

# Apport de l'imagerie SPOT pour l'évaluation statistique et cartographique des surfaces cultivées en coton et en vivrier dans la zone cotonnière du Burkina Faso

G. LAINE<sup>1</sup>, S. PARE<sup>2</sup>

1. CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) - 2477, av. du Val de Montferrand, BP 5035, 34032 Montpellier, France.

2. INERA (Institut d'Etudes et de Recherches Agricoles) - 01 BP 476, Ouagadougou 01, Burkina Faso.

## Résumé

L'objet de l'étude est de tester la faisabilité d'un système de statistiques agricoles de surface par télédétection satellitaire. Le recours à la combinaison des données SPOT P et XS est un préalable indispensable pour isoler le domaine cultivé des sites-échantillons retenus. La discrimination coton-vivrier peut ensuite y être effectuée chaque année à l'aide d'une seule image XS avec une précision de 85 à 90 %.

## Abstract

A joint study was undertaken by CIRAD and INERA to assess the possibilities of remote sensing techniques for agricultural statistics. Computer-aided photo-interpretation of SPOT's multispectral and panchromatic data was first used to identify the cultivated zones. The cotton/grain crop distribution is next obtained every year by digital processing of one unique SPOT XS image within the farmed area thus defined.

## **Introduction**

Dans les régions cotonnières d'Afrique soudanienne les surfaces des principales cultures sont évaluées chaque année à partir des déclarations effectuées par les exploitants en début de campagne agricole. En raison des modifications intervenant en cours de campagne et devant l'impossibilité de recenser toutes les exploitations, les statistiques obtenues sont peu fiables et il est difficile d'en estimer la précision.

Dans certains cas, on effectue parallèlement un sondage aléatoire à deux degrés (villages, exploitations) où la collecte des données est effectuée par mesure de parcelles-échantillons. La précision des estimations est alors accessible et varie de 80 à 90 % selon les moyens mis en oeuvre.

Quelle que soit la méthode on ne dispose d'aucune information sur la répartition spatiale des cultures et en l'absence de support cartographique, il est difficile à l'enquêteur de localiser rapidement les parcelles-échantillons.

La question qui nous est posée est donc la suivante : la télédétection à haute résolution peut-elle constituer une source complémentaire de statistiques associée à une représentation spatiale des surfaces cultivées ?

Pour y répondre, il est nécessaire de préciser ce qu'il est techniquement possible de distinguer, d'évaluer et de cartographier, sur quelle étendue de territoire, avec quelle précision, dans quels délais et avec quels moyens ?

Dans cette optique, une expérience est menée depuis 1990 par le CIRAD et l'INERA dans la zone cotonnière du Burkina Faso. Les recherches ont été financées par une ATP CIRAD-INERA et par le Ministère de la Coopération Française. Les données satellitaires utilisées ont été acquises avec l'aide du PNTS (Programme National de Télédétection Spatiale) et du CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) dans le cadre du programme ISIS.

## **Cadre géographique de l'étude**

Il est très difficile d'obtenir une couverture satellitaire à haute résolution de l'ensemble de la zone cotonnière pendant la période optimale pour la discrimination des cultures. Il est donc nécessaire de procéder aux évaluations sur des sites échantillons représentatifs des différentes situations agro-écologiques rencontrées.

Les deux sites étudiés ici sont situés au coeur de la zone cotonnière et permettent de recouper des situations très différentes du point de vue physiographique et humain. Ils sont situés dans la zone de transition entre les climats sud et nord soudanien avec une pluviosité moyenne annuelle comprise entre 850 mm et 950 mm selon les stations.

Le premier site est celui de Solenzo (province de la Kossi). Il couvre un secteur de 85 000 ha en pays Bwa à l'ouest du Mouhoun.

Le second site est celui de Safane (province du Mouhoun). Il couvre un secteur de 220 000 ha incluant les départements de Kona, Bana et Safane. Les principales ethnies y sont les Marka (Dafing), les Bwa et les Nounouma.

Ces deux sites permettent de recouper d'ouest en est trois grands ensembles structuraux :

- l'ensemble des grès sédimentaires constitué de grès du précambrien (dont les grès à yeux de quartz) et d'alluvions quaternaires ;
- l'ensemble birrimien comprenant des formations volcaniques (roches vertes façonnées en collines à versants raides) et des formations sédimentaires (schistes) ;
- le socle granito-gneissique caractérisé par un modelé d'aplanissement faiblement ondulé.

Au quaternaire, toutes ces régions ont subi différentes phases de cuirassement dont il reste des témoins particulièrement nombreux en région birrimienne et dans celle des grès (buttes et glacis cuirassés).

La pédogénèse dominante est du type ferrugineuse tropicale. Dans la région birrimienne, il s'est formé de plus des sols bruns eutrophes issus de l'altération des roches basiques.

Les principales formations végétales sont la forêt dense sèche, la forêt claire et les savanes boisée, arborée, arbustive et herbeuse.

Les activités principales sont l'agriculture et l'élevage. Le domaine cultivé occupe entre 20 et 40 % du territoire selon les sites. Les cultures pratiquées sont les céréales (mil, sorgho, maïs, localement riz), le coton, l'arachide, le sésame et le niébé.

## **Résultats obtenus et démarche proposée**

En raison de la petite taille du parcellaire (le plus souvent entre 0,5 et 2 ha) et de la nécessité de programmer une image à l'intérieur d'un créneau étroit pour distinguer les cultures, seules les données SPOT peuvent actuellement permettre d'accéder à l'information recherchée.

### **La discrimination des cultures est-elle possible à l'aide de l'imagerie SPOT ?**

Ceci conditionne en effet toute la suite de l'étude. Aucune relation n'ayant pu être établie entre forme des parcelles et nature des cultures, cette discrimination ne peut être que radiométrique. L'analyse d'une série d'images SPOT XS programmées à différentes périodes au cours de la campagne agricole (juillet-septembre-octobre-novembre) a conduit aux conclusions suivantes :

- Les cultures vivrières et en particulier les céréales ne peuvent être distinguées entre elles. Chacune de ces cultures présente en effet une forte hétérogénéité inter-parcellaire et la précision statistique obtenue est toujours inférieure à 60 % (LAINE, 1991).

- La discrimination coton-vivrier peut être effectuée en fin de saison des pluies avec une excellente précision (85 à 95 %). La distinction de ces deux groupes de cultures est en effet possible à l'aide d'une image SPOT XS acquise lorsque les céréales sont déjà sèches ou sénescentes et que le coton encore très chlorophyllien n'a subi aucune modification importante de structure au niveau de ses feuilles ou de son couvert. La période optimale est désormais parfaitement connue et correspond à un créneau de programmation très étroit qui dépend de la date des premiers semis de coton.

- Toutefois une image XS acquise en fin de saison des pluies ne permettra jamais à elle seule d'évaluer les surfaces en coton et en vivrier car de nombreux éléments du domaine non cultivé ont alors un comportement radiométrique voisin de celui du coton (boisements) ou des cultures vivrières (savanes arbustives et jachères à graminées, sols nus incultes).

Dans le cas particulier où l'on souhaite estimer uniquement les surfaces cultivées en coton, l'élimination des confusions dues aux boisements peut être effectuée par analyse multidates de données SPOT XS judicieusement choisies (LAINE, BERGER, SANOU, 1990) ; par contre, lorsque l'on désire également connaître les surfaces en vivrier, les éléments interférents étant nombreux et disparates, il devient nécessaire d'isoler au préalable le domaine cultivé.

### **Comment délimiter précisément le domaine cultivé ?**

Il est donc nécessaire d'acquérir au moins une autre image SPOT à une période où le parcellaire agricole se distingue au mieux de son environnement. Nous avons pour cela successivement utilisé des données XS, P et P + XS.

#### ***Image SPOT XS de début de campagne agricole***

Cette image doit être acquise lorsque toutes les parcelles sont préparées et que les cultures les plus précoces sont encore trop peu développées pour influencer sur la réponse des sols cultivés. Ceci impose de se placer moins de 40 jours après les premiers semis (BELEM et al., 1987).

Les résultats obtenus par classification sont inégaux car certains sols nus incultes, en particulier gravillonnaires, ont alors une réponse identique à celle des sols labourés. Il en résulte une surestimation du domaine cultivé qui peut atteindre 20 % dans certains terroirs où les affleurements de cuirasse sont nombreux (LAINE et al., 1989). Cette méthode présente de plus deux limitations importantes :

- la nébulosité observée fin juin - début juillet rend très aléatoire l'obtention d'une image à cette période ;
- les enquêtes aréolaires sont longues et délicates à réaliser à l'aide d'une image XS en raison des difficultés de repérage et de report des limites de parcelles.

### **Image SPOT XS de saison sèche**

Ce type d'image permet de s'affranchir des contraintes de nébulosité et la plupart des sols cultivés sont totalement nus à cette période de l'année.

Cependant quelques confusions subsistent au niveau des parcelles présentant des repousses d'adventices ou des parcelles cultivées sous *Acacia albida*.

### **Image SPOT panchromatique de saison sèche**

L'utilisation de ce type de données permet d'améliorer le repérage au sol (pistes bien visibles) ainsi que la délimitation du domaine cultivé.

Sur une telle image dont l'histogramme est bimodal, TOLLET (1992) propose la démarche suivante :

- seuillage en 2 régions ;
- homogénéisation des régions par la méthode PAPRI (BORNE, 1990) ;
- obtention des contours par soustraction de l'image PAPRI à cette même image dilatée par morphologie mathématique.

Cette méthode permet d'obtenir rapidement un contour assez précis du domaine cultivé. Néanmoins, certaines parcelles bien repérables visuellement en raison de leur contraste avec leur environnement immédiat ont en réalité une radiométrie identique à celle de certaines composantes du domaine non cultivé (sols gravillonnaires... ). Il faut donc procéder à un aménagement de la méthode dans les secteurs de l'image à forte variabilité interparcellaire.

Les méthodes de segmentation par fusion ou croissance de régions, bien que très prometteuses, ne sont pas encore utilisables dans ce contexte (CANCES, 1991). Dans tous les cas, afin de ne conserver que les variations dues aux limites de régions, l'utilisation de filtres de lissage respectant les contours tels que NAGAO ou SNN (PIETIKALNEN et HARDWOOD, 1985) permet d'améliorer les résultats.

En résumé, l'image panchromatique de saison sèche permet de disposer d'un ensemble de limites épousant plus ou moins précisément les contours du domaine cultivé, mais dans l'état actuel des techniques de segmentation, ce résultat n'est exploitable qu'après intervention de l'utilisateur pour modifier interactivement certaines de ces limites.

### **Combinaison P + XS**

Les images panchromatiques de saison sèche sont d'un intérêt indiscutable pour la mise en évidence du domaine cultivé mais il subsiste toujours certaines confusions (15 à 20 %) entre sols nus incultes et cultivés même après intervention manuelle de l'utilisateur. De plus elles ne constituent pas toujours un document d'enquête efficace en raison de leur manque de contraste. Sur l'image XS de fin de campagne les parcelles de coton fournissent en revanche de précieux points de repère mais on y observe de fréquentes confusions entre parcelles cultivées et végétation naturelle.

L'intérêt de la combinaison de ces données acquises à deux dates différentes est d'enrichir les données XS par la précision géométrique de l'image P tout en y intégrant l'information radiométrique dont elle est porteuse. L'élaboration de ce produit nécessite d'effectuer les opérations suivantes :

- rééchantillonnage des données XS à un pas de 10 m par interpolation bicubique ou au plus proche voisin selon que l'on désire ensuite effectuer une analyse visuelle ou numérique ;

- correction géométrique de l'image P par rapport à l'image XS suréchantillonnée ;

- combinaison radiométrique des données P et XS.

Différentes méthodes ont été testées (CANCES, 1991) pour cette combinaison :

- transformation RVB-ITS puis IM-RVB après substitution du canal Intensité par le canal P ;

- analyse en composantes principales à partir des canaux XS et P ;

- intégration du canal P aux canaux XS selon différents mélanges radiométriques (CLICHE et al., 1985 ; PRADINES et al., 1986 ; JAAKKOLA et al., 1988) ;

- simple substitution d'un des canaux XS par le canal P.

*Photo-interprétation assistée par ordinateur des différentes combinaisons P + XS.*

C'est la simple substitution du canal XS1 par le canal P qui donne les meilleurs résultats. Ceci s'explique par le fait que les autres méthodes ne conservent pas l'intégralité de l'information radiométrique du canal P.

Sur la composition colorée obtenue, la mise en évidence du domaine cultivé peut être sensiblement améliorée en remplaçant les canaux XS2 et XS3 par les néo-canaux Indice de Brillance (IBR) et Indice de Rougeur (IR) proposés par POUGET et al. (1991) (TOLLET, 1992).

$$IBR = \sqrt{\frac{1}{3}(XS1^2 + XS2^2 + XS3^2)}$$

$$IR = \frac{XS2^2}{XS1^3}$$

L'indice de brillance permet en effet une meilleure discrimination cultures-végétation naturelle tandis que l'indice de rougeur élimine les confusions entre certaines céréales à maturité et les sols rougeâtres non cultivés.

Le document obtenu constitue un excellent support d'enquête et permet de réaliser par photo-interprétation une cartographie très précise (95 %) du domaine cultivé des sites-échantillons retenus.

### *Classification des données P + XS*

Le meilleur résultat a été obtenu par classification barycentrique sur les canaux P, IBR, IR et XS3. La précision statistique globale varie de 80 à 85 % selon les terroirs et dépend de la taille et de l'organisation du parcellaire. Les erreurs par omission concernent les parcelles brûlées mal défrichées et surtout les parcelles très gravillonnaires. Les erreurs par commission beaucoup plus nombreuses proviennent des jachères récentes, des sols nus et dégradés en particulier lisses et encroûtés (parcours péri-villageois mais aussi plaques de sol nu en zones de savane). L'avantage de cette approche totalement numérique est d'obtenir rapidement une cartographie du domaine cultivé sur l'ensemble de la zone d'étude mais la précision est nettement inférieure à ce qui peut être obtenu par l'approche analogique.

### **Evaluation des superficies cultivées en coton et en vivrier**

En se plaçant à l'intérieur du domaine cultivé précédemment délimité, l'image XS de fin de saison des pluies permet de procéder à cette évaluation soit par voie analogique (photo-interprétation assistée par ordinateur) soit par voie numérique (classification dirigée). Dans ce dernier cas, il est nécessaire d'utiliser plusieurs sous-classes d'entraînement en raison de la forte variabilité interparcellaire des cultures vivrières.

### *Produits cartographiques et statistiques*

#### *Site de Solenzo (campagne agricole 1991)*

La voie numérique a permis de fournir une évaluation de la répartition coton-vivrier dont la précision statistique globale varie de 90 à 95 % selon les terroirs.

Cependant, en raison de la forte hétérogénéité intraparcélaire des cultures dans les zones de parcellaire diffus (Bonkui, Bonza), le travail a été effectué par PIAO afin d'améliorer la précision géographique et la lisibilité de la carte. Les jachères de moins de 3 ans n'ont toutefois pas pu être distinguées des parcelles de céréales.

Le document final est une spatio-carte au 1/50 000 où les voies de communication ont été mises à jour et classées en 3 catégories (routes, pistes principales, pistes secondaires). Nous avons pu localiser également d'importants villages ne figurant pas sur la carte topographique existante (Darsalam, Bonza, Bonkui, Doui).

Les estimations finales pour 1991 sont les suivantes :

- superficie totale de la zone 85 000 ha ;
  - domaine cultivé 35 950 ha (42,5 %) dont :
    - coton : 6 600 ha (18,4 %),
    - vivrier et jachères : 29 350 ha (81,6 %)
- de moins de 3 ans.

*Site de Safané (campagnes agricoles 1992 et 1993)*

L'évaluation de la répartition coton-vivrier a été effectuée par classification dirigée avec les précisions ci-dessous (Tableau 1).

**Tableau 1.**

	Précision statistique (inventaire)	Précision thématique (pixels bien classés)	Précision géographique (pixels bien reconnus)
Coton	107	89	95
Vivrier	97,6	96	90

L'origine des confusions est à imputer aux parcelles de coton très peu dense et aux parcelles de vivrier encore bien vertes en fin de saison des pluies (semis tardifs de maïs, sésame, céréales de bas-fond).

Les estimations finales pour 1992 sont les suivantes :

- superficie totale de la zone 222 000 ha
- domaine cultivé 47 990 ha (21,6 %) dont
  - coton 12 230 ha (25,5 %),
  - vivrier et jachères 35 763 ha (74,5 %),

de l'année

Le document final est une spatio-carte à l'échelle de 1/75 000 où ont été reportées également les voies de communication (3 catégories) et les différents villages.

La même évaluation a été effectuée l'année suivante par voie numérique avec une précision à peu près identique. Elle a mis en évidence une diminution de 27 % des surfaces cultivées en coton entre 1992 et 1993.

## Conclusion

S'il faut renoncer à l'idée de reconnaître par télédétection les différentes céréales des régions cotonnières d'Afrique soudanienne, on peut désormais envisager d'en évaluer régulièrement les superficies cultivées en coton et en vivrier.

Les travaux menés sur 2 sites échantillons dans la zone ouest du Burkina Faso ont mis en évidence une exigence essentielle : isoler préalablement le domaine cultivé. L'opération est conduite en première année à partir d'une combinaison de données SPOT P et XS acquises à deux périodes différentes. Dans l'attente que les techniques de segmentation automatique soient opérationnelles dans ce contexte, c'est la photo-interprétation assistée par ordinateur qui permet d'exploiter au mieux les potentialités du produit P + XS. En raison de la petite taille du parcellaire, une cartographie précise



du domaine cultivé ne peut être réalisée qu'à grande échelle (inférieure au 1/50 000). Ceci permet en outre de produire des supports d'enquête efficaces autorisant une mise à jour périodique des limites du domaine cultivé et des voies de communication.

Les années suivantes, il suffira d'acquérir une seule image XS à la période optimale pour la discrimination coton-vivrier. En se plaçant à l'intérieur du domaine cultivé délimité en première année et périodiquement mis à jour, il devient alors possible de fournir les statistiques correspondantes avant la fin de la campagne agricole.

## Remerciements

Nous remercions Mme M. BALIMA, MM. P. SANOU et R. SANOU (INERA) pour leur participation aux reconnaissances de terrain, M. P. FOL (CIRAD) pour son assistance aux traitements numériques, M. G.A. KY (INERA) pour les travaux d'enquête, M. G. FAURE (CIRAD-INERA) pour la fourniture des différents plans d'exploitation ; M. P. MORANT (CIRAD-INFRA) pour la mise en oeuvre et la conduite des missions aériennes, MM. S. GUILLOBEZ et J. WEY (CIRAD-INERA) pour la réalisation des prises de vue à basse altitude.

## Bibliographie

- BELEM C., BERGER M., KILIAN J., LAINE G., MORANT P. (1987). « Identification des systèmes de culture dans la zone cotonnière de l'Ouest du Burkina Faso », *Actes du colloque international SPOT I*, Paris, Nov. 1987, pp. 415-419.
- BLEUZEN F. (1989). *Segmentation d'images SPOT. Evaluation de méthodes pour cartographier les milieux forestiers en zone tropicale*, Mémoire de DEA, septembre 1989, 39 p.
- BORNE F. (1990). *Méthodes numériques de reconnaissance de paysages, application à la région du lac Alaotra, Madagascar*. Thèse Université Paris VII, 213 p.
- CANCES M. (1991). *Combinaison des données SPOT P et XS pour isoler les parcelles cultivées dans la zone cotonnière du Burkina Faso*, Mémoire DESS Télédétection. Univ. Paul Sabatier - Centre d'étude spatiale des rayonnements, Toulouse, 38 p.
- CLICHE G., BONN F., TEILLET P. (1985). « Integration of the SPOT panchromatic channel into its multispectral mode for image sharpness enhancement », *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 51,3:311-316.
- DEVINEAU J.L. (1986). « Impact écologique de la recolonisation des zones libérées de l'onchocercose dans les vallées Burkinabés », Rapport Final - Convention O.M.S.-Orstom, Vol. 1, 109 p.
- GUINKO S. (1984). *Végétation de la Haute-Volta*, Thèse Université de Bordeaux III, 318 p.

- JAANKOLA S., JOHANSSON L., HAGNER O. (1987). « SPOT-1 satellite imagery for forest inventory in Sweden », *Actes du Colloque SPOT-1 'Utilisation des images, bilan, résultats'*. Paris, novembre 1987, pp. 933-940.
- LAINE 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 », *Actes du Colloque PNTS « La recherche et les satellites à haute révolution spatiale »*, Orléans, janvier 1989, et *Bulletin SFPT*, n°114, pp. 64-67.
- LAINE G., BERGER M., SANOU P. (1990). Carte au 1/30 000 des surfaces cultivées en coton (terroir de Bala) + notice explicative. Publication CIRAD-INERA, 13 p.
- LAINE G. 1991. Analyse visuelle de l'image SPOT du 27/09/90 en vue d'estimer la répartition coton-céréales dans la région de Solenzo. Rapport de mission. Doc. CIRADIRCT, 69 p.
- PEDRON C., CUSSOL J., TOUMET J., LEPRIEUR C. (1987). « Intégration des données SPOT à un système d'informations géocodées », *Actes du Colloque SPOT-1, Paris, nov. 1987*, pp. 515-530.
- PLETIKAINEN M., HARDWOOD D. (1985). « Segmentation of color images using edgepreserving filters ». *International Conference on Advantages in Image Processing and Pattern Recognition, OISA, decembrer 1985*.
- POUGET M., MADEIRA, J., LE FLOC'H E., KAMAL S. (1991). « Caractéristiques spectrales des surfaces sableuses de la région cotière Nord-Ouest de l'Egypte. Application aux données satellitaires SPOT. Caractérisation et suivi des milieux terrestres en régions arides et tropicales », *Deuxièmes journées de télédétection*. Editions de l'Orstom, Paris. Août 1991. pp. 27-38.
- PRADINES D. (1986). « SPOT images processing used to increase the image size and the multisprectral résolution », *Proceedings of the twentieth international symposium on remote sensing of environment, Nairobi, Kenya, 4-10 December*, Vol. II, pp. 813-820.
- TOLLET, A. (1992). *Estimation de la répartition géographique des grands groupes de cultures dans la zone cotonnière du Burkina Faso, Application au terroir de Daboura*. Mémoire DESS Télédétection. Univ. Paul Sabatier - Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements (Toulouse) 38 p.