

**ETUDE DES LATERITES PAR TELEDETECTION.
CARTOGRAPHIE THEMATIQUE DE BANANKORO ET DAGADAMOU
CORRELATION DES DONNEES GEOCHIMIQUES
COMPARAISON MULTITEMPORELLE
ET CLASSIFICATION DES IMAGES SPOT AU SUD-MALI**

Jean Claude PION, Claude ROQUIN, Toundé DANDJINO, Hervé YESOU

ABSTRACT

A detailed geochemical mapping of lateritic superficial formations in South Mali is compared with SPOT satellite multispectral images. The two main landscape features concern the distribution of vegetation cover and the distinction between silty clay soils in the valleys and ferricrete exposed on the plateaus. The density of vegetation on ferricrete is related to their kaolinite content. Plateaus are surrounded by a halo of high reflectance corresponding to the bottom slope detrital accumulation of quartz and heavy minerals.

Some results of thematic mapping based on SPOT images over the lateritic area of BANANKORO in South Mali are described. Several methods of supervised classification have been used. The best results are given after class definition on bidimensional histograms corresponding to SPOT XS channels or first factors of PCA. Preliminary structural mapping is achieved with the help of KIRSCH operator for edge and line enhancements.

I. INTRODUCTION

Le programme de recherches "Etude des latérites par télédétection", vient s'intégrer dans un contexte de cartographie générale thématique des formations tropicales. Les études de Télédétection ont été entreprises dans le secteur aurifère de KANGABA, qui est une région fortement recouverte de latérites. L'objectif du programme est de fournir une aide et un support à la prospection des ressources minérales. Nous présentons les essais effectués sur les zones test de BANANKORO et DAGADAMOU pour les corrélations de données géochimiques, les comparaisons de dates, la cartographie structurale et la cartographie par classification des images SPOT.

Il existe de grandes différences sur les images SPOT, entre les prises de vues du mois d'avril 1986 et les prises de vues du mois de novembre 1986 (Tableau I). La possibilité de combiner les deux dates permet cependant une cartographie de synthèse qui est riche d'enseignements.

Dates	K - J	Captureurs Produits	Origine	Angles de prise de vue	Angles d'incidence	Orientaton de l'orbite	Heures locales	Coordonnées du Centre des scènes
Avril 1986	39 - 326	HRV 2 XS1, XS2, XS3 CCT - 1B	TOULOUSE	22.0° Ouest	25.1° Right	8.6°	10h 59' 45"	N. 012° 01' 11" W. 008° 44' 50"
	39 - 327	HRV 2 XS1, XS2, XS3 CCT - 1B	TOULOUSE	22.0° Ouest	25.1° Right	8.6°	10h 59' 54"	N. 011° 31' 10" W. 008° 51' 24"
29 Novembre 1986	39 - 326	HRV 1 XS1, XS2, XS3 CCT - 1B	KIRUNA	18.4° Est	20.9° Left	9.3°	11h 23' 03"	N. 012° 01' 11" W. 008° 50' 15"
	39 - 327	HRV 1 XS1, XS2, XS3 CCT - 1B	KIRUNA	18.4° Est	20.9° Left	9.3°	11h 23' 12"	N. 011° 31' 10" W. 008° 57' 27"

Tableau I. caractéristiques des images SPOT

La zone test de DAGADAMOU et le plateau de BANANKORO se situent dans la région de KANGABA (11° 42 Nord, 8° 43 Ouest), en bordure du Niger, à la frontière avec la Guinée. Ces zones sont recouvertes d'une végétation de savane boisée qui correspond à une zonation climatique tropicale, type Sud-Soudanien. La région se définit comme étant très couverte par les formations latéritiques.

Le choix des secteurs de DAGADAMOU et BANANKORO se justifie surtout par l'existence d'une minéralisation aurifère, en placer et sous cuirasse, qui a déjà fait l'objet de nombreux travaux de reconnaissance en prospection minière. Un des premiers objectifs de l'étude était de mettre en évidence les relations existant entre la composition chimique et minéralogique des latérites et leur réponse radiométrique enregistrée sur les images SPOT. Plusieurs unités morphologiques ont été identifiées : les plateaux cuirassés, les talus, les glacis et les thalwegs [1,2,3].

Pour la zone de DAGADAMOU, sur un secteur de 25 km², les images SPOT ont été comparées avec les cartes géochimiques et minéralogiques établies en prospection multi-éléments, à partir de 1000 échantillons de surface, prélevés à la maille de 100 x 200 m. Les images SPOT ont été acquises sous forme de couple stéréoscopique en mode multispectral, avec une première visée oblique Ouest, le 5 Avril 1986, en fin de saison sèche et une seconde visée Est, le 29 Novembre 1986, environ deux mois après la saison humide.

Pour la zone de BANANKORO, une analyse en composantes principales (ACP), permet d'obtenir de nouveaux axes, décorrélés entre eux, qui sont des combinaisons linéaires des canaux XS1, XS2 et XS3 [4, 5]. **Le premier facteur** de l'analyse en composantes principales représente plus des trois quarts des variations globales de luminance. Les images des facteurs F1 correspondent beaucoup à ce que l'on peut observer sur les images normales XS1 et XS2. Comme il s'agit d'une somme de canaux, les contrastes entre les différents thèmes sont accentués par un lissage des petites hétérogénéités. On voit mieux les contours des plateaux cuirassés en novembre et il y a plus d'informations sur les zones basses des thalwegs en avril. **Le facteur F2** représente moins du quart de la variance globale des luminances. Il traduit assez fidèlement les contrastes entre le canal infrarouge XS3 et les canaux visibles XS1 et XS2. Il est très influencé par la végétation et ressemble aux néocanaux des indices de végétation (figures 1 et 2). L'image de novembre est beaucoup plus homogène que l'image d'avril, ce qui indique une végétation mieux répartie et mieux couvrante en novembre. **Le troisième facteur F3** ne représente que 1% de la variance globale des luminances. Il est sans commune mesure avec les deux premiers facteurs. Il s'agit en fait de beaucoup de bruit de fond et du faible lignage vertical propre aux capteurs SPOT.

II. RESULTATS POUR LA ZONE DE DAGADAMOU

En avril, le contraste d'albedo et de couleur entre les cuirasses ferrugineuses affleurantes des plateaux et les couvertures silto-argileuses déposées dans les dépressions topographiques, est bien marqué par un indice de cuirasse, $Ic = 3XS1 - XS2 - 100$. En Avril et Novembre, les indices de végétation $Iv = \frac{(XS3 - XS2)}{(XS3 + XS2)}$ montrent que sur certains plateaux, la végétation se distribue suivant plusieurs bandes parallèles d'orientation NW-SE [6, 7]. Cela semble traduire l'empreinte des structures lithologiques primaires peu visibles sur le terrain, mais préservées dans le profil d'altération (figure 3).

Par ailleurs, la différenciation pédologique correspondant à une zone d'accumulation détritique au pied des buttes cuirassées, mise en évidence par un halo géochimique en quartz et en zirconium, se marque aussi très nettement sur les images SPOT par une auréole claire dépourvue de végétation.

Après un recalage des images SPOT sur les cartes géochimiques, les pixels correspondant aux points de prélèvement ont été sélectionnés et les données radiométriques ont été intégrées au fichier géochimique. L'indice de végétation maximum qui est pris en compte le plus souvent, correspond à une synthèse des indices d'avril et de novembre, destinée à diminuer l'influence des feux de brousse récents dont l'emplacement varie d'une date à l'autre.

Les éléments géochimiques se répartissent en trois groupes, suivant leurs affinités avec les deux indices radiométriques [8]. Ces groupes correspondent aux trois pôles principaux de différenciation du fond géochimique :

- Le quartz, la silice et les éléments traces (Y, Zr, Ce, Ti) associés au cortège des minéraux lourds qui s'accumulent dans les sols des vallées où la végétation est plus abondante sont positivement corrélés avec les deux indices;
- Le pôle opposé regroupe les éléments qui s'enrichissent avec les oxyhydroxydes de fer dans les cuirasses (V, P, Nb, As, Mo, Cr);
- En position intermédiaire se situent les éléments accompagnateurs de la phase alumineuse à kaolinite dominante (Cu, Ni, Ba, Sr, Zn, K, Mg).

En revanche, lorsque l'on considère séparément chacun des quatre faciès de prélèvement on observe deux types de réponses différentes liées essentiellement à l'indice de végétation :

- Sur les trois faciès des cuirasses ferrugineuses (alumineuses, siliceuses et gravillonnaires), les zones les plus alumineuses et les plus riches en kaolinite sont celles où la végétation est la plus abondante (figure 4);
- Pour les sols de flat, l'indice de végétation est lié aux éléments Mn, Ba, Ce, Sr, Co; ce qui traduit les effets de coprécipitations le long des axes de drainage où la végétation est plus développée.



Figure 1. Indice de végétation du mois de Novembre, BANANKORO

BANANKORO NOV. ACP2

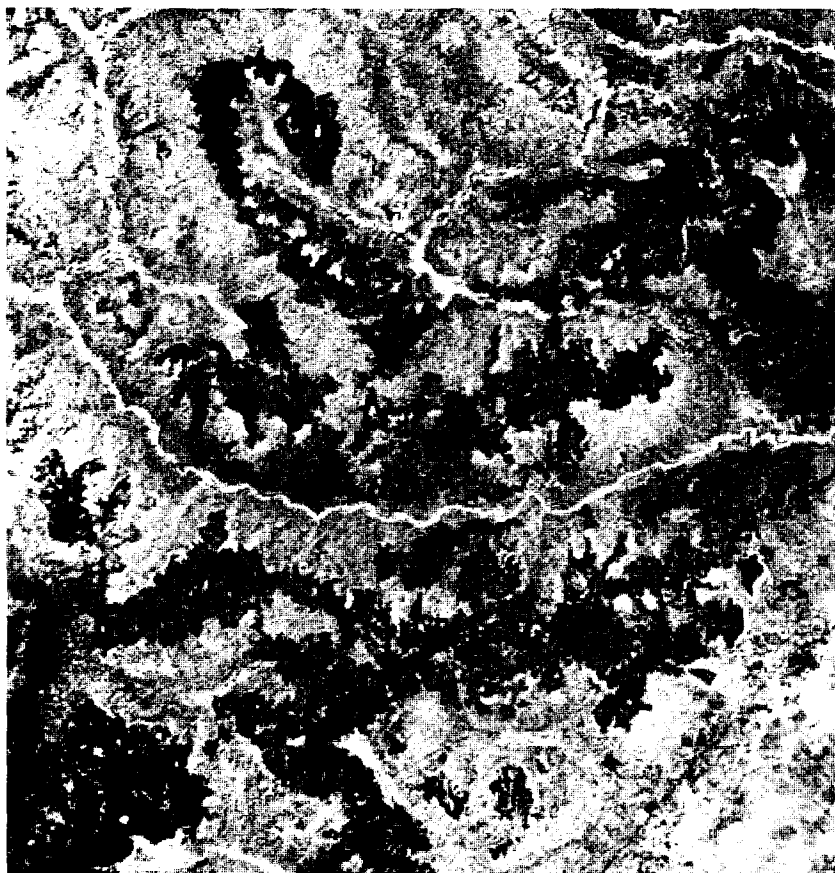


Figure 2. Analyse en composantes principales du mois de Novembre ACP facteur 2, BANANKORO

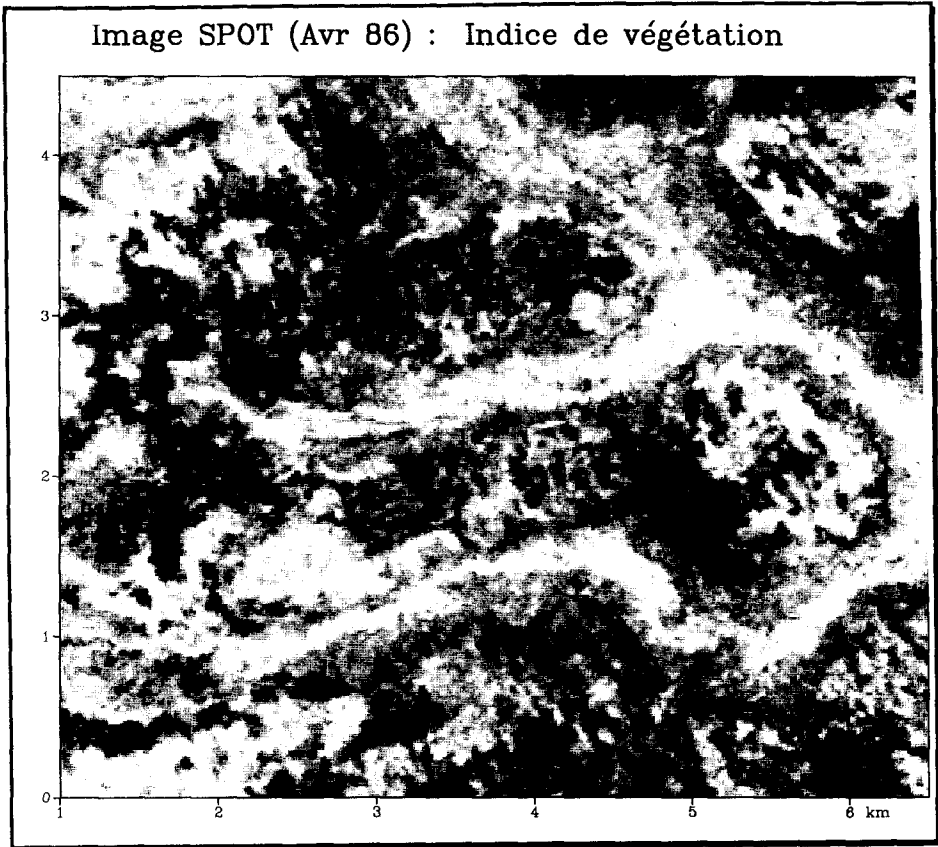


Figure 3. Indice de végétation du mois d'Avril, DAGADAMOU

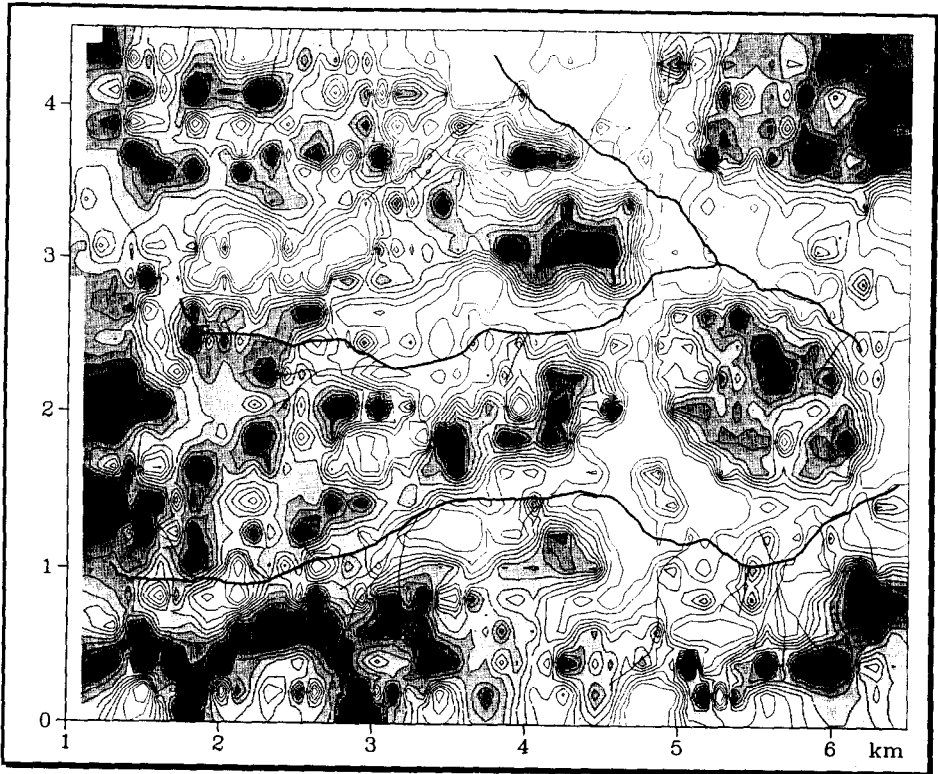


Figure 4. Carte des teneurs estimées en kaolinite, DAGADAMOU

III. RESULTAT POUR LA ZONE DE BANANKORO

III.1. Cartographie par classification

Le but de la classification est de distinguer les différentes unités du paysage latéritique, puis de les cartographier sous forme de cartes thématiques [2].

Classification dirigée par échantillonnage

Il s'agit d'identifier les six ou sept différents thèmes principaux du paysage. La deuxième étape consiste à sélectionner et à échantillonner des zones représentatives de chaque thème, appelées "zones d'entraînement". L'étude statistique de la répartition des valeurs radiométriques dans ces zones d'entraînement permet d'établir les limites de leur intervalle de variation sur chaque canal. On remarque, sur le résultat de ces classifications, de nombreux individus non-classés. D'autre part l'extension des glacis est surestimée par rapport à celle des plateaux cuirassés. Ceux-ci apparaissent très morcelés.

Classification selon les histogrammes des canaux bruts

On a essayé d'améliorer la classification précédente en redéfinissant chaque classe à partir de l'examen du nuage de points sur les histogrammes bidimensionnels XS1-XS3 et XS2-XS3. Cette classification laisse encore des pixels non classés. Il y a cependant une amélioration sensible des résultats de la première classification basée uniquement sur l'étude d'un petit nombre d'échantillons. L'ajustement réalisé sur les histogrammes bidimensionnels apporte une définition plus juste des différents thèmes du paysage latéritique.

Classification avec l'analyse en composantes principales

99 % de l'information radiométrique est représentée dans le plan des deux premières composantes principales F1-F2. Il est donc plus simple de partir de la représentation de l'histogramme bidimensionnel des facteurs F1-F2 pour définir les limites de classes. On obtient un étalement plus important du nuage de points, que sur les histogrammes bidimensionnels des canaux bruts. Les limites des plateaux cuirassés sont bien définies. La répartition des glaciés, entre les plaines et les plateaux cuirassés, semble très correcte. La classification ACP semble correcte, car il n'y a pas de non classé et la répartition des effectifs est plus homogène.

III.2. Cartographie structurale

Il s'agit plus précisément d'établir une carte linéamentaire de la zone de KANGABA. A l'aide du logiciel SUBTIL du GSTS de Strasbourg [4], nous avons commencé avec un module de détection des lignes et contours. Ce module utilise un opérateur de KIRSCH. Dans cette phase de traitement, on applique successivement huit masques directionnels du type 3 X 3. Deux types d'images sont produits. La première image marque les intensités des contours, car elle correspond aux valeurs maximales obtenues après application des huit masques directionnels. Cette image souligne l'organisation des éléments texturaux; cette organisation texturale sera appelée "contours" (figure 5). La seconde correspond au numéro du masque, pour lequel la valeur maximale de l'intensité du contour a été trouvée. Cette image montre préférentiellement des alignements d'éléments structuraux; ces alignements structuraux seront nommés "directions". Les images résultats ont été interprétées et confrontées aux sorties photographiques SPOT et aux couvertures aériennes [3].

Le trait fondamental de la zone de BANANKORO est l'importance des linéaments NE-SW et des linéaments conjugués NW-SE qui leur sont associés. Ils forment un réseau dense sur l'ensemble de la zone. Les linéaments N-S sont localisés dans la partie médiane de la zone. Ils correspondent localement à un réseau très important de fractures injectées de quartz. Ces linéaments subméridiens sont localisés sur deux verticales marquant très vraisemblablement des accidents profonds du socle. Le réseau hydrographique, calqué sur certaines directions linéamentaires, délimite les axes et les pendages des grands plateaux cuirassés. Il s'agit surtout des directions NW-SE et EW qui sont très visibles sur les couples stéréoscopiques.

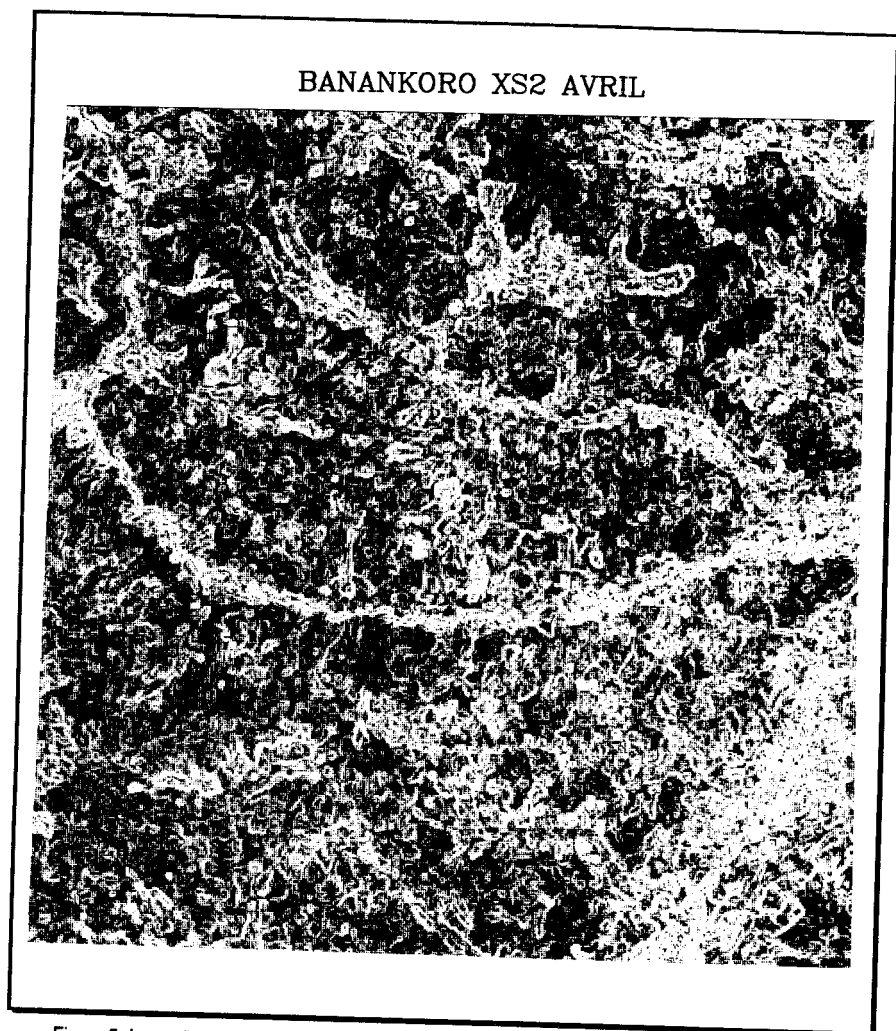


Figure 5. Image "contours" de l'opérateur de traitement directionnel sur la zone de BANANKORO

IV. CONCLUSIONS

Les données contenues dans les deux images servent à fabriquer des néocanaux, en sélectionnant la réflectance maxima sur les pixels. Cela permet d'éliminer des zones ponctuelles de feux de brousse visibles sur une des deux images. On peut également éliminer les brûlis à l'aide des indices thématiques synthétiques.

Une auréole claire dépourvue de végétation se marque sur les images SPOT au pied des buttes cuirassées. Cette zone circulaire d'accumulation détritique correspond à un halo riche en quartz et en zirconium.

Un indice de cuirasse exprime bien le contraste d'albédo entre les cuirasses affleurantes des plateaux et les dépôts silteux et argileux accumulés dans les dépressions. L'indice de végétation, Iv, montre que sur les plateaux cuirassés, la végétation se distribue suivant des bandes parallèles d'orientation NW-SE.

L'ACP est une technique intéressante, car elle permet de condenser l'information sur deux variables synthétiques qui reflètent deux grandes tendances de variations radiométriques. Une première tendance correspond aux variations d'albedo ou de réflectance moyenne dans toutes les bandes spectrales; il s'agit du facteur 1 (F1). Une deuxième tendance marque au contraire le contraste de réflectance de la végétation dans les domaines infrarouge et visible; il s'agit du facteur 2 (F2). Cette représentation presque parfaite de l'information dans un espace à deux dimensions facilite beaucoup l'étape de classification.

L'étude structurale préliminaire révèle la complexité tectonique du sillon birrimien de SIGUIRI-KANKAN, malgré la couverture latéritique importante qui masque le substratum. Les directions principales mises en évidence, sont les linéaments N-S et les linéaments NW-SE, ainsi que les directions complémentaires. Ces directions correspondent à nos connaissances sur les grands accidents anomaux et minéralisés de la région.

LISTE DES PUBLICATIONS

- DNGM, ORSTOM, CNRS (1986) - Minéralisations aurifères et cartographie des cuirasses latéritiques de la région de KANGABA au MALI : pétrographie, minéralogie, géochimie et télédétection. Rapport de première phase. Strasbourg-Bamako, Décembre 1986, 124 p.[1]
- PION J.C., ROQUIN C., FREYSSINET Ph., DANDJINO T.M., LE GALL M., KAYSER N. (1987) - Etudes des latérites par télédétection. Corrélation des données géochimiques et radiométriques. Rapport final juin 1987, ATP Télédétection Spatiale n°1085, CSGS de Strasbourg, 106 p.[2]
- PION J.C., ROQUIN C., DANDJINO T.M. (1988) - Utilisation de la télédétection pour l'étude des latérites en zone soudanienne, dans une optique géochimique. Rapport final, avril 1988, Convention CNES-PEPS n°175, ORSTOM et CNRS édit., 106 p.[3]
- DANDJINO T.M. (1987) - SUBTIL. Logiciel de traitement d'images numérisées basé sur SPIDER et UNIRAS. Centre de Calcul CNRS, Strasbourg, 47 p.[4]
- DANDJINO T.M. (1988) - Télédétection des paysages latéritiques. Traitement d'images, intégration et synthèse de données multi-sources. Th. doct. de l'ULP, Strasbourg, 121 p.[5]
- ROQUIN C., DANDJINO T., FREYSSINET Ph., PION J.C., TARDY Y. (1987) Premiers résultats de cartographie des couvertures latéritiques par images SPOT, région de DAGADAMOÛ (Sud-MALI). C.R.Acad.Sc. Paris, t. 304, Série II, n°8, p.321-326.[6]
- ROQUIN C., PION J.C., DANDJINO T.M. (1988) - Spot images and geochemical mapping of lateritic covers in southern Mali. In : SPOT 1 Utilisation des images, bilan, résultats. Cepadues-édition, p. 871-879 [7]
- ROQUIN C., DANDJINO T.M., FREYSSINET Ph., PION J.C. (1987) - The correlation between geochemical data and SPOT satellite imagery of lateritic terrain in South Mali. Jour. Geochem. Explor. (à paraître) [8]