

# ÉVALUATION DES ETATS DE SURFACE A PARTIR D'IMAGES SPOT

Le cas des sols dénudés de la région de Maroua

par Christine TRIBOULET, télédétection, ORSTOM



Sol Hardé en début de saison des pluies.

## RÉSUMÉ

Cette étude a pour but de mesurer la superficie des surfaces dénudées de la région de Maroua (Nord-Cameroun) pour estimer la part occupée par les terres Hardé. A cette fin, on utilise trois images Spot XS, de janvier 87, octobre 88 et novembre 88.

Toutes les surfaces dénudées ont des caractéristiques communes qui sont reflétées par la signature radiométrique. L'une de ces surfaces est choisie comme référence pour identifier les valeurs radiométriques des pixels qui la composent. On procède ensuite à une partition de l'ensemble des pixels qui constituent chaque image en séparant ceux qui ont une signature identique, ou voisine, de ceux de la zone de référence. Par traitement, les pixels ainsi mis de côté sont dénombrés et, leur surface unitaire étant connue, la superficie totale dénudée de la région en est déduite. On peut alors procéder à des comparaisons de superficies par date. Par ailleurs, on peut représenter sur une carte tous les pixels correspondant aux surfaces dénudées.

Il faut tenir compte des variations de superficie issues de changements temporaires ou de certaines confusions possibles. C'est ainsi que, bien évidemment, la superficie des surfaces dénudées est bien plus importante en fin de saison

sèche qu'en fin de saison des pluies, surtout lorsque celle-ci a été favorable à la recolonisation partielle des sols Hardé par la végétation herbacée. Le rapport de superficie entre les sols dénudés et la superficie totale est de 13 % en janvier 87, de 3,5 % en octobre 88 et de 5,4 % en novembre 1988.

Par ailleurs, différents types de sols peuvent avoir des états de surface dénudés et une signature radiométrique identique à celle des sols Hardé, à condition qu'ils aient été compactés en surface (pistes de troupeaux,...) et qu'ils soient de couleur claire très réfléchissante. Mais si les images Spot ne permettent pas actuellement de cartographier toutes les surfaces Hardé et uniquement celles-ci, elles permettent d'en faire une bonne estimation, en particulier lorsque vient de finir la saison des pluies.

Sur la région couverte par l'image Spot, d'une superficie de 330 000 ha, le pourcentage de sols Hardé a été estimé à 5,5 %, ce qui correspond à 18 000 ha.

Dans l'avenir, il serait possible de faire un suivi pluriannuel des surfaces de sols Hardé en effectuant une étude sur leur localisation, leur évolution et leur dynamique spatiale par rapport aux activités humaines (villes et villages, pistes à bétail, mises en culture) et aux groupes pédologiques.

## ABSTRACT

The objective of this study was to measure the surface area of bare soils in the Maroua region (Northern Cameroon) in order to estimate the land portion occupied by Hardé soils. Three Spot XS-band imagery of January 1987, October 1988 and November 1988, were used.

All the bare areas have common characteristics which are reflected by radiometric signs. One of these areas is taken as a reference point for the identification of the radiometric value of the pixels of which it is composed. One then proceeds with the distribution of all the pixels which make up each image by separating identical or near identical pixels from those of the reference point zone. By classification, the pixels thus selected are counted, and because their unit surface area is known, the total surface area of the bare soils of the region is determined. One can then proceed to compare bare areas by date. On the other hand, all the pixels corresponding to areas without vegetation can be represented on a map.

Surface area variation due to temporal changes or to certain possible error must be taken note of. This is why the area not covered by vegetation is greater at the end of the dry season than at the end of the rainy season, especially if the

area in question had earlier been favoured by a partial recolonization of the Hardé soils by herbaceous vegetation. The land area relationship between bare soils and the total surface area was 13% in January 1987, 3.5% in October 1988 and 5.4% in November 1988.

On the other hand, different types of soil could possess a bare condition and have an identical radiometric sign to that of Hardé soils if only such soils had been compacted on the surface (animal passage,...) and are of a clear, very reflectant colour. But even if spot images do not actually permit a complete cartography of Hardé, the images allow us to have a good estimation, especially immediately after the rainy season.

On the region covered by Spot images (surface area of 330,000 ha) the percentage of Hardé soils had been estimated at 18,000 ha.

In the future, it would be possible to have a multiannual follow up of the surface of Hardé soils through a study of their location, evolution and spatial dynamic activities with respect to human activities (townships and villages, cattle passages, recultivation) and with respect to soil types.

Cette étude a pour objectif, en premier lieu, d'extraire de l'image, par des mesures radiométriques, les sols qui correspondent à des états de surface dénudés pour cartographier et essayer d'estimer les pourcentages des terres Hardé.

Ensuite, elle évalue les superficies couvertes par ces sols dénudés pour suivre leur évolution dans le temps.

Trois images ont été exploitées, qui correspondent aux dates suivantes : 15 janvier 1987, 11 octobre 1988, 11 novembre 1988.

Sur le terrain et sur l'image, la surface dénudée, dite « hardé de Balaza », qui se trouve en bordure de la piste reliant Balaza-Lamido (route Maroua-Bogo) au dôme de Djoulgouf, est utilisée comme référence. C'est une très grande surface dénudée (3 km de long sur 800 m de large environ), facilement repérable sur l'image satellite (tirage photo ou visualisation sur écran). Elle est indiquée par deux flèches sur la composition colorée n° 1, p. 34.

La démarche suit trois étapes :

- Identifier les valeurs radiométriques des surfaces dénudées.
- Isoler ces surfaces sur les trois images.
- Mesurer l'extension de ces surfaces pour les comparer entre elles.

### IDENTIFICATION DES VALEURS RADIOMÉTRIQUES

Chaque « objet » (constituant du paysage), présent à la surface du sol, réfléchit une certaine quantité de l'énergie lumineuse qu'il reçoit. Le satellite émet une quantité donnée d'énergie et enregistre le pourcentage qui lui revient. Cette énergie lumineuse est convertie en énergie électrique, elle-même codée et stockée plus tard sur des bandes magnétiques. C'est cette énergie électrique codée, composée de trois chiffres, que l'on appelle signature radiométrique. Une signature correspond à un objet donné, dans un état donné et à un moment donné.

Les trois chiffres qui composent la signature sont compris entre 0 et 255. Ce sont les réponses des objets dans les longueurs d'onde des trois canaux Spot:

- Canal XS1 0,5 à 0,59 nm longueur d'onde du vert.
- Canal XS2 0,61 à 0,68 nm longueur d'onde du rouge.
- Canal XS3 0,79 à 0,89 nm longueur d'onde du proche infrarouge.

Il existe plusieurs types de sols qui présentent des états de surface dénudés : les planosols, les vertisols dégradés et les sols qui ne sont compactés qu'en surface (pistes d'atterrissage non goudronnées, grands passages de troupeaux, terrains de football, etc.).

Malgré leurs différences pédologiques et les processus qui ont donné cet état de surface, celui-ci présente certaines caractéristiques communes aux trois catégories énumérées ci-dessus :

- surfaces très réfléchissantes ;
- surfaces dures, nues, très planes, sans fentes de retrait ;
- et, en général, surfaces de couleur claire (à l'état sec).

La signature radiométrique des surfaces dénudées reflète ces caractéristiques et ne prend pas en compte les données concernant les couches non superficielles du sol.

On peut se reporter, pour comparaison, aux courbes correspondant aux signatures d'un état de surface dénudé et d'une surface couverte par de la végétation active (cf. tableau I et fig. 1, p. 32).

## LES TERRES HARDÉ

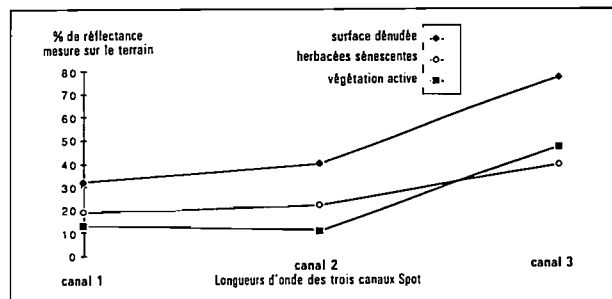
Cette signature, enregistrée par le satellite et codée sur les bandes magnétiques, peut également être enregistrée au sol, à l'aide d'un radiomètre de terrain de type Cimel (radiomètre portable, étalonné sur les longueurs d'onde de Spot, cf. photo, p. 36).

TABLEAU I

**Mesures des pourcentages de réflectance dans les longueurs d'onde des trois canaux Spot**  
Mesures sur le terrain

	Canal 1	Canal 2	Canal 3
Surface dénudée	32	40	78
Herbacées sénescentes	18,9	22	40
Végétation active	13,21	10,7	47,8

**FIGURE 1**  
Signatures spectrales des différents composants d'un paysage où dominent les sols Hardé

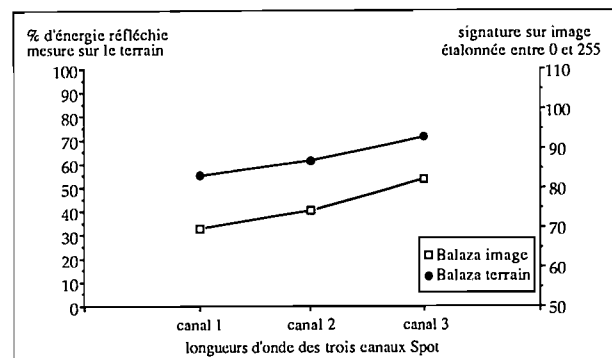


Ci-dessous, pour comparaison, les signatures du sol Hardé de Balaza selon le satellite (mesure sur image) et selon le radiomètre de terrain.

TABLEAU II

**Comparaison de la réponse spectrale du sol Hardé de Balaza sur le terrain et sur l'image**

Canaux	XS1	XS2	XS3
Balaza image	83	87	92,75
Balaza terrain	32,4	40,2	53,5



Le décalage entre les deux signatures résulte de différences techniques. Il est dû à la taille du champ de vision du capteur, beaucoup plus réduit dans le cas du Cimel, et donc de la quantité d'objets constituant le paysage, pris en compte lors de l'enregistrement de la signature. La date de mesure doit également jouer.

### ISOLEMENT SUR IMAGES DES SURFACES DÉNUDÉES

Ayant repéré les valeurs numériques qui composent la signature du sol Hardé de Balaza-Lamido sur les bandes magnétiques, on procède, avec un programme de l'ordinateur de traitement d'images, à une partition de l'ensemble des points codés qui constituent l'image : les pixels (pixel = contraction de « picture element », c'est-à-dire élément d'image élémentaire).

Une image entière compte environ 3 000 lignes et 3 000 colonnes (selon l'angle de prise de vue) et donc 10 millions de pixels.

Nous travaillons sur trois images, pour éviter les phénomènes momentanés, et leur comparaison n'est possible que si elles ont rigoureusement les mêmes limites et le même nombre de pixels.

Après les corrections géométriques nécessaires à ces comparaisons, et avec la perte d'informations que cela suppose (redécoupage des bords), nos images comptent maintenant 2 973 lignes et 2 776 colonnes, soit 8253048 pixels ou 330 122 hectares

En même temps que la partition citée ci-dessus, on effectue une modification des valeurs de ces pixels pour changer leur aspect sur la visualisation écran.

On souhaite obtenir une image binaire (bicolore), noire et blanche (ou blanche + 1 couleur), qui corresponde aux classes : sols plus ou moins couverts par de la végétation, sols dénudés. Pour cela, on attribue aux pixels ayant une signature de type sols nus (73 à 255), la valeur 255 : c'est à dire blanc ; à tous les autres, la valeur 0 qui les fait apparaître en noir.

**FIGURE 2**  
Comparaison des courbes de signature du sol Hardé de Balaza sur le terrain et sur l'image

### MESURE DE L'EXTENSION DES SURFACES DÉNUDÉES

Le programme de traitement permet d'obtenir un histogramme des fréquences des valeurs, sur lequel est indiqué le nombre total de pixels attribués à chacune des deux couleurs.

La surface d'un pixel de Spot étant de 20 mètres sur 20 (en mode multispectral), soit 400 m<sup>2</sup>, on peut en déduire la superficie totale des états de surface ayant une signature de type sols nus.

### RÉSULTATS ET DISCUSSION

#### ■ Calcul des superficies

Les superficies dénudées ou non, aux trois différentes dates, sont présentées dans le tableau III.

TABLEAU III

**Superficies des états de surface  
ayant une signature de sols nus**

XS2	Janvier 1987	Octobre 1988	Novembre 1988
Nombre total de pixels	8 253 048	8 253 048	8 253 048
Superficie totale image (ha)	330 122	330 122	330 122
Nombre de pixels blancs	1 074 749	285 398	448 205
Superficie dénudée (ha)	42 990	14 416	17 928
Nombre de pixels noirs	7 178 299	7 967 650	7 804 843
(dont nuages)	0	9 077	0
Superficie non dénudée (ha)	287 132	318 706	312 193
Rapport de superficie sols dénudés/ superficie totale	13 %	3,46 %	5,43 %

Ces superficies sont cependant à réviser légèrement à la baisse, principalement en janvier et novembre, pour prendre en compte la marge d'erreur due aux rivières asséchées (mayos) dont les lits ont une signature spectrale identique à celle des sols Hardé. Sols Hardé et fonds de mayos ont, en effet, certaines caractéristiques d'état de surface en commun : leur couleur claire et réfléchissante, leur absence (totale pour les mayos et quasi totale pour les sols Hardé) de

végétation, l'absence de fentes de retrait qui pourraient engendrer des ombres, etc. Ce sont ces caractéristiques communes, en saison sèche, qui sont cause de la confusion.

La distinction serait toutefois possible, en saison des pluies, lorsque tous les mayos sont en eau : l'eau absorbe l'énergie lumineuse et les mayos ressortent alors dans les valeurs basses.

Nous ne disposons pas ici d'image enregistrée en cours de saison des pluies, susceptible de nous permettre de lever cette ambiguïté des signatures.

Mais puisque la surface des mayos ne varie pas, ou très peu, d'une année sur l'autre, ou d'un bout à l'autre de la saison sèche, cette confusion ne nous empêche pas de mesurer l'évolution, aux différentes saisons, des superficies dénudées ; les rapports seront comparables entre eux.

Les différences entre les rapports de superficie (sols dénudés/non dénudés) sur les images étudiées ont plusieurs origines :

- **Les changements saisonniers** : au fur et à mesure que progresse la saison sèche, les surfaces dénudées augmentent, ce qui est dû à la sénescence, puis à la disparition de la strate herbacée. Celle-ci est en particulier favorisée par le pâturage.

- **Des changements annuels** : la forte saison des pluies de 1988 (832 mm) explique la diminution des superficies dénudées par rapport à l'année précédente, plus sèche (597 mm en 1987).

C'est ainsi qu'ont été observées, en 1988 et 1989, des remises en cultures de surfaces abandonnées au cours des années précédentes.

Pour un suivi exact des superficies dénudées, il faudrait, chaque année :

- une image de fin de saison des pluies (si possible toujours à la même date) ;

- une image, -enregistrée en cours de la même saison des pluies, pour « sortir » les superficies en eau et rectifier les résultats obtenus.

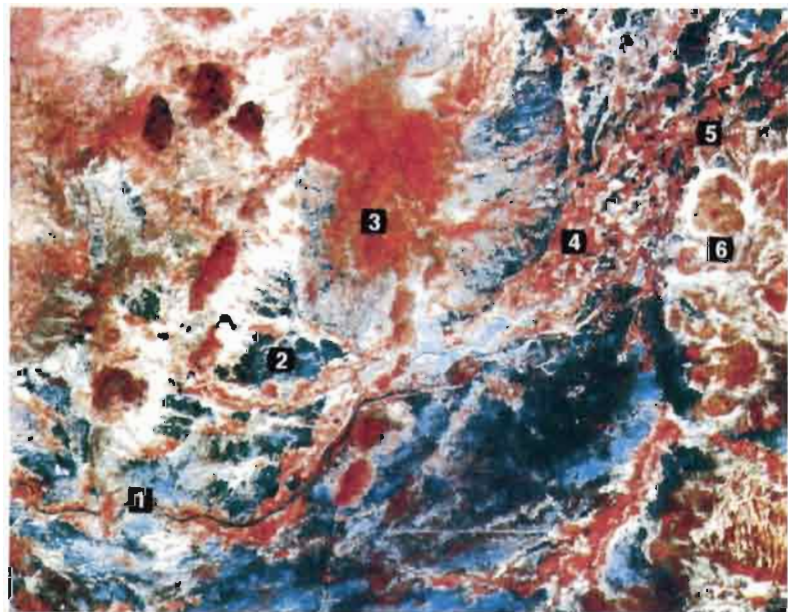
L'acquisition annuelle permettrait de poursuivre cette étude sur l'évolution des superficies dénudées dans le temps par une étude sur leur localisation, leur évolution et leur dynamique spatiale. Par « dynamique spatiale », nous entendons l'extension ou la réduction de ces surfaces, en relation avec la localisation des villes, les formes édaphiques, la proximité des terrains cultivés ainsi que les zones pastorales et les aires de passage du bétail.



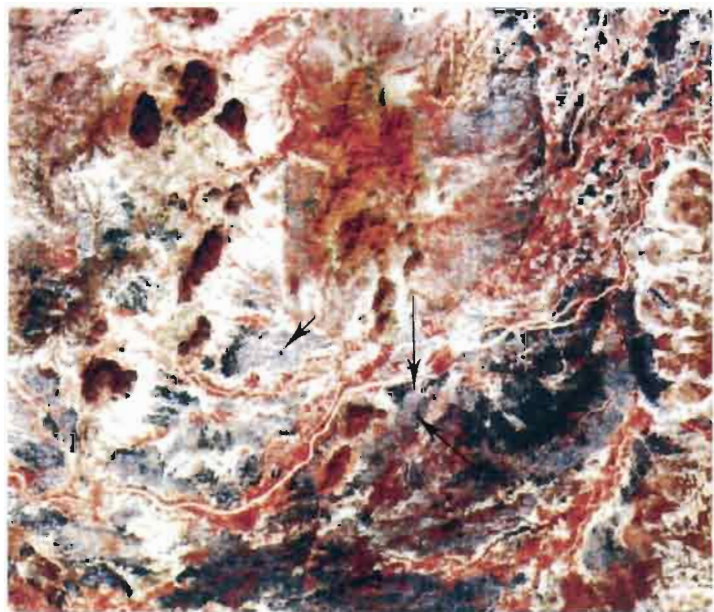
**Composition colorée n° 1**  
Région de Maroua, janvier 1987. Les flèches indiquent les sols Hardé de Balaza.



Photo aérienne du petit rectangle entouré en noir sur la composition colorée n° 1. Sur celle-ci les forêts et boisements apparaissent en rouge, les toits de tôle des quartiers sans arbres en bleu, la colline en brun et les zones dénudées en blanc, y compris le lit sableux des rivières asséchées.



**Composition colorée n° 2**  
Région de Maroua, octobre 1988 : la partie d'image couvre environ 40 × 60 km. Nous sommes en début de saison sèche. En bleu, les zones qui absorbent l'énergie lumineuse. Il s'agit des rivières qui sont encore en eau, comme le Mayo Tsanaga (1) et des parties qui viennent d'être brûlées avant repiquage du sorgho « muskwari » (2). Les zones couvertes de végétation encore verte apparaissent en rouge : il s'agit, en particulier, des collines couvertes de boswellia (3), des piémonts occupés par le parc à faidherbia (4) et des vallées où l'on trouve des vergers et des jardins maraîchers (5). Les zones dénudées qui réfléchissent la lumière sont en blanc (6).



**Composition colorée n° 3**  
Région de Maroua, novembre 1988 : si on compare cette image à celle d'octobre 1988, on constate une atténuation du rouge qui correspond au dessèchement de la végétation, sauf le long des vallées (vergers, champs d'oignons irrigués, parcs à faidherbia). Les grosses taches bleues se sont piquetées de rouge et sont ainsi devenues violettes, le sorgho « muskwari » s'est en effet développé. Sur vertisol (karal); il apparaît en mauve foncé (flèches longues); sur sols Hardé (karalhardé), en mauve clair (flèche courte).

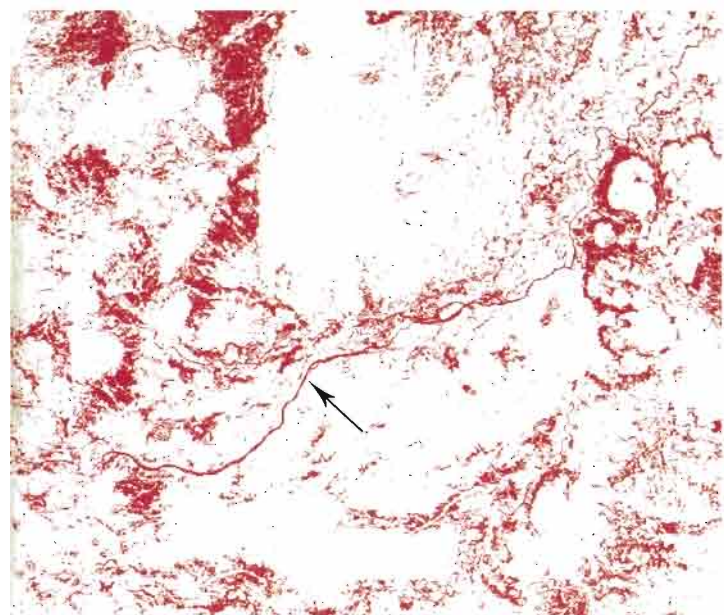
# ÉVALUATION DES ETATS DE SURFACE A PARTIR D'IMAGES SPOT

Le cas des sols dénudés de la région de Maroua

par Christine TRIBOULET, télédétection, ORSTOM

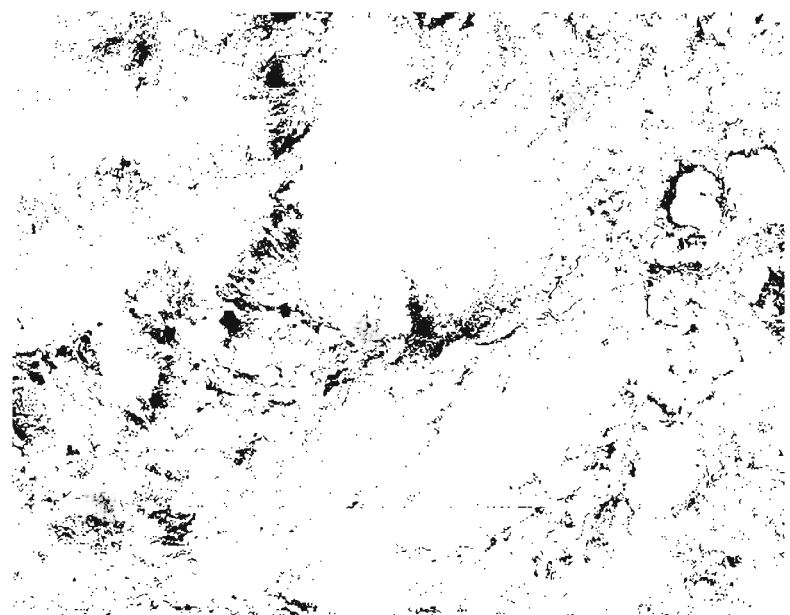


Sol Hardé en début de saison des pluies.



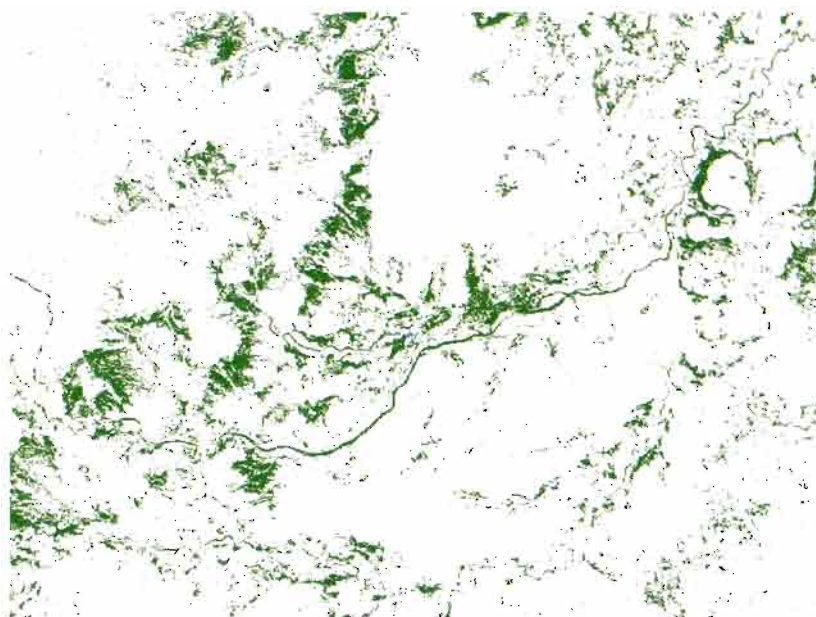
**Image bicolore n° 1**

Région de Maroua, janvier 1987 : représentation obtenue à partir de la composition colorée n° 1, en imprimant en rouge les pixels qui correspondent aux surfaces dénudées, les autres étant laissées en blanc. On reconnaît le tracé du mayo Tsanaga (flèche), dont le lit sableux et desséché a une signature comparable à celle des sols Hardé.



**Image bicolore n° 2**

Région de Maroua, octobre 1988 : représentation obtenue à partir de la composition colorée n° 2, en imprimant en noir les pixels correspondant aux surfaces dénudées. En cette fin de saison des pluies, on peut considérer qu'il ne s'agit que des sols Hardé. Mais une partie d'entre eux qui sont couverts d'une fine végétation ne sont pas pris en compte. En faisant un comptage automatique de ces pixels, on obtient une valeur minorée de la surface occupée par les sols Hardé. Par rapport à l'image bicolore n° 1, les lits des rivières ont disparu. Le sol Hardé en « forme de trèfle », visible en haut à droite, entoure le dôme de Balaza.



**Image bicolore n° 3**

Région de Maroua, novembre 1988 : représentation obtenue à partir de la composition colorée n° 3, en imprimant en vert les pixels correspondant aux surfaces dénudées. Par rapport à l'image bicolore n° 2, le nombre de ceux-ci est passé de 285 000 à 450 000 (sur l'ensemble de l'image Spot, dont on ne représente ici que les 2/3). D'une part, les rivières se sont asséchées et ressortent parmi les zones nues. D'autre part, le bétail et le feu ont éliminé la maigre végétation des terres Hardé qui en étaient encore recouvertes. C'est à cette époque qu'il est le plus réaliste d'estimer les surfaces. Ici, elles représentent 18 000 ha, soit 5,5 % de la superficie couverte par toute l'image.



### ■ Résultats graphiques

Nous avons présenté pp. 34 et 35 trois compositions colorées et trois images bicolores:

- **La composition colorée n° 1** est une composition standard, c'est-à-dire que le canal 1 est en bleu, le canal 2 est en vert et le canal 3 est en rouge.
- **Les Images bicolores** représentent les zones sans végétation aux trois dates dont nous disposons.

On notera la « rétraction » des superficies dénudées entre les mois de janvier et octobre, due à l'arrivée de la saison des pluies et aussi à l'abondance des précipitations cette année-là.

Octobre est le mois où les superficies sans végétation sont les moins importantes. A cela trois raisons :

- la saison des pluies, qui a relancé la croissance de la végétation herbacée ;
- les cultures de saison des pluies, qui commencent à être suffisamment couvrantes pour influencer la réponse des sols cultivés ;
- enfin, le défrichement et le brûlis, à cette époque, des dernières parcelles à être mises en culture (celles

destinées au repiquage du muskwari) car leur surface noire est alors très absorbante.

L'utilisation des images Spot ne permet pas de cartographier exactement les terres Hardé (toutes les terres Hardé et seulement les terres Hardé). Elles peuvent cependant être utilisées pour cartographier et mesurer la superficie des sols dépourvus de végétation, ce qui peut constituer une estimation de la superficie des terres Hardé.

Sur la région couverte par l'image Spot, la superficie des sols dénudés varie de 14 500 ha (octobre 1988) à 43 000 ha (janvier 1987). Celle des terres Hardé est comprise dans cette fourchette. A notre avis, une bonne estimation est cependant donnée par la superficie mesurée en octobre 1988, période à laquelle le très léger tapis de graminées qui recouvre les terres Hardé a, en général, disparu. Leur superficie serait alors de 18 000 ha, ce qui représente 5,5 % de la superficie couverte par l'image. ■

N.B. Le trait horizontal qui apparaît sur les documents du mois d'octobre est un défaut d'enregistrement du satellite.

---

Christine TRIBOULET  
ORSTOM, 70-74, route d'Aulnay  
93143 Bondy (France)



Enregistrement de la signature radiométrique d'un sol dénudé (à gauche) ou en culture irriguée (à droite) à l'aide d'un radiomètre Cimel, manipulé à 6 m du sol.

CAHIERS SCIENTIFIQUES N° 11  
Supplément de Bois et Forêts des Tropiques  
MÉMOIRES ET TRAVAUX DE L'IRA N° 6

# LES TERRES HARDÉ

## CARACTÉRISATION ET RÉHABILITATION DANS LE BASSIN DU LAC TCHAD



ORSTOM

