

Stratification de l'espace rural par télédétection et caractérisation des systèmes ruraux dans la région de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso)

Marc Totté, Bruno Henquin, Honoré Pouyor Somé

La forte hétérogénéité du milieu rural africain, tant du point de vue éco-climatique que socio-culturel, est reconnue depuis longtemps comme un des principaux facteurs limitatifs des projets de développement agricoles. Elle s'oppose à la transposition et la généralisation de « modèles » de développement ayant prouvé leur intérêt localement.

Du point de vue scientifique, le problème est important : comment définir des méthodes reproductibles, permettant d'analyser les hétérogénéités du milieu naturel et humain et d'ordonner la complexité, afin de dégager les principaux problèmes auxquels il faut s'efforcer de répondre ?

Cela peut paraître une gageure de vouloir traiter ce problème par télédétection qui, même si on l'utilise ici *sensu lato* (associant images satellitaires, photographies aériennes et modèles numériques de terrain), ne peut appréhender de façon directe « l'ordre des hommes » [1]. De plus, en ce qui concerne la quantification des faits matériels par satellite, il est maintenant reconnu qu'il y a rarement correspondance entre un objet précis au sol et une information spectrale

donnée, fournie par le document [2]. Ce problème est renforcé en Afrique où l'agriculture se compose fréquemment de petits champs, avec des arbres et une faible densité de semis. D'où la nécessité d'accorder plus d'attention au contenu des catégories spatiales identifiées par télédétection (et non seulement à leurs contours) et d'en préciser la portée par rapport aux objectifs poursuivis. Ces constatations nous ont conduits à utiliser

la télédétection comme méthode d'approche, comme outil de stratification et d'interrogation de la réalité, en préalable à des mesures et enquêtes de terrain. Ainsi, elle peut efficacement contribuer à appréhender la complexité des relations qui se tissent entre sociétés et milieu naturel.

L'essentiel de notre démarche repose sur l'étude des paysages. Le paysage est depuis longtemps considéré comme une



Figure 1. Localisation de la zone d'étude et des limites de la scène Spot.

Figure 1. Study area and boundaries of Spot image.

M. Totté, B. Henquin : Laboratoire de télédétection et d'analyse régionale, 3 place Louis-Pasteur, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique.

H.P. Somé : Département de géographie, Université de Ouagadougou, BP 7021, Ouagadougou, Burkina Faso.

Tirés à part : M. Totté

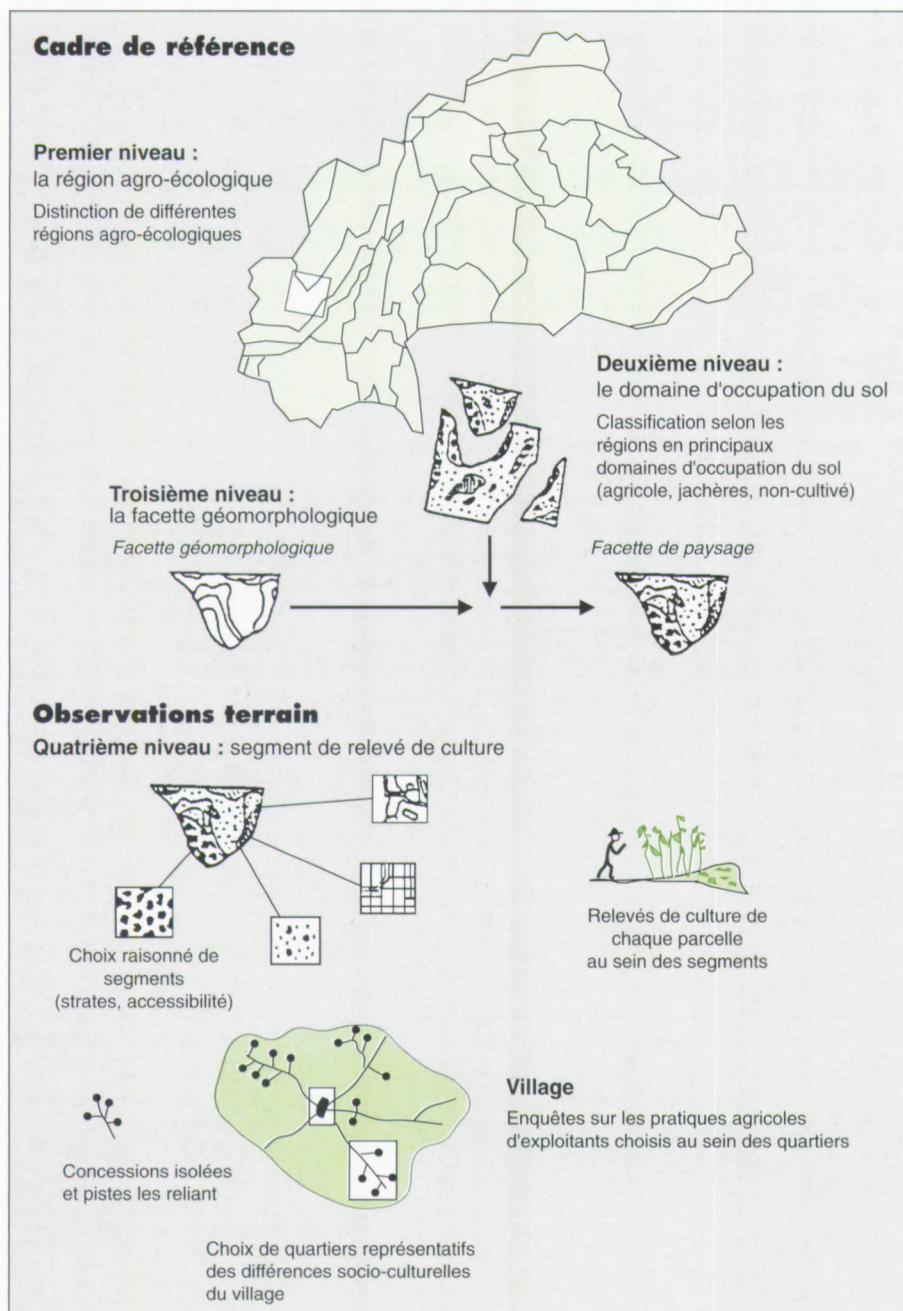


Figure 2. Schéma général de la méthodologie utilisée.

Figure 2. Overall flowchart of methodology.

des portes d'entrée principales pour l'étude des systèmes agro-pastoraux. Les géographes le conçoivent comme une structure sous-tendue par un système d'interrelations entre phénomènes naturels et sociaux au sens large [3]. Sa représentation procède cependant d'une construction, donc de choix. L'intérêt de la télédétection à cet égard, qu'elle soit

satellitaire ou aéroportée, est de tendre vers une certaine normativité. Chaque image ou photo intègre des faits multiples en une vue synthétique : « Ce dernier caractère est précieux pour une approche globale et systémique du paysage, puisque l'intégration porte, entre autres, sur les conditions d'un milieu, la répartition et la structuration des objets, le fon-

ctionnement de la biosphère et de l'hydrosphère, l'état sanitaire des végétaux, voire indirectement, le poids présent ou passé des sociétés » [3]. L'intérêt se situe également dans la possibilité d'étudier les phénomènes à différentes échelles d'espace [4] (de la région pour les systèmes régionaux au terroir pour les systèmes agraires) et de temps (sur le long terme ou selon les saisons). La télédétection offre donc une vision globale, mais dans le même temps réductrice. Tout l'art consiste dès lors à savoir ce qui est réellement détecté (selon le type de milieu étudié, la date de l'image) et ce que l'on peut en déduire. Des recherches antérieures en milieu rural africain ou asiatique ont, par exemple, montré les possibilités d'identifier par télédétection des ensembles géographiques présentant des formes d'organisation agraire contrastées [5, 6]. La nature de ces ensembles était cependant mal précisée, à défaut d'enquêtes de terrain, et assimilée à des « systèmes agraires ». Les résultats présentés ci-après montrent, à cet égard, l'intérêt de distinguer la région agro-écologique et le « système technique de production » (défini comme étant une combinaison cohérente de techniques interdépendantes, produite par l'évolution historique et le développement de la région [7]), du système agraire (ce dernier faisant beaucoup plus référence à l'organisation socio-culturelle des populations).

L'objet du présent article est de présenter une méthode de stratification à différentes échelles et selon différentes « portes d'entrée », et d'en évaluer la pertinence sur la base d'enquêtes réalisées sur le terrain. L'originalité de la recherche est essentiellement de préciser les apports de diverses techniques de télédétection à l'étude des systèmes ruraux, en tenant compte de la variété et de la signification des différents systèmes. Elle réside également dans l'importance qui y est accordée aux enquêtes de terrain et dans la connaissance apportée aux relations qui s'établissent entre sociétés, systèmes techniques (en particulier liés au coton) et milieu naturel dans la région de Bobo-Dioulasso. Située au sud-ouest du Burkina Faso, la zone d'étude (figure 1) présente des caractéristiques particulièrement intéressantes car elle recouvre des situations très contrastées du point de vue des conditions physiques et socio-économiques. Délimitée par l'image Spot XS située au nord-ouest de la ville de Bobo-Dioulasso, elle comprend une partie de la zone

cotonnière du sud-ouest du pays caractérisée par une très forte dynamique agricole ainsi qu'une forte immigration en provenance du centre du Burkina.

Nous présentons ci-après les résultats d'une recherche de deux ans, financée par la Région wallonne de Belgique, l'Agence de coopération culturelle et technique (ACCT) et le Centre commun de recherche d'Ispira (JRC-Ispira, Italie), avec pour objet l'amélioration des « méthodes de caractérisation des domaines agricoles par télédétection au Sahel » [8].

Méthode

L'étude dispose d'un volume assez considérable de données fournies par le JRC et acquises dans le cadre du projet « Surveillance des ressources naturelles et renouvelables au Sahel ». Il s'agit d'images Spot XS 327/48, prises à différentes dates (9-6-91, 5-9-91, 21-11-91), d'images panchromatiques Spot (20-10-90), d'un modèle numérique de terrain, de photographies aériennes récentes sur la région (mission IGB 91111B de novembre 1991) ainsi que de relevés de culture effectués en novembre 1991 sur une cinquantaine de segments de 1 km². Les traitements des données sont effectués sur logiciel Erdas (système d'exploitation Unix et MS-DOS) et sur Morphoterra™ (traitement MNT, environnement Macintosh).

La méthode proposée consiste essentiellement en une stratification de l'espace en trois niveaux principaux : la région agro-écologique, la facette géomorphologique et les domaines d'occupation du sol (agricole, jachères, non-cultivé). Les niveaux retenus doivent contribuer à définir la nature et le nombre de strates qui seront par la suite utilisés pour sonder l'espace rural. Ils permettent d'étayer le choix des situations qui feront l'objet d'analyses, et de préciser les conditions d'extrapolation des observations de terrain à des échelles plus générales.

Deux niveaux complémentaires sont retenus pour la collecte des observations de terrain : le terroir villageois, plus précisément le quartier au sein des villages (échelle des enquêtes socio-géographiques) et la parcelle (relevés de culture). Les outils méthodologiques utilisés et/ou développés pour obtenir les trois niveaux nécessaires à la stratification sont, essentiellement (figure 2) les trois suivants.

– La segmentation de l'image satellite qui conduit à l'identification de différentes « régions agro-écologiques » pouvant être définies comme « le plus grand espace qui présente des modes principaux d'utilisation du milieu par les agriculteurs et les éleveurs (grands systèmes de culture, équilibre entre les systèmes de production et les diverses spéculations, densités et principaux modes d'exploitation des ressources) » [9]. Ces unités géographiques sont considérées comme étant des « zones d'égal raisonnement au sens spectral » [10], chaque zone de l'image pouvant être considérée comme homogène du point de vue de la variabilité spatiale des signatures spectrales d'un même objet, ce qui améliore la précision des classifications. La segmentation présentée résulte d'une interprétation visuelle qui tient compte tant des valeurs spectrales que de leur contexte (notamment la structure du parcellaire). Elle est aidée par un traitement par ACP qui polarise l'information en deux facteurs : un facteur de « verdurisation » et un facteur de « brillance ».

– La classification d'images haute résolution (Spot-XS essentiellement) pour discriminer les principaux domaines d'occupation du sol : domaine agricole, jachères, domaine non cultivé. Elle est effectuée sur chaque zone séparément et pour des images prises à des saisons différentes. La méthode utilisée à ce niveau est de type « post-supervisée » ou « assistée ». Elle consiste à segmenter spectralement l'image recomposée (XS3, NDVI, IB)* en un grand nombre de classes (clusters) de manière non supervisée et à les regrouper ensuite interactivement en trois classes (domaine agricole, non-cultivé, jachères).

– Le traitement d'un modèle numérique décrivant le relief (MNT) pour la cartographie des facettes géomorphologiques. Cette cartographie semi-automatique représente un enjeu important du projet. La cartographie du milieu physique est, en effet, encore actuellement « basée, en première approche, sur la perception du relief et des formes géomorphologiques et s'appuie sur l'exploitation visuelle et stéréoscopique des photos aériennes ou des images Spot panchromatiques. Elle ne se prête pas encore aux traitements numériques car elle fait appel à des processus mentaux de photo-interprétation difficilement transfor-

* XS3 = canal infra-rouge (IR) ; NDVI = indice de végétation normalisé ((R-R)/(R+R)) ; IB = indice de brillance (sqrt (XS2² + XS3²)).

mables en logiciels » [11]. Les résultats obtenus basés sur des modèles d'écoulement d'eau et sur le calcul des pentes témoignent des nouvelles possibilités à cet égard.

Les terroirs villageois soumis à enquête sont choisis de façon raisonnée par rapport aux différentes régions agro-écologiques, en fonction de la taille de la région (avec un minimum de deux villages par région) ainsi que de la possibilité de disposer de photographies aériennes récentes. Ils font l'objet de deux méthodes d'investigation. Les relevés de culture effectués dans des segments localisés au sein des diverses strates permettent de réaliser un inventaire précis des diverses cultures pratiquées. D'autres caractéristiques sont également relevées : nombre d'arbres dans le champ, couleur du sol, état de surface (sols caillouteux, sablonneux, affleurements rocheux...), pente approximative. Les enquêtes socio-géographiques permettent d'étudier les pratiques et stratégies d'occupation du sol en relation avec les principales unités de stratification utilisées (petite région agro-écologique, facette géomorphologique, domaine d'occupation du sol) ainsi qu'en fonction de la composition ethnique des terroirs villageois et de l'ancienneté d'installation des migrants. Les résultats ont été traités par analyse multivariée (analyse factorielle).

Analyse et premiers résultats

La région agro-écologique

L'image qui fait le mieux ressortir les contrastes régionaux est celle de début de saison des pluies en période de préparation des champs (juin) (figure 3).

On y distingue différentes régions caractérisées par des dynamiques d'occupation du sol et certaines contraintes ou potentialités agronomiques particulières. Densités de végétation et de sols nus y traduisent différents niveaux d'intensité d'occupation tandis que la configuration des champs permet de supposer l'existence de différents modes d'occupation du sol. Certaines couleurs reflètent des particularités pédologiques (sols rubéfiés apparaissant en vert sur l'image fausse couleur dans la « région A ») pouvant traduire des conditions agronomiques

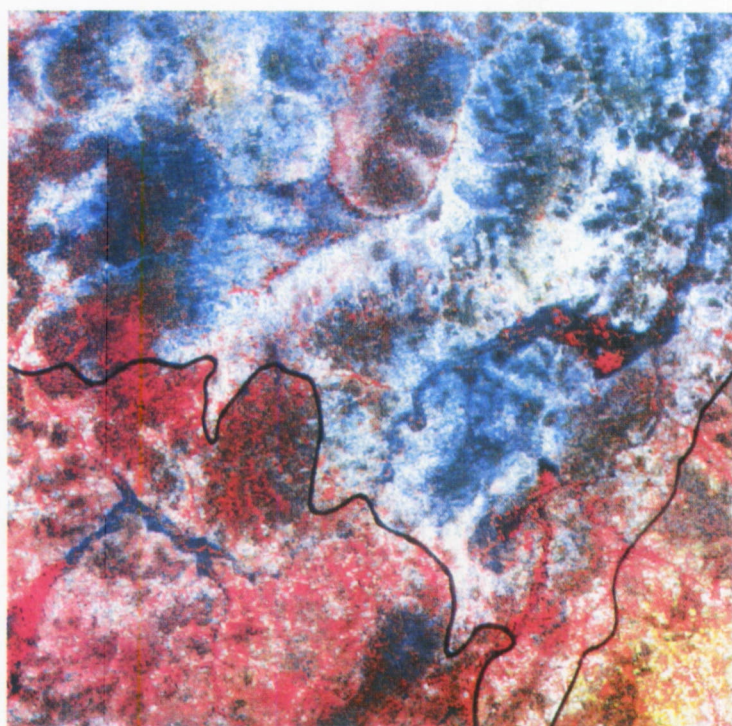


Figure 3. Composition colorée et limites des petites régions agro-écologiques (Spot XS 327/48 du 09-06-91 ; R = XS3, G = XS2, B = XS1).

Figure 3. Colour-coded composition and boundaries of small agro-ecological regions (Spot XS 327/48 of 09-06-91; R = XS3, G = XS2, B = XS1).

différentes. La carte de reconnaissance pédologique (1/500 000) relative au sud-ouest du Burkina Faso indique notamment des sols sableux assurant un bon drainage mais d'intérêt agronomique limité, où l'on cultive surtout du mil et de l'arachide.

On y distingue trois régions principales.

– Région A : zone apparaissant plus verte sur l'image fausse-couleur caractérisée par des sols rubéfiés issus d'une assise géologique particulière de grès à yeux de quartz (carte géologique 1/500 000). Ces sols sont sableux, favorisent le drainage, le parcellaire présente l'aspect caractéristique de grands blocs entourés de végétation.

– Région B : zone beaucoup plus rouge sur l'image, présentant une couverture végétale plus importante en superficie et plus dense. Les cultures semblent disséminées en petits champs dans le paysage.

– Région C : zone apparaissant plus bleue. La végétation y est nettement moins abondante et les sols nus beaucoup plus fréquents. Le parcellaire n'apparaît plus, ce qui révèle une occupation du sol beaucoup plus forte en

cultures, au détriment des jachères et des espaces non cultivés.

À ce stade, différentes régions caractérisées par des dynamiques populations-ressources particulières sont identifiées. Leur contenu n'est cependant pas défini : qu'est-ce qu'on y cultive ? qui y vit ? peut-on parler de régions agro-écologiques ? s'agit-il de systèmes agraires ?

La classification des images apporte, en ce qui concerne les cultures, quelques informations supplémentaires tout en permettant de quantifier l'emprise du domaine agricole.

Tableau 1

Résultat de la classification en domaines principaux d'occupation selon les trois régions agro-écologiques

Occupation (%)	Région A	Région B	Région C
Agricole	24,37	14,33	32,55
Jachère	42,86	48,31	23,89
Non agricole	32,77	37,36	43,56

Classification into main land-use types according to the three agro-ecological regions

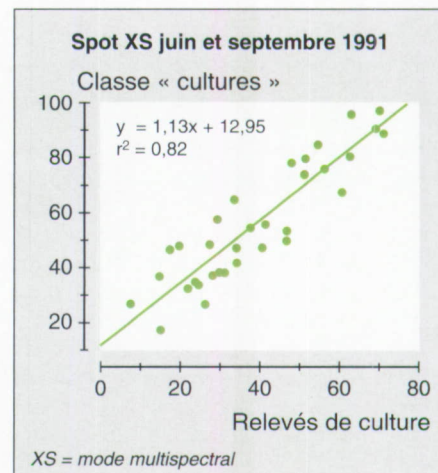


Figure 4. Droite de régression calculée entre l'estimation des superficies cultivées par télédétection et les relevés de culture.

Figure 4. Regression line of remote-sensing estimate of crop areas and ground survey.

Classification des images et relevés de culture

Une première classification consiste à isoler le domaine cultivé du reste de l'image, au moment où les champs sont en préparation (juin) ou déjà récoltés (novembre). Le contenu du thème « domaine agricoles » est donc un mélange constitué principalement de sols cultivés, de sols nus stériles (anciennement cultivés) mais également de jachères récentes (peu ou pas reconstituées) et d'habitat. Ce contenu, bien qu'hétérocli-

te, est d'un intérêt particulier pour la caractérisation des régions agro-écologiques car il permet de quantifier de manière synthétique le degré d'occupation du sol. Il n'est donc pas nécessaire, à ce niveau, d'avoir le domaine réellement emblavé en cours d'année. Dans le cas présent, les deux dates ont été utilisées de façon à lever certaines confusions existant à chaque date prise séparément*. Le masque résultant du domaine agricole peut ensuite être appliqué à une image de saison des pluies (septembre) afin de discriminer le domaine réellement emblavé en cours de campagne et, dans une certaine mesure également, distinguer certaines espèces comme le coton.

Des relevés de culture ont été réalisés en novembre de la même année au sein de quarante segments répartis dans l'ensemble de la zone géographique correspondant à la scène Spot. Les résultats concernant les superficies cultivées sont mis en relation avec ceux obtenus par télédétection, après report des segments sur classification (figure 4). Le coefficient de détermination obtenu en tenant compte des deux dates s'élève à 0,82.

Si l'on se réfère à la formule de l'efficacité proposée par l'IAT, $E = 1/(1-r^2)$ [12], à un coefficient r^2 de 0,82 correspond une efficacité E de 5,5, ce qui signifie que, sans télédétection, il faudrait cinq fois plus de segments au moins pour faire l'inventaire des superficies cultivées.

L'exercice mené pour les autres domaines conduit au tableau 1 :

– la région C est proportionnellement la plus cultivée avec une singularité : les jachères (domaine intermédiaire entre le domaine agricole à densité de végétation faible à nul et le non cultivé à végétation dense) y apparaissent relativement moins nombreuses, mais le domaine non cultivé (massifs forestiers denses, forêts-galeries, cuirasses et eau) est proportionnellement plus important que dans les autres zones ;

– la région A apparaît fort cultivée, avec un volume important de jachères ;

– la région B apparaît beaucoup moins cultivée et présente une forte proportion de jachères.

L'équilibre entre les différents domaines d'occupation du sol ne suit pas la même logique selon les régions : la région C en particulier se distingue des deux autres notamment par un rapport jachères/cultures inférieur à 1.

La classification de saison des pluies permet d'isoler deux types de cultures dans l'ensemble du domaine agricole : le

Summary

Landscape stratification by remote-sensing and characterisation of rural systems in the Bobo-Dioulasso region of Burkina Faso

M. Totté, B. Henquin, H.P. Somé

The great diversity – ecological, climatic and socio-cultural – in African regions has long been recognised as one of the main challenges to agricultural development. It also prevents the widespread application of development models that have already proved their worth on the local level.

An essential pre-requisite to the basic analysis of agricultural production conditions would seem to be landscape stratification. Remote-sensing does provide some answers, but it has still not been used to its full potential.

The present paper looks at an original method for stratifying the landscape environment by combining satellite imaging, data terrain models, and socio-geographical land survey.

The main levels of stratification used and tested were: agro-ecological region, morphological characteristics, and main areas of land use (Fig. 2).

From the technical point of view, one of the research's original aspects lays in its using a method of semi-automatic cartography for the morphopedological characteristics.

The results show that the regions identified by satellite images corresponded to agro-ecological regions (Fig. 3) characterised by particular technical production systems. From the macro-economic point of view, the systems – cotton, millet and market-gardening, sorghum and arboricultural – are understood as coherent combinations of interdependent techniques resulting from the region's historical development.

Analysing the various activities' distribution in relation to the morphopedological characteristics forms the basis of a model for how the systems function on an agro-ecological level (Fig. 5).

Cotton has a particularly marked agricultural predominance in the landscape as well as a far greater morphopedological specialisation. Because of the various techniques involved (use of fertilisers, tillage by animal traction, crop rotation, etc.) the entire cultivated area is located on certain land types (low and medium glacis). Consequently, these are over-worked while others (hillsides and stony terrain) are under-used.

Our results provide a deeper insight into the material factors, and show that if the heterogeneity of human behaviour, and hence agrarian practices within each of the identified agro-ecological zones, are to be understood, other stratification criteria are also required. The different types of habitat (Fig. 6) (dispersal, agglomeration, coalescence, etc.) have a profound influence as to whether permanently-cultivated areas (gardens or village fields) are maintained or developed in the vicinity of dwellings. They also reflect the degree of group, neighbourhood or village cohesion, and allow a more realistic assessment of how villages make use of their environment.

Cahiers Agricultures 1995 ; 4 : 113-23.

* En novembre, le domaine agricole est sous-évalué à cause des brûlis, en juin il l'est également dans la mesure où certains champs ne sont pas encore défrichés.

coton, dont les champs présentent généralement une grande superficie, avec une signature spectrale se distinguant par des réflectances élevées dans le proche infrarouge, dues à une couverture au sol (densité de semis) élevée et le riz, qui apparaît dans la même gamme de signature spectrale que le coton mais se situe sur des unités géomorphologiques diffé-

rentes (plaine alluviale) ; le reste étant constitué d'espèces de céréales (mil, sorgho, maïs).

Les confusions entre ces espèces peuvent être limitées par l'emploi de masques faisant intervenir la morphologie : masque plaine alluviale/autres pour le riz, masque bas-glacis/autres pour le coton. La confection de tels masques, décrite ci-

après, nécessite l'emploi de modèles numériques de terrain.

Les résultats de la classification coton/non-coton montrent que cette dernière culture est surtout pratiquée dans la région C et apparaît donc associée à la région la plus cultivée avec le moins de jachères. Les différences dans les modes d'occupation semblent donc liées à des systèmes techniques de production agricoles différents selon les régions.

Les facettes géomorphologiques

L'utilisation de MNT en télédétection avait surtout pour objet l'amélioration des classifications par la prise en compte du relief (et des phénomènes d'ombre associés [13]) et de l'hydrologie (extraction de limites de bassins-versants, calcul du réseau hydrologique). Son application en géomorphologie rend compte de la structuration morphologique du paysage sur base de l'analyse et de la modélisation de l'écoulement.

Elle utilise principalement deux paramètres [14] : le rapport entre la distance altitudinale (RA) et la distance horizontale (RS) par rapport au réseau hydrographique en tous points du MNT [15], et la pente. La fonction RA transforme les coordonnées altitudinales à référence commune (le niveau de la mer) en altitudes relatives par rapport au réseau hydrographique. Elle est définie par l'altitude entre le pixel considéré et son exutoire dans le réseau. L'intérêt de ce concept vient du fait que chaque point du réseau hydrographique est à une altitude nulle et qu'il devient donc possible de modéliser un étagement du relief qui corresponde à une réalité morphogénétique.

Cette étape est obtenue par croisement du rapport RA/RS et des pentes. Le résultat est une carte des facettes géomorphologiques (figure 5). Une comparaison du résultat obtenu avec une carte morpho-pédologique existant sur une partie de la zone [16] permet d'évaluer son degré de précision [14]. Cette comparaison se révèle très positive et conduit à considérer le résultat comme largement suffisant pour la caractérisation physique des régions agro-écologiques, dans une perspective de stratification du milieu. Enfin, il convient, si l'objectif est d'obtenir une carte morpho-pédologique, d'apporter à ce type de carte, essentielle-

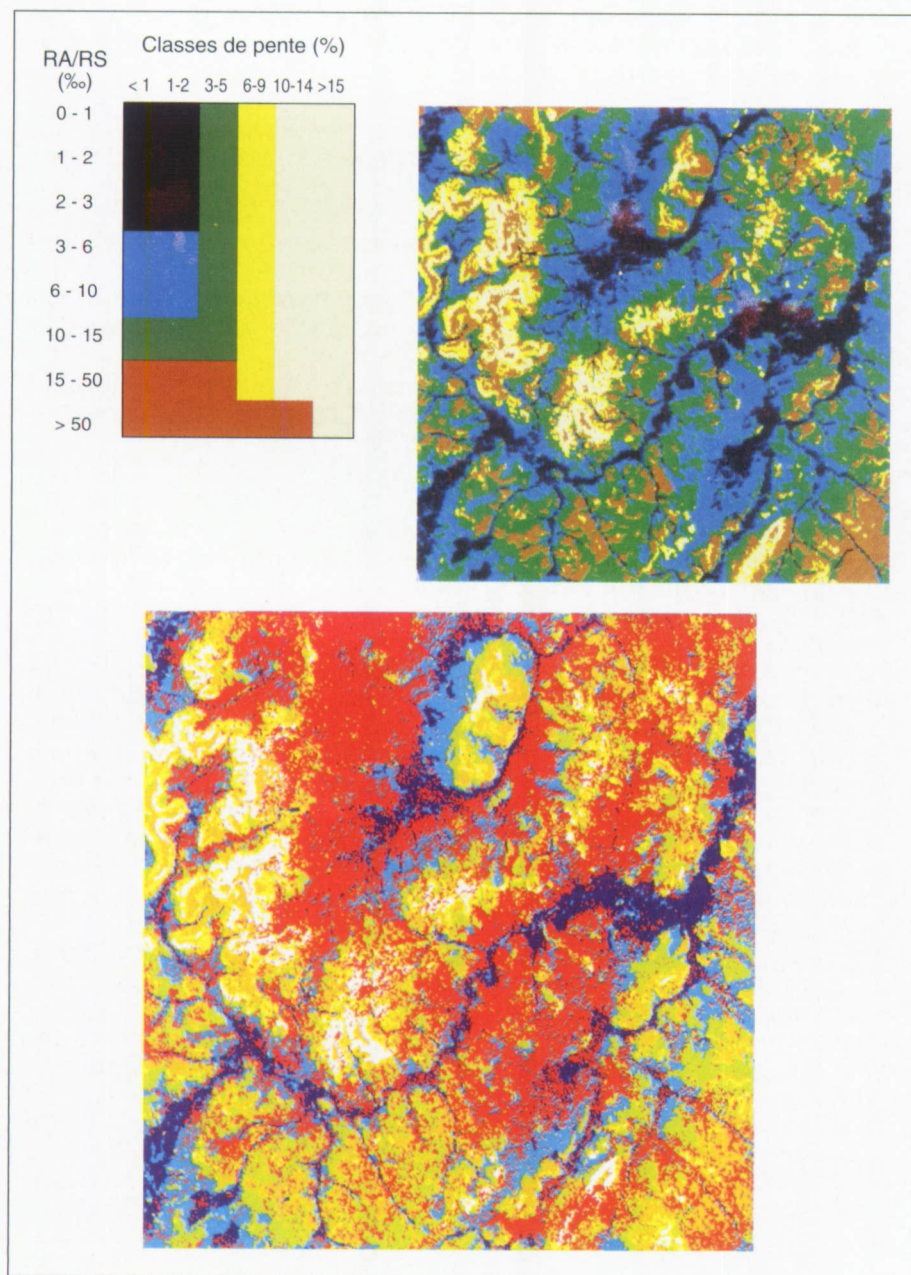


Figure 5. Carte des facettes géomorphologiques déduites d'un MNT (en haut) et superposition du domaine agricole (en bas).

Figure 5. Morphological map deduced from DTM (above) and superposition of agricultural area.

Tableau 2

Proportion du domaine agricole selon les facettes géomorphologiques et les petites régions agro-écologiques

Facettes*	Région C		Région A		Région B	
	% fac.	% DC	% fac.	% DC	% fac.	% DC
Plaine alluviale	13,78	11,73	4,07	4,98	10,27	9,21
Bas-glacis	35,11	48,63	6,47	7,33	23,28	31,01
Glacis de piémont	30,04	32,80	28,75	32,09	35,87	37,76
Plateaux	11,59	5,47	52,27	21,53	18,98	15,96
Versants < 9 %	5,30	0,71	4,93	0,47	5,59	2,59
Versants ≥ 15 %	4,18	0,63	3,52	1,91	6,00	3,45

% DA = proportion de la superficie du domaine agricole se trouvant sur la facette morpho-pédologique considérée par rapport à la superficie totale de la zone.

% fac. = proportion de la superficie de la facette considérée par rapport à la superficie totale de la zone.

* Sont dénommées par leur équivalent le plus proche sur la carte morpho-pédologique de Guillobez et Raunet [16].

Proportion of the agricultural area according to geomorphological characteristics and small agro-ecological regions

ment « physiographique », une information plus qualitative sur les caractéristiques édaphiques des unités considérées. Le croisement entre les petites régions, les facettes géomorphologiques et le domaine agricole est repris dans le *tableau 2* et est illustré par la *figure 5*.

Le *tableau 2* fait ressortir la forte concentration des cultures ($\pm 50\%$) sur l'unité « bas-glacis » dans la région C. À l'inverse, les cultures semblent beaucoup mieux réparties dans la région B. La région A (région des sols rubéfiés) diffère des deux précédentes par une morphologie particulière privilégiant nettement des facettes de haut de paysage relativement planes (plateaux et cuirasses), en théorie moins favorables aux cultures.

En ce qui concerne la région C, on peut également observer, localement (*figure 5*, dans le coin supérieur droit de l'image), un domaine agricole qui déborde largement sur les facettes plus hautes et pentues, ce qui indique une certaine saturation des superficies cultivables dans les plaines et témoigne de la disparition des jachères dans ces milieux (*tableau 1*).

La superposition du domaine agricole sur les facettes morphologiques est donc particulièrement féconde et permet déjà, en l'absence d'observation-terrain, de faire certains diagnostics : fortes densités d'occupation du milieu en région C (avec localement des signes de saturation), forte représentation des supports plus hydromorphes (bas-glacis) et séparation marquée dans l'usage des différents supports ; densités moyennes de la région A avec une structure agraire

constituée de gros blocs de champs entourés de jachères et situés sur les plateaux et glacis de piémont ; région B caractérisée par une faible occupation du sol et une distribution des cultures beaucoup plus uniforme.

Elle fournit également les strates nécessaires à l'optimisation des relevés de culture et conduit donc à une meilleure estimation des différentes spéculations et associations de culture favorisant l'étude des systèmes développés sur chaque facette.

La réalité du terrain

Les études existantes [17] révèlent que la zone étudiée se situe dans l'une des provinces les plus touchées par deux phénomènes majeurs : le développement de la culture cotonnière et les migrations de personnes venues du centre et du nord du pays.

Les enquêtes effectuées dans huit villages montrent que ces phénomènes concernent surtout la région C (*encadré 1*). Au système technique très « dynamique » de la région C, basé sur le coton et caractérisé par des champs nombreux, de grande taille et très productifs, s'opposent les systèmes plus traditionnels des autres régions. Système technique basé sur le sorgho dans la région B et sur le mil dans la région A, avec cependant certaines cultures commerciales (maraîchage et arboriculture fruitière). L'image satellitaire révèle bien des petites régions carac-

térisées par des mises en valeur agricoles fondamentalement différentes, de sorte que le terme de région « agro-écologique » apparaît particulièrement bien convenir pour la zone étudiée.

Coton et paysage

La structure agraire particulière observée dans la région C (concentration du domaine agricole sur le bas-glacis, peu de jachères, morphologie du parcellaire peu apparente) est due au coton. Cette culture repose en effet sur une série de pratiques, un « paquet technologique », relativement complexe qui va progressivement transformer le paysage. La jachère traditionnelle est remplacée par les engrais et par la rotation avec les autres cultures.

La culture attelée doit permettre d'alléger le travail de désherbage tout en améliorant le labour. Ces pratiques vont se marquer dans le paysage de plusieurs façons : la disparition de la jachère conduit à un paysage cultivé en continu, la rotation engendre le déplacement des autres cultures principales vers le coton, c'est-à-dire sur des supports peu pentus et peu caillouteux pour permettre l'usage de la culture attelée.

Le développement de la culture du coton, favorisée dans la région par de vastes projets économiques, a de multiples effets sur l'économie des villages et l'organisation agraire traditionnelle. En ce qui concerne ce dernier aspect, on observe une disparition quasi systématique du fameux modèle en auréoles des habitats groupés (cas des autochtones *Bobo*). Les cultures intensives proches de l'habitat (champs de case, champs de village) vont rejoindre le coton. Les migrants, au contraire, préservent plus facilement les champs de case grâce à un habitat dispersé.

La culture du coton pose également des problèmes écologiques. La disparition des arbres augmente l'érosion des sols. La complexité du paquet technologique associé au coton conduit par ailleurs à une maîtrise partielle (ou à une réappropriation) des techniques par les paysans (fumure d'entretien plutôt que fumure de fond dont les effets ne sont pas immédiats, maintien de la culture du coton pendant plusieurs années sur la même parcelle, labours légers sur de plus grandes superficies) et engendre une diminution de fertilité des sols. Ces problèmes se perçoivent sur image satellite

Encadré 1.

Synthèse des résultats d'enquête

L'analyse factorielle permet de synthétiser les informations relevées durant les enquêtes et de vérifier si les villages soumis à enquête peuvent être associés de manière comparable au zonage agro-écologique établi sur l'image satellite. Elle met en évidence les facteurs fondamentaux qui expliquent cette répartition.

Le modèle statistique utilisé pour ce faire est un modèle en facteurs principaux.

Les données analysées sont des moyennes calculées au niveau des villages et relatives à une vingtaine de variables issues des enquêtes :

- caractère autochtone ou non de l'unité de production (AUTOCH) ;
- nombre de personnes dans l'unité de production (PERS) ;
- nombre de grands champs (GR CHAMPS) ;
- nombre total de champs (TOTCHAMPS) ;
- distance résidence-champs (DIST) (min.) ;
- nombre d'années depuis la dernière mise en culture (AGECULT) ;
- production de MAÏS (t) ;
- production de MIL (t) ;
- produits du maraîchage (MARAI) (t) ;
- champs sur PENTE ;
- faire valoir (PROPR) ;
- proportion d'actifs parmi ces personnes (% ACTIFS) ;
- nombre de champs de femmes (FE CHAMPS) ;
- superficie totale des champs (SUPERF) ;
- durée de la jachère (JACH) (an) ;
- production de COTON (t) ;
- production de SORGHO (t) ;
- production d'arachides et de haricot (AR-HAR) ;
- production totale (TOTPROD) (t) ;
- présence d'érosion (ÉROSION).

AUTOCH, PROPR, PENTE et ÉROSION sont des variables nominales encodées sous forme binaire au niveau des exploitations (0 = non ; 1 = oui). Le calcul des moyennes au niveau des villages les transforme en données de type quantitatif. Les résultats s'accordent très bien avec le zonage agro-écologique obtenu par télédétection (*figures 6 et 7*).

La *figure 6* illustre la répartition des villages selon les deux facteurs principaux (éloignement par rapport au centre des composantes). La mesure de la pertinence totale de l'échantillonnage (*Variable Sampling Adequacy* : 0,71) est suffisante pour justifier l'interprétation. Le premier facteur oppose, géographiquement, les villages de la région C de la zone étudiée (Kouérédéné, Sabou, Sadina) de ceux situés dans la région A (Toukoro, Sourkoudougou). Le second facteur oppose, principalement, Zongoma et Kouérédéné (région C) au village de Soungaroudaga (région B). Thématiquement, cette répartition traduit bien des pratiques agronomiques fondamentalement différentes (*figure 7*). Le facteur 1 oppose, d'une part, des variables révélatrices d'une agriculture caractérisée par des nombres et superficies de champs élevés, une production agricole abondante – notamment de coton – et des phénomènes d'érosion, et, d'autre part, des variables révélatrices d'une agriculture plus traditionnelle : propriété de la terre (PROP) et caractère autochtone (AUTOCHT). On observe également une bonne représentation des variables reflétant l'importance du maraîchage et la distance champs-habitat.

Ce facteur exprime, dans une certaine mesure, le fait ethnique, les migrants étant plus rarement en possession de la terre que les autochtones. Ils cultivent plus fréquemment le coton, ont plusieurs types de champs (jardin de case des femmes, champs de village, champs de brousse) situés généralement plus près de l'habitat (la variable DIST apparaît dans l'autre pôle). Leur superficie totale cultivée est, en conséquence, plus importante que celle des autochtones *bobo* qui se contentent, en moyenne, de deux champs et d'une superficie ne dépassant pas six hectares.

Le second facteur est essentiellement lié à la culture de petit mil qui apparaît indépendante de l'opposition exprimée par le premier facteur. Dans certains villages, cette culture semble être plus fréquemment le fait des migrants (Kouérédéné, Zongoma, Sabou), ce qui apparaît normal étant donné qu'il s'agit de populations migrantes provenant de régions où le petit mil est la culture de base. Cependant, certaines contraintes physiques obligent les autochtones à cultiver en priorité le petit mil dans la région des sols rubéfiés (région A) (*figure 7*).

par la présence de sols nus plus ou moins stériles (croûtes de battance).

Ces observations montrent que la télédétection, malgré certaines difficultés à distinguer le coton de manière précise (nécessité d'une date située dans la période du maximum phénologique de la culture); peut apporter une aide précieuse à la délimitation des zones cotonnières par l'étude des paysages. Elle peut également fournir des informations sur l'extension spatiale des potentialités des divers espaces. Les enquêtes montrent à cet égard que le coton était autrefois cultivé dans la région A (sols sableux favorisant le drainage, rubéfiés à potentialité agronomique médiocre, apparaissant en vert sur l'image fausse-couleur) mais ne l'est presque plus aujourd'hui. Les villages sont presque tous fortement endettés vis-à-vis de la Sofitex dans cette région et les groupements pour le coton comptent peu de membres. Cette situation est due pour une large part à la mauvaise estimation par la Sofitex des rendements réels des sols (la règle qui ne semble souffrir aucune exception est de produire 1 t/ha).

Ethnie, systèmes agraires et paysage

La zone d'étude se trouve comprise dans l'aire traditionnelle des *Bobo-Fing* mais comprend également d'autres ethnies autochtones plus minoritaires (*Bolon, Senoufo, Sembla*). L'arrivée massive de migrants (*Mossi, Samo*) en provenance du centre du pays à partir de la fin des années 60 va modifier cette toile de fond ethnique. Ces migrants se retrouvent essentiellement dans la région C en raison du très faible peuplement de cette zone (la rive gauche du Mouhoun en Volta Noire ne deviendra salubre qu'au début des années 70, après la réalisation d'un vaste programme d'éradication de l'onchocercose) et de l'existence (dès 1968) d'un important périmètre rizicole (visible sur image), région qui, dès le début des activités (1968), organise avec l'État voltaïque un transfert de population en provenance des zones densément peuplées du plateau mossi.

L'analyse des photographies aériennes (*figure 8*) associées aux enquêtes de terrain révèle l'existence de deux systèmes agraires principaux : celui des autochtones – caractérisé par l'existence d'un habitat concentré en un seul noyau au village et d'un habitat unicellulaire sur les champs pour limiter les déplacements

Graphes après transformation oblique : Facteur 1 vs. Facteur 2

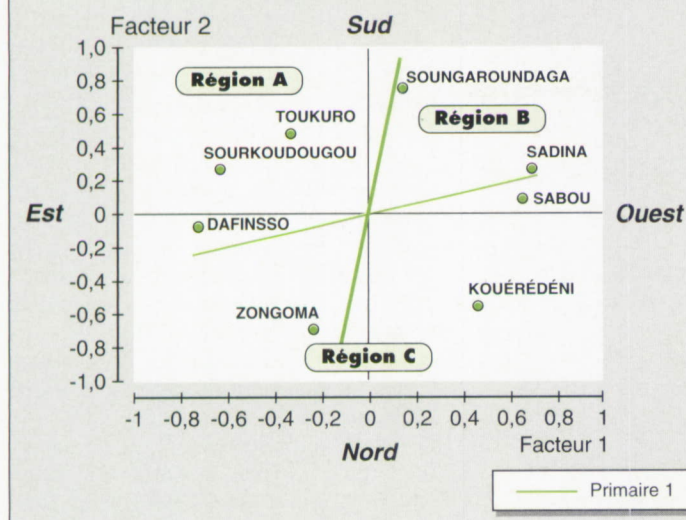


Figure 6. Factorielle selon les villages - données standardisées.

Figure 6. Factorial according to villages - standardised data.

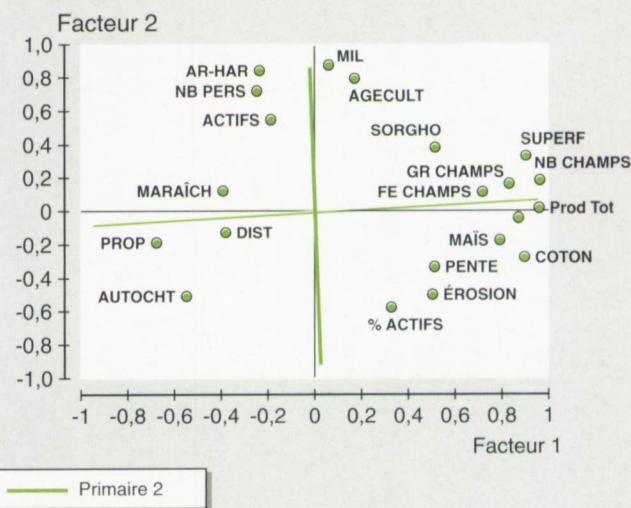


Figure 7. Résultat des variables dans l'espace.

Figure 7. Spatial distribution of the variables.

pendant la saison des pluies, l'aspect radial et relativement regroupé des champs (selon des directions de culture attribuées aux principaux lignages), la présence de bois sacrés à proximité de l'habitat - et le système agraire des migrants, caractérisé par un habitat dispersé en une « nébuleuse » de concessions unifamiliales (disposées en grappe ou alignées suivant la direction des cours d'eau ou des routes), la présence de champs entre les « concessions » (champs de case, champs de village), le manque de massifs boisés.

Le système agraire des autochtones se retrouve dans toutes les régions agro-écologiques mais avec des variantes reflétant des évolutions différentes et, pour certains aspects, différents stades d'une même évolution. Dans la région A, l'habitat est concentré en un seul noyau très dense pour des raisons historiques*, les champs sont plus vastes, de façon, vraisemblablement, à compenser de plus faibles potentialités agricoles (champs sur plateaux aux sols sableux favorisant le drainage), et les activités maraîchères beaucoup plus développées grâce à la

présence de bas-fonds plus importants et plus longtemps ennoyés. Dans la région B, l'habitat est structuré en plusieurs quartiers denses (cette structure reflète, dans certains villages, une organisation du pouvoir plus complexe : chefferie tournante, plusieurs chefs de terre), les champs sont plus éloignés et plus petits et renforcent l'importance de l'habitat au champ**, l'approvisionnement en bois de la ville de Bobo-Dioulasso fournit une source de revenus relativement importante qui freine les initiatives d'amélioration de l'agriculture. Dans la région C, on repère l'ancien noyau dense originel qui est mêlé avec de l'habitat plus dispersé, l'aspect radial des champs n'est plus du tout perceptible pour les raisons précédemment citées, liées au coton et aux plus fortes densités d'occupation du milieu. Dans cette région cohabitent donc deux groupes socio-

** Témoigne d'une organisation sociale particulière, poussée à son extrême dans cette région : la famille réduite (sans les personnes âgées, les femmes et les enfants en bas âge) peut habiter pendant six mois sur son champ. Des greniers collectifs y sont construits et sont gérés par le chef de lignage. Seuls les hommes y ont accès. Lors des récoltes, les grains qui ne sont pas stockés dans ces greniers sont transportés au village et entreposés dans des greniers individuels gérés par les femmes. Ces greniers assurent la nourriture de la famille jusqu'au mois de mars ou avril (soit près de six mois après les récoltes), les greniers des champs prenant le relai ensuite, après autorisation du chef de lignage.

culturels fondamentalement différents. Leurs systèmes agraires se rejoignent par leur aspect technique car tous deux sont actuellement influencés par le coton et les pratiques qui y sont associées. Ils se distinguent par des règles d'exploitation du milieu et des perceptions de l'espace fondamentalement différentes. Les migrants cultivent beaucoup plus de coton afin de disposer d'un certain pouvoir économique par rapport au pouvoir foncier des autochtones. Leurs pratiques sont généralement plus extensives et tendent à s'apparenter à une agriculture minière car, une fois les sols épuisés, ils déménagent pour s'installer ailleurs***. Ce manque d'attaches au terroir (qui s'explique en partie par l'insécurité foncière des migrants) ne concerne cependant pas tous les migrants et l'on observe des pratiques « améliorantes » (rotation incluant des jachères courtes, réenfouissement des résidus verts après récolte) dans le cas des migrants qui sont parvenus à se stabiliser sur le plan foncier. Ces différences de perception de l'espace et de techniques agricoles, essentielles pour la gestion des terroirs, ne sont pas mesu-

* Située près de Bobo-Dioulasso, cette région a subi, jusqu'à la colonisation, de nombreuses incursions armées qui ont eu pour conséquence un regroupement des hameaux et des champs [18]. L'habitat plus relâché que l'on observe à proximité immédiate du noyau traduit l'évolution récente (50 ans) à la suite de la disparition de l'insécurité.

*** Les enquêtes montrent, à cet égard, que la région B est une zone de décongestion de la région C voisine située au Nord, qui arrive à une saturation foncière (marquée par l'impossibilité d'augmenter ou de renouveler les superficies cultivées) à certains endroits.

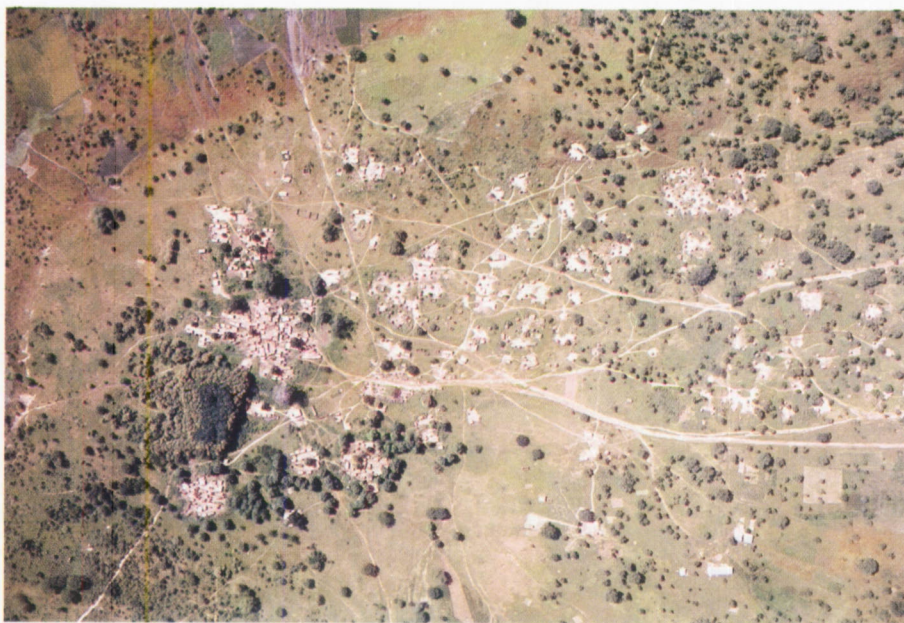


Figure 8. Vue aérienne (1/5 000) du village Diéfourma (région B). À gauche : habitat concentré en quartiers des autochtones *bobos* avec le bois sacré ; à droite : habitat des migrants *mossi*.

Figure 8. Aerial view (1:5000) of Diéfourma village (region B). Left: agglomerated dwellings of autochthons (Bobo) and their sacred wood; right: scattered dwellings of the allochthons (Mossi).

rables par télédétection (satellitaire ou aéroportée). On atteint là les limites de l'outil.

Conclusion

La télédétection intervient à différents niveaux dans l'étude des systèmes ruraux. L'imagerie satellitaire permet, tout d'abord, d'identifier différentes régions agro-écologiques et de quantifier l'emprise spatiale des principaux domaines d'occupation du sol. Les méthodes employées pour classer les images montrent, à cet égard, que l'on peut tirer profit de certaines confusions existantes pour une caractérisation plus synthétique du milieu dans le cadre d'une approche régionale. Elles indiquent également l'obligation de disposer de dates prises à des saisons différentes (surfaces emblavées) et d'une approche plus contextuelle (coton par exemple), approche pour laquelle l'emploi de masques correspondant aux régions et aux facettes géomorphologiques fournit une aide précieuse.

La cartographie des facettes géomorphologiques apporte beaucoup à la caractérisation des différents systèmes. Elle permet de voir comment s'organise l'agriculture en fonction de la variété et de la nature des supports pédologiques. Cette « confrontation » permet de caractériser les systèmes techniques régionaux en termes synthétiques et d'analyser les systèmes de culture propres à chaque facette (type de spéculations, associations principales) après extrapolation des relevés de culture. Croisée avec la morphologie du parcellaire, elle évite d'associer certaines configurations observées (taille des champs par exemple) à un système agraire distinct tout en les considérant comme des variantes d'un même système.

La photographie aérienne (1/20 000 au minimum) reste cependant d'un apport majeur pour l'étude des systèmes agraires dans l'état actuel des techniques de télédétection satellitaire. En identifiant différentes structures de l'habitat et en précisant certaines relations entre habitat et champs (jardins de case, habitat dans les champs), elle ouvre la voie à une

approche plus socio-géographique des rapports entre société et milieu naturel. L'apport de ces outils dépasse donc la simple quantification d'éléments du paysage ou la stratification du milieu. En permettant la comparaison dans l'espace (selon les différentes régions et dans le temps si l'on possède plusieurs dates) entre les différentes structures observées (structuration du relief, structure agraire, structure de l'habitat), ils suscitent les interrogations et participent activement à la recherche des facteurs qui gouvernent la genèse et l'évolution des systèmes ruraux. Ces outils orientent donc autant le type de questions ou de mesures effectuées que leur localisation.

Les résultats présentés ici, qui ne constituent qu'une partie des données exploitables, montrent que l'association entre télédétection et enquêtes de terrain conduit à une connaissance à la fois globale et détaillée des problèmes rencontrés dans la région de Bobo-Dioulasso (3 600 km²). La diversité des situations rencontrées témoigne en faveur de ce type de recherche en préalable aux actions de développement rural ■

Références

1. Chéneau-Loquay A, Vercesi L, Usselman P. Image et modèle, la confrontation de deux outils pour une analyse des relations homme-environnement : l'exemple de la zone côtière de Guinée. In : Pouyllau M, éd. *Télédétection et tiers monde. Actes de la table ronde internationale CNRS*. Paris : Cnrs, 1990 : 165-84.
2. Girard MC, Girard CM. *Télédétection appliquée. Zones tempérées et intertropicales*. Paris : Masson, 1989 ; 259 p.
3. Rougerie G, Beroutchachvili N. *Géosystèmes et paysages. Bilan et méthodes*. Paris : Armand Colin, 1991 ; 244 p.
4. Townshend JR, Justice CO. Selecting the spatial resolution of satellite sensors required for global monitoring of land transformations. *Int J of Rem Sens* 1989 ; 9 : 187-236.
5. Bruneau M, Kilian J. Inventaires agro-écologiques, paysages et télédétection en milieu tropical. Essai méthodologique. *L'agronomie tropicale* 1984 ; 39 : 97-106.
6. Amelot X, Puythorac P, Nguyen CT, Pouyllau M. Les systèmes ruraux au Rwanda et au Vietnam. *Systema Terra* 1993 ; 2 : 29-31.
7. Groupe de travail du ministère de la Coopération et du Développement. *Les interventions en milieu rural. Principes et méthodologie*. Paris : Documentation française, Coll. Méthodologie 23, 1989 ; 198 p.
8. Totté M, Henquin B. *Méthodes de caractérisation des domaines agricoles par télédétection au Sahel*. Rapport final de recherche. Louvain-la Neuve, 1993 ; 168 p.

9. Ange A. Stratification de l'espace rural et identification des contraintes du milieu à la production végétale. *Agronomie et ressources naturelles en régions tropicales*. Montpellier, 12-15 septembre 1989. Montpellier : Irat, 1990 : 22-31.

10. Gilg JP, Fournier P. *Télédétection et observations-terrain*. Ispra : JRC-Ispra, Euro-Courses, 1985 ; 20 p.

11. Kilian J. Cartes du milieu pour le développement rural. *Agronomie et ressources naturelles en régions tropicales*. Montpellier, 12-15 septembre 1989. Montpellier : Irat, 1990 : 12-21.

12. IAT Inventaires régionaux. *Flash Télé-Agri-News*. Ispra : Inst des Applic de la Téléd, Service Spécialisé Agriculture (CECD), 1989 : 2-15.

13. Holben BN, Justice CO. The topographic effect on spectral response from Nadir-sensors. *Phot Eng and Rem Sens* 1980 ; 46 : 1191-200.

14. Henquin B, Totté M. *Le traitement d'un modèle numérique de terrain pour la caractérisation du milieu physique. Cas d'étude : région de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso)*. N° spécial « Sols et Télédétection ». Cahiers de Pédologie. Paris, Orstom, 1993 ; 25 p.

15. Ansout M. *Étude et modélisation de formes de la surface terrestre*. Thèse de doctorat. Louvain-la Neuve : UCL, 1988 ; 90 p.

16. Guillobez S, Raunet M. *Étude morphopédologique de la haute vallée de la Volta Noire et ses bordures (Haute-Volta)*. Paris : Irat-Gersar, 1979, Carte 1/100 000.

17. Some PH. *Les transformations de la vie rurale dans l'arrière pays de Bobo-Dioulasso*. Thèse de doctorat de 3^e cycle. Univ de Ouagadougou, 1980 ; 219 p.

18. Savonnet G. Évolution des pratiques foncières dans le Bwamu méridional. In : *Espaces disputés en Afrique Noire. Pratiques locales*. Paris : Karthala, 1986 : 265-80.

Résumé

Le présent article a pour objectif de préciser le rôle de la télédétection dans l'analyse globale des systèmes ruraux. L'accent est mis sur les possibilités de stratification et d'interrogation du paysage en vue de sondages et d'enquêtes de terrain. Les résultats montrent que la télédétection satellitaire identifie des petites régions agro-écologiques et contribue efficacement à caractériser leur système technique de production agricole. Ils révèlent également la nécessité de distinguer ces régions des systèmes agraires dont l'appréhension nécessite des échelles plus fines (échelle du village), des moyens techniques plus précis (la photographie aérienne) et d'autres critères (structure de l'habitat notamment).

Au-delà des aspects méthodologiques, cet article montre également les effets de la culture du coton et des migrations sur les paysages agraires dans le sud-ouest du Burkina Faso, ainsi que les problèmes de gestion des terroirs que cela entraîne.
