

## CARACTERISTIQUES SPECTRALES DES PRINCIPALES ORGANISATIONS DE LA SURFACE DES SOLS DU NIGER

---

COURAULT D., D'HERBES J.-M., VALENTIN C.

### RESUME

Cette étude se situe dans le cadre du programme Hapex Sahel. L'objectif de notre travail est de cartographier les états de surface à partir d'images satellitaires, en les caractérisant par leur comportement hydrodynamique (infiltration et ruissellement) suivant la méthodologie développée par CASENAVE et VALENTIN (1990).

La première étape est donc d'analyser quels sont les principaux types d'états de surface rencontrés sur la zone d'étude et d'examiner si l'on peut les distinguer par leurs réponses spectrales.

Des observations sur le terrain ont été effectuées en saison sèche et en fin de saison humide.

Des mesures au spectrophotomètre d'échantillons prélevés le long d'une toposéquence dans la zone centrale du degré carré ont été faites au laboratoire.

L'analyse de la forme des courbes spectrales donne une information à la fois sur la couleur mais également sur les principaux constituants de ces sols.

Trois grands ensembles se distinguent ainsi par leur couleur de surface:

- les plateaux cuirassés de couleur dominante gris clair avec parfois des recouvrements sableux rouges,
- la jupe sableuse rouge
- et les bas-fonds sableux blancs.

A l'intérieur même de ces grands ensembles, les organisations de surface peuvent être différentes. Sur les plateaux cuirassés, on trouve parallèlement des croûtes structurales, des croûtes d'érosion, ou de décantation. Les mesures radiométriques permettent de changer d'échelle d'observation et d'appréhender ces variations de surface. Les principaux types d'encroûtements auxquels sont associés des coefficients d'infiltration et de ruissellements se distinguent ainsi par la réflectance pour des mêmes ensembles géomorphologiques.

Le niveau supérieur d'organisation spatiale est ensuite abordé grâce à l'étude d'une toposéquence d'un bassin versant. On analyse les réponses spectrales correspondantes à partir d'une image Spot. Une classification supervisée est effectuée sur le bassin versant étudié. Les indices de végétation, de brillance et de couleur des sols permettent de vérifier et valider cette première cartographie des états de surface.

En zone sahélienne, les organisations de surface sont particulièrement importantes à prendre en compte lorsque l'on s'intéresse aux phénomènes de ruissellement et d'infiltration de l'eau dans les sols (Collinet et Valentin, 1979).

C'est un des aspects auquel s'intéresse le programme HAPEX-SAHÉL dont les objectifs sont de modéliser les transferts d'eau et d'énergie sur une maille de 100 km / 100 km au Niger.

Notre étude se rattache à ce programme, en se proposant d'appréhender la variabilité spatiale des états de surface à partir d'images satellitaires, afin de fournir aux hydrologues ou bioclimatologistes, des informations cartographiques utiles :

- soit pour choisir des sites représentatifs pour implanter des mesures
- soit pour spatialiser certains phénomènes .

L'originalité de cette étude repose sur le fait d'utiliser une typologie pour classer les états de surface suivant leur comportement hydrodynamique. Les travaux de CASENAVE et VALENTIN (1990) servent de référence.

A partir d'expériences menées sous simulations de pluies sur de nombreux sites au Sahel, ils ont identifié un certain nombre d'organisations superficielles. Des coefficients d'infiltration et de ruissellement sont associés aux principaux encroutements. Le concept d'état de surface élémentaire est introduit en considérant une surface de  $1\text{m}^2$ , homogène d'un point de vue hydrologique. L'association de ces états de surface élémentaires constitue des états de surface qui sont à la base de la cartographie.

La description de ces états de surface est de type morpho-génétique, elle prend en compte un certain nombre de critères dont le couvert végétal, le type de croûtes, la rugosité, la texture du sol..

Ce sont précisément à ces critères de différenciation auxquels nous allons nous intéresser puisque notre objectif, dans un premier temps est d'examiner si l'on peut distinguer ces principales organisations de surface par des mesures spectrales. Dans un second temps (cf. Courault et al 1991) nous présenterons la méthodologie développée pour cartographier l'ensemble du degré carré à partir des différents documents : cartes et images satellitaires. (cf. article Hoepffner et al 1991)

La présentation du site d'étude sera ici assez brève. La zone considérée se trouve entre les longitudes 2 et 3° Est et les latitudes 13 et 14° Nord, Niamey se trouve sur la bordure Ouest. La pluviométrie est de l'ordre de 500 mm d'eau (en moyenne par an) répartie en une saison des pluies de mai à septembre avec une forte variabilité spatiale (cf programme EPSAT). La plupart des résultats exposés concerne la zone centrale du degré carré, plus particulièrement le bassin versant de Sama Dey (COURAULT et al, 1990).

Des observations ont été faites à deux saisons distinctes (en février, en saison sèche et en octobre : en fin de saison humide). Une fiche synthétique groupant des critères pertinents pour la radiométrie concernant à la fois la pédologie de surface et la phytoécologie a été établie. Cette fiche descriptive prend en compte :

- le couvert végétal avec l'estimation du recouvrement ligneux et herbacé, la hauteur relative des formations, l'estimation de la rugosité et de l'ombre

portée, l'état phénologique de la végétation, l'occupation du sol, cultures..

- la surface du sol : le type de croûte, la couleur Munsell, la microrugosité, l'activité faunique, les indicateurs d'érosion..

- des indications sur le milieu, le paysage, la morphologie..

La surface du sol est analysée et caractérisée spectralement à différents niveaux. Nous allons suivre successivement ces différentes étapes de caractérisation en partant de l'échantillon de sol mesuré au laboratoire pour aller jusqu'au bassin versant étudié sur l'image Spot.

## I. ANALYSE AU LABORATOIRE

Le premier niveau d'observation concerne les mesures faites au spectrophotomètre sur des échantillons de sols (17) prélevés en surface le long d'une toposéquence. On mesure la réflexion diffuse de sols secs, du visible à l'infra-rouge moyen (380-2500nm).

L'analyse de la forme des courbes nous donne des informations à la fois sur la couleur des sols et sur leurs principaux constituants (ESCADAFAL et al, 1989). Globalement l'ensemble des échantillons présente les mêmes formes de courbes spectrales, à savoir une forme plutôt concave dans le visible et convexe dans l'infra-rouge avec des bandes d'absorption plus ou moins marquées suivant les individus, dans le visible à 550 nm et dans le proche infra-rouge à 870 nm, caractérisant la présence d'hydroxydes de fer. fig.1.

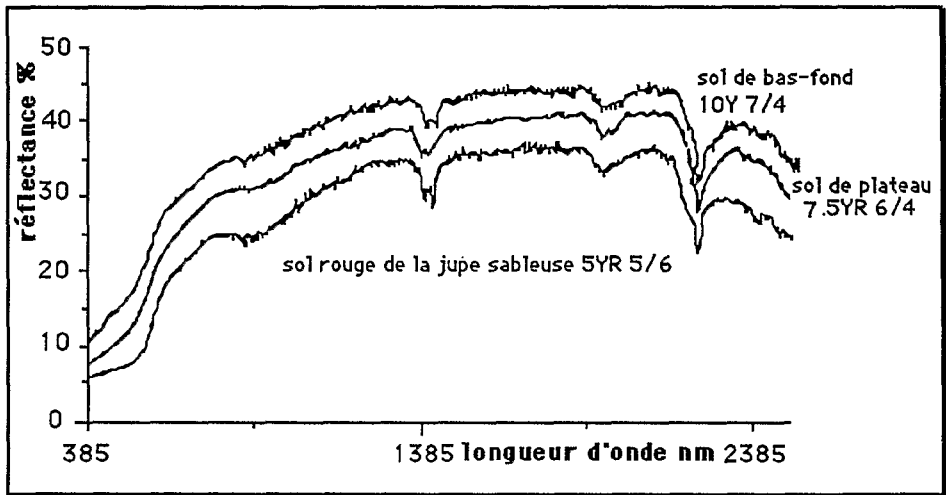


Figure.1. Courbes spectrales des principaux horizons de surface.

La forme des courbes dans le visible indique des sols plutôt rouges. Les couleurs Munsell s'étendent en effet de 2.5YR à 10YR, avec une majorité de sols dans la planche 7.5YR. On distingue trois ensembles suivant la couleur dominante qui ressortent de l'analyse des spectres. Ces trois ensembles correspondent à trois unités morphologiques bien distinctes dans le paysage. Il s'agit :

- des sols argilo-sableux à dominance gris clair à mauve (10YR 6/4 à 7.5YR 5/4) des plateaux cuirassés.

- des sols rouges de la jupe sableuse, en placage à la base des plateaux (2.5YR 5/6 à 5YR 5/8).
- des sols sableux très clairs à blancs des bas-fonds (7.5YR 7/4 à 10YR 7/4).

Nous ne pousserons pas plus loin l'analyse de ces courbes, des mesures physico-chimiques plus précises seraient nécessaires notamment l'analyse granulométrique, et les teneurs en fer.

## II. ANALYSE RADIOMETRIQUE

A l'intérieur même de ces trois ensembles géomorphologiques, les organisations de surface varient. D'autres paramètres interviennent sur la réponse spectrale telle que la rugosité, le pourcentage de végétation présente..

Pour appréhender ce second niveau d'organisation, des mesures radiométriques ont été prises à 2 m de la surface. Elles sont représentative des états de surface élémentaires définis par Valentin (1m<sup>2</sup>). Il ne s'agit plus d'un spectre continu de réflectance, mais de valeurs moyennes centrées sur les trois bandes spectrales Spot : le vert, le rouge et le proche infra-rouge. Les principaux types d'encroûtements sont caractérisés maintenant par un paramètre supplémentaire, leur réponse spectrale dans le visible et le proche infra-rouge.fig.2.

Sur l'exemple pris ci dessous, les croûtes de décantation se situent le plus souvent sur les plateaux cuirassés. Elles témoignent de systèmes plutôt endoreiques, où le ruissellement et l'infiltration sont faibles, il y a flaquage en surface. Les couleurs de ces croûtes sont peu différentes, toujours claires (7.5YR 6/4 à 10YR6/4), les variations de réflectances sont donc faibles.

Mais c'est une situation qui est relativement rare sur le bassin versant étudié, en effet la plupart des croûtes de surface (ERO, ST3, DES..) peuvent se rencontrer aussi bien sur les plateaux, que sur la jupe sableuse ou les bas-fonds, les couleurs varient et par suite les écarts de réflectances peuvent être élevés pour un même état de surface élémentaire.

C'est le cas par exemple des croûtes d'érosion qui peuvent présenter des surfaces très sombres noires, due à une colonisation par des algues, ou grises à mauves claires lorsqu'elles sont sur les plateaux cuirassés ou bien encore rouges sur la partie piémont de la jupe sableuse. fig.3.

Pour un même état de surface élémentaire, cette figure nous montre que c'est la couleur et plus particulièrement la clarté qui domine sur le signal radiométrique .

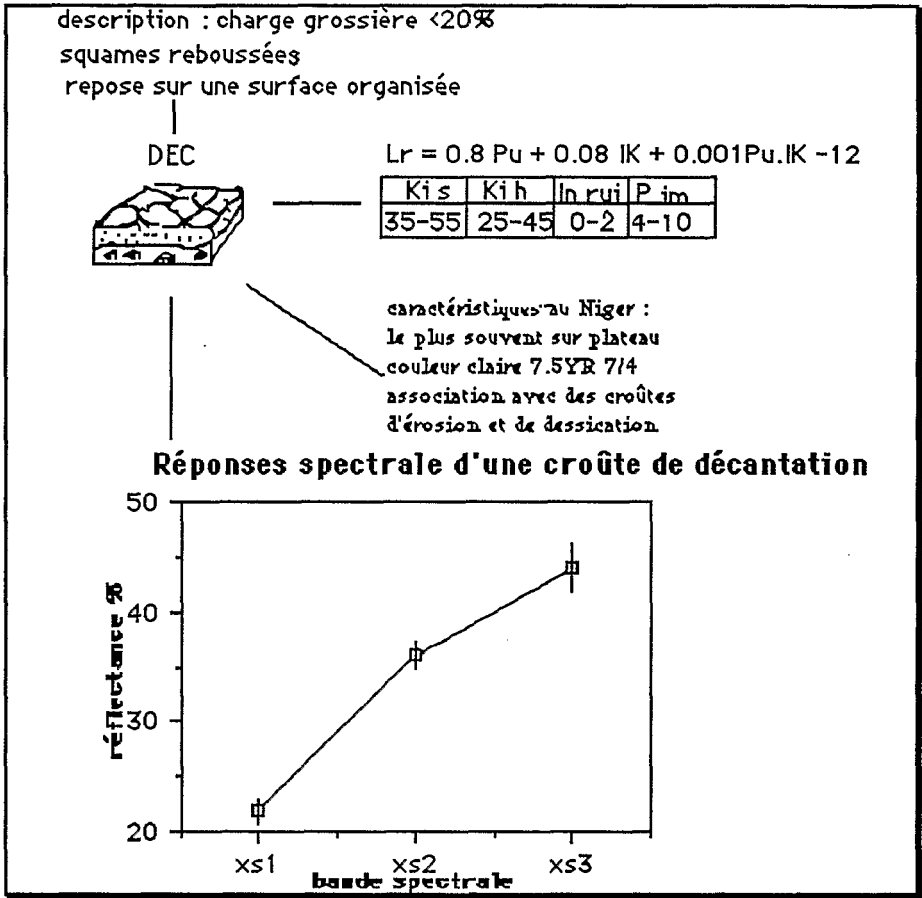


Figure.2. Caractérisation d'une croûte de décantation

Lr : lame ruisselée, Pu pluie utile, IK : indice de précipitation antérieure, Ki : coefficient d'infiltration (s: sur sol sec, h: sur sol humide), In : intensité limite de ruissellement, Pim : pluie d'imbibition. xs1 : 500-590, xs2 : 600-690, xs3: 700 890 nm.

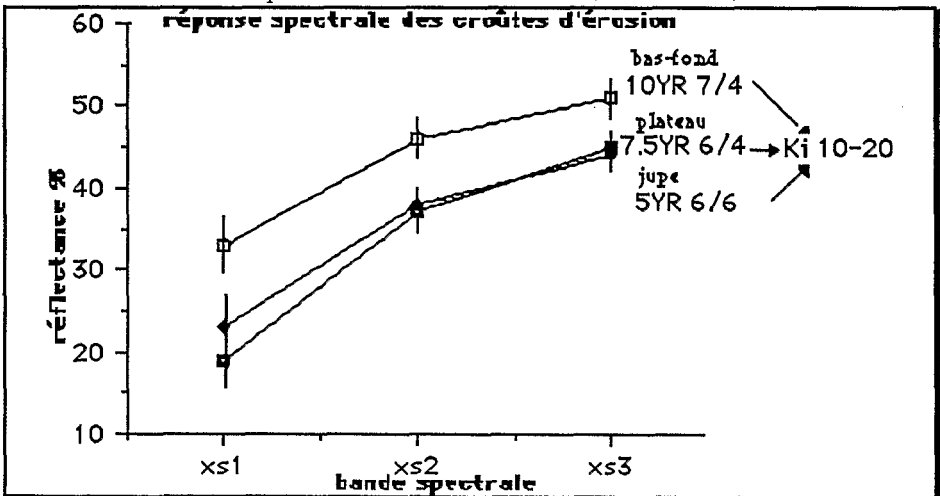


Figure.3. Réponses spectrales de différentes croûtes d'érosion.

Par contre, pour un même ensemble géomorphologique, donc avec une couleur dominante constante, les principaux types d'encroûtements peuvent se distinguer par la réflectance, c'est alors le facteur de rugosité qui domine sur le signal. fig.4.

III. ANALYSE A PARTIR D'IMAGES SATELLITAIRES

Si l'on passe à présent au niveau d'organisation supérieur : des états de surface élémentaires (ESE,  $1m^2$ ) aux états de surface ( $ES > 100M^2$ ). Ces derniers peuvent être constitués soit d'un seul ESE, c'est le cas par exemple des grandes zones caillouteuses sur les bordures de plateaux cuirassés, faciles alors à caractériser sur les images satellitaires, soit de la combinaison de plusieurs ESE. Dans ce dernier cas, la réponse spectrale est composite et parfois difficile à interpréter. On considère alors l'ensemble comme la somme pondérée des ESE et on note les paramètres dominants.

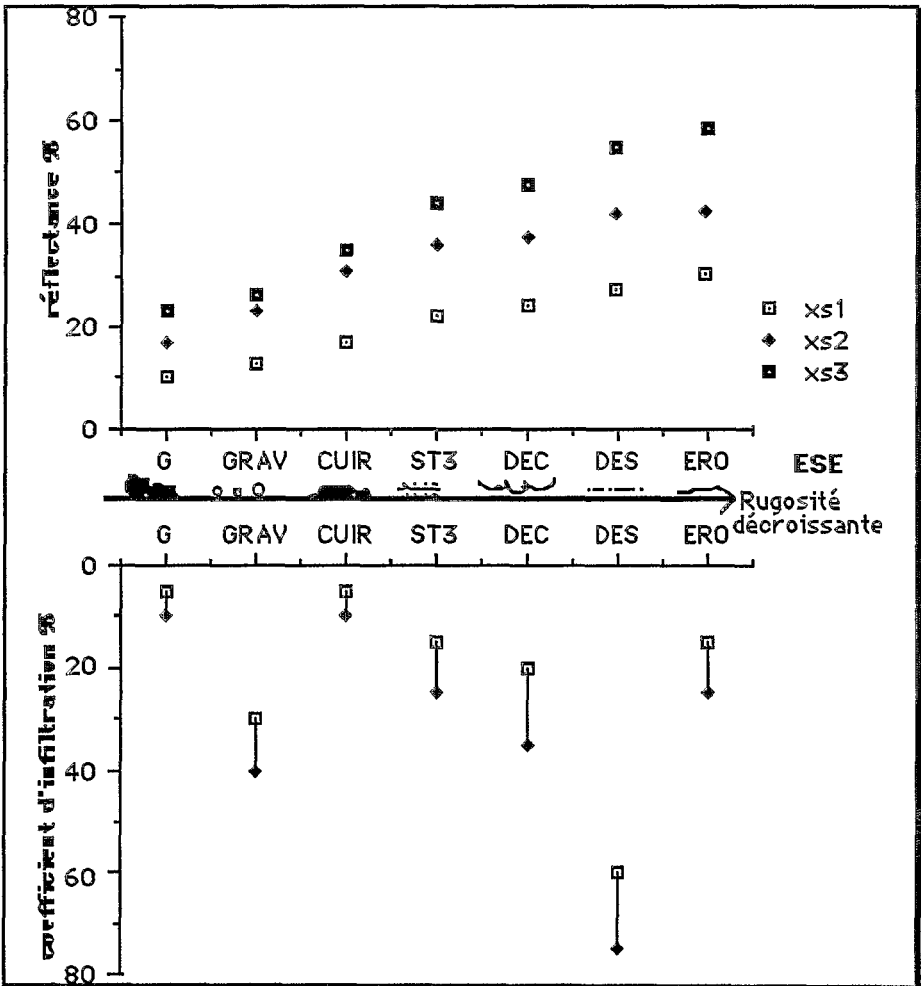


Figure.4. Réponses spectrales des principaux ESE sur plateau et relations avec leur coefficient d'infiltration.

On peut regrouper par la suite ces ES pour former des "unités fonctionnelles" d'un point de vue hydrologique. La brousse tigrée peut être prise comme exemple pour illustrer ces assemblages car c'est une formation classique des plateaux cuirassés, constituée d'une alternance de bandes de sols nus (40 à 60 m de large dans le cas de la zone étudiée) et de bandes de végétation dense (20 m). La séquence la plus fréquemment rencontrée en ce qui concerne les ES est la suivante.fig.5.

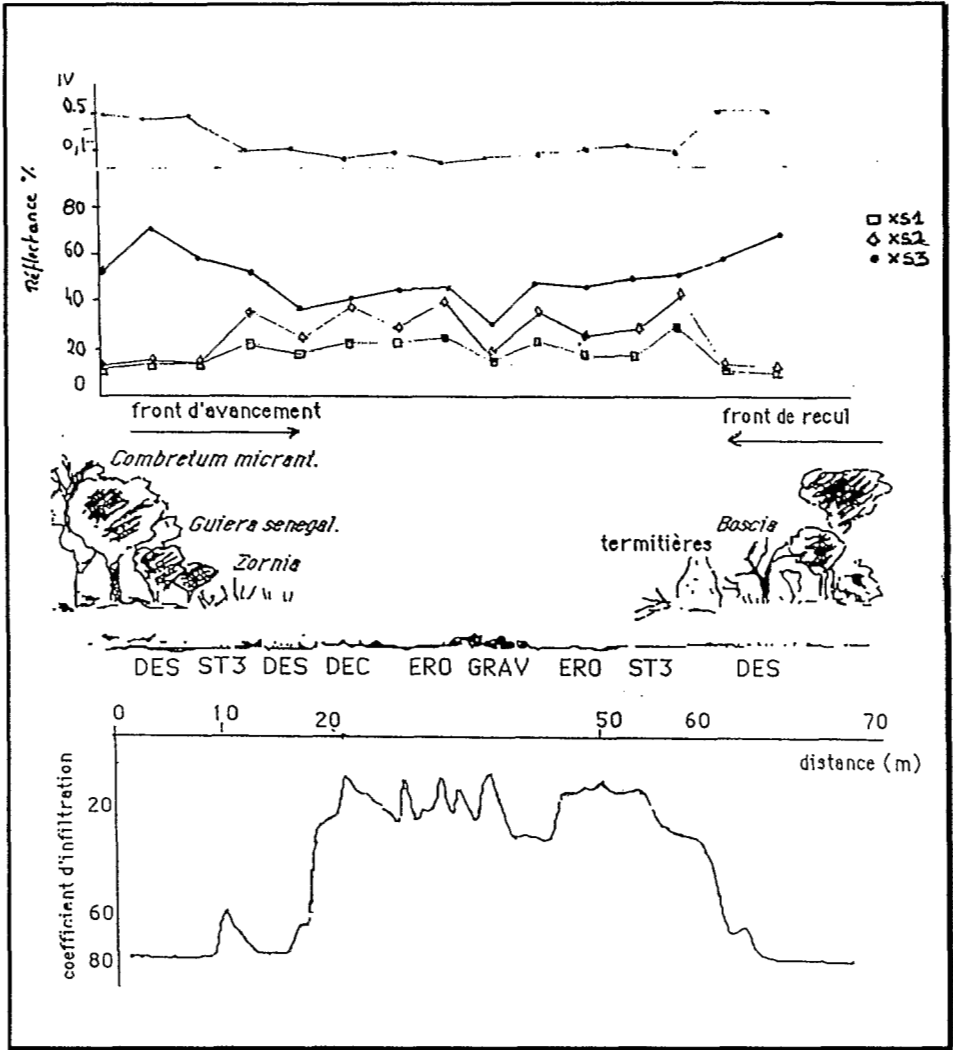


Figure.5. Comportements hydrodynamique et spectral d'une brousse tigrée sur plateau.

Suivant la structure des bandes de fourrés de la brousse tigrée (arcs concentriques, parallèles entre eux ou brousse mouchetée..) on peut définir différentes unités fonctionnelles. Ceci demande au préalable une analyse texturale et structurale d'une image classée. C'est un point qui reste à développer dans le cadre de cette étude.

#### IV. ANALYSE SPATIALE

On s'intéresse à présent à l'agencement de ces unités fonctionnelles entre elles en étudiant l'organisation de la toposéquence d'un bassin versant.

Les réponses spectrales des différentes zones observées sur le terrain sont analysées sur les images Spot. Une ACP est faite sur les moyennes des réponses numériques pour les trois canaux. L'examen de cette analyse confirme le rôle prédominant de la couleur sur la réflectance des états de surface. Le 1er axe est défini essentiellement par la clarté des sols nus, le second axe suivant un gradient de densité de la végétation. fig.6.

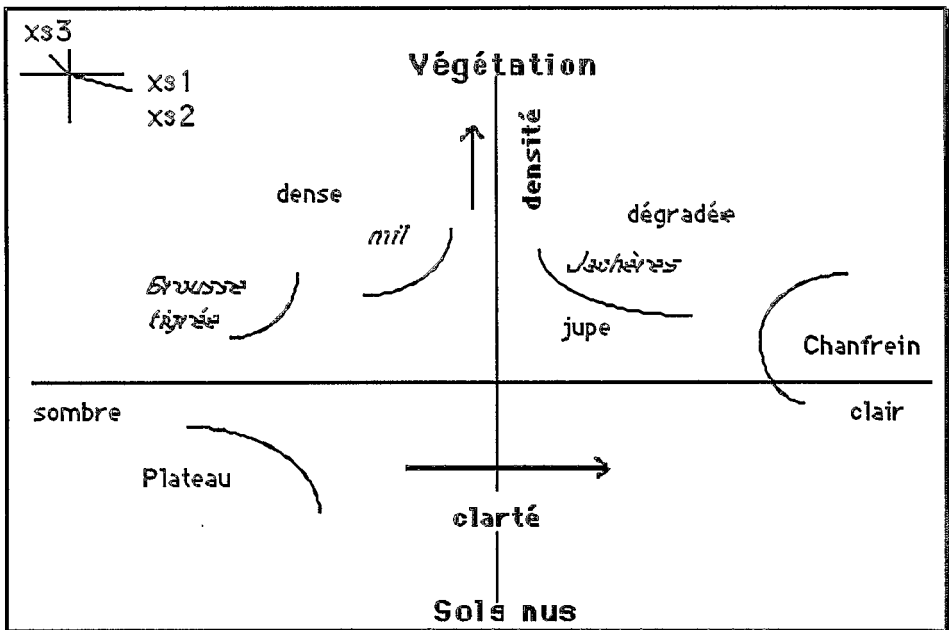


Figure.6. Distribution des principales zones échantillonnées sur l'image suivant l'analyse en composantes principales effectuées sur les trois canaux de Spot.

A partir des résultats obtenus au laboratoire et sur le terrain, concernant la distinction des états de surface par leurs réponses spectrales, on adopte une méthode de classification en stratifiant l'espace en différents niveaux. On utilise des masques pour chacun des ensembles morphologiques auxquels correspond un fonctionnement hydrologique particulier. Cette classification peut être validée en utilisant les indices de végétation et de brillance des sols. Une première cartographie des états de surface associée à leur comportement hydrodynamique est ainsi proposée.



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Casenave A. , Valentin C. 1990 Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. ORSTOM, collec. Didactiques. 280 p.
- Collinet J. , Valentin C. 1979 Analyse de différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle. Cahier de l'ORSTOM, série pédologique, vd 17, n° 4, pp. 238-328.
- Courault D. , D'Herbes J.M. , Valentin C. , Remy D., 1991 Etude de la variabilité Spatiale du comportement hydrodynamique des sols au Niger, à partir d'images satellitaires - 4° Int. coll. Spectral signatures of object in remote sensing- Courchevel, 14-18 Janvier 1991 4p.
- Courault D. , D'Herbes J.M. , Valentin C. , 1990 Le Bassin versant de SAMA DEY. Premières observations pédologiques et phytoécologiques. Rapport ORSTOM LIA 31 p. + ann.
- Escadafal R. , Girard M.C. , Courault D. , 1988 La couleur du sol : appréciation, mesures et relations avec les propriétés spectrales. Agronomie vol. 8 n° 2 pp. 147-154.