

METHODE POUR UN DIAGNOSTIC DU COUVERT VEGETAL EN MILIEU SAHELIEEN SUR IMAGES SPOT, A L'AIDE D'UN INDICATEUR : LA STRUCTURE SPATIALE DU COUVERT LIGNEUX

JACQUEMINET CH. ¹

RESUME

Les milieux sableux sahéliens sont colonisés par une steppe arborée et arbustive caractéristique par l'irrégularité de sa distribution spatiale. Les arbres et les arbustes forment localement des groupements de ligneux, en étroite relation avec les conditions topo-édaphiques des milieux dunaires. La distribution dans l'espace et l'extension spatiale des groupements de ligneux s'effectuent différemment des bandes dunaires aux espaces interdunaires et au sein des mêmes unités géomorphologiques. Ces variations de la distribution spatiale du couvert ligneux contracté au sol se traduisent sur les images satellitaires par le biais de différentes structures.

L'objet de ce travail est de proposer une méthode de caractérisation quantitative de la structure spatiale du couvert ligneux sur images satellitaires, que nous analysons en tant qu'indicateur de l'état du couvert végétal en milieu sahélien. L'étude s'applique à la région d'Oursi au Burkina Faso et à la région du Ferlo sableux au Sénégal.

La méthode développée à partir des images satellitaires, comporte deux phases:

- *la caractérisation des principales unités du paysage et l'identification des groupements de ligneux à l'aide d'une classification multispectrale non dirigée,*
- *l'analyse des structures du couvert ligneux, à l'aide de paramètres quantitatifs mesurant la taille et l'espacement des groupements de ligneux, empruntés aux outils de la morphologie mathématique.*

La mise en relation de l'analyse des structures du couvert ligneux et des caractéristiques radiométriques des différentes unités du paysage, nous permet de saisir de quelle façon, la structure spatiale du couvert ligneux traduit l'état et la dynamique du couvert végétal et d'en dresser un diagnostic sur les sites étudiés.

¹ORSTOM 70-74, route d'Aulnay 93140 Bondy

INTRODUCTION

La végétation typique des régions sahéliennes est la steppe arborée et arbustive, caractéristique par la discontinuité de sa couverture. Dans ces régions, où l'apport pluviométrique est le facteur déterminant, la croissance et la répartition spatiale des végétaux et notamment des arbres et des arbustes, sont étroitement liées aux ressources hydriques, qui varient en fonction de la topographie et des sols (nature, épaisseur, texture). Des observations faites sur l'évolution du couvert végétal en milieu dunaire sahélien, au cours de ces trois dernières décennies, ont montré le passage d'un mode diffus de la répartition des ligneux à un mode contracté, sous l'effet de déficits pluviométriques récurrents (Courel, 1984, De Wispelaere, 1980, Poupon, 1980). Cette tendance à la contraction s'est concrétisée par une dénudation du sommet des ondulations dunaires et une concentration des ligneux en bosquets denses dans les dépressions, où le bilan hydrique des sols est plus favorable. Ces bosquets denses sont bien perceptibles sur les images satellitaires Spot, par le biais de taches de forme et de taille variables dont l'agencement spatial forme des structures.

Notre objectif consiste à mettre au point, à partir des images satellitaires à forte résolution, une méthode de caractérisation quantitative de la répartition spatiale des ligneux. Cette méthode pouvant être utilisée par la suite pour des mesures systématiques et permettre ainsi des comparaisons spatiales et temporelles de la dynamique du couvert ligneux en milieu sahélien.

1. Les régions étudiées :

L'analyse de la structure spatiale du couvert ligneux a été menée sur deux régions du Sahel ouest-africain :

- le secteur dunaire d'Oursi au nord du Burkina Faso,
- le Ferlo sableux au Sénégal (la région couvrant les forages de Mbidi et Tessékéré).

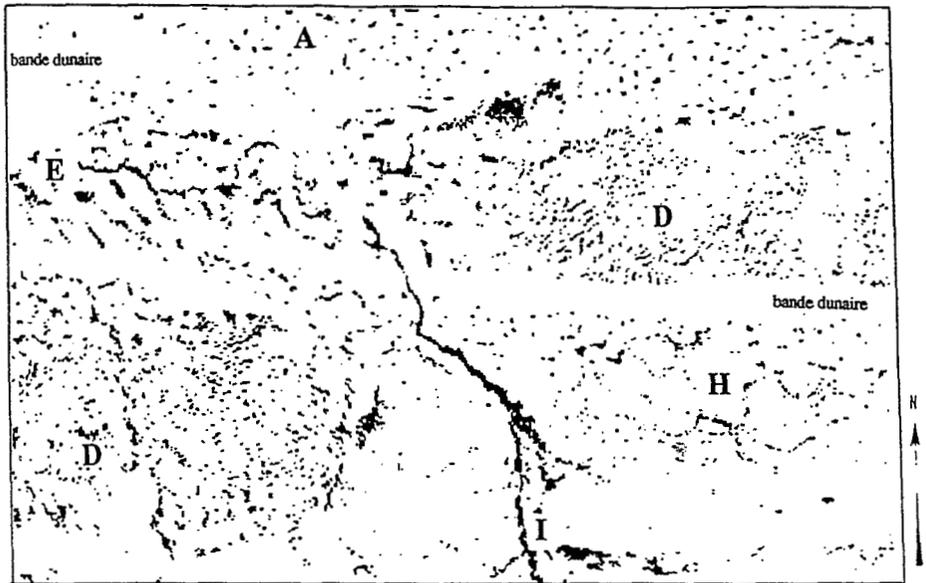
Ces deux régions reçoivent de 350 à 400 mm de pluies par an. Leur mode d'exploitation principal est l'élevage extensif.

1.1. Le secteur d'Oursi :

Le modelé du secteur dunaire d'Oursi est composé d'une succession de bandes dunaires orientées E-W, séparées par de larges plaines interdunaires où localement des formations cuirassées affleurent. L'ensemble du paysage est colonisé par une steppe arborée et arbustive, à l'exception des formations cuirassées où s'étend la brousse tigrée (c'est à dire une alternance de fourrés denses et de zones nues ayant vues du dessus l'aspect d'une peau de tigre). Lors de leur formation, les bandes dunaires ont joué le rôle de barrage sur le réseau hydrographique, favorisant ainsi l'apparition de mares temporaires. Ces mares temporaires constituent aujourd'hui des points d'abreuvement. La concentration des activités humaines (élevage, cultures) à leur périphérie entraîne une forte dégradation du couvert végétal dont témoigne la présence d'un erg vif, situé au nord du village d'Oursi.



Figure 1 : Bosquet sur bande dunaire dans la région d'Oursi



- A : structure punctiforme lâche
- D : structure à petites bandes
- E : structure à grandes bandes
- H : structure à bandes hétérogènes
- I : structure à agrégats

échelle : 0 1 2 km

Figure 2 : Les structures du couvert ligneux sur l'image Spot du site d'Oursi du 17/12/86, classée et binarisée ne contenant plus que les pixels classés en ligneux

1.2. Le Ferlo sableux :

La région dunaire du Ferlo est organisée en une succession de bandes orientées NE-SW séparées par des couloirs interdunaires plus ou moins larges. La partie septentrionale du secteur étudié se caractérise par un modelé confus composé de bandes dunaires orientées NE-SW remodelées en système transverse, auxquelles sont localement surimposés des cordons orientés NNE-SSW. Dans la partie méridionale, les bandes dunaires larges et au sommet aplani sont séparées par des couloirs interdunaires bien marqués, où s'étendent des bosquets denses.

Cette région à vocation pastorale, autrefois exploitée uniquement en saison des pluies, connaît un essor depuis la création de forages dans les années cinquante. Cependant les densités humaines sont faibles et l'état du couvert végétal dans son ensemble est bon, comparativement à d'autres régions du Sahel.

1.3. Les modes d'organisation spatiale des arbres et des arbustes :

Sur ces deux sites, l'organisation spatiale des arbres et des arbustes varie d'une unité géomorphologique à l'autre (bandes dunaires, couloirs interdunaires) :

- sur les bandes dunaires, les ligneux tendent à se concentrer dans les creux intradunaires (Figure 1). Cette organisation est perceptible sur les images par le biais d'une structure punctiforme ;
- dans les couloirs et les plaines interdunaires à recouvrement sableux épais, l'organisation des arbres et des arbustes de type contracté, est perceptible sur les images par des agrégats de forme et de taille variables ;
- et dans les plaines interdunaires à affleurements cuirassés du site d'Oursi, la brousse tigrée se traduit sur les images par une structure en bandes (Figure 2).

Ces modes schématiques d'organisation du couvert ligneux, propres à chaque unité géomorphologique, varient en fonction de la nature des sols, de la topographie, de l'épaisseur des épandages sableux, ... et de l'intensité de l'exploitation du milieu par l'homme.

2. La méthode d'analyse de la structure spatiale du couvert ligneux :

La méthode mise au point ici, consiste à analyser les variations spatiales de la structure du couvert ligneux d'une part, et d'autre part à mettre en relation les différents modes d'organisation spatiale des arbres et des arbustes observés, avec les caractéristiques physiques du milieu, ceci afin de saisir de quelle façon la structure spatiale du couvert ligneux nous renseigne sur l'état du milieu sur les sites étudiés. Elle comprend trois étapes successives :

- 1 - la reconnaissance des différentes unités du paysage dont les groupements de ligneux et la caractérisation de leurs états de surface,
- 2 - l'analyse quantitative des structures du couvert ligneux et de leurs variations spatiales à l'aide d'indices morphologiques,
- 3 - la mise en évidence des facteurs de l'organisation spatiale des ligneux à l'aide d'une mise en relation des caractéristiques radiométriques et physiques des unités du paysage et des structures du couvert ligneux.

2.1 : La reconnaissance des différentes unités du paysage dont les groupements de ligneux :

L'étude est menée à partir d'images Spot enregistrées en début de saison sèche car à cette période de l'année, les ligneux encore en activité chlorophyllienne ont une réponse spectrale qui se discrimine bien de celle du couvert herbacé sec.

La reconnaissance des différentes unités du paysage est obtenue à l'aide d'une classification non dirigée d'après la méthode dite des centres mobiles. Des classifications en nombre croissant de classes sont appliquées à l'image. L'analyse comparative des images classées en nombre croissant de classes, permet de déceler au sein du paysage des secteurs ayant des propriétés spectrales semblables ou proches, que l'on appelle *unité paysagique*.

Chaque unité paysagique est caractérisée par les valeurs moyennes sur les différentes variables (canaux bruts, indice de végétation) de la classe lui correspondant. La comparaison de ces valeurs moyennes avec des mesures spectrales enregistrées au sol, sur les principaux états de surface rencontrés sur chacun des sites étudiés, permet de caractériser les composants des différentes unités du paysage.

Les classifications en nombre croissant de classes, mettent en évidence les pixels correspondant aux groupements de ligneux. Cependant sur chacune d'elles, le nombre de pixels classés en groupements de ligneux varie. Pour déterminer l'image offrant la meilleure représentation des structures du couvert ligneux, chaque image classée est comparée à une image de référence à l'aide d'une opération d'intersection. Sur le site d'Oursi, les images de référence sont des photographies aériennes, sur le site du Ferlo : une image satellitaire d'une autre date. A l'issue du calcul de l'intersection, l'image classée comptant la plus forte proportion de pixels communs avec l'image de référence, est sélectionnée. Cette image est ensuite binarisée, nous ne conservons que les pixels classés en groupements de ligneux. C'est à partir de cette image binaire que l'analyse de la structure spatiale du couvert ligneux est effectuée.

2.2. : L'analyse quantitative des structures du couvert ligneux et de leurs variations spatiales :

Les structures du couvert ligneux sont caractérisées quantitativement à l'aide de deux indices morphologiques empruntés à la morphologie mathématique (Serra, 1982, Coster, 1885) :

- la *granulométrie par ouverture bidimensionnelle*, qui permet de mesurer la taille statistique des particules de pixels connexes correspondant aux groupements de ligneux,
- et la *covariance* qui permet de mesurer la dispersion des particules au sein de l'image

La caractérisation des structures du couvert ligneux est conduite à partir de fenêtres de taille fixe appelées quadrats, composées d'une structure homogène sur la surface étudiée. Ces quadrats ont été délimités au sein de chaque unité géomorphologique. Ils ont une taille de 85/85 pixels.

Le calcul de ces deux indices est illustré sur la figure 3. Le calcul de la granulométrie par ouverture bidimensionnelle, sur trois quadrats de structure ligneuse différente, met en évidence la présence de 1 à 4 classes de taille de bosquets (particules de pixels connexes classés en ligneux) au sein de ces quadrats, chaque pic des courbes correspondant à une classe. Les graphiques se composent de deux courbes : la courbe en sombre indique le nombre de particules correspondant à chaque unité de taille et la courbe en clair, la surface ou le nombre de pixels correspondant aux particules de chaque unité de taille.

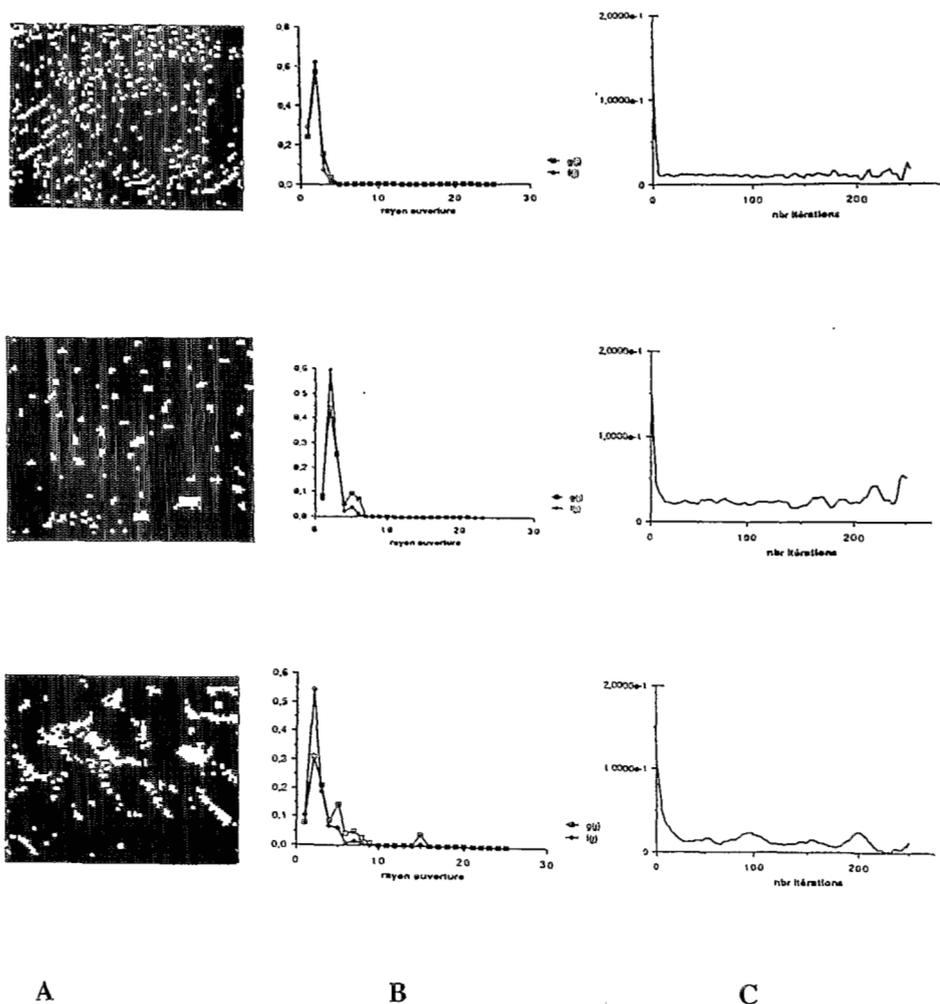


Figure 3 : Illustration du calcul de la granulométrie par ouverture bidimensionnelle (B) et de la covariance (C) sur trois quadrats de structures ligneuses différentes (A)

Le résultat du calcul de la covariance, effectué ici dans la direction horizontale, est illustré à l'aide d'un covariogramme que l'on interprète de la façon suivante : la hauteur des ondulations de la courbe est un indicateur de l'épaisseur moyenne des bosquets ; l'espacement entre deux pics traduit l'espacement moyen des bosquets dans la direction étudiée et la valeur à l'origine renseigne sur la surface relative du quadrat analysé. Ainsi, sur ces trois quadrats de structure ligneuse différente, les covariogrammes mettent en évidence la présence de trois types de structures composées d'une taille de bosquets et d'un espacement croissants du premier au troisième quadrat.

Une fois, la structure de chaque quadrat caractérisée à l'aide de ces deux indices morphologiques, une analyse des variations spatiales des structures du couvert ligneux est menée à l'aide de l'analyse factorielle des correspondances. L'analyse comparative des quadrats permet de dégager une typologie des structures du couvert ligneux propres à chaque unité géomorphologique et met en évidence leurs variations spatiales entre et au sein des mêmes unités.

2.3. La mise en relation des caractéristiques radiométriques et physiques des unités du paysage et des structures du couvert ligneux.

La mise en relation des modes d'organisation du couvert ligneux avec les caractéristiques radiométriques et physiques des unités du paysage a permis de dégager des facteurs de la répartition des arbres et des arbustes au sein de chacun des sites étudiés.

3. Quelques résultats :

Au Ferlo, l'analyse de la structure du couvert ligneux a mis en évidence la présence de deux structures dominantes sur les bandes dunaires : une structure punctiforme composée de gros bosquets dans la partie septentrionale et une structure punctiforme fine dans la partie méridionale.

Sur les images classées, deux ensembles paysagiques apparaissent : le secteur septentrional et le secteur méridional.

Les valeurs moyennes des classes occupant l'ensemble du secteur dunaire septentrional sont élevées sur les trois canaux bruts et faibles sur l'indice de végétation, comparativement aux autres classes analysées sur l'ensemble de l'image (Figure 4).

Sur les images classées de la partie méridionale, on observe la succession de plusieurs classes depuis le centre des bandes dunaires au coeur des espaces interdunaires : les classes correspondant aux bandes dunaires ont de faibles valeurs moyennes sur les trois canaux bruts et des valeurs plus élevées sur l'indice de végétation. Par contre, les valeurs moyennes des classes correspondant aux espaces interdunaires, sont élevées sur les canaux bruts et faibles sur l'indice de végétation (Figure 5).

Des mesures de réflectance faites au sol sur différents états de surface rencontrés sur ce site ont indiqué des valeurs de réflectance élevées sur les trois bandes spectrales du visible et du proche infrarouge, sur les sols sablo-argileux peu couverts de végétation herbacée (Figure 7) et de faibles valeurs sur les sols sablo-argileux recouverts d'un tapis dense d'herbacées sèches (Figure 8).

Les valeurs moyennes des classes distinguées sur les images, par comparaison avec les valeurs de réflectance mesurées au sol, traduisent la prédominance de sols dénudés dans la partie septentrionale. Ce caractère très réfléchissant des sols associés à une structure du couvert ligneux punctiforme composée de gros bosquets, reflètent la forte contraction du couvert dans la partie septentrionale du secteur étudié, où le modelé dunaire est confus et plus mamelonné que dans la partie méridionale.

Dans la partie méridionale, les faibles valeurs moyennes sur les canaux bruts des classes correspondant aux bandes dunaires, traduisent la présence d'une couverture herbacée dense, par comparaison avec les valeurs de réflectance enregistrées au sol sur un tapis herbacé très couvrant. Sur ces bandes dunaires aplanies, l'analyse des structures du couvert ligneux a mis en évidence la prédominance d'une structure punctiforme fine, au sol, nous avons constaté la prédominance du mode diffus des ligneux, les groupements de ligneux sont de petite taille et peu nombreux. Dans les couloirs interdunaires, la structure du couvert ligneux se compose de gros bosquets touffus, qui associée à des classes aux valeurs moyennes élevées sur les canaux bruts et faibles sur l'indice de végétation, traduit la forte contraction du couvert ligneux au sein de ces unités.

Sur le site d'Oursi, la structure spatiale du couvert ligneux est de type punctiforme. L'analyse morphologique indique une taille des bosquets plus grande sur les bandes dunaires septentrionales que sur la bande dunaire méridionale. Sur les images classées, ces deux ensembles dunaires apparaissent dans deux groupes de classes différents :

- Les classes occupant les bandes dunaires septentrionales ont des valeurs moyennes très élevées sur les trois canaux bruts et de faibles valeurs sur l'indice de végétation (Figure 6). Ces valeurs élevées traduisent l'existence d'états de surface très réfléchissants où le couvert ligneux a un mode d'organisation de type contracté.
- Les classes occupant la bande dunaire méridionale ont des valeurs moyennes élevées sur les trois canaux bruts, mais inférieures à celles des bandes dunaires septentrionales, et de faibles valeurs sur l'indice de végétation (Figure 6). Ce comportement spectral est lié à une forte hétérogénéité des états de surface. Sur cette unité, proche des mares temporaires, l'exploitation anthropique entraîne une forte dégradation du couvert végétal, mise ici en évidence par une structure punctiforme fine.

En conclusion, sur le secteur du Ferlo, la structure spatiale du couvert ligneux est directement liée au modelé dunaire. A une topographie dunaire marquée, correspond une organisation spatiale du couvert ligneux de type contracté, par contre sur les bandes dunaires à topographie plus plane du secteur méridional, le mode d'organisation spatiale du couvert ligneux est avant tout diffus. A ce facteur topographique, s'ajoute un gradient pluviométrique, la partie méridionale étant plus arrosée que la partie septentrionale, ce qui favorise le maintien des ligneux sur les versants et les sommets des ondulations dunaires.

Sur le site d'Oursi, on observe aussi une concentration des arbres et des arbustes dans les creux intradunaires. Mais l'intense exploitation anthropique s'exerceant sur la bande dunaire méridionale, entraîne une raréfaction du couvert ligneux dont rend compte la structure.

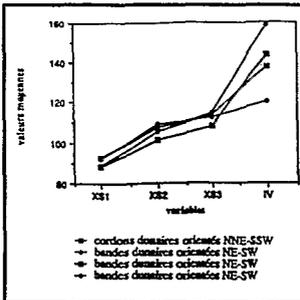


Figure 4 : Les valeurs moyennes des classes des bandes dunaires du secteur septentrional du Ferlo sur les variables XS1, XS2, XS3 et l'indice de végétation (IV), pour la partition en 11 classes de l'image Spot de mai 1988

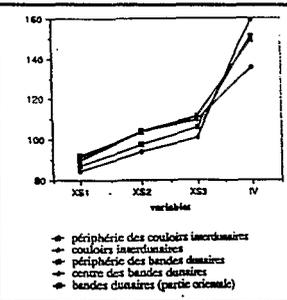


Figure 5 : Les valeurs moyennes des classes des bandes dunaires et des couloirs interdunaires du secteur méridional du Ferlo sur les variables XS1, XS2, XS3 et l'indice de végétation (IV), pour la partition en 11 classes de l'image Spot de mai 1988

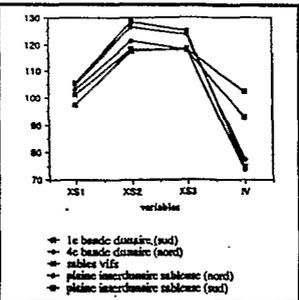


Figure 6 : Les valeurs moyennes des classes des milieux sableux d'Oursi sur les variables XS1, XS2, XS3 et l'indice de végétation (IV), pour la partition à 12 classes de l'image de décembre 86 et pour la partition à 14 classes de l'image de mai 87

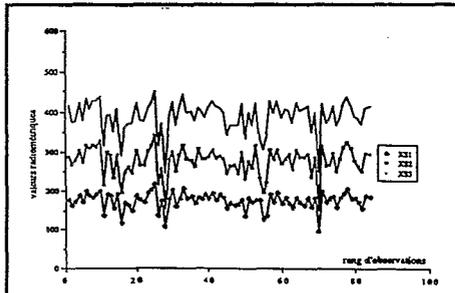


Figure 7 : Transect radiométrique mesuré au sol sur des sols sablo-argileux peu couverts d'herbacées au sommet d'une ondulation dunaire, dans le secteur dunaire septentrional au Ferlo (longueur = 400 m)

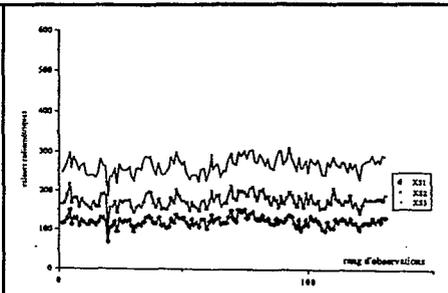


Figure 8 : Transect radiométrique mesuré au sol sur des sols sableux recouverts d'un tapis dense d'herbacées sèches sur bandes dunaires dans le secteur dunaire méridional du Ferlo (longueur = 500 m)

CONCLUSIONS :

La structure spatiale du couvert ligneux constitue bien, en effet, un indicateur de l'état du couvert végétal en milieu sahélien. Cette analyse met en évidence l'étroite relation existant entre la structure spatiale du couvert ligneux et les caractéristiques physiques, notamment topographiques, de son environnement en milieu dunaire.

Les apports de la méthode développée ici sont de deux ordres :

- La caractérisation de la structure d'un couvert végétal discontinu à l'aide de paramètres quantitatifs : les indices morphologiques (granulométrie par ouverture, covariance) utilisés ici, ont apporté une discrimination fine des structures analysées, rendant ainsi compte de leurs variations spatiales.
- Une analyse globale du paysage basée sur l'étude conjointe des données spectrales et des données morphologiques satellitaires : les différentes unités du paysage sont reconnues à l'aide des critères spectraux et leurs états de surface caractérisés par le biais d'une analyse comparative des données radiométriques satellitaires et des mesures spectrales au sol. La mise en relation des caractéristiques structurales du couvert ligneux et des composantes radiométriques et physiques du paysage permet de caractériser l'état global de la couverture végétale et de saisir des facteurs de la répartition des arbres et des arbustes sur les sites étudiés.

Enfin, cette méthode est reproductible. On pressent ici l'intérêt d'utiliser cette méthode pour effectuer des "suivi" dans le temps et saisir ainsi les changements affectant des milieux où la couverture végétale est discontinue.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- COSTER, M., CHERMANT, J.L., 1985. Précis d'analyse d'images. Editions du CNRS, 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, Université Paris I, 407 p.
- COUREL, M.-F., 1985. La contraction de la surface arborée d'après les images Landsat et Spot simulées, signe d'adaptation sahélienne à la sécheresse. Photointerpretation n° 1985-1, p. 9-16.
- DE WISPELAERE, G., 1980. Systèmes de production d'élevage au Sénégal, étude et cartographie de l'évolution de la végétation par télédétection. Rapport IEMVT, 162 p.
- JACQUEMINET, C., 1988. Caractérisation quantitative de l'organisation spatiale des aires de ligneux en milieu sahélien à partir des images SPOT. Images satellites et milieux terrestres en région aride et tropicale, ORSTOM, Bondy, p. 213-224.
- JACQUEMINET, C., MERING, C., PONCET, Y., COUREL, M.-F., 1989. Etude

quantitative des formes d'organisation spatiale du couvert ligneux en milieu sahélien à partir des images satellitaires SPOT. Bulletin de la société française de photogrammétrie et de télédétection, n°114 (1989-2), p. 20-22.

JACQUEMINET, C., MERING, C. Analyse quantitative de la structure horizontale du couvert ligneux en milieu sahélien à partir des images satellitaires SPOT. Table ronde CNRS-CEGET "Apports de la télédétection spatiale à l'étude des paysages et des systèmes agraires tropicaux", 25-27 octobre 1989, Talence (à paraître).

JACQUEMINET, C. Des indicateurs morphologiques pour mesurer le changement des milieux Sahéliens à partir des images satellitaires. Journées scientifiques du réseau thématique de l'AUPELF-UREF: "Apports de la Télédétection à la lutte contre la sécheresse", Sénégal, 21-24 novembre 1989 (à paraître).

MERING, C., PONCET, Y., JACQUEMINET, C., RAKOTO-RAVALONTSALAMA, M., 1987. Quantitative description of denudation forms in the western African Sahel. *Advanced space research*, 7(3), Pergamon Press, London, p. 31-39.

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.

POUPON, H., 1980. Structure et dynamique de la strate ligneuse d'une steppe sahélienne au nord du Sénégal. Editions de l'ORSTOM, Collections Travaux et Documents n° 115, 351 p.

SERRA, J., 1982. *Image analysis and mathematical morphology*. Academic Press, London, 610 p.