

L'analyse multidate des données du satellite SPOT pour identifier les cultures dans deux terroirs de la zone cotonnière de l'ouest du Burkina Faso

G. Lainé⁽¹⁾, C. Belem⁽²⁾, M. Berger⁽³⁾, J. Kilian⁽⁴⁾ et P. Morant⁽⁵⁾

(1) Institut de Recherches du Coton et des Textiles exotiques, CIRAD, BP 5035, 34032 MONTPELLIER CEDEX 1, FRANCE

(2) Institut d'Etudes et de Recherches Agricoles, BP 7192, OUAGADOUGOU, BURKINA FASO

(3) Institut d'Etudes et de Recherches Agricoles, BP 205, BOBO-DIOULASSO, BURKINA FASO

(4) Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des Cultures Vivrières, CIRAD, BP 5035, 34032 MONTPELLIER CEDEX 1, FRANCE

(5) Institut d'Etudes et de Recherches Agricoles, Station de Farako-Ba, BP 910, BOBO-DIOULASSO, BURKINA FASO

Résumé

Cette note montre les possibilités d'utilisation des données du satellite SPOT pour l'inventaire des surfaces cultivées en coton et en céréales dans la zone cotonnière Ouest du Burkina Faso. Deux terroirs expérimentaux couvrant une surface totale de 14 000 hectares ont été choisis pour procéder à l'analyse visuelle et numérique des données multispectrales. Après confrontation avec les résultats d'enquêtes, le travail de classification a été étendu à une zone de 120 000 hectares située autour de Houndé, 100 km au Nord-Est de Bobo-Dioulasso.

Trois documents cartographiques ont été produits : une carte au 1/65 000 des surfaces cultivées et deux cartes au 1/34 000, l'une de répartition des sols en 3 grandes catégories d'après leur état de surface, l'autre de la répartition coton-céréales. La méthodologie mise en place (analyse multidate des images de début et de fin de campagne agricole) devrait pouvoir être appliquée sans difficulté aux régions cotonnières voisines.

MOTS CLES : télédétection, image-satellite, SPOT, inventaire ressources naturelles, terroirs, surfaces cultivées, coton, céréales, Burkina Faso.

Introduction

La région Ouest du Burkina Faso, bénéficiant d'une pluviométrie encore favorable subit depuis une trentaine d'années de nombreuses transformations aussi bien au niveau socio-économique, qu'au niveau du développement des pratiques culturales et de la gestion des ressources naturelles. Deux raisons essentielles président à ces transformations : le développement de la culture cotonnière et l'arrivée massive de migrants originaires des zones Nord du pays.

Le recours traditionnel à de longues jachères (15 à 30 ans) permettait jusqu'alors de compenser les baisses de fertilité mais cet équilibre est actuellement rompu par un taux d'occupation croissant des terrains liés à l'afflux de migrants, cultivateurs et pasteurs confondus (GUIBERT, 1988).

De plus, la mécanisation en cours s'accompagne d'une sédentarisation et d'une intensification accélérée des systèmes de culture de cette région.

Les nombreuses exploitations passées de 6 à 12 hectares sous l'effet de la culture attelée et celles ayant atteint 25 à 30 hectares à la suite de leur motorisation doivent résoudre d'importants problèmes de maintien de la fertilité.

En particulier, les plans de restitutions organiques

exigés pour ce maintien impliquent que les terrains de parcours relativement proches des exploitations soient gérés rationnellement pour pouvoir héberger le troupeau nécessaire à ces indispensables restitutions (BERGER *et al.*, 1987).

Cet ensemble de situations implique des axes de recherche qui nécessitent d'évaluer :

- les surfaces actuellement en culture et la répartition coton-céréales avec possibilité, à terme, d'établir des prévisions de récolte et des plannings de commercialisation ;

- la situation des jachères qui constituent les zones de parcours et les réserves de terrain pour les extensions actuelles et à venir.

Les décisions ayant trait à l'installation des nouveaux migrants devraient, entre autres, pouvoir s'appuyer sur cette nouvelle appréciation de l'espace agricole et de son potentiel.

L'objectif du travail présenté ici est d'évaluer, face à ces préoccupations, les possibilités offertes par la télédétection spatiale à haute résolution pour faciliter les inventaires d'occupation du sol et les études de suivi plurianuel.

Matériel et méthodes

Localisation de la zone d'étude (fig. 1)

sont 3° 30' Ouest et 12° 30' Nord. Elle est centrée sur la ville de Houndé située à 100 km au Nord-Est de Bobo-Dioulasso sur la route de Ouagadougou (fig. 1).

La zone d'étude correspond à l'image SPOT K50 J327 dont les coordonnées géographiques du centre théorique,

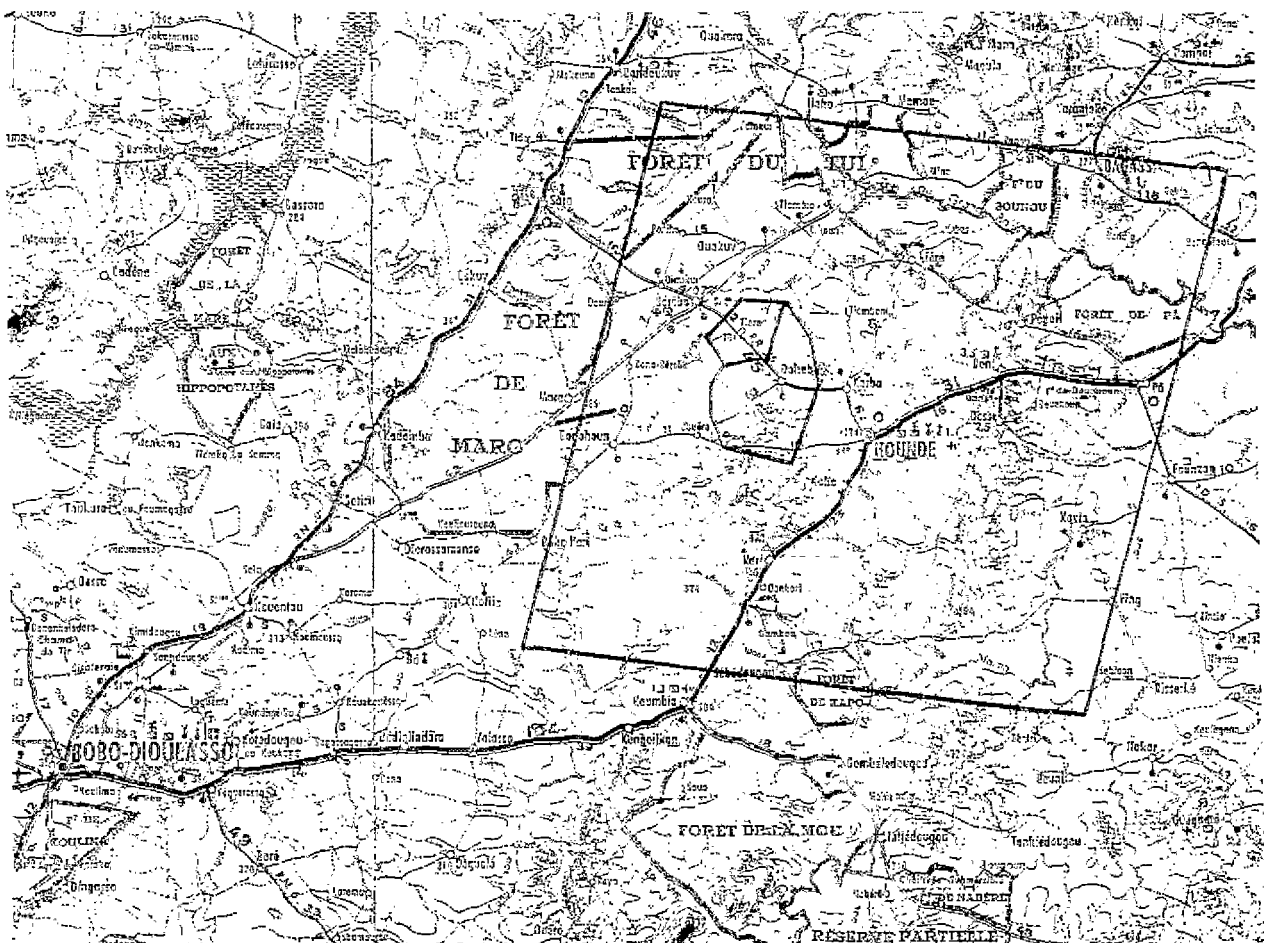


Figure 1
 Localisation de la scène SPOT K50 J327 du 8/07/86 et des 2 terroirs étudiés.
 Localization of SPOT image K50 J327 of 8 July 1986 and the two areas investigated.

La région de Houndé a été choisie pour les raisons suivantes :

- importance dans la zone coronnière (historique, production) ;

- connaissances et acquis antérieurs (BELEM, 1985) ;

- présence de la ferme de la SOFITEX à Boni qui avec ses 40 parcelles d'un hectare constitue un référentiel appréciable ;

- transformations rapides et importantes des paysages naturels dues à l'installation des migrants.

A l'intérieur de cette zone les terroirs de Dohoun et de Tioro, qui se distinguent par une proportion de migrants très différente, ont été sélectionnés pour procéder à l'évaluation des résultats.

Milieu physique

La région de Houndé est caractérisée par deux ensembles structuraux auxquels correspondent deux types de modelés bien distincts : le socle granito-gneissique (caractérisé par un modelé d'aplanissement faiblement ondulé) et l'ensemble Birrimien comprenant des formations volcaniques (roches vertes façonnées en collines aux versants raides) et sédimentaires (schistes). La région a été recouverte d'un niveau cuirassé dont il reste des témoins (buttes et glacis) particulièrement nombreux dans la zone birrimienne. La pédogenèse dominante est de type ferrugineuse tropicale. Le climat est de type soudanien et la moyenne annuelle des pluies est comprise entre 800 et 1 000 mm.

Images satellites utilisées

Deux remarques fondamentales ont présidé au choix des périodes d'acquisition de données par le satellite SPOT :

a) En fin de campagne agricole, quand les cultures sont à maturité, leur radiométrie se confond avec celle de la végétation environnante. En conséquence, si l'on veut discriminer les cultures entre elles il faut les avoir préalablement isolées du domaine non cultivé afin de pouvoir travailler uniquement à l'intérieur d'entités correspondant au parcellaire agricole de l'année. Pour cela, les limites de celui-ci doivent auparavant être rentrées automatiquement dans l'image. Il est donc nécessaire de les extraire d'une image où le parcellaire se distinguera facilement de son environnement, c'est-à-dire en début de campagne agricole quand les sols cultivés sont encore nus.

b) La préparation des parcelles pour la campagne agricole s'effectue à une période qui dépend des précipitations mais qui s'étale grossièrement sur 30 à 40 jours.

Si l'on se place trop tôt au cours de cette période, on aura une évaluation imprécise du domaine cultivé :

- évaluation par défaut, due aux parcelles qui ne sont pas encore préparées ;

- évaluation par excès, due à des confusions entre le sol nu des parcelles préparées et le sol nu du domaine non cultivé qui n'est pas encore enherbé.

Par contre, en se plaçant à la fin de cette période, la totalité des champs aura été préparée et mise en culture. Même pour ceux qui auront été ensemencés un mois plus tôt, les cultures seront très peu développées et de ce fait n'influenceront pas la réponse radiométrique des sols nus préparés.

Ceci nous a conduit à programmer le satellite SPOT pour fin juin - début juillet 86 et pour fin octobre 1986 et 87.

Trois images sans nuage ont été acquises le 8/7/86, le 15/11/86 et le 4/11/87. On remarque les difficultés rencontrées pour obtenir une image avec moins de 20% de nuages au cours de la seconde quinzaine d'octobre, période qui apparaissait pourtant favorable à la discrimination des cultures (DOSSO *et al.* 1983).

Observations et missions de terrain

Les premières observations de terrain ont été effectuées dès juin 1986 par les agronomes du Programme coton, et se sont poursuivies durant les campagnes agricoles 1986 et 1987, en particulier lors des périodes de programmation du satellite.

Deux missions de terrain conjointes INERA-IRAT-IRCT se sont déroulées en octobre 86 et janvier 87. Elles ont utilisé :

- d'une part, les visualisations standard en couleurs composites (échelle 1/50 000) fournies par SPOT-IMAGE ;

- d'autre part, de nombreuses restitutions à grande échelle (1/17 000 et 1/10 000) réalisées au laboratoire sur imprimante couleur. Celles-ci concernaient des compositions colorées (des canaux bruts ou de canaux décorrelés) ou des combinaisons de canaux adaptées à la mise en évidence des différents phénomènes à observer (indice de végétation, etc.).

L'objet premier des missions est d'établir les corrélations entre les gammes de couleur des visualisations et leur réelle signification (« vérité-terrain »). Il s'agit donc d'identifier des états de surface devant servir de référence pour la classification des images. La procédure suivante est appliquée sur le terrain :

- 1) Choix sur les visualisations de différentes combinaisons de couleurs (depuis la couleur strictement uniforme jusqu'aux teintes hétérogènes, de façon à prendre en compte la texture et la structure des taches colorées) ;

- 2) Délimitation sur les visualisations de parcelles représentatives des thèmes à étudier, accessibles aisément et repérables sans ambiguïté ;

3) Observations de terrain consignées sur des fiches descriptives.

Traitements numériques

Les images SPOT ont été traitées au laboratoire de télédétection du CIRAD à Montpellier sur une console interactive NUMELEC PERICOLOR 1000 reliée par liaison série à un ordinateur DATA GENERAL MV 10 000 (LAINÉ, 1986).

Les traitements ont été effectués à partir des observations de terrain et des informations échangées en permanence avec les chercheurs présents sur le terrain. Ils ont d'abord été réalisés sur des imagettes de 5 x 5 km choisies pour leur représentativité dans l'image et centrées sur des villages connus et d'accès facile tels que Boni, Dohoun, Tioro, Lofikahoun, etc.

Ces fractions d'images ont été classées selon la méthode des hypercubes (CURRAN, 1985), ceci par essais successifs jusqu'à obtention d'un résultat satisfaisant.

Les résultats ont alors été comparés aux statistiques obtenues par voie d'enquête et, dans le cas où il existait une bonne concordance, le traitement a été étendu à une zone plus importante de 120 000 hectares (30 x 40 km).

La présentation des résultats sous forme cartographique permet de mieux prendre en compte les relations entre milieu agricole et milieu physique.

Le repérage des pistes a été effectué sur les images du mois de novembre et constitue un fichier superposable à n'importe laquelle des cartes dérivées qui sont ou seront obtenues.

Résultats et discussion

Domaine non cultivé

A partir de l'image du 8 juillet 1986, il a été produit sur une région de 20 x 20 km (soit 40 000 ha) une carte au 1/34 000 isolant les 5 classes suivantes :

- classe 1 (12,5 % du domaine non cultivé) : boisements denses, galeries forestières et formations épineuses denses ;

- classe 2 (17 %) : savanes arborées ou arbustives claires, sol non apparent avec tapis de graminées ;

- classe 3 (27 %) : savanes arbustives et buissonnantes très claires, plages de sol nu ;

- classe 4 (15 %) : savanes herbeuses denses ;

- classe 5 (28,5 %) : sols nus incultes ou non mis en valeur.

Les résultats apparaissent d'ores et déjà en bon accord avec la réalité terrain notamment pour l'évaluation des savanes herbeuses et des zones incultes (caillouteuses, rocheuses, engorgées, etc.). Ils devraient pouvoir ensuite

être traduits en terme de potentialités d'accueil vis-à-vis des migrants éleveurs et/ou cultivateurs.

Domaine cultivé

Surfaces cultivées

A partir de la même image, il a été produit sur un plus large secteur (120 000 hectares) une carte au 1/65 000 des surfaces préparées pour la campagne agricole 1986. Elle a été obtenue après un traitement de lissage permettant d'éliminer les points isolés correspondant à des pixels de sol nu non cultivé. Ce document est reproduit en réduction sur la figure 2.

En 1986, d'après l'image SPOT, les surfaces cultivées occupaient 20 600 hectares soit 17,2 % de la zone.

La valeur obtenue sur le terroir de TIORO est en excellent accord avec les résultats de l'enquête (MORANT, 1988).

Par contre sur le terroir de Dohoun, l'image SPOT fournit une évaluation supérieure d'environ 30 % à celle de l'enquête (tabl. I).

TABLEAU I
Evaluation des superficies cultivées à l'intérieur des deux terroirs tests.
Evaluation of cultivated areas in the two test zones.

Terroirs	Superficie totale retenue ha		Superficie cultivée ha	
	Enquête	Spot	Enquête	Spot
DOHOUN	10 350	11 090	1 120	1 540
TIORO	2 800	2 807	624	615

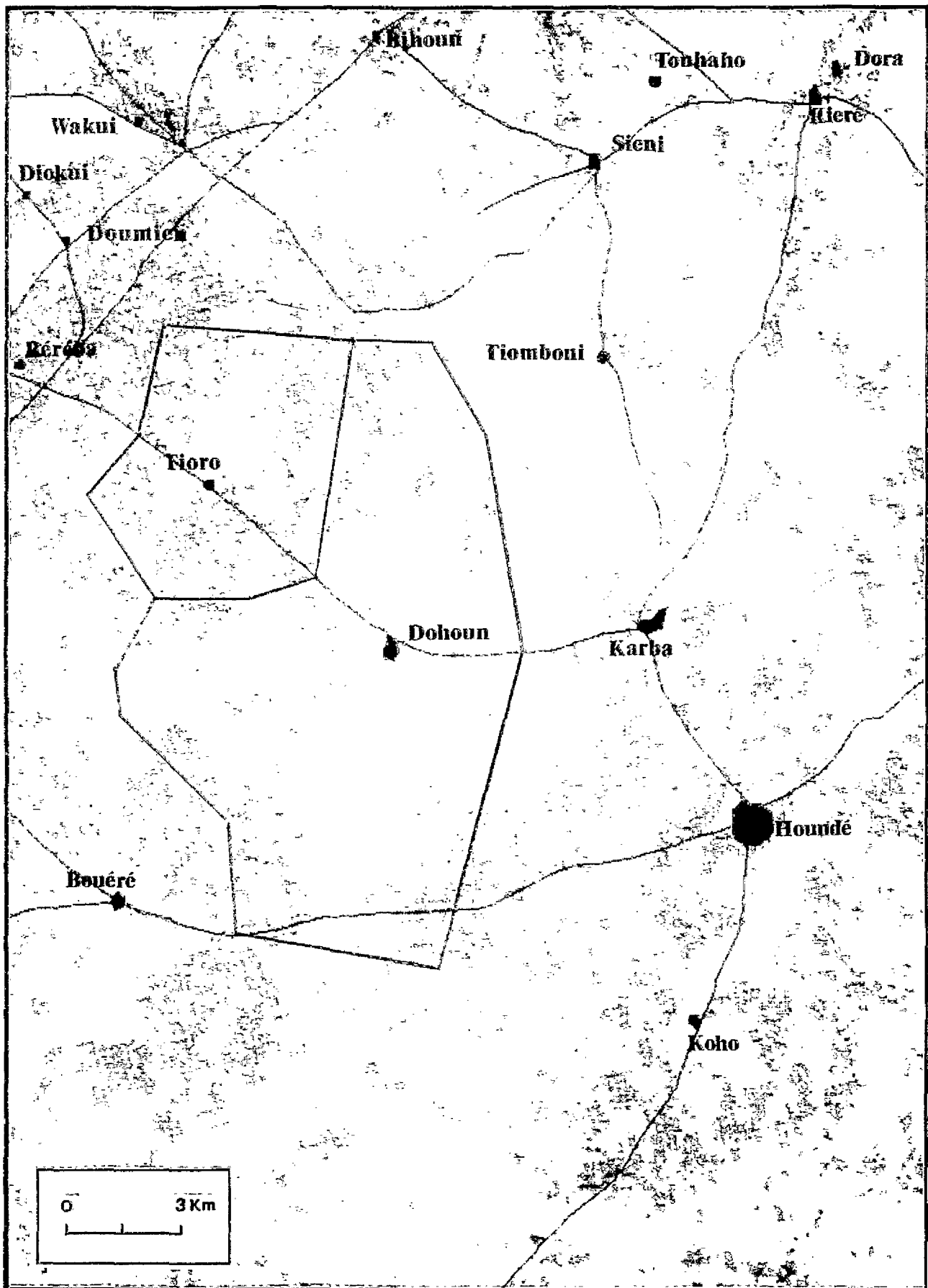


Figure 2
Carte de répartition des surfaces cultivées.
Map of the distribution of cultivated areas.

En réalité, la valeur exacte se situe probablement entre ces deux estimations dans la mesure où :

a) Certains secteurs de savane très dégradée ou de roches affleurantes répondent comme du sol nu et sont trop étendus pour être éliminés par un simple lissage ;

b) Certains champs sont cultivés à Dohoun par des migrants qui n'y commercialisent pas leur coton et ne sont donc pas pris en compte dans les données d'enquête.

Classes de sol nu

Le traitement numérique de l'image du 8 juillet 1986 a également permis de subdiviser en 3 classes les surfaces préparées pour la campagne agricole.

Ces 3 classes ont été repérées d'après la couleur de surface des sols nus (rougeâtre, brune, très claire).

Par ailleurs, trois catégories de sols sont traditionnellement distinguées par les exploitants et les enquêtes menées en 1987 sur le terroir de Tioro (MORANT, 1988) montrent que l'une d'entre elles (sols gravillonnaires) correspond qualitativement et quantitativement (tabl. 2) à la classe principale obtenue à partir de l'image SPOT. En effet, la coloration rougeâtre de la surface de ces sols est le plus souvent due aux épandages de gravillons issus du démantèlement des cuirasses qui caractérisent cette zone.

TABLEAU 2

Les grandes classes de sol nu à Tioro distinguées par télédétection et par enquête.

The main bare soil classes at Tioro identified by remote sensing and by survey.

Classes de sol (SPOT)	Catégories de sol (appellation BWABA)	
1 - sols à surface rougeâtre 48 %	sols "SANSANA" (gravillonnaires)	44 %
2 - sols à surface brune 41,5 %	sols "LABORO" (argileux)	40 %
3 - sols à surface très claire 10,5 %	sols "HANDE" (sableux)	16 %

Répartition coton-céréales

Il est impossible de séparer les cultures en travaillant seulement sur une image de fin de campagne. Ceci pour plusieurs raisons :

- certaines parcelles de graminées (jaunes ou rougeâtres selon les espèces) se confondent radiométriquement avec les céréales à maturité ;

- certaines jachères arbustives ou arborées ont une réponse identique à celle des parcelles de culture encore vertes (cotons tardifs essentiellement).

Or, après traitement numérique de l'image de début de campagne, nous disposons d'une image classée donnant la répartition des surfaces cultivées. Une telle image dite binaire (thème, non thème) nous servira de masque pour travailler sur l'image de fin de campagne uniquement à l'intérieur du domaine cultivé ; ceci nous permettra ainsi de focaliser les recherches sur la discrimination des cultures.

Image du 15 novembre 1986 (après croisement avec l'image du 3/7/86).

Le traitement numérique de l'image du 15 novembre 1986 permet de mettre en évidence les parcelles de céréales récoltées. En effet, les tiges sont alors couchées au sol (ou exceptionnellement enfouies) ce qui produit dans tous les cas une importante réflexion du rayonnement dans les 3 canaux. Or, les céréales récoltées à la mi-novembre sont constituées essentiellement de maïs (90 % environ). On peut donc espérer obtenir à cette période une bonne évaluation des surfaces en maïs.

Les autres parcelles de culture se répartissent en deux classes à tendance coton et céréales, mais une erreur très importante de l'ordre de 25 à 30 % subsiste encore (en particulier trop de coton défolié donne ainsi la priorité à la composante sol).

Image du 4 novembre 1987 (après croisement avec l'image du 3/07/86).

Le traitement numérique de cette image a permis par contre d'obtenir une meilleure évaluation de la répartition coton-céréales.

La comparaison avec les résultats des enquêtes effectuées en 1987 dans les terroirs de DOHOUN et de TIORO est particulièrement intéressante car ces deux villages possèdent une proportion de migrants respectivement de 30 % et de 90 %. Il en résulte des systèmes de culture différents car les nouveaux arrivants accordent une place plus importante au vivrier qu'au coton.

Il est donc tout à fait encourageant d'obtenir à partir de SPOT une excellente concordance de résultats pour deux segments d'image où les stratégies agricoles ne sont pas les mêmes (tabl. 3 et fig. 3).

La localisation géographique de ces deux classes est cependant encore entachée d'incertitude. Nous savons en effet, qu'un certain nombre d'erreurs se compensent :

- quelques cotons très peu couvrants sont affectés à la classe céréales car la réponse du sol devient alors prépondérante. De tels cotons sur sols très clairs se confondent avec les céréales récoltées et sur sols très gravillonnaires se confondent avec le sorgho sur pied ;

- certaines céréales encore vertes (sorghos tardifs de bas-fonds, maïs précoces enherbés après récolte) sont comptabilisés comme du coton.

TABLEAU 3

Répartition coton-céréales à l'intérieur des deux terroirs-tests.
Cotton-cereals distribution in the two test areas.

Terroirs	Céréales ha		Coton ha	
	Enquête	Spot	Enquête	Spot
DOHOUN	648 (58,3 %)*	914 (59,3 %)	413 (37 %)	550 (35,7 %)
TIORO	422 (67,2 %)	388 (63,0 %)	187 (30 %)	190 (31,0 %)

* Les pourcentages se rapportent aux superficies cultivées évaluées par chacune des deux méthodes.

* Percentages are related to cultivated areas evaluated using each of the two methods.

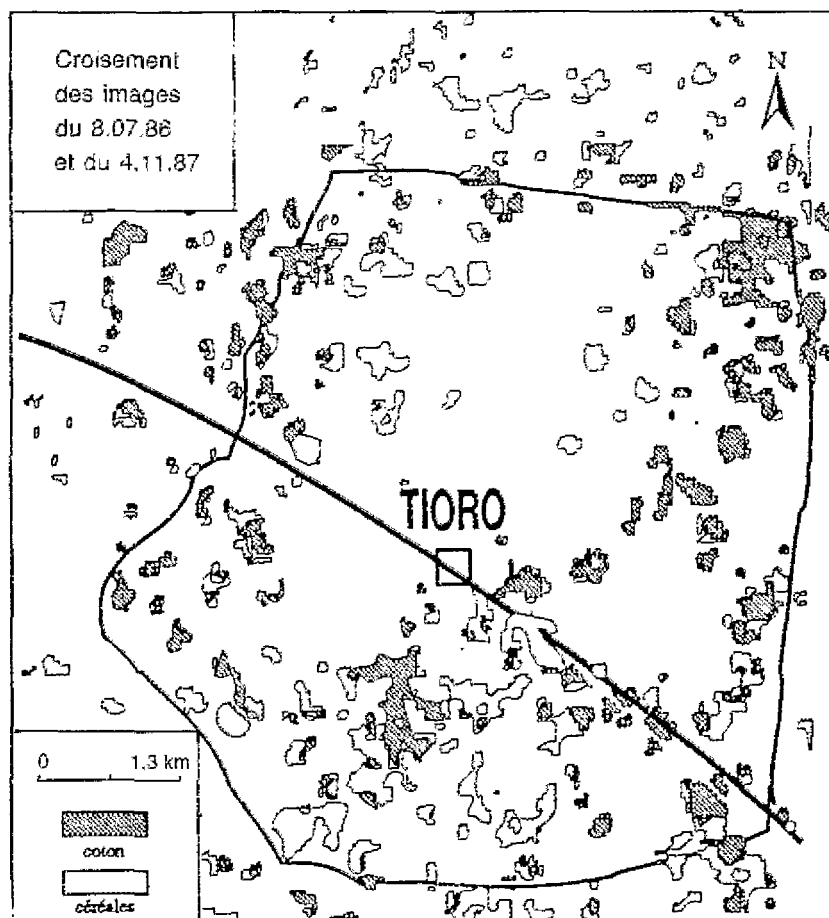


Figure 3
 Répartition coton-céréales dans le terroir de Tioro (Campagne 1987).
Cotton-cereals distribution in the Tioro village area (1987 season).

Conclusion

Dans l'état actuel de nos recherches, le masquage du domaine non cultivé par un traitement numérique multi-date est un préalable indispensable à un bon repérage des cultures.

Mais l'appréciation du domaine cultivé et de ses composantes n'est pas toujours parfaite. Aussi, pour améliorer sa précision et sa fiabilité peut-on émettre les propositions suivantes :

- les sols nus incultes ou non mis en valeur, qui peuvent constituer une source de confusion importante dans l'évaluation des surfaces cultivées, doivent être isolés une fois

pour toutes (à l'aide d'une image de saison sèche par exemple) dans les zones habituelles de travail :

- si la couverture nuageuse le permet, l'image de fin de campagne doit être acquise à une période où le coton est plus couvrant (fin septembre-début octobre). Sinon, il y aura lieu de séparer les cultures à l'intérieur des classes de sol préalablement isolées.

Sur un autre plan, cette étude confirme que de nombreuses et très précises observations de terrain sont absolument indispensables pour mettre au point la méthodologie d'interprétation des images satellitaires à haute résolution.

Perspectives

Extension régionale

Ce travail a été étendu à un tiers d'image SPOT, mais l'objectif est de pouvoir réaliser de telles évaluations à l'échelle régionale (5 à 6 images SPOT) ; il est indispensable auparavant de tester la méthode sur des zones judicieusement choisies correspondant en particulier à des situations pédologiques différentes.

Une étude similaire a donc été entreprise en 1988 sur la scène SPOT voisine centrée sur le village de Bala (sols sur grès).

Méthodologie

L'imagerie satellitaire doit s'intégrer dans un ensemble plus vaste caractérisé par :

- L'utilisation systématique d'enregistrements réalisés à partir de plates-formes intermédiaires (radiomètres portables, avions légers...).

Un seul niveau d'observation ne permet pas d'appréhender tous les phénomènes inscrits dans le paysage et la

diversification des échelles doit permettre la mise en place d'un véritable observatoire s'organisant selon une structure gigogne (LAINÉ, 1986).

Dans cette optique une campagne de mesures radiométriques au sol a été réalisée en 1988 sur plusieurs combinaisons de sols et de cultures de la ferme SOFITEX à Boni.

De plus, des prises de vue aériennes (couleur) effectuées à basse altitude (P. MORANT, M. BERGER) ont permis de disposer d'indications extrêmement précieuses concernant les parcelles d'entraînement (localisation, densité du couvert), puis de contrôler les résultats des classifications sur les parcelles voisines.

- L'intégration des données de la télédétection aux données conventionnelles.

À partir des enquêtes ou des cartes existantes, on peut obtenir un découpage de l'espace en unités territoriales homogènes (segmentation). Les descripteurs aptes à caractériser ces unités ayant été sélectionnés, il devient alors possible de combiner les résultats des classifications (ex. les surfaces cultivées) aux données exogènes (ex. les bas-fonds) et d'obtenir un découpage en zones susceptibles d'un même type d'intervention (ex. les bas-fonds cultivés).

Références bibliographiques

- BELEM P.C., 1985.- Coton et systèmes de production dans l'ouest du Burkina Faso. *Thèse de 3^e cycle*. Université Paul Valéry, Montpellier.
- BELEM P.C., BERGER M., KILIAN J., LAINÉ G., MORANT P., 1988.- Recherches sur l'insertion des systèmes de culture dans la zone cotonnière de l'Ouest du Burkina Faso à partir des données SPOT. *Rapport ATP Télédétection, CIRAD 1987-1988, Délégation Télédétection*.
- BERGER M., BELEM P.C., DAKOUO D., HIEN V., 1987.- Le maintien de la fertilité des sols dans l'ouest du Burkina Faso et la nécessité de l'association agriculture-élevage. *Coton et Fibres Tropicales*, 42, 3, 201-210.
- CURRAN P.J., 1985.- Principles of remote sensing. *John Wiley and sons*, New York, 282 p.
- DOSSO M., KILIAN J., SAVARY G., 1983.- Campagne de simulation des données SPOT. Evaluation des sols dégradés et étude du réseau hydrographique (Bagré, Haute Volta). *Agronomie Tropicale*, 38, 4, 253-266.
- GUIBERT B., 1988.- Etude de l'élevage dans le développement des zones cotonnières : le Burkina Faso. *Mémoire de fin d'études, EITARC/CNEARC*, Montpellier.
- LAINÉ G., 1986.- Le système interactif de traitement d'images de télédétection au CIRAD Montpellier. *Coton et Fibres Tropicales*, 41, 3, 215-223.
- LAINÉ G., 1986.- Télédétection et connaissance de l'espace rural. *Note interne IRCT et Actes du Séminaire «Le coton en Méditerranée et au Moyen-Orient»*, Montpellier, 3-7 mars 1986, 131-138.
- LAINÉ G., BELEM P.C., BERGER M., KILIAN J., MORANT P., 1989.- Utilisation des données du satellite SPOT pour l'identification des systèmes de culture dans deux terroirs de la zone cotonnière ouest du Burkina Faso. *Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, 114.
- MORANT P., 1988.- Fertilité et fertilisation en milieu paysan. Etude dans deux terroirs de la zone de Houndé (campagne 1987). *Rapport interne INERA*.

Multidate analysis of SPOT satellite data for crop identification in two village areas in the western Burkina Faso cotton zone

G. Lainé, C. Belem, M. Berger, J. Kilian and P. Morant

Abstract

This note shows the possibilities of using SPOT satellite data to inventory land under cotton and cereals in the western Burkina Faso cotton zone. Two experimental areas covering a total surface area of 14 000 hectares were chosen for digital processing of the multispectral data. The results of investigation were collated and classification extended to a 120 000-hectare zone around Houndé, 100 km north-east of Bobo-Dioulasso.

Three graphic data processing documents were produced: a 1:85 000 map of the land under cultivation and two 1:34 000 maps of three broad categories of soil use and of cotton-cereal distribution respectively. It should be possible to apply the methodology developed (multitemporal image analysis at the beginning and end of the farming season) to the neighbouring cotton regions without any difficulty.

KEY WORDS: remote sensing, satellite picture, SPOT, inventory of natural resources, agroecological subregions, land under cultivation, cotton, cereals, Burkina Faso

Introduction

The western part of Burkina Faso, which still benefits from favourable rainfall, has undergone numerous changes over the past thirty years in the socioeconomic level, the development of cultivation practices and the management of natural resources. The two main features governing the changes have been the development of cotton growing and large-scale inflow of migrants from the northern parts of the country.

Traditional use of long fallows (15-30 years) hitherto compensated for decreases in fertility, but the balance has now been upset by an increasing rate of land occupation caused by the inflow of migrants (both farmers and graziers) (GUIBERT, 1988).

In addition, the mechanization in progress is accompanied by increasing sedentary farming and accelerated intensification of farming systems in the region. Many farms have been enlarged from 6 to 12 hectares under the effect of draught cultivation, and those which have reached 25 to 30 hectares following motorization must solve important problems of maintenance of fertility. In particular, plans for the return of organic matter to the soil require

that the rangeland fairly close to the farms be managed rationally to be able to handle the livestock necessary for this indispensable restitution (BERGER *et al.*, 1987).

This set of situations means lines of research which must evaluate:

- the areas currently under cultivation and the cotton-cereals distribution, with the possibility at a later date of drawing up harvest forecasts and sales schedules;
- the situation with regard to fallows, which form rangeland and land reserves for present and future extension.

It should be possible to base decisions concerning the installation of new migrants on (among other features) this new evaluation of agricultural land and its potential.

The aim of the work presented here is to evaluate in the light of these preoccupations the potential of high spatial resolution remote sensing for facilitating land use inventories and for pluri-annual monitoring studies.

Materials and methods

Location of the study zone (fig. 1)

The study zone is that of SPOT image K50J327 whose geographical coordinates for the theoretical centre are 12°30' N and 3°30' W. It is centred on the town of Houndé, 100 km north-east of Bobo-Dioulasso on the road to Ouagadougou (fig. 1).

The Houndé region was chosen for the following reasons:

- its historical and production importance within the cotton growing zone;
- previous knowledge and findings (BELEM, 1985).

- the SOFITEX farm at Boni which, with its 40 one-hectare plots, is of considerable value as a reference.

- the rapid and considerable changes in the natural landscape caused by the arrival of migrants.

Within this zone, the Dohoun and Tioro areas, which have very different proportions of migrants, were selected for evaluation of the results.

Physical environment

The Houndé region is characterized by two structural entities corresponding to two clearly distinct types of surface relief: granito-gneissic basement and Birrimian volcano-sedimentary series. The region has been covered by an iron duricrust level; these are particularly numerous in the Birrimian zone. Dominant pedogenesis is of the ferruginous type. Climate is the Sudanese type with average annual rainfall of 800 to 1000 mm.

Satellite images used

Two basic remarks governed the choice of data gathering using the SPOT satellite:

a) At the end of the agricultural season when the crops have reached maturity, their radiometric characteristics become merged with those of the surrounding vegetation. Consequently, if it is desired to distinguish between crops, it is first necessary to isolate them from the non-cultivated zone in order to be able to work only on entities corresponding to the agricultural field pattern of the year. The boundaries of the latter must first be entered automatically in the image. It is therefore necessary to extract them from an image in which the field layout can easily be distinguished from its environment, that is to say at the beginning of the agricultural campaign when cultivated land is still bare.

b) plots are prepared for the farming season at a period which depends on precipitations but which covers roughly 30 to 40 days.

Evaluation of the cultivated area will be inaccurate if data is collected too early during this period:

- underestimation because fields have not yet been prepared;

- overestimation caused by confusion of bare soil of prepared fields with bare, uncultivated land where the vegetation has not yet grown.

However, if the operation is timed at the end of this period all the fields will have been prepared and put under cultivation. Even crops sown a month before will not have grown much and will therefore not affect the radiometric response of prepared bare soil.

This led us to programme the SPOT satellite for the end of June/beginning of July 1986 and the end of October 1986 and 1987.

Three cloudless images were obtained on 8 July 1986, 15 November 1986 and 4 November 1987. It was found to be difficult to obtain an image with less than 20% cloud cover in the second half of October, which nevertheless appeared to be favourable for crop discrimination (DOS-SO et al., 1983).

Observations and field missions

The first field observations were carried out in June 1986 by cotton programme agronomists and were continued for the 1986 and 1987 agricultural campaigns, particularly during the periods when the satellite had been programmed.

Two joint INERA-IRAT-IRCT field missions were carried out in October 1986 and January 1987 using the following material:

- standard composite colour images (scale 1:50 000) supplied by SPOT-IMAGE;

- numerous large-scale plots (1:17 000 and 1:10 000) were produced in the laboratory with a colour printer. These were colour composites (original or decorrelated wavebands) or combinations of wavebands suited to revealing the various phenomena to be observed (vegetation index, etc.).

The main objective of the missions was to establish correlations between display colour ranges and their true "field significance". Surface states to serve as reference for image classification therefore had to be identified. The following procedure was used in the field:

1) Choice of displays of different combinations of colours (from strictly uniform colour to heterogeneous shades in order to take into account the texture and structure of the coloured patches);

2) Easily accessible and unambiguously identifiable delimitation on displays of plots typical of the subjects to be studied;

3) Field observations recorded on descriptive sheets.

Digital processing

The SPOT images were processed at the CIRAD remote sensing laboratory in Montpellier on an interactive console (Numelec Pericolor 1000) connected by series link to a Data General MV 10 000 computer (LAINE, 1986).

Processing was carried out using field observations and continuous exchange of information with researchers in the field. Small 5 x 5 km subscenes were first produced, chosen for their image representativeness and centred on known, easily accessible villages such as Boni, Dohoun, Tioro, Lofikahoun, etc.

These image fractions were classified using the hypercube method (CURRAN, 1985) with successive trials until

a satisfactory result was obtained. The results were then compared to survey statistics and when good concordance was obtained processing was extended to a larger area: 120 000 ha, 30 x 40 km.

Presentation of the results in map form makes it easier to examine relations between the agricultural and physical environments. Track identification was carried out on the November images and forms a file which can be superimposed on any present or future derived map.

Results and discussion

Uncultivated area

The image for 8 July 1986 was used to produce a 1:34 000 map of a 20 x 20 km region (40 000 ha) showing the 5 classes below:

- Class 1 (12.5%): dense afforestation, forest galleries and dense thorny vegetation;
- Class 2 (17%): tree or sparse shrub savanna, soil not visible, grass-covered;
- Class 3 (27%): savanna with very sparse small trees and shrubs, patches of bare soil;
- Class 4 (15%): dense grass savanna;
- Class 5 (28.5%): uncultivated or undeveloped bare soils.

The results appeared to be in harmony with field conditions, particularly as regards the evaluation of grassy

savanna and uncultivated areas (stony, rocky, waterlogged, etc.). It should subsequently be possible to express them in terms of potential for migrant livestock and/or crop farmers.

Cultivated area

Cultivated surface area

The same image was used to produce for a larger sector (120 000 hectares) a 1:65 000 map of areas prepared for the 1986 agricultural campaign. It was obtained after smoothing treatment to eliminate isolated points corresponding to bare, uncultivated soil pixels. This document is shown in reduced form in Figure 2.

In 1986, according to the SPOT image, cultivated areas covered 20 600 hectares, i.e. 17.2% of the zone. There is excellent concordance between data for the Tioro area and survey information (MORANT, 1988). In contrast, in the Dohoun area, the SPOT image evaluation was 30% higher than that of the survey (Table 1).

TABLE 1
Evaluation of cultivated areas in the two test zones

Soils classes (SPOT)	Soil categories (BWABA nomenclature)
1 — soils with reddish surface 48 %	"Sanasana" soils (gravelly) 44 %
2 — soils with brown surface 41.5 %	"Labona" soils (clayey) 40 %
3 — soils with very pale surface 10.5 %	"Hande" soils (sandy) 16 %

In fact, the actual figure probably lies between the two assessments because (a) certain very degraded savanna sectors or rocky outcrops respond like bare soil and are too extensive to be eliminated by simple smoothing, and (b) certain Dohoun fields are cultivated by migrants who do not sell their cotton locally and who were therefore not recorded in survey data.

Bare soil classes

Digital processing of the 8 July 1986 image also made it possible to subdivide the land prepared for the farming season into three classes. These were identified according to the colour of the bare soil (reddish, brown or very pale).

In addition, three soil categories are traditionally distinguished by farmers, and the surveys carried out in 1987 in the Tioro zone (MORANT, 1988) show that one of them (gravelly soil) corresponds qualitatively and quantitatively (Table 2) to the main class obtained using the SPOT image. Indeed, the reddish surface colour of these soils is

frequently caused by the spreading of gravel resulting from the breakdown of the crust characterizing this zone.

Cotton-cereals distribution

It is impossible to separate the crops using the end-of-season image alone for several reasons:

- some plots of Gramineae (yellow or reddish according to species) can be confused with mature cereals under radiometry;
- some fallows with shrubs or trees have an identical response to planted fields which are still green (mainly late cotton).

However, digital processing of the beginning-of-season image gave a classified image showing the layout of cultivated areas. This type of binary image was used as a mask enabling investigation within the cultivated area alone on the end-of-season image. The former thus made it possible to focus research on distinguishing between crops.

15 November 1986 image (after combination with 8 July 1986 image)

Digital processing of the 15 November 1986 image showed harvested cereal fields. The stems lay on the ground (or in rare cases were ploughed in), giving high reflection in the three wavebands. Maize is the main cereal crop (approximately 90%) already harvested by mid-November and so a good evaluation of the area of maize grown can be hoped for at this time of the year.

The other crop fields are in two classes with cotton and cereals tendencies, but considerable error of 25 to 30% remains (in particular, too much defoliated cotton gives priority to the soil component).

4 November 1987 image (after combination with 8 July 1986 image)

In contrast, digital processing of this image resulted in a better evaluation of cotton-cereal distribution.

Comparison with the results of surveys carried out in 1987 in the Dohoun and Tiore areas is of particular interest

since the proportions of migrants in the two villages are 30% and 90% of the population respectively. This results in different cropping systems since the new arrivals award more importance to food crops than to cotton.

It is therefore encouraging to obtain excellent concordance of SPOT data for two image segments where farming strategies are different (Table 3).

Percentages are related to cultivated areas evaluated using each of the two methods.

However, the geographical location of these two classes is still subject to a degree of uncertainty, with some errors counterbalancing each other:

- some thin-cover cottons are recorded as cereals since soil response is dominant. These cottons are confused with harvested cereals on very pale soil and with standing sorghum on very gravelly soils;

- some cereals which are still green (late sorghum in marsh areas, early maize with weed growth after harvesting) are counted as cotton.

Conclusion

At the present stage of this research, the masking of uncultivated land by multidate digital processing is a prerequisite for accurate crop identification. However, evaluation of the cultivated area and its components is not always perfect. The following proposals are thus put forward to improve accuracy and reliability:

- uncultivated or undeveloped bare soils, which may be an important source of confusion in the evaluation of cultivated land, must be isolated once and for all (e.g. using a dry season image) in the areas usually farmed;

- cloud cover permitting, the end-of-season image must be obtained when cotton coverage is thickest (end of September/beginning of October). Failing this, it will be necessary to separate the crops within previously isolated soil classes.

This study also confirms that numerous, accurate field observations are required to design interpretation methodology for high resolution satellite images.

Future prospects

Regional coverage

This work was carried out using one third of a SPOT image, but the aim is to be able to achieve such evaluation on a regional scale (5 to 6 SPOT images). The method must first be tested in carefully selected zones with, in particular, different pedological conditions.

A similar study was therefore undertaken in 1988 on the neighbouring SPOT image centred on the village of Bala (soil on sandstone).

Methodology

Satellite image research must be integrated in a broader field characterized by:

- * Systematic use of recordings from intermediate sightings (portable radiometers, light aircraft, etc.)

A single observation level cannot encompass all the phenomena of the landscape. Varying scales should make it possible to set up a multi-level "observatory" (LAÏNE, 1986). With this in mind, a ground radiometric observation campaign was carried out in 1988 on several soil and crop combinations on the SOFITEX farm at Boni. Low-altitude colour aerial photography (P. MORANT, M. BERGER) also gave valuable information on training plots (location, cover density) and was then used to check classification results in neighbouring fields.

- * Combining remote sensing data and conventional data.

Existing surveys or maps can be used to segment space in homogeneous territorial units. Once the descriptors which can characterize a phenomenon (e.g. marshes) have been selected, it is possible to combine classification results (e.g. cultivated land) and exogenous results and obtain a distribution in zones likely to be treated in the same way (e.g. cultivated marshland).

El análisis multifecha de los datos del satélite SPOT para identificar los cultivos en dos terruños de la zona algodonera del oeste de Burkina Faso

G. Laine, C. Belem, M. Berger, J. Kilian, P. Morant

Resumen

Esta nota enseña las posibilidades de utilización de los datos del satélite SPOT para el inventario de las superficies con cultivos de algodón y cereales en la zona algodonera oeste de Burkina Faso. Dos terruños experimentales que cubren una superficie total de 14 000 hectáreas han sido escogidos para llevar a cabo el análisis visual y numérico de los datos multispectrales. Después de confrontarlo con los resultados de las investigaciones, se ha ampliado el trabajo de clasificación a una zona de 120 000 hectáreas situada alrededor de Hounde, a 100 km al Nordeste de Bobo-Dioulasso.

Tres documentos cartográficos han sido realizados: un mapa al 1:65 000 de las superficies cultivadas y dos mapas al 1:34 000, siendo el uno de reparto de los suelos en 3 grandes categorías según el estado de la superficie, y el otro de reparto algodón - cereales. La metodología instaurada (análisis multifecha de las imágenes de principios y finales de campaña agrícola) habría de poder aplicarse sin dificultad a las regiones algodoneras vecinas.

PALABRAS CLAVE : teledetección, imagen satélite, SPOT, inventario recursos naturales, terruños, superficies cultivadas, Burkina Faso.