

CARACTERISATION QUANTITATIVE DE L'ORGANISATION SPATIALE DES AIRES DE LIGNEUX EN MILIEU SAHELIEU A PARTIR DES IMAGES SATELLITAIRES SPOT

Christine JACQUEMINET

INTRODUCTION

Cette étude a pour objet d'analyser la dynamique du couvert végétal en milieu Sahélien par le biais d'un indicateur perceptible sur images satellitaires et quantifiable: l'organisation spatiale des ligneux. L'idée de base de cette recherche, avant tout d'ordre méthodologique, s'appuie sur des observations faites sur l'évolution du couvert végétal en milieu dunaire Sahélien au cours des trois dernières décennies. Suite aux déficits pluviométriques récurrents, on a observé le passage d'un mode diffus de la répartition des ligneux à un mode contracté, qui s'est concrétisé par une dénudation du sommet des ondulations dunaires et une concentration des ligneux dans les dépressions. Cette contraction résulte de l'inégale résistance de certaines espèces ligneuses vis à vis d'une sécheresse accentuée et d'une pression humaine croissante, elle s'opère différemment selon les conditions topo-édaphiques des milieux considérés (Courel, 1984). Ces modifications de l'organisation spatiale du couvert ligneux ont été largement décrites, sans avoir été mesurées.

Notre objectif consiste à mettre au point à partir des images satellitaires à forte résolution, des descripteurs quantitatifs de la répartition spatiale des ligneux. Ces descripteurs pouvant être utilisés par la suite pour des mesures systématiques et permettre ainsi des comparaisons spatiales et temporelles de la dynamique du couvert ligneux en milieu Sahélien. Nous ne considérons que la végétation ligneuse car la couverture herbacée variant d'une année sur l'autre en fonction de l'importance des pluies et de leur distribution dans le temps, ne peut être un bon indicateur à moyen terme de la dynamique du milieu.

I. AIRE D'ETUDE

I.1. La région d'Oursi

L'étude a pour terrain d'expérimentation le secteur dunaire situé au nord de la mare d'Oursi dans le nord du Burkina Faso. Cette région appartient au domaine semi-aride, le total des pluies est inférieur à 350 mm/an. Le paysage d'Oursi se compose d'une vaste pénéplaine, recouverte de cordons dunaires orientés E-W, séparés par des plaines interdunaires nappées de dépôts sableux éoliens où localement des formations cuirassées affleurent. Cet ensemble est colonisé par une steppe arbustive et arborée, comprenant une strate arbustive lâche (*Balanites aegyptiaca*, *Combretum glutinosum*, *Pterocarpus lucens*, *Guiera senegalensis*...) et une strate herbacée composée principalement d'espèces annuelles à cycle court (*Cenchrus biflorus*, *Schoenfeldia gracilis*, *Aristida mutabilis*...). La densité des herbes, arbres et arbustes est très variable, d'une façon générale elle est plus forte dans les secteurs éloignés des mares et des villages. La région d'Oursi est avant tout une région à vocation pastorale. Elle est occupée par des sédentaires et des nomades, pratiquant la culture du petit mil sur les sols dunaires ou sur les sols hydromorphes de la mare d'Oursi (Courel, 1984). Suite aux grandes sécheresses qui se sont succéder depuis 1973, les populations nomades ont tendance à se sédentariser, contribuant ainsi à accroître les surfaces cultivées et à augmenter le pâturage des terrains proches de la mare d'Oursi (Barral, 1977). Cette forte pression anthropique, surtout à proximité des villages, conjuguée à des conditions climatiques défavorables se traduit sur un petit espace, par une forte différenciation des modes d'organisation spatiale du couvert ligneux entre et au sein des mêmes unités topographiques (fig 1).

I.2. Description du couvert ligneux au sol et sur l'image

Sur l'aire étudiée, nous avons distingué quatre types d'organisation spatiale ou de texture du couvert ligneux perceptibles sur l'image satellitaire:

- sur les cordons dunaires, les ligneux s'organisent en bosquets dans les creux intradunaires ou sur les flancs des dunes,
- sur les accumulations éoliennes des espaces interdunaires, ils s'organisent en gros agrégats de forme plus ou moins allongée et largement espacés, ou au contraire, en petits fourrés peu espacés ayant vu du dessus une texture mouchetée, dans la suite de l'exposé, cette texture est appelée brousse mouchetée,
- sur les affleurements cuirassés des espaces interdunaires, la formation végétale rencontrée est une brousse tigrée (alternance régulière de petites bandes boisées et de petites bandes nues).

Sur l'image satellitaire SPOT du 17/12/86, les aires couvertes en ligneux apparaissent par le biais de taches sombres de forme, de taille et d'espacement variables. Leur réponse spectrale est influencée par les ligneux d'une part, mais aussi par la litière, les herbacées sèches, un sol plus humifère, plus argileux et rugueux et parfois humide... Les changements qui affectent le couvert ligneux sont perceptibles et mesurables sur l'image satellitaire, par le biais des variations de ces formes.

Pour analyser la répartition des ligneux sur images SPOT, nous avons choisi d'utiliser une image de saison sèche où les ligneux encore chlorophylliens se discriminent bien spectralement des herbacées sèches.

L'étude comporte deux étapes:

- dans une première étape, on délimite les aires couvertes en ligneux à l'aide d'une classification multispectrale,
- puis, sur des échantillons extraits de l'image classée, on caractérise quantitativement la répartition spatiale des ligneux à l'aide de descripteurs morphologiques.

II. DELIMITATION DES AIRES DE LIGNEUX

Pour délimiter les aires couvertes en ligneux, nous effectuons une classification supervisée à partir des critères spectraux à l'aide de la *méthode de discrimination non paramétrique* (Celeux, 82). Il s'agit d'une méthode probabiliste permettant de partitionner l'ensemble des pixels de la scène en les affectant à l'une des classes déterminées a priori. Cette méthode opère la segmentation des variables quantitatives qui discriminent au mieux les classes déterminées a priori. La méthode de base repose sur une discrimination en deux classes d'une variable quantitative, généralisée à plusieurs classes et plusieurs variables (Mering, 1988). Les variables utilisées sont les canaux bruts, l'indice de végétation ($IVGV = \frac{XS3 - XS2}{XS3 + XS2}$) et la première composante de l'analyse en composantes principales de Karhunen-Loève des trois bandes spectrales. L'image est partitionnée en quatre classes correspondant aux différents composants du paysage ayant une réponse spectrale propre: la végétation ligneuse, les sols sombres, les sols clairs, l'eau. Cette classification est validée à l'aide de parcelles de contrôle déterminées d'après des photographies aériennes et la vérité-terrain. Puis l'image classée est binarisée, nous ne conservons que la classe "végétation ligneuse". Cette image binaire est assimilée à un ensemble unique que l'on appelle X (fig 2).

Il convient de souligner, qu'en raison de l'extrême fractionnement du couvert ligneux et de ses limites plus ou moins diffuses, la discrimination spectrale des aires ligneuses s'est révélée difficile. En comparant le résultat de la classification avec la composition colorée calculée à partir des trois bandes spectrales, on constate que localement, la végétation ligneuse est ou surestimée, ou sous-estimée en fonction de son taux de recouvrement et des caractéristiques radiométriques de son environnement, néanmoins la texture du couvert est conservée.

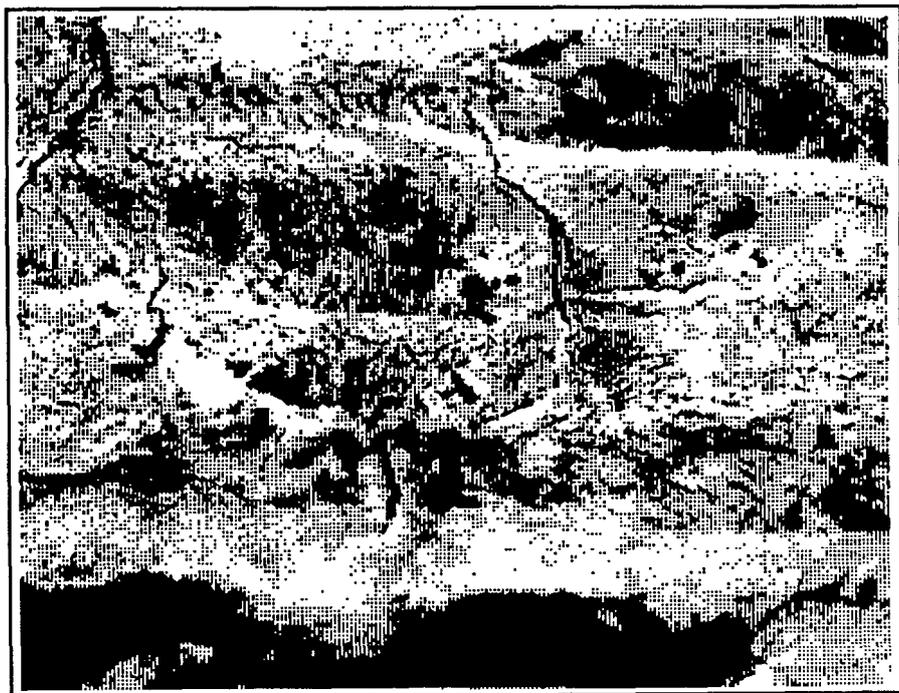


Figure 1: composition colorée extraite de l'image SPOT du 17/12/86



Figure 2: la classe "végétation"

III. CARACTERISATION QUANTITATIVE DES FORMES D'ORGANISATION SPATIALE DU COUVERT LIGNEUX

L'image binaire obtenue à l'étape précédente est subdivisée en quadrats-test de 85/85 pixels sur lesquels on calcule des indices texturaux mis au point à l'aide des outils de la *morphologie mathématique*. La *granulométrie par ouverture* permet de mesurer la distribution de la taille des unités de ligneux et la *covariance* d'évaluer la répartition relative des unités de ligneux par rapport aux espaces non couverts en ligneux.

La méthode est illustrée sur des échantillons représentatifs des quatre types d'organisation spatiale du couvert ligneux distingués auparavant:

- les tigrures des espaces interdunaires (fig. 3),
- les bosquets subcirculaires des cordons dunaires (fig. 7),
- la brousse mouchetée des espaces interdunaires (fig. 11),
- les gros agrégats des espaces interdunaires (fig. 15).

Ces échantillons ont été grossis trois fois, pour conserver une certaine homogénéité de la texture du couvert ligneux au sein de chaque échantillon, la taille des fenêtres étant fixée à 256/256 pixels.

III.1. Distribution de la taille des unités de ligneux

La *granulométrie par ouverture* consiste à transformer l'image par ouvertures successives à l'aide d'un élément structurant convexe de taille croissante. A chaque opération, les éléments connexes de taille inférieure à celle de l'élément structurant sont éliminés, à la manière d'un tamisage dont la taille des pores croît. Le calcul de la surface et du nombre d'éléments éliminés à chaque ouverture permet d'évaluer la distribution de la taille des unités de ligneux de chaque échantillon. On calcule $G(n)$ la distribution de taille en surface et $F(n)$ la distribution de taille en nombre à l'aide des formules suivantes:

$$G(n) = \frac{\{A(X) - A(X_{B(n)})\}}{A(X)} \quad n \geq 0$$

$$F(n) = \frac{\{N(X) - N(X_{B(n)})\}}{N(X)} \quad n \geq 0$$

où:

$A(X)$ est la surface de X ,

$N(X)$ est le nombre d'entités connexes de X ,

$X_{B(n)}$ est l'ouvert de X par l'élément structurant hexagonal B de taille n

Les courbes de la distribution de taille représentent le nombre de pixels et de particules connexes de pixels éliminés à chaque accroissement du rayon de l'ouverture. Plus la pente des courbes est forte et plus la proportion de petites particules au sein de l'échantillon est importante.

On peut également évaluer la densité granulométrique en surface $g(n)$ et en nombre $f(n)$ à l'aide des formules suivantes:

$$G(n) = \frac{\{A(X_B(n)) - A(X_B(n+1))\}}{A(X)} \quad n \geq 0$$

$$F(n) = \frac{\{N(X_B(n)) - N(X_B(n+1))\}}{N(X)} \quad n \geq 0$$

Le calcul de la densité granulométrique permet d'évaluer la proportion en surface ou en nombre de pixels et particules connexes éliminés entre deux ouvertures successives de rayon respectif n et $n+1$. Les pics des courbes mettent en évidence une ou plusieurs classes de taille de particules au sein de chaque échantillon.

Ces deux indices nous permettent de distinguer trois types de granulométrie des unités du couvert ligneux sur le site d'Oursi:

- une granulométrie très fine, les courbes granulométriques G et F ont une pente très raide et leur tracé est presque confondu. Le pic des courbes de densité granulométrique g et f indique une classe de taille de grains. C'est l'exemple de la brousse tigrée (fig. 4 et 5).
- une granulométrie fine mais plus hétérogène, la pente des courbes granulométriques G et F est plus douce et l'espace entre les deux courbes croît, mettant ainsi en évidence un nombre important de petites particules et une distribution de la surface des grains plus hétérogène. Le tracé parallèle des deux courbes granulométriques G et F met en évidence une relative équirépartition du nombre de particules par taille de grains. Les pics des courbes de densité granulométrique g et f indiquent deux à trois classes de taille de grains. C'est le cas des bosquets dunaires (fig. 8 et 9) et de la brousse mouchetée (fig. 12 et 13).
- et enfin, une granulométrie à distribution de taille hétérogène, dans le cas des gros agrégats (fig. 16 et 17). Elle se caractérise par une pente des courbes granulométriques G et F plus faible et un espacement entre ces deux courbes plus grand. Les pics des courbes de densité granulométrique G et F mettent en évidence plusieurs classes de tailles de grains. Leurs tracés se différencient davantage, soulignant ainsi l'existence d'un grand nombre de petites particules et celle de particules à grande surface.

III.2. Mesure de l'état de dispersion des unités de ligneux

La *covariance* consiste à transformer l'image par érosions successives à l'aide d'un bipoint d'espacement croissant et d'orientation donnée. A chaque opération, on évalue la surface de l'ensemble ainsi transformé. On définit la covariance $C(X, h, \alpha)$ de la manière suivante:

$$C(X, h, \alpha) = \frac{A(E^{h\alpha}(X) \cap (E^{h\alpha}(Z)))}{A(E^{h\alpha}(Z))}$$

où:

Z est le masque de mesure,

$A(X)$ est la surface de X ,

$E^{h\alpha}(X)$ est l'érosion de X par un bipoint de longueur h et d'orientation α .



Figure 3: brousse tigrée des espaces interdunaires

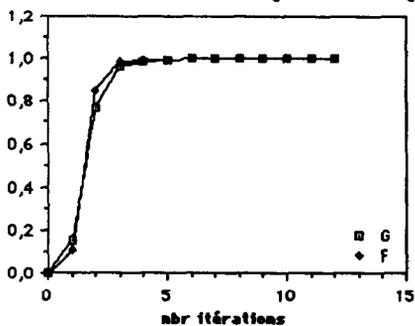


Figure 4: distribution de la taille en surface(G) et en nombre(F)

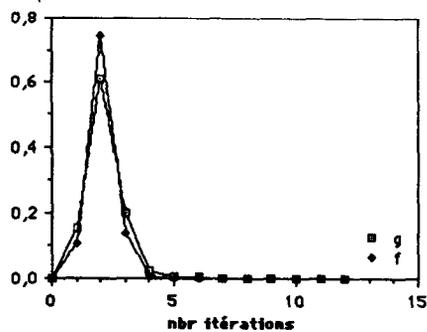


Figure 5: densité granulométrique en surface(g) et en nombre(f)

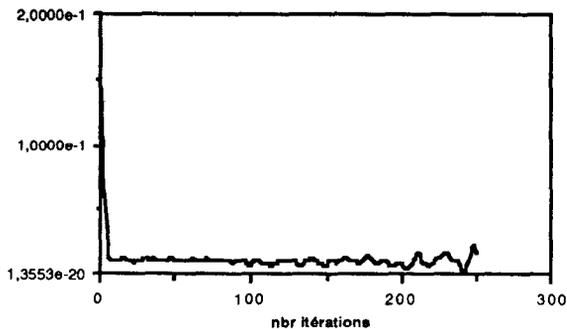


Figure 6: covariogramme

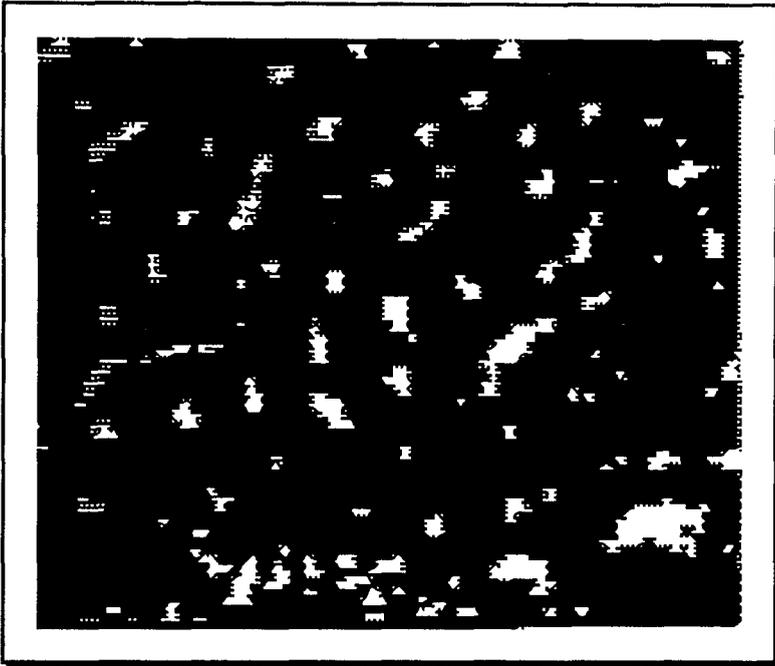


Figure 7: bosquets des cordons dunaires

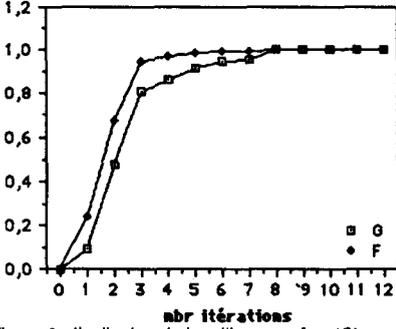


Figure 8: distribution de la taille en surface(G) et en nombre(F)

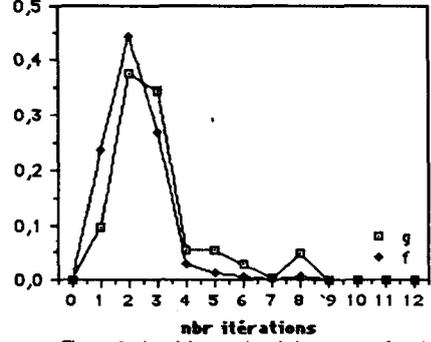


Figure 9: densité granulométrique en surface(g) et en nombre(f)

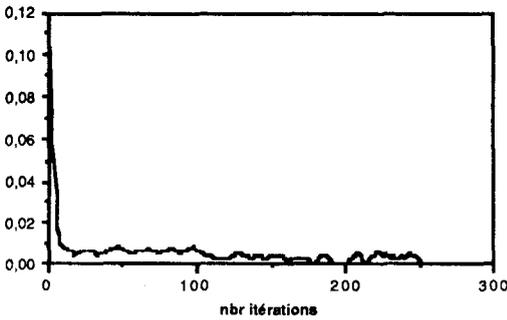


Figure 10: covariogramme

La courbe du covariogramme traduit l'état de dispersion des éléments de l'échantillon dans la direction étudiée:

- La valeur à l'origine du covariogramme est d'autant plus élevée que la surface de l'échantillon est importante. Cette valeur nous permet de mesurer le taux de recouvrement du couvert ligneux de chaque échantillon. Sur les échantillons observés ici, celui-ci est minimal pour les bosquets dunaires (fig. 10) et maximal pour la brousse mouchetée (fig. 14).
- La pente du covariogramme est d'autant plus forte que la structure est fine. C'est le cas de la brousse tigrée constituée de petites particules (fig. 6), à l'inverse la pente du covariogramme des gros agrégats est plus douce (fig. 18).
- Des oscillations régulières du covariogramme traduisent l'existence d'une périodicité dans la structure étudiée. La hauteur et l'amplitude des oscillations indiquent respectivement le diamètre horizontal moyen des éléments connexes et la distance moyenne qui les sépare dans la direction étudiée. Les covariogrammes mettent en évidence plusieurs types de texture du couvert ligneux dans la direction horizontale:

La courbe presque plate du covariogramme mesuré sur l'échantillon de la brousse tigrée met en évidence le fractionnement de la texture du couvert ligneux, caractérisée par de petites unités peu espacées (fig.6).

Le covariogramme calculé sur l'échantillon des bosquets dunaires indique une taille de particules supérieure à celles de la brousse tigrée, la régularité des oscillations met en évidence la périodicité de la répartition des bosquets en liaison avec la morphologie dunaire (fig. 10).

Les oscillations du covariogramme mesuré sur l'échantillon de la brousse mouchetée ont des oscillations d'une amplitude et d'une hauteur plus irrégulière, indiquant ainsi, la plus grande hétérogénéité de taille des particules et leur répartition moins périodique (fig. 14).

Enfin les ondulations du covariogramme mesuré sur l'échantillon des gros agrégats, plus hautes et plus longues soulignent le diamètre et l'espacement plus important des particules (fig. 18).

Ces descripteurs quantitatifs de la texture nous permettent de caractériser quantitativement différents types de couvert ligneux discontinu. Ultérieurement, nous envisageons d'étudier le caractère discriminant de ces indices texturaux sur l'ensemble de l'image par l'intermédiaire d'échantillons jointifs et d'effectuer une typologie des différents types de couvert ligneux discontinu, en liaison avec les unités topo-édaphiques.

CONCLUSION

Cette étude propose une méthode d'analyse d'images pour caractériser quantitativement les différentes formes d'organisation spatiale du couvert ligneux discontinu et suivre sa dynamique en liaison avec les unités topo-édaphiques et les conditions climatiques et anthropiques qui affectent le milieu. Cette méthode utilise à la fois, les données spectrales et les informations morphologiques contenues dans l'image satellitaire.

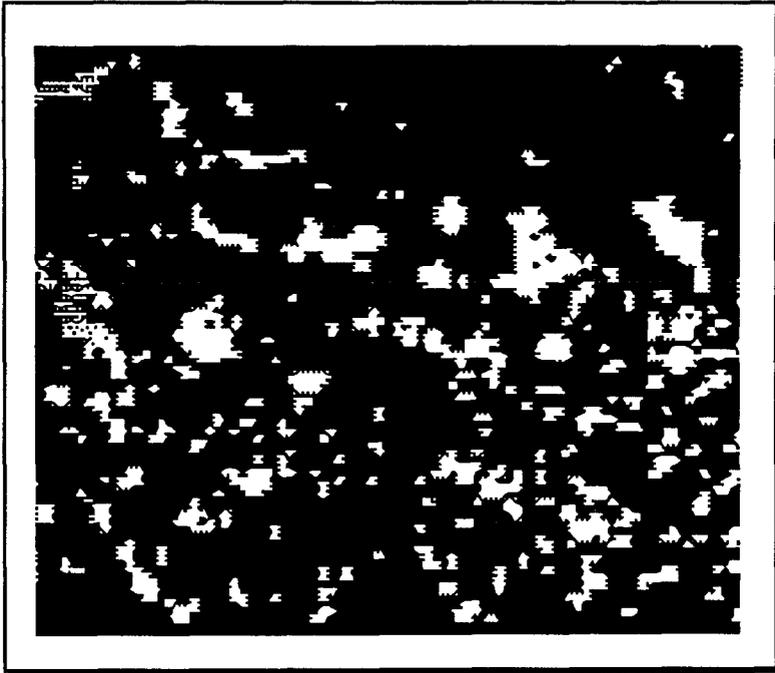


Figure 11: brousse mouchetée et des espaces interdunaires

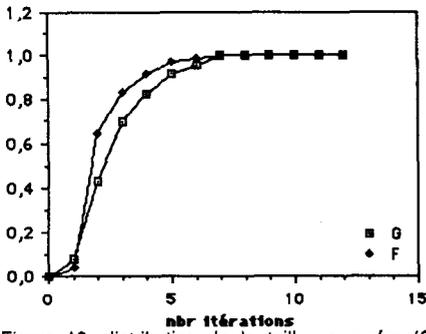


Figure 12: distribution de la taille en surface(G) et en nombre(F)

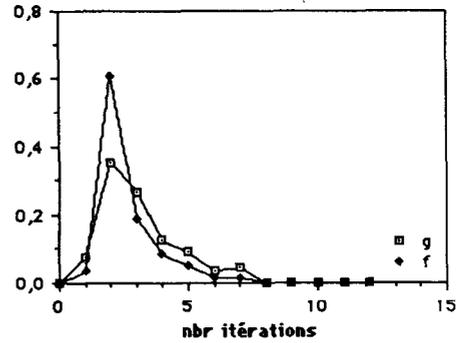


Figure 13: densité granulométrique en surface(g) et en nombre(f)

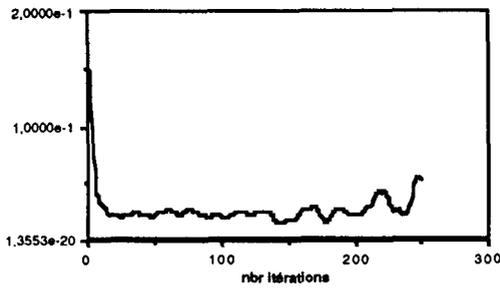


Figure 14: covariogramme

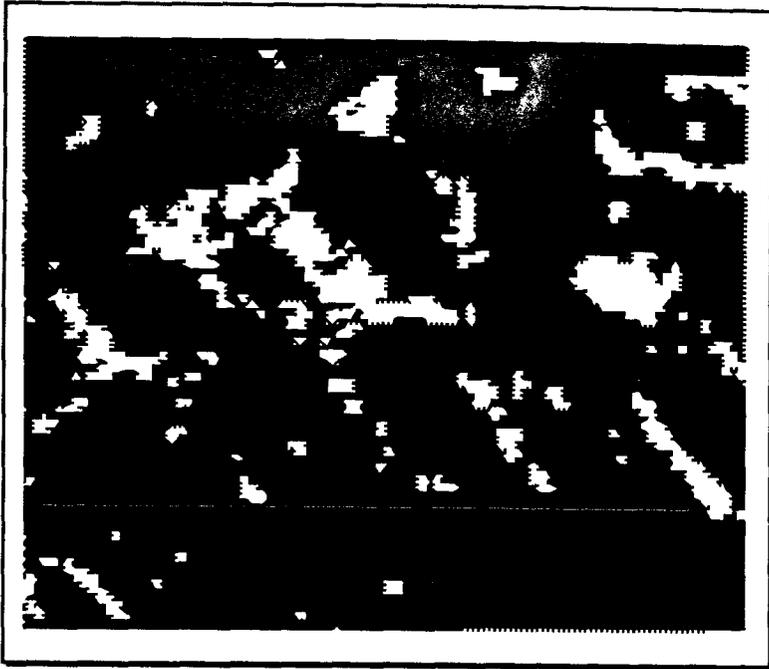


Figure 15: gros agrégats des espaces interdunaires

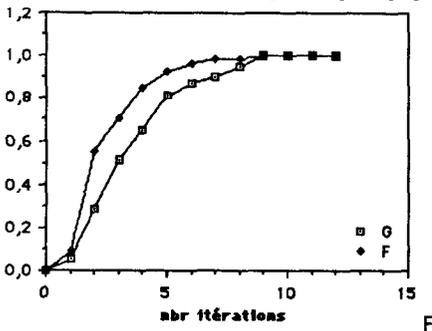


Figure 16: distribution de la taille en surface(G) et en nombre(F)

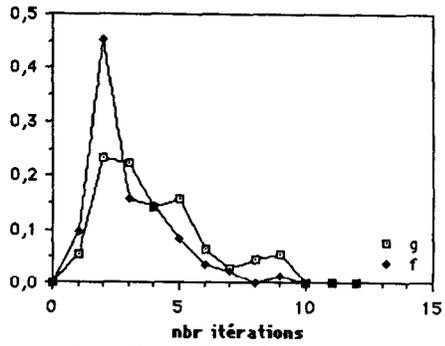


Figure 17: densité granulométrique en surface(g) et en nombre(f)

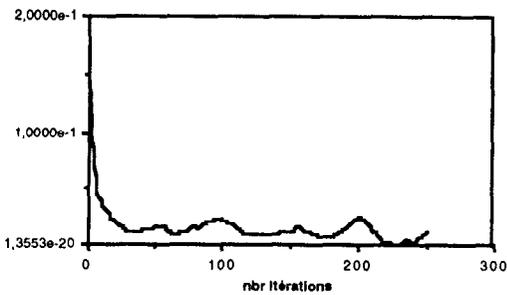


Figure 18: covariogramme

BIBLIOGRAPHIE

- BARRAL H., 1977_ Les populations nomades de l'Oudalan et leur espace pastoral. Travaux et documents de l'ORSTOM n°77, 119 p.
- CELEUX G., LECHEVALLIER Y., 1982_ Méthodes de segmentation non paramétrique. Revue de statistique appliquée, vol. XXX, n°4, pp39-53
- COSTER M., CHERMANT J.L., 1985_ Précis d'analyse d'images. Editions du C.N.R.S., Paris, 521 p.
- COUREL M.F., 1984_ Etude de l'évolution récente des milieux Sahéliens à partir des mesures fournies par les satellites. Thèse de doctorat d'Etat, Paris I, 407 p.
- MERING C., PONCET Y., JACQUEMINET C., RAKOTO-RAVALONTSALAMA M., 1987_ Quantitative description of dénudation forms in the western African Sahel. Advances space research, 7(3), Pergamon Press, London, pp31-39
- MERING C., JACQUEMINET C., 1988_ Use of SPOT satellite images for inventory and follow-up of ligneous resources in the Sahel. Proceedings of the 22th E.R.I.M. symposium for remote sensing, october 20-26, 1988, Abidjan, 15 p. (à paraître)
- SERRA J., 1982_ Image analysis and mathematical morphology. Academic Press, London, 610 p.