

Mission NASA-LANDSAT-3 MSS 4,5,6,7
Scène 212-48 du 10/3/1982 (10h TU)
Echelle 1:225 000 λ 0,5-1,1 μ m
Carte 1:200 000 IGNF-RMM Feuille TOMBOUCTOU NE-30

HV BURKINA FASO

Mission CNES-SPOT-1 XS 1,2,3
Scène 55-321 du 17/12/1986 (10h25 TU)
Echelles 1:150 000 et 1:425 000 λ 0,50-0,59 μ m λ 0,61-0,68 μ m λ 0,79-0,89 μ m
Carte 1:200 000 IGNF-HV Feuille DORI ND-30-XVIII

C. JACQUEMINET, C. MÉRING

Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM), Bondy, France

DÉFINITION D'INDICATEURS MORPHOLOGIQUES SUR DES IMAGES SATELLITAIRES DU SAHEL

Pour une évaluation quantitative des transformations des milieux physiques au Sahel à partir des images satellitaires à haute résolution, la texture (1) du couvert végétal est étudiée en tant qu'indicateur morphologique. Cette étude repose sur l'analyse quantitative des formes à l'aide des méthodes de la *morphologie mathématique* [3].

Deux types d'indicateurs liés à la répartition spatiale de la végétation ligneuse sont décrits ici.

I. L'ORIENTATION DES MODELÉS DUNAIRE

L'image LANDSAT MSS traitée (p. 25) est celle du secteur dunaire situé au nord du lac Faguibine (Mali), où plusieurs modelés dunaire d'orientation différente sont juxtaposés. Sur l'image, les modelés dunaire sont perceptibles grâce au contraste radiométrique entre les crêtes couvertes d'herbacées sèches ou à nu et les couloirs interdunaires où se concentrent les ligneux. L'extraction des formes du paysage dunaire à partir d'une image en teintes de gris, jusqu'à obtention d'une image binaire ne contenant plus que la structure recherchée, est effectuée à l'aide des opérations successives suivantes :

- Une transformation de *Karunhen Loeve* à partir des quatre canaux MSS afin d'améliorer les contrastes de brillance. On retient la première composante pour calculer l'image de base (fig. 1,7,10) ;
- Un filtre multidirectionnel de rehaussement de contours, élaboré par G. Robinson, utilisé dans le cas de structures rectilignes. Ce filtre attribue au pixel central d'une fenêtre de trois pixels de côté une valeur comprise entre 1 et 8 correspondant à l'orientation du gradient le plus élevé (fig. 2) ;
- Des transformations morphologiques en teintes de gris : les filtres morphologiques (*médiane, ouverture, fermeture*) lissent successivement les plages de valeurs correspondant aux crêtes et aux couloirs interdunaires (fig. 3). L'image issue de ces transformations est binarisée (fig. 4) ;
- Le *squelette homotopique* qui permet d'extraire la ligne passant au centre de la forme (fig. 5,8,11).

L'orientation des structures extraites est quantifiée au moyen de la *rose des directions*, qui comptabilise la somme des segments de droite rencontrés dans douze directions espacées de 30°. Les roses des directions calculées ici, sur sept échantillons jointifs, montrent la dominance de l'orientation NE-SW de l'erg Azaouad (fig. 6) et celle de l'orientation NW-SE de l'erg Assouarirt (fig. 12). Dans l'aire de transition entre ces deux ergs, les roses des directions n'indiquent pas d'orientation prédominante (fig. 9).

II. LA RÉPARTITION SPATIALE DES LIGNEUX

Sur l'image SPOT du secteur dunaire situé au nord de la mare d'Oursi (Burkina Faso, p. 24), les aires de ligneux sont délimitées à l'aide d'une classification multispectrale non dirigée. La classe "végétation ligneuse" est extraite sous la forme d'une image binaire (fig. 13). Le paysage correspondant à cette scène est composé de deux unités géomorphologiques : les cordons dunaire et les plaines interdunaires, sur lesquels on distingue trois types d'organisation spatiale de la steppe arborée et arbustive (fig. 16) :

- Une organisation en bosquets de forme subcirculaire sur les cordons dunaire (fig. 13) ;
- La brousse tigrée (alternance de bandes de végétation dense et de sol dénudé) sur les sols cuirassés des plaines interdunaires. Plusieurs textures de brousse tigrée sont différenciées : à petites bandes (fig. 17), piquetée (fig. 16), à larges lanières (fig. 20), mouchetée (fig. 16) ;
- L'organisation spatiale atypique des ligneux sur les accumulations sableuses des plaines interdunaires. Des agrégats de forme linéaire ou subcirculaire occupent les chenaux d'écoulement et les mares temporaires (fig. 16).

Pour analyser quantitativement ces différents types de texture, on effectue des mesures statistiques de la *taille* et de la *dispersion* des ensembles correspondant aux aires de ligneux, à partir de quadrats jointifs de 85 pixels de côté.

(1) L'élément textural d'une image est l'aire continue et répétée dans laquelle aucun changement de caractère n'est décelable. La structure est définie par les relations existant entre les éléments texturaux.

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : B 30035

Cote : ex 1

8.3.91

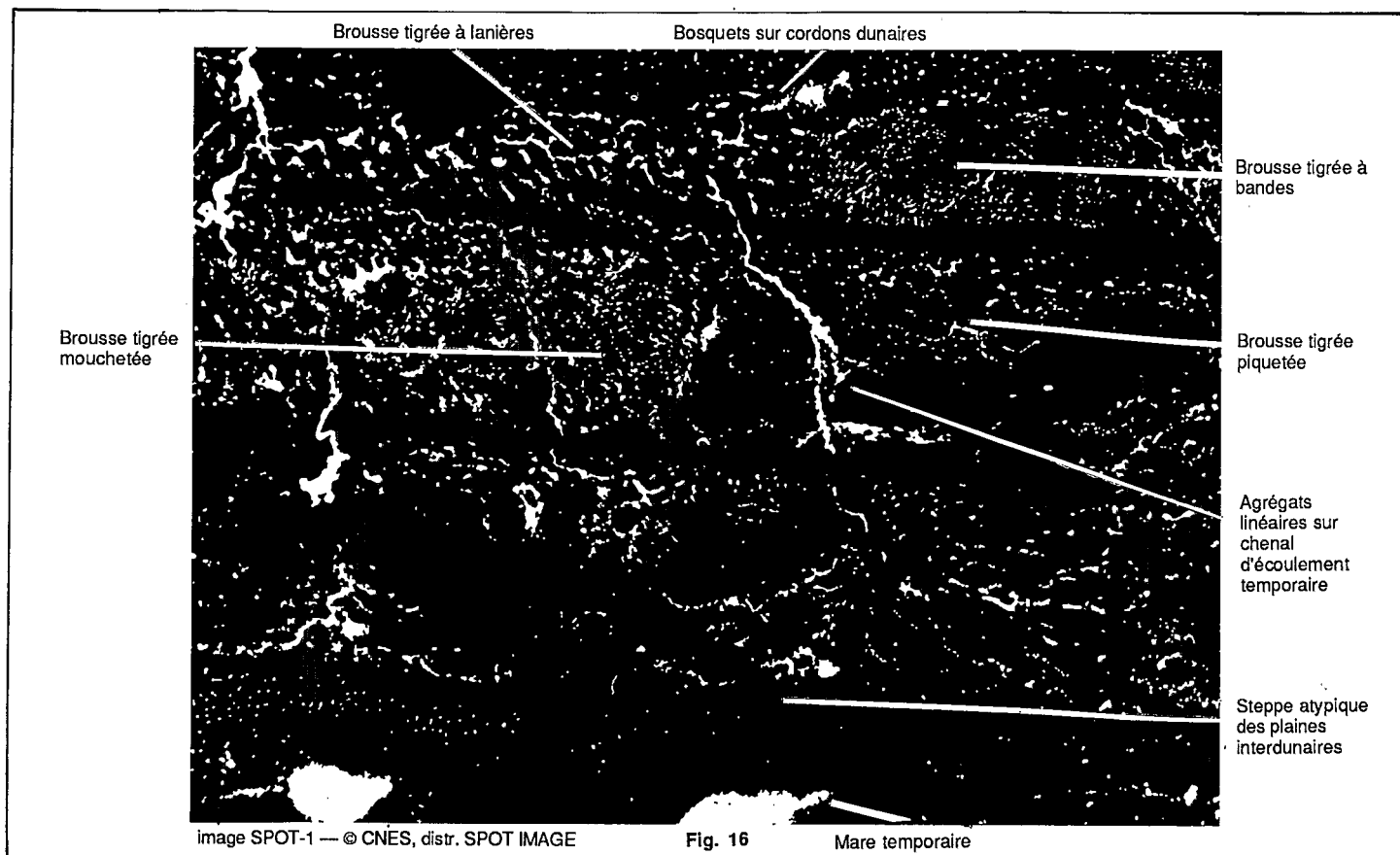
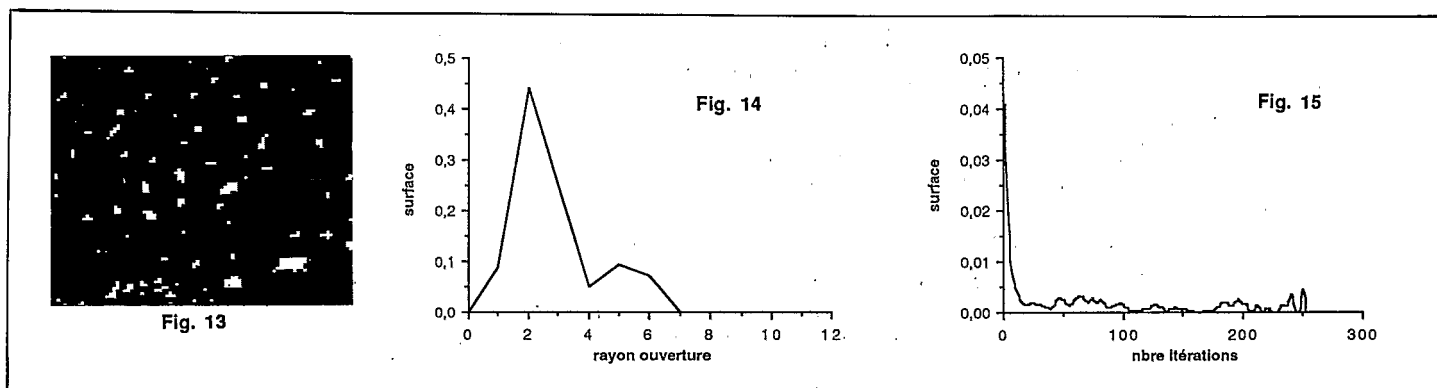
Pour décrire la *taille* d'un ensemble sur l'image, on a adopté le critère défini par G. Matheron [3], en effectuant l'*analyse granulométrique par ouverture bidimensionnelle*. Cette analyse consiste à calculer la surface de l'ensemble éliminé entre deux ouvertures successives de rayon croissant, par un élément structurant convexe – ici un hexagone. Ce nombre est rapporté à la surface de l'ensemble d'origine. Les modes des courbes granulométriques ainsi obtenues en surface $g(i)$ et en nombre $f(i)$ indiquent la présence d'une à plusieurs classes de taille au sein de chaque quadrat (fig. 14,18,21).

La *dispersion* d'un ensemble est évaluée à l'aide de la *covariance*, qui consiste à transformer l'image par *érosions* successives à l'aide d'un bipoint d'espacement croissant et d'orientation donnée. A chaque opération, la surface de l'ensemble ainsi transformée est rapportée à celle du quadrat subissant les mêmes transformations. Dans une direction donnée, la valeur à l'origine du covariogramme est d'autant plus élevée que la surface relative du quadrat est grande. Les oscillations régulières du covariogramme traduisent l'existence d'une périodicité dans la texture étudiée (fig. 15,19,22). La hauteur et l'amplitude de ces oscillations indiquent respectivement le diamètre moyen des entités composant cet ensemble et la distance moyenne qui les sépare. Les ondulations de faible hauteur et de faible amplitude du covariogramme de la brousse tigrée à bandes (fig. 19) mettent en évidence une texture composée de petits éléments et peu espacés, à l'inverse de la courbe aux larges et hautes ondulations de la brousse tigrée à lanières (fig. 22) composée de grosses entités largement espacées.

Ces mesures permettent d'évaluer l'importance de la dégradation du couvert végétal à proximité des mares et des villages par le biais de l'analyse quantitative de la finesse de la texture des quadrats.

RÉFÉRENCES

- [1] Jacqueminet (C.), Méring (C.) — 1989. Caractérisation de l'organisation spatiale du couvert ligneux sur images SPOT à l'aide de paramètres quantitatifs. In : *Apports de la télédétection spatiale à l'étude des paysages et des systèmes agraires tropicaux*. Table ronde CNRS-CEGET, 25-27 oct. 1989, Talence (à paraître).
- [2] Méring (C.), Jacqueminet (C.) — 1988. An approach of quantitative description of sand-hills shapes in the west african Sahel from remote sensing imagery. In : *Acta Stereologica*, Ljubliana, 6/III, pp. 951-956.
- [3] Serra (J.) — 1982. *Image analysis and mathematical morphology*. Academic Press, London, 610 p.



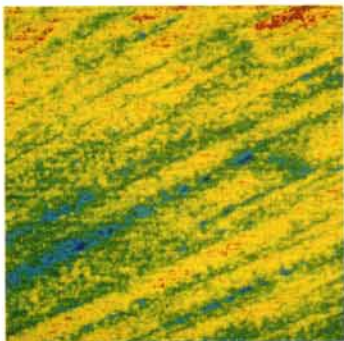


Fig. 1

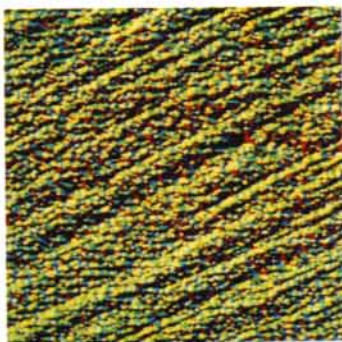


Fig. 2

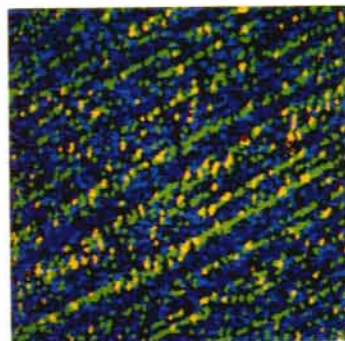


Fig. 3

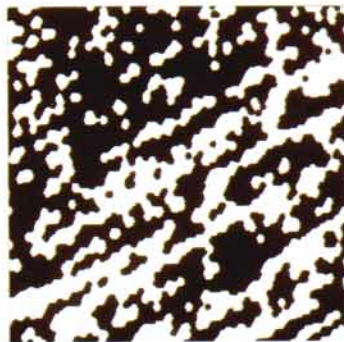


Fig. 4



Fig. 5

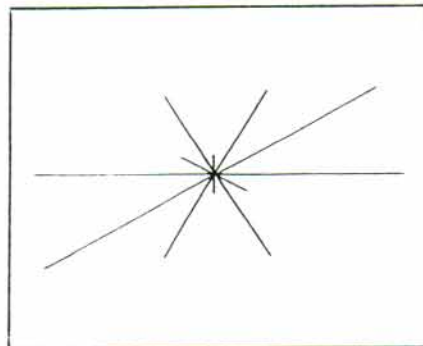


Fig. 6

0 500 unités

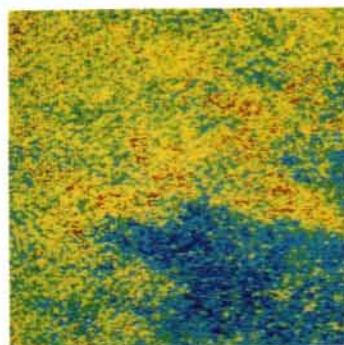


Fig. 7

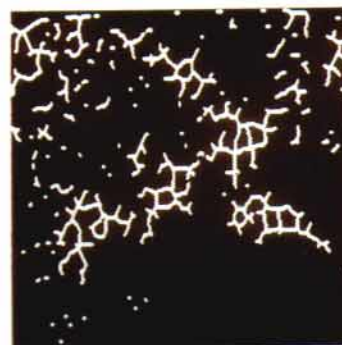


Fig. 8

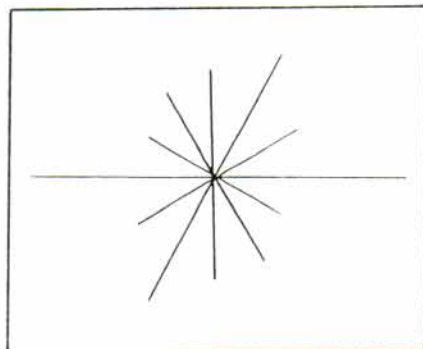


Fig. 9

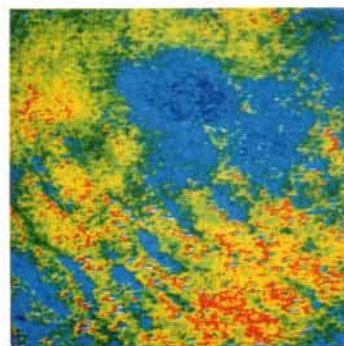


Fig. 10

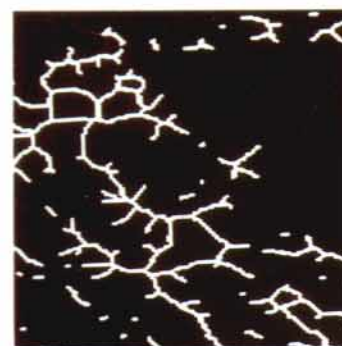


Fig. 11

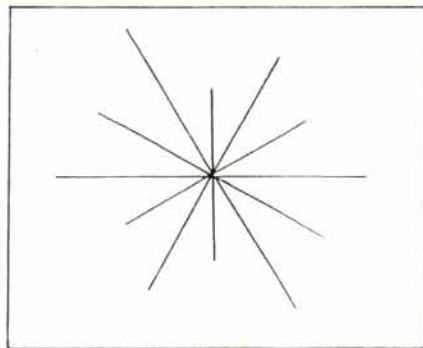


Fig. 12

0 0 0 3 1 6 8 0 0 5 0 H



DEFINITION OF MORPHOLOGICAL INDICATORS ON SATELLITE IMAGES OF THE SAHEL

DEFINICIÓN DE INDICADORES MORFOLÓGICOS EN IMÁGENES SATELITARIAS DEL SAHEL

In order to evaluate quantitatively the transformations of the Sahelian physical environments from high resolution satellite images, the texture (1) of the vegetable cover is studied as a morphological indicator. The present study is based on the quantitative analysis of shapes by means of the methods of mathematical morphology [3].

Two types of indicators related to the spatial distribution of the ligneous vegetation are described here:

I. THE ORIENTATION OF THE DUNE RELIEFS

The MSS Landsat image which is processed (p. 25) is that of the dune area located in the north of the Faguibine Lake (Mali), where several dune reliefs of different orientation are juxtaposed. On the image, the dune reliefs are perceptible thanks to the radiometric contrast between the crests which are bare or covered by dry herbaceous vegetation and the interdune corridors where ligneous vegetation is concentrated. In order to extract the shapes of the dune landscape from a grey-tone image, until a binary image is obtained which contains only the desired structure, the following operations are successively performed:

- A Karunhen Loeve transformation from the four MSS channels in order to emphasize brightness contrasts. The first component is retained to compute the basic image (Figs. 1,7,10);

- A multidirectional filter for contour enhancement, elaborated by G. Robinson, which is used in case of rectilinear structures. This filter assigns to the central pixel of a 3x3 pixels window a value from 1 to 8 which corresponds to the highest gradient orientation (Fig. 2);

- Grey-tone morphological transformations: morphological filters (median, opening, closing) successively smooth the areas whose values correspond to the crests and to the interdune corridors (Fig. 3). The image resulting from these transformations is binarized (Fig. 4);

- The homotopic skeleton which allows to extract the line crossing the centre of the shape (Figs. 5,8,11).

(1) The textural element of an image is the continuous and repeated area in which no change of character can be detected. The structure is defined by the relationships existing between the textural elements.

Se ha procedido al estudio de la textura (1) del vuelo vegetal como indicador morfológico para proceder a una evaluación cuantitativa de las transformaciones de los medios físicos en el Sahel a partir de las imágenes satelitarias de alta resolución. Este estudio se funda en el análisis cuantitativo de las formas, con ayuda de la morfología matemática [3].

Se describen en el presente artículo dos tipos de indicadores que guardan relación con el reparto espacial de la vegetación leñosa :

I. LA ORIENTACIÓN DE LOS MODELOS DE DUNAS

La imagen LANDSAT MSS procesada (pág. 25) corresponde a aquella del sector de dunas situado al norte del lago Faguibine (Mali), en cuyo caso se han yuxtapuesto diversos modelos de dunas de distinta orientación. En la imagen, los relieves de dunas son perceptibles debido al contraste radiométrico entre las crestas cubiertas de plantas herbáceas secas o al descubierto y los pasadizos entre las dunas en donde se concentran las plantas leñosas. La extracción de las formas del paisaje de dunas a partir de una imagen de tonos de gris, hasta la obtención de una imagen binaria que únicamente contienen la estructura que se trata de encontrar, se lleva a cabo mediante las operaciones sucesivas siguientes :

- Una transformación de Karunhen Loeve a partir de los cuatro canales MSS con objeto de mejorar los contrastes de brillantez. Se adopta la primera componente para calcular la imagen básica (Fig. 1,7,10) ;

- Un filtro multidireccional de realce de contornos, elaborado por G. Robinson, utilizado en el caso de estructuras rectilíneas. Este filtro atribuye al píxel central de una ventana de tres píxeles de lado, un valor que oscila entre 1 y 8 y que corresponde a la orientación del gradiente más elevado (Fig. 2) ;

- Las transformaciones morfológicas en tonos de gris : los filtros morfológicos (mediana, apertura, cierre) proceden

(1) El elemento textural de una imagen corresponde al área continua y repetida en la cual no se pone de manifiesto ningún cambio de carácter. La estructura se define por las relaciones que existen entre los elementos texturales.



Fig. 17

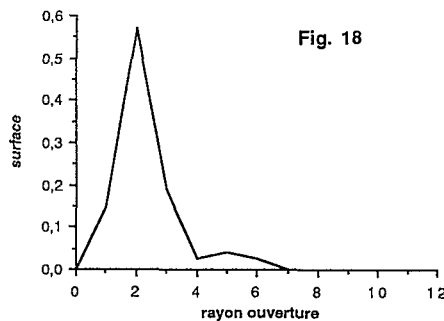


Fig. 18

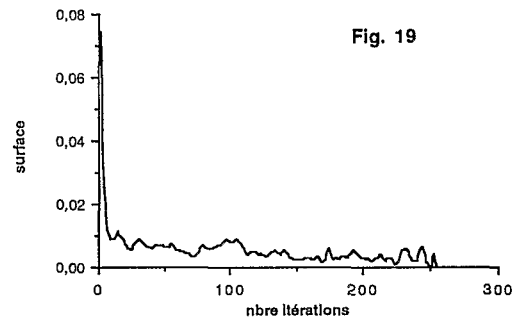


Fig. 19



Fig. 20

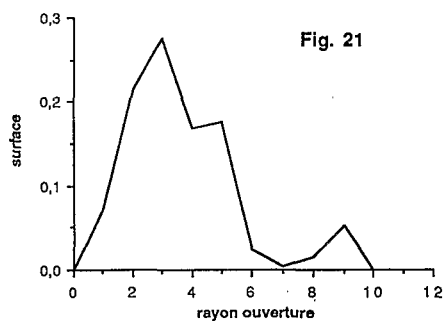


Fig. 21

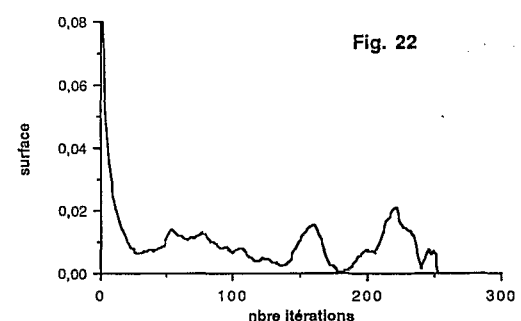


Fig. 22

89-5
89-8
3

HV BURKINA FASO

CNES — SPOT-1 XS 1,2,3 scène 55-321

17-12-86

1: 150 000
1: 425 000
 λ 0,50-0,59 μ m
 λ 0,61-0,68 μ m
 λ 0,79-0,89 μ m

1: 200 000 IGNF-HV
feuille DORI ND-30-XVIII

H
0
0
0
0
1
3
4
6
0
0
5
0

The orientation of the extracted structures is quantified by using the rose of directions, which sums the straight line segments encountered in twelve directions at a 30° interval from one another. The roses of directions computed here, on seven contiguous samples, show the dominance of the NE-SW orientation of the Azaouad erg (Fig. 6) and the dominance of the NW-SE orientation of the Assouarirt erg (Fig. 12). In the transition area between the two ergs, the roses of directions do not indicate any prevailing orientation (Fig. 9).

II. SPATIAL DISTRIBUTION OF THE LIGNEOUS VEGETATION

On the SPOT image of the dune area located in the north of the pond of Oursi (Burkina Faso, p. 24), the ligneous areas are delimited by a non-directed multispectral classification. The "ligneous vegetation" class is extracted under the form of a binary image (Fig. 13). The landscape which corresponds to this scene is composed of two geomorphological units: dune bars and interdune plains, on which three different types of spatial organization may be distinguished in the wooded and shrubbed steppe (Fig. 16):

- An organization in groves of subcircular shape on the dune bars (Fig. 13);

- The "speckled" bush (stripes of dense vegetation alternate with stripes of bare soil) on the crusted soil of the interdune plains. Several types of "speckled" bush texture may be distinguished: thin stripes (Fig. 17), studded (Fig. 16), large strips (Fig. 20), spotted (Fig. 16);

- The atypic spatial organization of the ligneous vegetation on the sandy accumulations of interdune plains. Aggregates of linear or subcircular shape occupy the drainage channels and the temporary ponds (Fig. 16).

In order to analyze quantitatively the different types of texture, one performs statistical measurements of the size and dispersion of the sets corresponding to the ligneous areas, from contiguous squares of 85 by 85 pixels.

To describe the size of a set on the image, we have adopted the criterion defined by G. Matheron [3], in performing the granulometric analysis by two-dimensional opening. This analysis consists in computing the area of the set eliminated between two successive openings of increasing radius, by a convex structuring element - here a hexagon. This number is related to the area of the initial set. The modes of the granulometric curves in terms of area $g(i)$ and number $f(i)$ thus obtained indicate the presence of one or more classes of size within each square (Figs. 14, 18, 21).

The dispersion of a set is evaluated by means of the covariance which consists in transforming the image by successive erosions using a couple of points of increasing spacing and with a given orientation. At each operation, the area of the set thus transformed is related to the square subjected to the same transformations. In a given direction: the value at the origin of the covariogram is all the more high as the relative area of the square is large. The existence of a periodicity in the texture under study is expressed by the regular oscillations of the covariogram (Figs. 15, 19, 22). The height and the amplitude of the oscillations respectively indicate the mean diameter of the components of the set and the mean distance which separates them. The undulations of low height and of low amplitude of the covariogram corresponding to the "speckled" bush with thin stripes (Fig. 19) reveal a texture composed of small elements rather close to one another, contrary to the curve with wide and high undulations of the "speckled" bush with large strips (Fig. 22) composed of large entities at wide intervals.

These measurements allow to assess the importance of the degradation of the vegetable cover near the ponds and villages by analyzing quantitatively the fineness of the squares texture.

REFERENCES: see the French text.

sucesivamente al alisado de zonas de valores que corresponden a los valores de crestas y de pasadizos entre dunas (Fig. 3). A continuación la imagen procedente de estas transformaciones queda binarizada (Fig. 4);

- El esqueleto homotópico que permite extraer la línea que pasa por el centro de la forma (Fig. 5, 8, 11).

La orientación de las estructuras extraídas se cuantifica por medio de la rosa de las direcciones, que contabiliza la suma de los segmentos de recta encontrados según doce direcciones espaciadas de 30°. Las rosas de las direcciones aquí calculadas, sobre siete muestras adyacentes, muestran la predominancia de la orientación NE-SW del erg Azaouad (Fig. 6) y aquella de la orientación NW-SE del erg Assouarirt (Fig. 12). Las rosas de direcciones no indican ninguna orientación predominante (Fig. 9) en el área de transición entre estos dos ergs.

II. EL REPARTO ESPACIAL DE LAS PLANTAS LEÑOSAS

En la imagen SPOT del sector de dunas ubicado al norte de la charca de Oursi (Burkina Faso, pág. 24) las áreas de plantas leñosas se delimitan por medio de una clasificación multispectral no dirigida. La categoría "vegetación leñosa" se extrae en forma de una imagen binaria (Fig. 13). El paisaje correspondiente a esta escena se compone de dos unidades geomorfológicas: los cordones de dunas y las planicies entre dunas, en que se distinguen tres tipos de organización espacial de la estepa arbórea y arbustiva (Fig. 16):

- Una organización en bosquecillos de forma subcircular en los cordones de dunas (Fig. 13);

- La sabana atigrada (alternancia de bandas de vegetación densa y de suelo al descubierto) en los suelos endurecidos de las planicies entre dunas. Varias texturas de sabana atigrada acusan diferencias apreciables: en forma de pequeñas bandas (Fig. 17), punteada (Fig. 16), de fajas anchas (Fig. 20), y moteadas (Fig. 16);

- La organización espacial atípica de las plantas leñosas en las acumulaciones arenosas de las planicies entre dunas. Los canales de circulación de aguas y las charcas temporales (Fig. 16) están ocupados por agregados de forma lineal o subcircular.

Para analizar cuantitativamente estos distintos tipos de textura, se llevan a cabo mediciones estadísticas de la dimensión y de la dispersión de los conjuntos que corresponden a las áreas de plantas leñosas, a partir de superficies cuadráticas adyacentes de 85 pixels de lado.

Para describir las dimensiones de un conjunto en la imagen, se ha adoptado el criterio definido por G. Matheron [3], efectuando el análisis granulométrico por apertura bidimensional. Este análisis consiste en calcular la superficie del conjunto eliminado entre dos aberturas sucesivas de radio incremental, por un elemento estructurante convexo - en el caso presente, un hexágono. Se integra este número a la superficie del conjunto de origen. Los modos de las curvas granulométricas así obtenidas en superficie $g(i)$ y en número $f(i)$, indican la presencia de una a varias categorías de dimensiones en el interior de cada superficie cuadrática (Fig. 14, 18, 21).

La dispersión de un conjunto se evalúa mediante la covariancia, que consiste en transformar la imagen por erosiones sucesivas, mediante un bipunto de espaciado incremental y de orientación determinada. En cada operación, la superficie del conjunto así transformada, viene a integrarse a aquella de la superficie cuadrática que sufre las mismas transformaciones. En una dirección determinada, el valor de origen del covariograma será tanto más elevado cuanto mayor sea la superficie relativa cuadrática. Las oscilaciones regulares del covariograma reflejan la existencia de una periodicidad en la textura estudiada. La altura y la amplitud de estas oscilaciones indican respectivamente el diámetro medio de las entidades que componen este conjunto y la distancia media que las separa. Las ondulaciones de altura reducida y de baja amplitud del covariograma de la sabana atigrada en bandas (Fig. 19) hacen resaltar una textura compuesta por pequeños elementos y poco espaciados, al contrario de la curva de anchas y elevadas ondulaciones de la sabana atigrada de fajas anchas (Fig. 22) compuesta por grandes entidades ampliamente espaciadas.

Estas mediciones permiten evaluar la importancia de la degradación del vuelo vegetal en las cercanías de las charcas y de las aldeas, mediante el análisis cuantitativo de la finura de la textura de las superficies cuadráticas.

REFERENCIAS: véase el texto francés.

TIRÉ À PART

Photo Interprétation

**images aériennes
et spatiales**

B 30035
1 ex 1 P18
DNS TECHNIP