

TÉLÉDÉTECTION (GÉOCHIMIE). — *Premiers résultats de cartographie des couvertures latéritiques par images Spot, région de Kangaba (Sud-Mali).* Note de **Claude Roquin, Toundé Dandjinou, Philippe Freyssinet, Jean-Claude Pion et Yves Tardy**, présentée par Georges Millot.

Une méthode de cartographie détaillée des unités du paysage latéritique, à partir des données multispectrales recueillies par le satellite *Spot*, a été appliquée dans la région de Kangaba, au Sud-Mali. Les deux traits essentiels du paysage, bien mis en évidence, concernent la répartition de la végétation et la distinction des accumulations sablo-argileuses des bas-fonds par rapport aux cuirasses affleurantes des plateaux. La densité de la végétation sur les plateaux est liée à la teneur en kaolinite des cuirasses latéritiques. Les plateaux cuirassés sont entourés par une auréole claire à forte réflectance, correspondant à une zone d'accumulation du quartz, où la végétation est rare. La cartographie des principales unités du paysage latéritique et la distribution des constituants minéralogiques et chimiques du sol sont ainsi mis en relation de manière assurée.

TELEDETECTION (GEOCHEMISTRY). — Mapping of lateritic covers with *Spot* images: first results on Kangaba area (South-Mali).

A detailed mapping method of lateritic landscape, with the help of Spot satellite multispectral images, has been applied in the area of Kangaba, (South-Mali). The two main landscape features concern the repartition of vegetation cover and the distinction between sandy superficial deposits in the thalwegs and ferruginous duricrusts exposed on the plateaus. The density of vegetation on duricrusts is related to their kaolinite contents. Plateaus are surrounded by a halo of high reflectance corresponding to a zone of quartz accumulation, with a sparse vegetation cover. Thus, the relationships between lateritic landscape mapping with Spot images, and the distribution of minerals and elements contents in soils are clearly shown.

I. INTRODUCTION. — Une cartographie détaillée des formations superficielles latéritiques a été réalisée sur une superficie de 25 km², autour du village de Dagadamou dans la région de Kangaba au Sud-Mali, à partir des images *Spot* recueillies le 5 avril 1986, c'est-à-dire un peu plus de 1 mois après le lancement de la fusée *Ariane* à Kourou. Le secteur choisi se situe au sein d'un ensemble plus vaste qui fait l'objet d'une prospection géochimique appliquée à la recherche d'or. L'objectif de cette étude est tout d'abord de montrer les possibilités d'utilisation des données *Spot* pour reconnaître et cartographier les différentes unités du paysage latéritique. Il est aussi de mettre en évidence les relations qui existent entre la réponse radiométrique des latérites et leur composition minéralogique et chimique.

II. PRÉSENTATION DE LA RÉGION. — Le village de Dagadamou est situé à 130 km au SW de Bamako, dans la partie du district de Kangaba comprise entre le fleuve Niger au SE, la frontière guinéenne à l'Ouest, et les plateaux Mandingues au Nord.

La morphologie générale de la région est celle d'un paysage de plateaux cuirassés entaillés par le réseau hydrographique, présentant des altitudes qui varient entre 350 et 400 m. On peut noter une évolution entre la partie ouest du secteur au relief plus accentué, où les plateaux sont limités par des talus d'érosion bien marqués et la partie est, où les cuirasses forment des croupes arrondies qui émergent au-dessus des glacis de bas-fonds.

Les formations superficielles se répartissent clairement en trois classes : (1) les cuirasses affleurantes au sommet des plateaux; (2) les sols gravillonnaires qui par endroits recouvrent les cuirasses, et (3) les dépôts sablo-argileux qui s'accumulent dans les zones déprimées des plateaux et des vallées à fond plat que l'on appelle « flats ». La lithologie du socle sous sa couverture d'altération, n'est pratiquement pas connue. Les auteurs de la carte géologique à 1/1 500 000 de la République du Mali [1] la rapportent aux séries métamorphiques d'origine volcano-sédimentaire du Birrimien (Précambrien C).

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 23708 ex. 1

Cote : B 94 M

Date : 870601

Le climat de type soudanien, est caractérisé par une longue saison sèche qui s'étend d'octobre à mai et par une saison humide de 4 mois de juin à septembre. La pluviométrie annuelle [2] est de l'ordre de 1 250 mm. La végétation de type savane arborée, est répartie de façon assez irrégulière, en fonction des ressources hydriques du sol et du sous-sol. Elle est généralement plus dense le long des marigots ou sur les zones humides des plateaux et de leurs bordures.

III. PRÉSENTATION DES DONNÉES GÉOCHIMIQUES ET RADIOMÉTRIQUES. — La distribution géographique des éléments dans les matériaux superficiels de la région de Dagadamou, est connue à partir des résultats d'une campagne de prospection géochimique réalisée en 1981, par le syndicat minier associant le Gouvernement Malien (DNGM) et le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (B.R.G.M.).

Les 1 062 échantillons prélevés suivant une maille régulière de 100 × 200 m, se répartissent en trois catégories principales correspondant à la nature des matériaux recueillis en surface; 479 échantillons de cuirasse, 278 échantillons de sols à gravillons, 240 échantillons de sols de « flat ». Les analyses chimiques réalisées par spectrométrie d'émission à plasma I.C.P., portent sur 8 éléments majeurs exprimés en oxydes (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , K_2O , TiO_2 , MnO) et 26 éléments en traces (P, Ba, B, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Ce, Y, Sr, Zr, Li, Be, Cd, Nb, Mo, Ag, Sn, Sb, La, W, Pb, Bi). La composition normative de chaque échantillon en kaolinite, quartz, gibbsite, goëthite et hématite est estimée par un calcul pétrochimique ([3], [4]), à partir des teneurs observées pour les éléments majeurs.

Les images radiométriques de cette région, correspondant à la scène 39-326, ont été prises lors du passage du satellite *Spot*, en fin de saison sèche, le 5 avril 1986 à 11 h. Les mesures ont été réalisées en visée oblique avec une incidence de 25 degrés au sol, et en mode multispectral dans les deux bandes du domaine visible XS1 (0,50-0,59 μm), XS2 (0,61-0,68 μm) et dans le proche infrarouge XS3 (0,79-0,89 μm). Après les corrections standard de géométrie et de radiométrie de niveau 1 B ([5], [6]), la dimension d'un point élémentaire de l'image est de 20 m. Les traitements ont été réalisés à l'aide des matériels et logiciels informatiques développés au Centre de Sédimentologie et de Géochimie de la Surface et au Centre de Calcul de Strasbourg-Cronenbourg.

IV. MÉTHODE DE TRAITEMENT. — Les premiers traitements ont pour but d'améliorer la qualité visuelle des images en choisissant les contrastes les mieux adaptés aux histogrammes de fréquences des réflectances de chaque bande spectrale XS1, XS2 et XS3. Celles-ci sont visualisées séparément ou bien de façon simultanée sous forme de compositions colorées. On a également cherché à obtenir par un calcul de combinaisons linéaires ou

EXPLICATIONS DES PLANCHES

Planche I

Fig. 1. — Carte de l'indice de réflectance de la végétation, calculé à partir des mesures *Spot* dans les bandes spectrales XS3 et XS2 : $IV = 100 \times (XS3 - XS2) / (XS3 + XS2)$.

Fig. 1. — Map of vegetation reflectance index, derived from *Spot* data for spectral bands XS3 and XS2 : $IV = 100 \times (XS3 - XS2) / (XS3 + XS2)$.

Fig. 2. — Carte des teneurs en Kaolinite estimées à partir des analyses de prospection géochimique.

Fig. 2. — Map of Kaolinite contents, estimated from geochemical prospecting data.

Image SPOT : $(XS3 - XS2) / (XS3 + XS2) * 100$

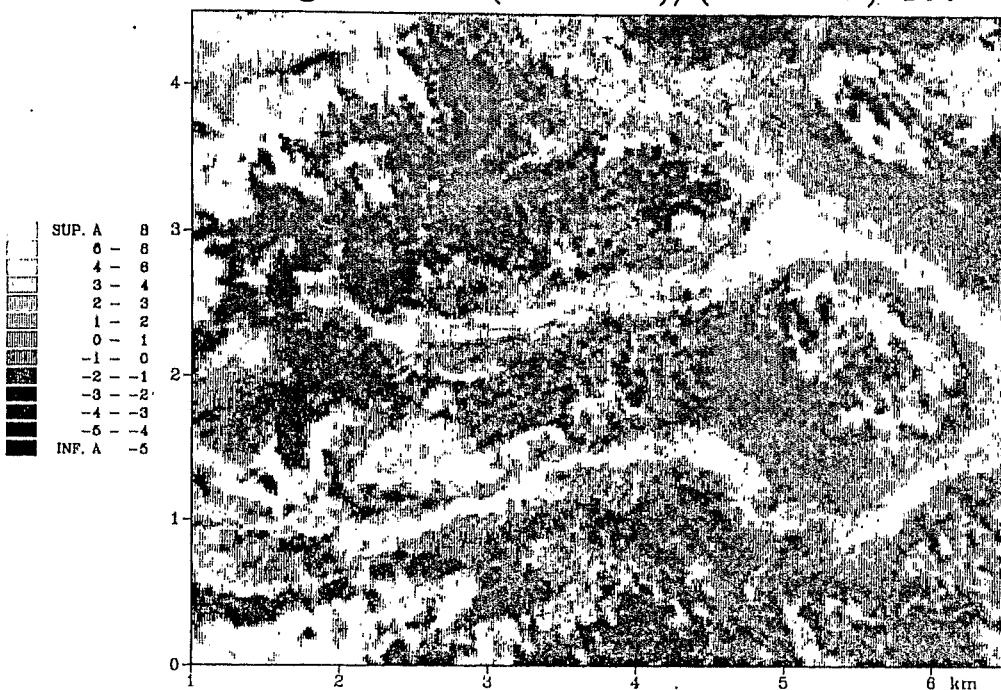
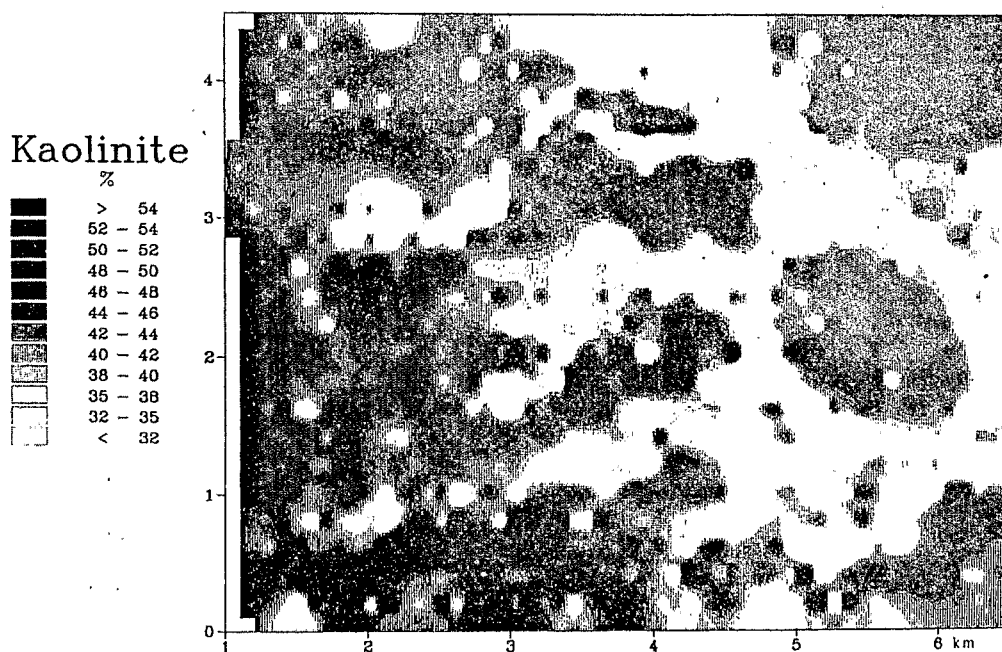


Fig. 1

Carte des teneurs estimees en Kaolinite



Prospect de Dagadamou: Region de Kangaba
(Sud Mali)

Fig. 2

Image SPOT : 3*XS1-XS2-100

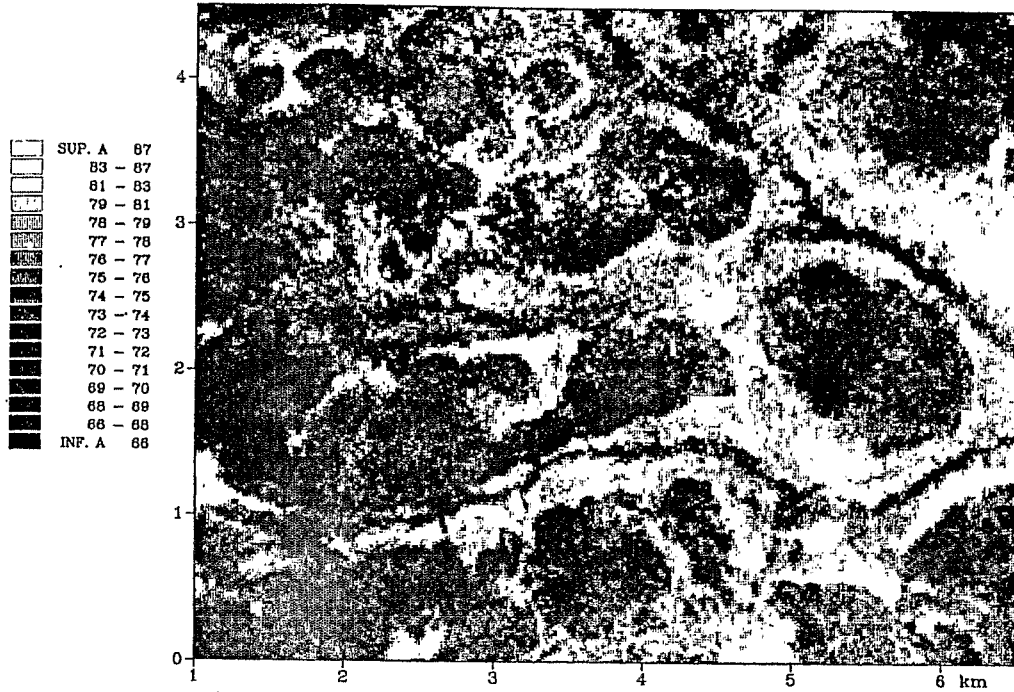
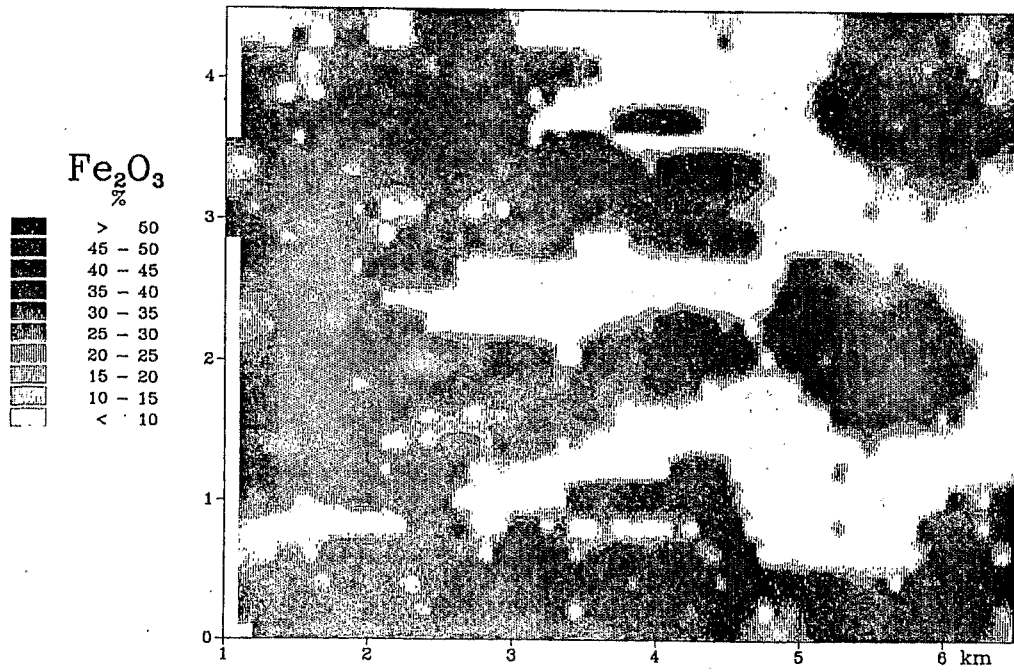


Fig. 3

Carte des teneurs en Fer



Prospect de Dagadamou: Region de Kangaba
(Sud Mali)

Fig. 4

73 15.11.06

Planche II

Fig. 3. — Carte de l'indice de réflectance des cuirasses, calculé à partir des mesures *Spot* dans les bandes spectrales XS 1 et XS 2 : $IC = 3XS 1 - XS 2 - 100$.

Fig. 3. — *Map of duricrust reflectance index, derived from Spot data for spectral bands XS 1 and XS 2: $IC = 3XS 1 - XS 2 - 100$.*

Fig. 4. — Carte des teneurs en Fer des formations superficielles échantillonnées en prospection.

Fig. 4. — *Map of Iron contents of superficial formations sampled in geochemical prospecting.*

de rapports entre les trois bandes, des indicateurs numériques caractérisant la signature spectrale des différents thèmes du paysage : végétation, cultures, sols nus, feux de brousse, cuirasses, marigots, etc. Le recalage géométrique des images *Spot*, par rapport aux cartes géochimiques, a permis la superposition et la comparaison de ces deux types d'information.

V. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION. — Les résultats obtenus, sont présentés sous forme de cartes. Deux exemples significatifs de relation entre la réponse radiométrique et la composition des faciès latéritiques sont illustrés par les figures 1, 2, 3, et 4.

La première relation observée est indirecte; elle correspond à un développement plus important de la végétation sur les cuirasses les plus riches en kaolinite. La densité de la couverture végétale caractérisée par le contraste de réflectance entre les bandes visible XS 2 et proche infrarouge XS 3, est exprimée, sur la figure 1, par l'indice de végétation défini de façon classique ([7], [8]) : $IV = 100 (XS 3 - XS 2) / (XS 3 + XS 2)$. On reconnaît bien sur cette image le tracé des marigots, ainsi que les zones boisées parfois disposées sur les plateaux cuirassés en bandes parallèles formant des hachures orientées NW-SE.

La carte de la distribution de la kaolinite sur la figure 2, différencie nettement les plateaux cuirassés, caractérisés par une grande abondance de ce minéral et les sols de « flat » dont la composition est diluée par le quartz. Une corrélation significative, est observée entre la teneur en kaolinite et l'indice de végétation pour les points de prélèvement situés sur les cuirasses affleurantes ou couvertes de gravillons.

La seconde relation présentée sur la figure 3, traduit l'effet du cuirassement sur la réflectance mesurée dans les bandes XS 1 et XS 2. L'indice obtenu en combinant ces deux canaux sous la forme, $3XS 1 - XS 2 - 100$, discrimine nettement les plateaux cuirassés par rapport aux zones déprimées à recouvrement sablo-argileux. Cette opposition, déjà signalée pour les teneurs en kaolinite, est également très nette en géochimie. Les cuirasses concentrent le fer, l'aluminium, et les éléments traces associés Cr, V, P, Cu, Mo, Nb, As, tandis que les bas-fonds accumulent la silice et les éléments Zr, Y, Ti, Ce, B, caractéristiques d'une phase à minéraux lourds. Cependant l'image de télédétection apporte, grâce à sa résolution beaucoup plus fine, de nombreux détails et elle permet de dessiner avec précision le contour des plateaux cuirassés. Le liseré clair, de réflectance plus élevée, qui souligne fréquemment ces contours correspond à l'auréole de concentrations maximales en silice, quartz et zirconium. D'autres unités du paysage se reconnaissent bien également sur la figure 3. Il s'agit notamment du tracé des marigots et de l'emplacement des feux de brousse récents, marqués par des taches noires.

VI. CONCLUSIONS. — Le traitement numérique des images *Spot* permet la distinction et l'identification des éléments essentiels du paysage latéritique : sols de « flats », marigots et plateaux cuirassés, zones couvertes de végétation et zones dénudées.

Les marigots et les sols de « flats » boisés sont caractérisés par de faibles teneurs en kaolinite et en fer. Ce sont des zones sableuses riches en quartz.

Les plateaux cuirassés, tantôt dénudés et tantôt recouverts de végétation, sont caractérisés par des teneurs en fer et en kaolinite élevées. Lorsque, sur les plateaux, la kaolinite est plus abondante, les teneurs en fer sont plus faibles, la végétation est plus dense, le sol est plus humide.

On trouve, ici, les premiers éléments qui permettent de lier l'évolution géochimique des cuirasses aux conditions de drainage de surface et au développement de la couverture végétale.

La cartographie par télédétection à partir des images *Spot*, montre donc bien l'organisation du paysage latéritique à l'échelle régionale. Cette méthode, plus performante que ce que l'on peut espérer obtenir par analyse de prélèvements au sol, contribue à l'élaboration d'une stratégie de prospection géochimique.

Nous exprimons nos remerciements au C.N.E.S. qui a fourni les données *Spot* et participé au financement de cette étude. Nous remercions également les responsables du B.R.G.M. et de la D.N.G.M. qui nous ont communiqué leurs résultats de prospection géochimique.

Reçue le 5 janvier 1986.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] J. P. BASSOT, J. MELOUX et H. TRAORE, *B.R.G.M.*, Orléans, 1981, 137 p.
- [2] Atlas du Mali, Les atlas jeune Afrique, les éditions j.a., Paris, 1980, 64 p.
- [3] L. VAN DER PLAS et J. VAN SCHUYLENBORGH, *Geoderma*, 4, 1970, p. 357-385.
- [4] G. GRANDIN, *Mém. O.R.S.T.O.M.*, 82, 1976, 275 p.
- [5] G. BEGNI, Le système *Spot* d'observation de la Terre, *Colloque de Montréal, A.Q.T./S.F.P.T.*, 1982, p. 33-46.
- [6] A. BAUDOIN, *Bull. I.G.N.*, 44, 1982, p. 38-49.
- [7] G. CLICHE, F. BONN, O. DUPONT, M. CARIGAN et L. CHARBONNEAU, Le système *Spot* d'observation de la Terre, *Colloque de Montréal, A.Q.T./S.F.P.T.*, 1982, p. 111-124.
- [8] G. SAINT et A. PODAIRE, Le système *Spot* d'observation de la Terre, *Colloque de Montréal, A.Q.T./S.F.P.T.*, 1982, p. 193-204.

*Centre de Sédimentologie et de Géochimie de la Surface,
Institut de Géologie, 1, rue Blessig, 67084 Strasbourg Cedex.*