2, p. 26-39.
- FREEMAN, H. and DAVIS, L.S., 1977. A corner-finding algorithm for chain coded curves. *IEEE Trans. Comput.*, vol C-26, p. 297-303.
- HARALICK, R.M., 1979. Statistical and structural approaches to texture, *Proc of the IEEE*, vol 67, n° 5, p.786-804.
- 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. Connexion Directionnelle de Contours. Quatrièmes journées scientifiques du Réseau de Télédétection de l'UREF, Québec.
- SCHOWENGERDT, R.A., 1983. Techniques for image processing and classification in Remote Sensing. Academic Press Ed, London/New-York, 249 p.
- TAUD, H. and PARROT, J.-F. 1991a. Detection of circular structures on satellite images. *Int. J. Remote Sensing*, (in press).
- TAUD, H. and PARROT, J.-F., 1991b. Analyse numérique des formes sub-circulaires sur les images satellitaires. in "Caractérisation et suivi des milieux terrestres en régions arides et tropicales", 11èmes Journées de Télédétection, Bondy (4 au 6 décembre 1990), Editions de l'ORSTOM, Collection "Colloques et Séminaires", Paris (1991), p. 293-329.
- THOMAS, S.M. and CHAN, Y.T., 1989. A simple approach for the estimation of circular arc center and its radius. *Computer Vision, Graphics and Images Processing*, n° 45 ,p. 362-370.

LEGENDE DES FIGURES

Fig. 1.— Sous-scène SPOT panchromatique (800 × 800) de la région étudiée.

Fig. 2.— Différentes formations dunaires du Grand Erg Occidental (in Y. Callot, 1990)

a: Carte schématique de la région.

b: Les deux types de formations.

Fig. 3.— Traitements sur les "chaudrons".

a: Résultat de l'itération d'un filtre passe-bas sur l'image 1a.

b: Ensembles des structures détectées.

c: Sélection des structures semi-circulaires par les paramètres discriminants (cf. texte).

d: Rosace des directions des normales à la corde.

Fig. 4.— Traitements sur les "sifs".

a: Application sur l'image 1a d'un filtre d'Haralik.

b: Connexion des contours appliquée à l'image 3a.

c: Application de la méthode ADONIS. Visualisation des contours, des cordes et des normales à la corde.

d: Rosace des directions des normales à la corde.

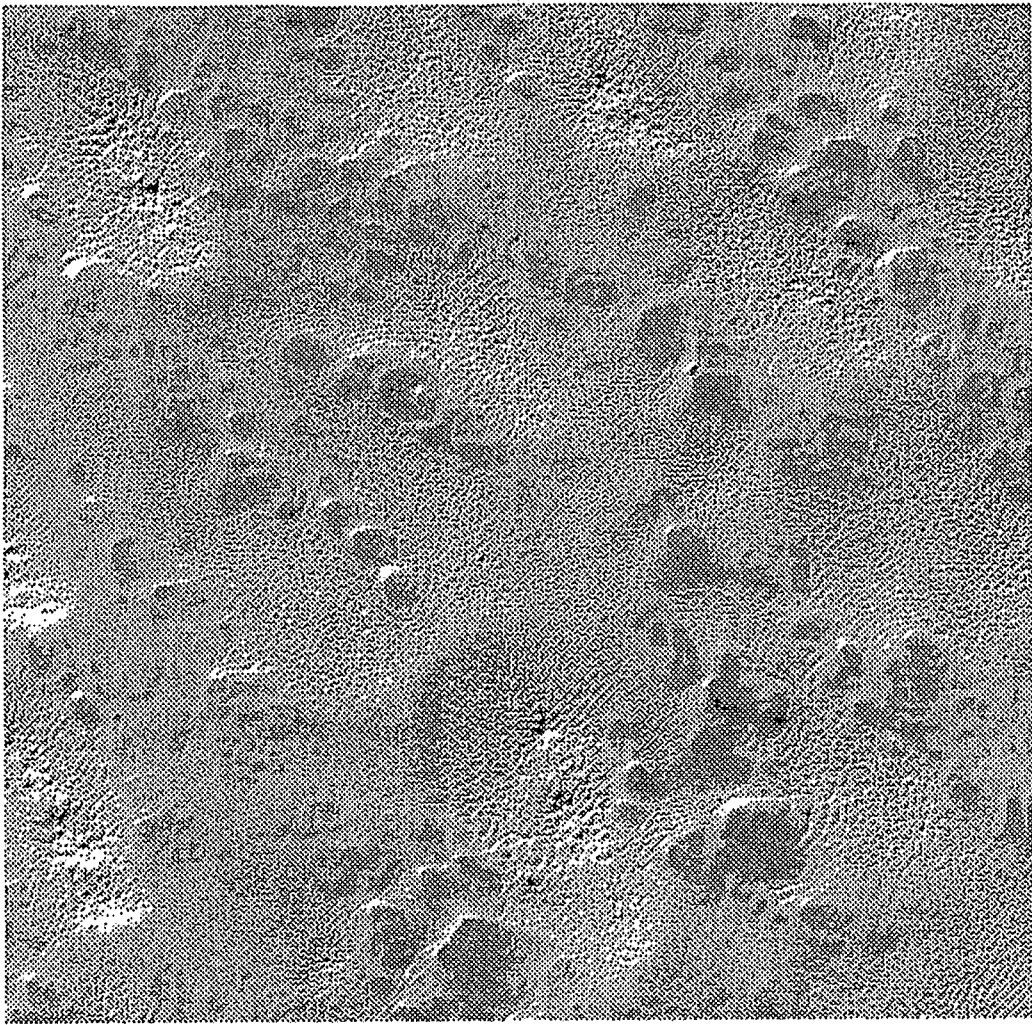
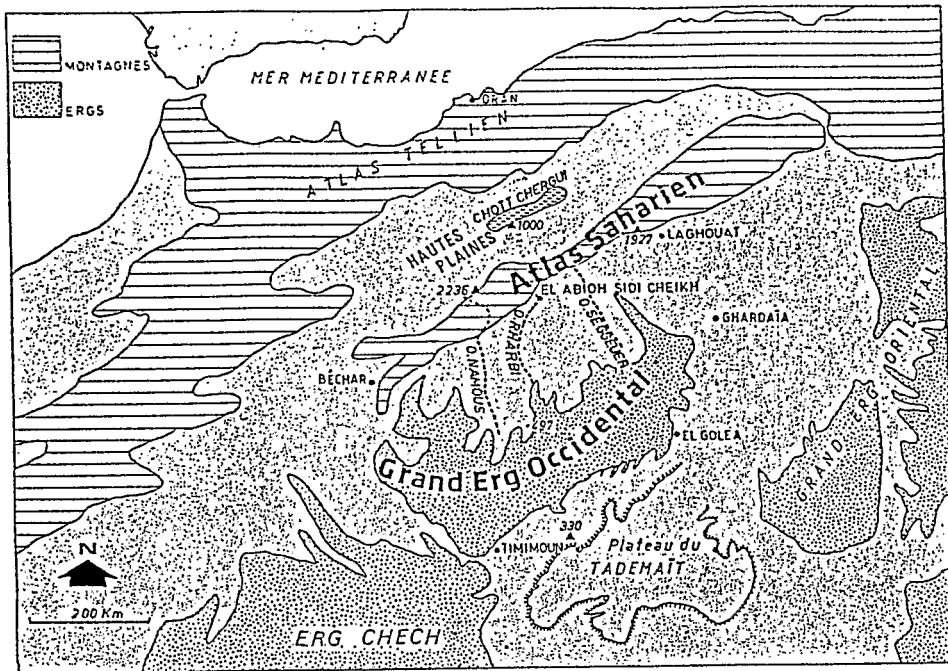
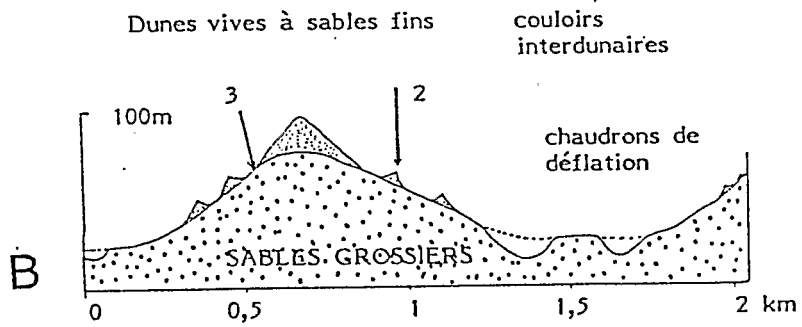


Fig. 1

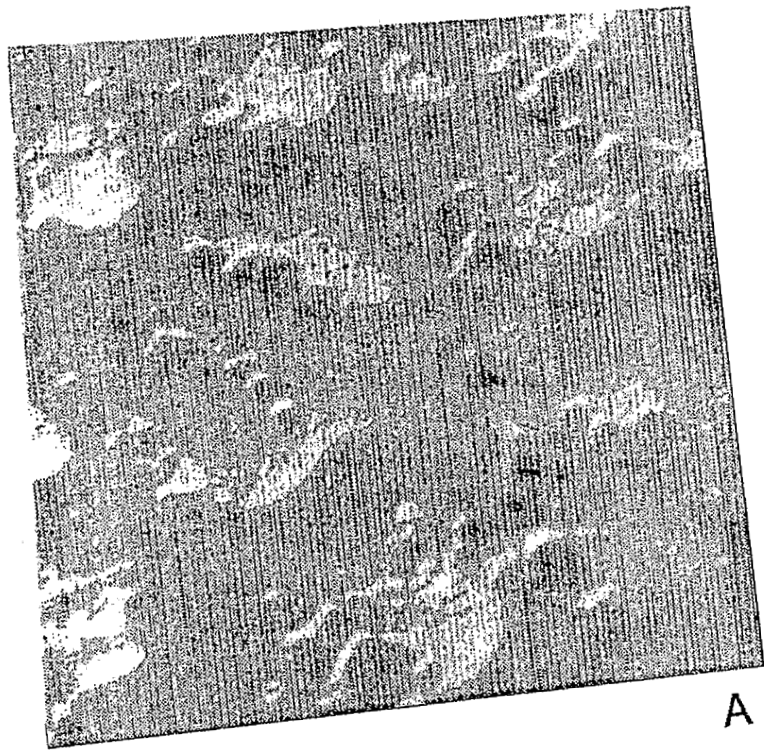


A

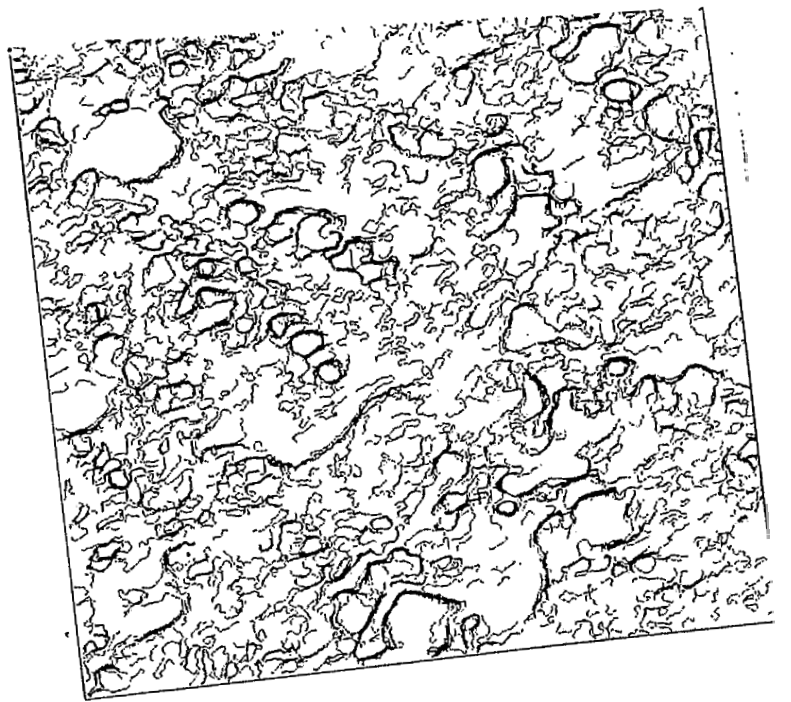


B

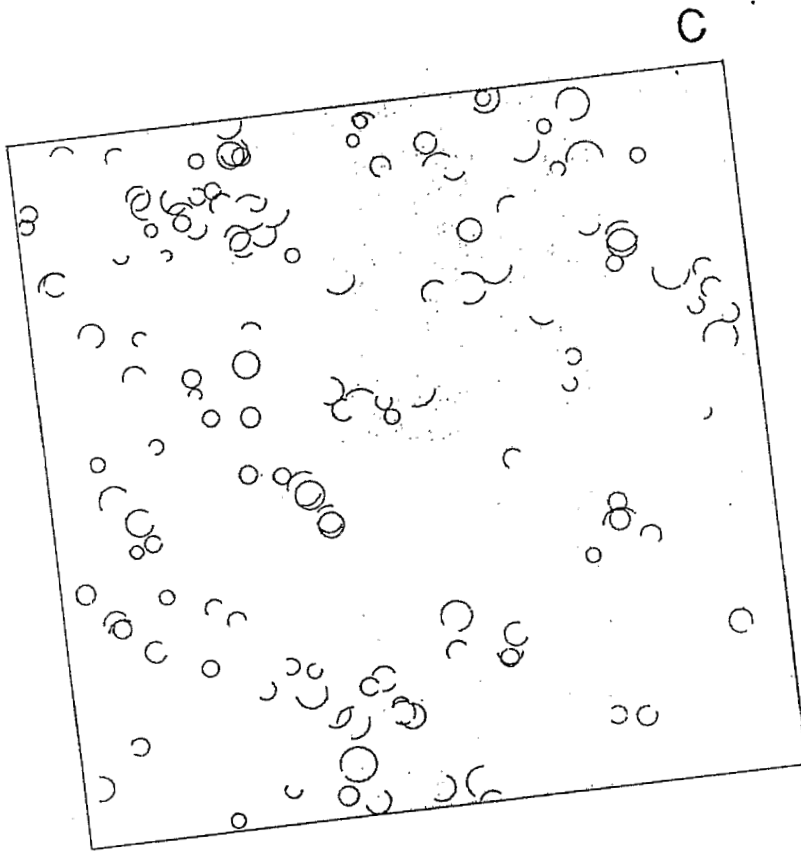
Fig. 2



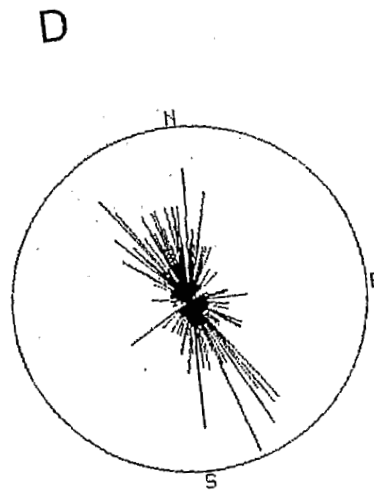
A



B

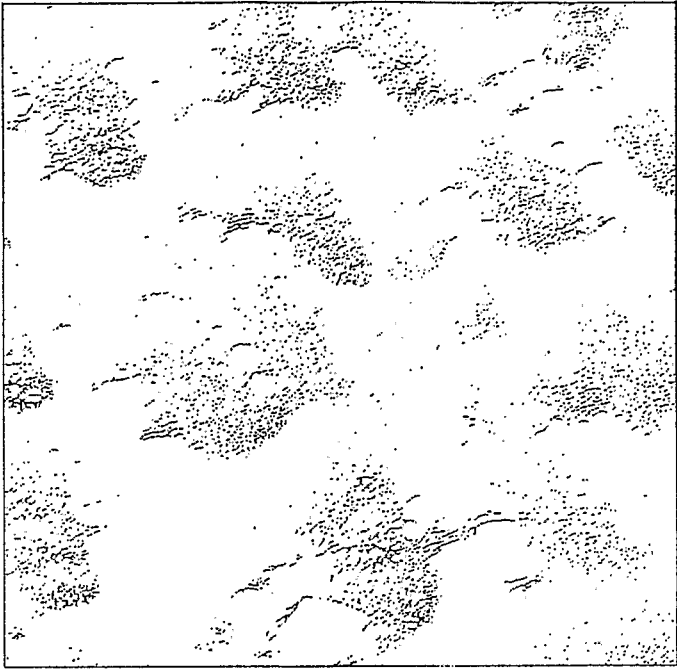


C

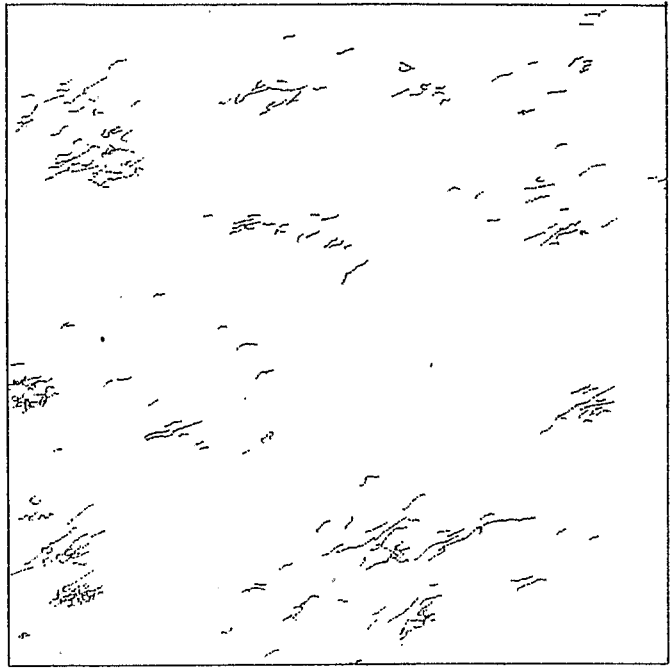


D

Fig. 3

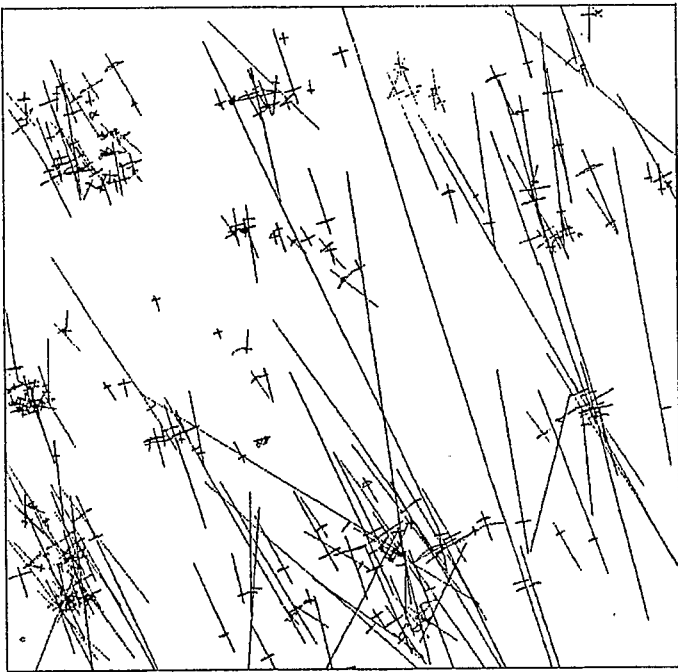


A



B

C



D

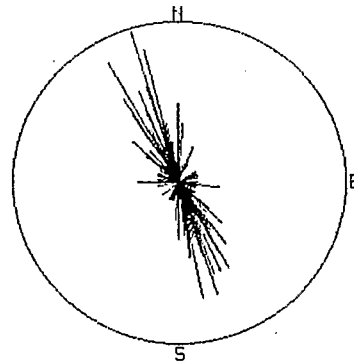


Fig. 4