

APPLICATION DE LA TELEDETECTION SPATIALE A L'INVENTAIRE
ETA LA CARTOGRAPHIE DES ECOSYSTEMES RIZICOLES
DANS LE BASSIN DU NIGER

Remote sensing applied to the cartography of the
rice-field ecosystem in the Niger basin

A. BERG*

ABSTRACT

The research project JELIBA aims at the setting up of remote sensing techniques with a double objective of rice production forecasting and of prevision of the flooding regime in the Niger valley. The first results demonstrate the remote sensing potentialities for realizing an inventory and a cartography of rice fields and of associated aquatic ecosystems, both under controlled submersion conditions and in traditional rice culture. Satellite observation of the seasonal filling rate of "indicator hydrologic reservoirs" could be useful for the hydrologic objective of the project.

RESUME

Le projet de recherche JELIBA vise à la mise au point de techniques de télédétection spatiale dans un double objectif de prévision des productions rizicoles et de prévision du régime de crues dans la vallée du Niger. Les premiers résultats démontrent les potentialités de la télédétection pour réaliser un inventaire et une cartographie des rizières et des écosystèmes aquatiques associés, aussi bien en conditions de submersion contrôlée qu'en riziculture traditionnelle. L'observation satellitaire du taux de remplissage saisonnier de "réservoirs hydrologiques indicateurs" pourrait servir l'objectif hydrologique du projet.

INTRODUCTION

Le Centre Commun de Recherche (C.C.R.) d'Ispra (Italie) des Communautés Européennes a inclus dans ses programmes depuis près de dix ans la mise au point de techniques de télédétection appliquée en milieu ma-

* Centre Commun de Recherche des Communautés Européennes, 21020, Ispra, Italie.

rin (transport des polluants, productivité primaire) et en milieu terrestre (inventaires agro-écologiques, utilisation des terres).

Sur base des résultats du Projet AGRESTE réalisé par le C.C.R.-Ispra durant les années 1973 à 1977 et concerné principalement par l'inventaire des rizières en Italie et en France (BERG *et al.*, 1978), naissait l'idée d'une application expérimentale de la télédétection à la riziculture de l'Afrique de l'Ouest. Cette riziculture constitue en effet une source alimentaire non négligeable et fait l'objet d'importants investissements du Fonds Européen de Développement (F.E.D.) dans la région considérée (Mali et Guinée) en faveur de "périmètres rizicoles" irrigués par submersion contrôlée.

Deux objectifs étaient d'emblée assignés au Projet JELIBA :

- objectif agronomique : prévisions à court terme des productions rizicoles comme assistance à la gestion des stocks alimentaires céréaliers, si importante pour les pays du Sahel touchés régulièrement par la sécheresse,
- objectif hydrologique : prévisions du régime d'inondation des périmètres rizicoles, en relation avec le régime de crue du fleuve Niger, comme assistance à la gestion des périmètres rizicoles irrigués.

METHODOLOGIE

Pour le thème agronomique, la télédétection apparaît en principe comme un outil adéquat et privilégié, impliquant la reconnaissance des rizières sur base radiométrique (lumière réfléchie ou réflectance) et discrimination par rapport à la végétation aquatique et non aquatique avoisinante. La phase de recherche en ce domaine consiste précisément dans la mise au point de procédures de classification et de cartographie des formations végétales des plaines alluviales exploitées par la riziculture. Il est évident cependant que des méthodologies incluant des observations de terrain doivent assister l'approche par télédétection, notamment en ce qui concerne la prospection préalable des sites d'études ("réalité-terrain") et les mesures de référence radiométriques au sol.

Un problème épineux de disponibilité d'imagerie-satellite est inhérent à tout projet de télédétection en Afrique de l'Ouest. Dans l'attente d'une décision d'installation d'une station de réception à Ouaga-

dougou (Haute-Volta), on ne dispose que de quelques images enregistrées à bord des satellites LANDSAT. Par ailleurs, pour préparer l'avènement des satellites de deuxième génération à résolution fine, une campagne aérienne de "simulation SPOT" fut organisée en 1981 sous l'égide du G.D.T.A. (Groupement pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale, Toulouse) simulant la résolution de 20 x 20 m² du satellite français SPOT, dont le lancement est prévu en avril 1985.

En ce qui concerne les satellites LANDSAT 1, 2 et 3 de première génération, ils ont fourni des images couvrant les zones d'étude sur une période d'environ une décennie (1972-1982). Cette imagerie présente une résolution spatiale de 80 m x 80 m en balayage multispectral (MSS dans les trois bandes spectrales, vert, rouge et proche infrarouge) et de 40 m x 40 m en observation panchromatique de type télécamera (RBV).

L'imagerie-satellite est elle-même disponible sous la forme analogique de compositions colorées (comparables à la photographie aérienne infrarouge-couleur) ou sous la forme numérique de rubans magnétiques fournissant les valeurs de réflectance des points élémentaires de mesure au sol (pixels) dans les trois bandes spectrales. Il en découle deux approches méthodologiques fondamentales : l'analyse visuelle, comparable à la photo-interprétation, et l'analyse numérique par ordinateur. Les deux approches ont été expérimentées, la première présentant l'avantage d'être plus appropriée à des utilisations en pays africains, la seconde pouvant s'avérer adaptable à ces pays dans un cadre adéquat de coopération scientifique et technique.

ECOLOGIE DU RIZ AQUATIQUE ET SITES D'ETUDE

Deux types principaux de riziculture existent dans la vallée du Niger, respectivement en conditions de submersion contrôlée et non contrôlée. La submersion contrôlée est pratiquée sur les "périmètres rizi-coles" aménagés (chenaux d'amenée d'eau à partir du fleuve, vannes d'entrée et de sortie, diguettes de retenue) et concerne surtout la portion moyenne de la vallée du Niger (entre Ségou et Mopti, avec une extension d'environ 70.000 ha). La submersion non contrôlée est pratiquée depuis des siècles dans des conditions aléatoires des crues du fleuve et concerne surtout la vaste région du delta central nigérien sur une extension qui pourrait dépasser 100.000 ha (Anonyme, 1975). Le périmètre de Tamani (Ségou, à quelque 200 km en aval de Bamako) a été choisi comme site d'étude en conditions de submersion contrôlée. La rive droite du

fleuve Niger directement en aval de Mopti, en bordure du delta central, a été incluse comme site d'étude pour la riziculture en conditions de submersion non contrôlée.

Ces deux types de riziculture s'appuient sur la succession naturelle de deux sources différentes de disponibilité en eau, permettant ainsi le développement de la plante : pluies au début du cycle (période 1 : juillet-août), irrigation par la crue du fleuve dans les mois suivants (période 2 : septembre à novembre).

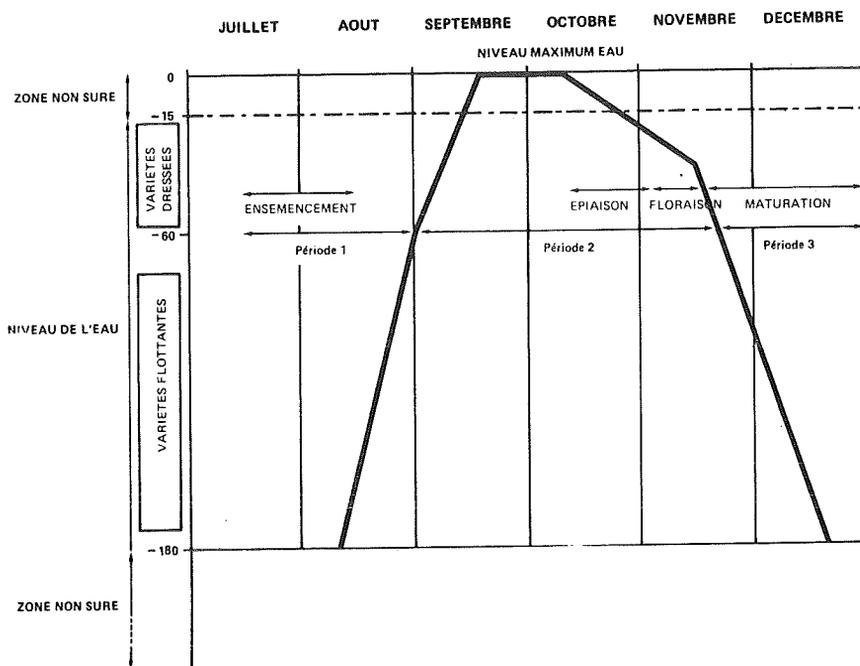


Fig. 1 : Ecologie du riz aquatique.

La figure 1 illustre le synchronisme entre le développement du riz et la disponibilité en eau. D'après le niveau d'eau maximum probable dans les rizières, deux types de variétés de riz sont cultivés : variétés de riz dressé dans les zones hautes, de riz flottant dans les zones basses, ce dernier présentant la particularité d'une élongation rapide durant la montée des eaux de crue.

Inventaire des surfaces globales des périmètres rizicoles sur image MSS de LANDSAT

Deux scènes LANDSAT de la période précédant d'un mois la récolte (fin novembre) sont disponibles pour les années 1972 et 1975. L'année 1972 représente une année de sécheresse particulièrement grave au Sahel, avec un niveau anormalement bas de crue du fleuve Niger, de fréquence "centenaire" (probabilité statistique de moins de 1 %). L'année 1975 représente par contre une année hydrologique normale.

Les figures 2 et 3 en noir et blanc n'illustrent qu'imparfaitement le rendu des couleurs de la composition colorée originale, qui permet la reconnaissance et la cartographie de plusieurs unités de paysage :

- pour l'objectif agronomique poursuivi, l'unité "rizières aménagées" (R, de couleur rose sur la composition colorée de 1975, Fig. 2); le périmètre de Tamani apparaît nettement différencié au sud du fleuve Niger, avec le tracé rectiligne des digues et le chenal d'irrigation à méandres. Sur la scène de 1972 (Fig. 3), le périmètre rizicole apparaît en clair du fait de l'assèchement total du riz sur pied par suite du manque complet d'irrigation. L'inventaire quantitatif des surfaces rizicoles, aussi bien par analyse visuelle que par analyse numérique, pour un total de 13.000 ha, a fourni des résultats satisfaisants, avec une erreur par rapport à la réalité-terrain comprise entre - 5 % et + 12 % suivant les zones d'étude,
- dans la partie Nord du lit du fleuve, la végétation aquatique spontanée (A) entremêlée de petits chenaux anastomosés,
- au sud du périmètre rizicole, les cultures sèches non irriguées (principalement de mil) récoltées en octobre, apparaissent sous la forme de zones concentriques claires (M); situées aux alentours des villages, elles laissent entre elles des zones limitées de savane boisée (S). La répartition de ces zones de cultures indique clairement le taux élevé d'utilisation agricole des terres et la forte densité de l'habitat humain dans la vallée du Niger,
- au nord de la scène, les formations cuirassées à couvert clairsemé apparaissant sous forme de zones sombres (C, de couleur verte sur la composition colorée), particulièrement évidentes en année sèche (couvert végétal absent).

* Pour une description plus détaillée le lecteur peut se référer aux rapports d'activité du Projet, BERG & GREGOIRE, 1981 et BERG, GREGOIRE et HUBAUX, 1983.

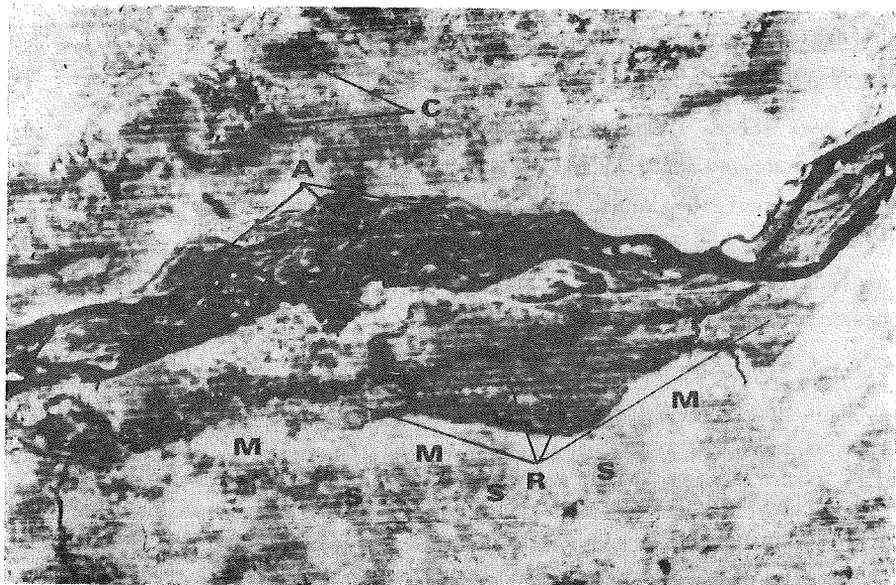
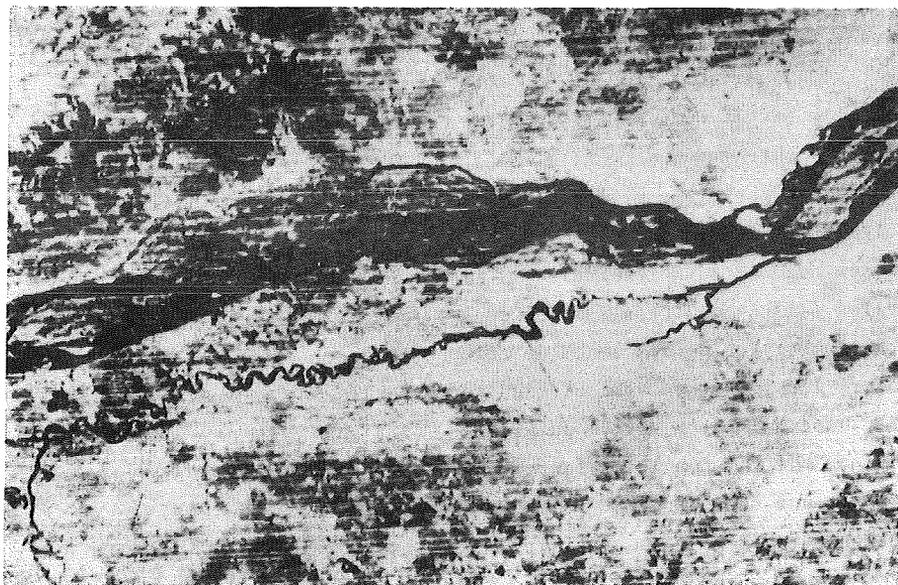


Fig. 2 : Détail en version noir et blanc d'une composition colorée LANDSAT sur le périmètre rizicole de Tamani (Ségou, Mali) - Scène du 28.11.1975 - Année "normale" (couverture d'Ouest en Est \pm 50 km).



Fig; 3 : Idem Fig. 2, en année "sèche" - Scène du 16.11.1972.

Inventaire des surfaces récoltables des périmètres rizicoles

Le manque d'irrigation au moment du maximum de la crue du fleuve (début octobre) entraîne sur les périmètres rizicoles la perte de surfaces ensemencées, situées sur les franges altimétriques les plus élevées. Sur la base de l'observation synoptique des surfaces inondées au maximum de la crue, on pourrait donc tenter d'établir un premier inventaire des surfaces rizicoles récoltables.

Un tel essai de reconnaissance des zones inondées fut entrepris en 1980, sur la base d'images RBV du satellite LANDSAT 3 acquises pour le projet sur demande expresse à la NASA. Conjointement à cette couverture par satellite fut organisée une campagne photographique aérienne à grande échelle sur tout le périmètre d'étude, cela au début de décembre, un mois avant la récolte, ce qui permet d'effectuer une comparaison rigoureuse des données satellitaires et aériennes.

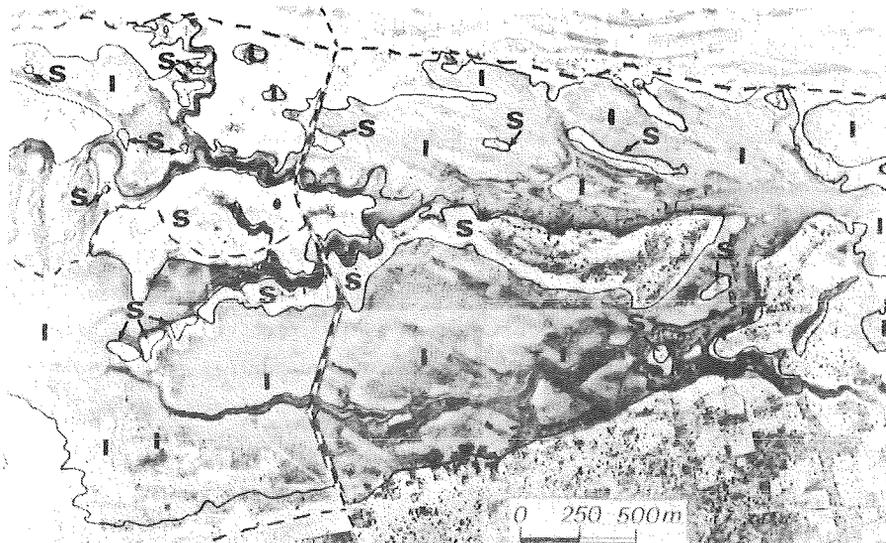


Fig. 4 : Extension des zones mises en submersion sur le périmètre rizicole de Tamani au 05.10.1980. Interprétation visuelle d'une image RBV du satellite LANDSAT 3 (contours d'inondation) sur fond de mosaïque photographique aérienne du 02.12.190. Trait interrompu : digue, piste; I : surface inondée; S : surface exondée.

Cette comparaison est représentée sur la figure 4, qui met en évidence la superposition frappante entre les surfaces inondées au maximum de la crue (début octobre) observées par satellite, et les zones récoltables observées sur photographies aériennes deux mois plus tard (zones plus sombres). Des mesures quantitatives indiquent une erreur de 1,5 % seulement, pour une surface globale de 1500 ha (1488 ha sur photographie

aérienne contre 1511 ha sur imagerie-satellite). Cette potentialité des images panchromatiques laisse donc entrevoir la possibilité d'une première prévision des productions rizicoles quelque deux mois et demi avant la récolte.

Inventaire de différentes classes rizicoles à l'intérieur des périmètres d'étude

La prévision des productions des périmètres rizicoles exige en principe l'appréciation simultanée des deux paramètres surfaces et rendements, ainsi que la reconnaissance de la végétation aquatique spontanée coexistant avec le riz dans les périmètres considérés. De tels critères exigent des senseurs doués d'une résolution spatiale beaucoup plus fine, caractéristique des satellites de seconde génération LANDSAT 4 et SPOT. En attente du lancement de ce dernier, un essai d'inventaire s'est appuyé sur les données de simulation SPOT acquises en novembre 1981.

Les deux documents thématiques issus d'une analyse visuelle (Fig. 5 et 6) fournissent une idée synthétique des résultats obtenus (sur une surface de quelque 700 ha), par comparaison des données de "réalité-terrain" acquises par prospection au sol, assistée d'une campagne photographique aérienne (Fig. 5) avec les données radiométriques de simulation SPOT restituées sous forme d'une composition colorée "diaz" (Fig. 6). De la nette analogie entre ces deux documents thématiques, il est permis de déduire les potentialités suivantes des données radiométriques SPOT :

- discrimination de la végétation non rizicole naturelle (nénuphar, bourgou, riz sauvage),
- reconnaissance des deux grands types variétaux de riz (riz flottant et riz dressé, de rendements différents),
- reconnaissance d'états de vigueur du riz (normal, "noyé", "brûlé").

Ces potentialités ainsi démontrées devraient permettre d'affiner la prévision des productions rizicoles plus d'un mois avant la récolte, à condition d'assigner aux classes reconnues des données de rendements spécifiques en paddy (par échantillonnage au sol).

Des techniques d'analyse plus fine des données radiométriques sont à l'étude, dans le but de passer de cette estimation qualitative de classes rizicoles à une estimation quantitative de l'état de vigueur des parcelles cultivées, plus directement corrélable avec la production.

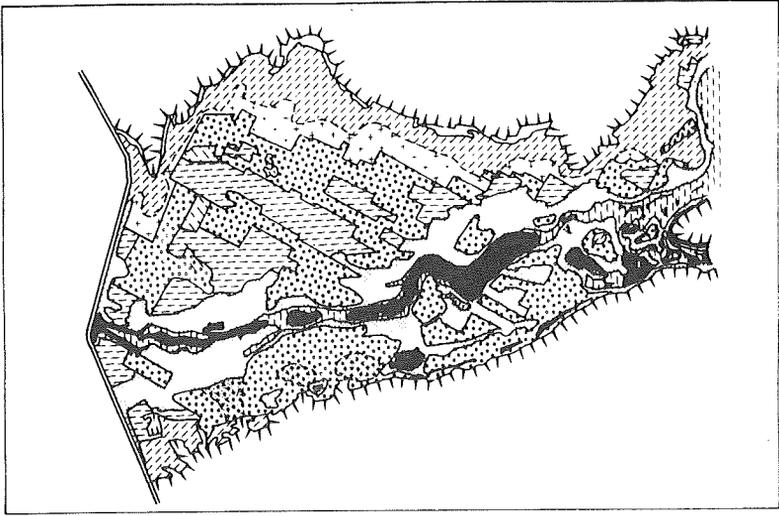


Fig. 5 : Carte thématique de réalité-terrain, Diado (Ségou, Mali), 01.11.1981 (Légende : voir Fig. 6).

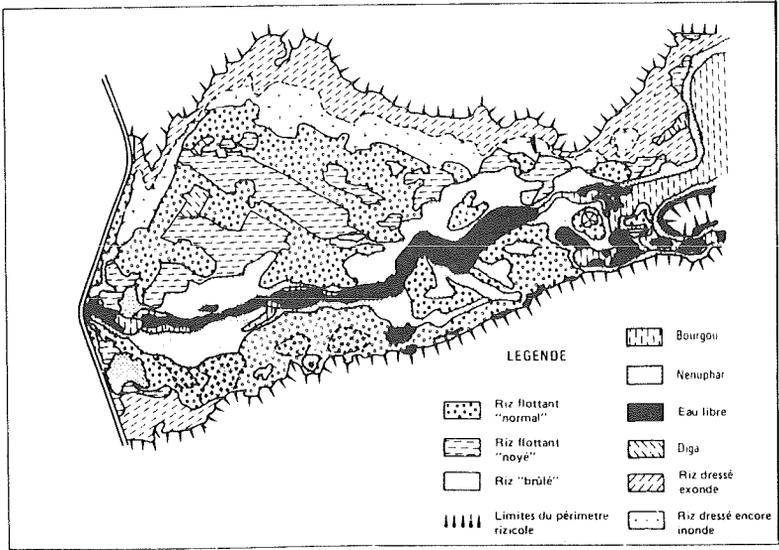


Fig. 6 : Carte thématique issue des données radiométriques (restituées en composition colorée "diaz"), Diado (Ségou, Mali), 01.11.1981.

Inventaire de la riziculture en submersion non contrôlée

Située ne bordure du fleuve Niger, cette riziculture, nécessairement assez aléatoire, est caractérisée par le morcellement poussé des parcelles cultivées (occupant les zones écologiquement adaptées au riz); elle forme ainsi une mosaïque étroitement imbriquée avec les zones occupées par la végétation aquatique spontanée (principalement nénuphar et bourgou, ce dernier intensément exploité à la décrue par le bétail de l'ethnie Peule, en nomadisme dans la région du vaste delta central).

Cette riziculture en submersion non contrôlée couvre des surfaces considérables, difficilement inventoriabiles, dont la contribution dans l'approvisionnement en riz est loin d'être négligeable, surtout dans la région du delta central autour de Mopti.

Dans le but d'effectuer un essai d'inventaire de ce type de riziculture, une seconde couverture de simulation SPOT fut réalisée en novembre 1981. Les données spectrales numériques, disponibles sur bandes magnétiques, ont été traitées à l'ordinateur dans le but de mettre en évidence les trois composantes intrinsèques de l'écosystème considéré, à savoir le sol sec, l'eau et la végétation chlorophyllienne, dont les coordonnées spectrales servent à définir un système de coordonnées secondaires. L'analyse des données numériques transformées dans ce nouveau système peut à son tour être numérique ou visuelle (par restitution des données transformées en compositions colorées diazo).

De l'analyse numérique en cours d'interprétation, on peut retirer les points saillants suivants :

- la reconnaissance des rizières est possible avec une précision voisine de 90 %,
- la confusion des rizières avec d'autres unités de végétation advient d'une part avec la graminée du genre Vetiver située en bordure des zones inondées, d'autre part, dans le cas de rizières à faible densité, avec la végétation aquatique naturelle,
- cette dernière est discernable du riz par la composante plus forte en eau et plus faible en végétation chlorophyllienne; la discrimination entre les différents types de végétation aquatique spontanée (bourgou, le plus abondant, et nénuphar) n'apparaît cependant pas possible.

Ces potentialités permettent d'entrevoir l'utilisation de l'imagerie SPOT pour une cartographie efficace de cet environnement aquatique tropicale, de ses variations saisonnières et de son évolution, carto-

graphie tenant compte de l'exploitation des ressources renouvelables de cet écosystème.

Prévisions du régime d'inondation des périmètres rizicoles

Une prévision précoce du régime de crue du fleuve Niger (en juillet, au moment des semis de riz) permettrait de prendre des décisions adéquates d'ensemencement. Qu'il suffise de citer le cas des périmètres rizicoles de Mopti, complètement sinistrés sur des milliers d'hectares, à cause du manque d'inondation en octobre 1983.

Une telle prévision est-elle possible par des observations - satellite ? Le projet JELIBA n'a fait jusqu'à présent qu'esquisser une approche de ce problème complexe, relevant d'une recherche dans les domaines hydrologique et géomorphologique. Sans pouvoir entrer ici dans le vif du sujet, qu'il nous soit permis d'énoncer les principes de l'approche utilisée.

Ce sont les fortes précipitations arrosant le bassin supérieur du fleuve Niger en Guinée qui sont responsables des crues du fleuve au Mali et dans les pays situés plus en aval. Le sort de ces précipitations, en termes de ruissellement alimentant les affluents du fleuve Niger, est lié au type de sol, à la couverture végétale, au relief, et se répercute sur le remplissage progressif de "réservoirs hydrologiques" (zones de bas-fonds situées dans le lit majeur du fleuve) faisant fonction d'organes de rétention de l'eau de ruissellement et pouvant plausiblement servir d'indicateurs de la crue. Plusieurs des paramètres mentionnés, intervenant sur le devenir des eaux de pluies, sont en principe observables par télédétection. Cette recherche de longue haleine se poursuit au CCR-Ispra, en collaboration avec des laboratoires européens spécialisés dans le domaine hydrologique (comme l'O.R.S.T.O.M. en France et le Conseil National de la Recherche en Italie) (BRIVIO & ZILIOI, 1983).

PERSPECTIVES FUTURES

Le projet JELIBA subira dans la période 1984/1987 une extension à la fois thématique et géographique : thématique par l'inclusion du mil et du sorgho comme cultures céréalières "sèches" (non irriguées) de l'Ouest Africain, géographique par l'inclusion de sites d'étude situés au Sénégal et au Niger. Il s'inscrira par ailleurs dans un programme de

"surveillance des ressources naturelles renouvelables" en pays sahé-
liens, dans lequel la télédétection devrait jouer un rôle primordial
comme outil d'inventaire cartographique.

La définition d'une phase opérationnelle d'application de la télé-
détection dans ce domaine, ne deviendra cependant possible qu'après la
mise au point préalable de méthodes adéquates d'analyse des données
spectrales et avec l'avènement des satellites de deuxième génération en
voie de lancement prochain. Cette phase opérationnelle s'appuiera sur
la collaboration de cadres africains formés auprès du Centre Régional
de Télédétection de Ouagadougou et auprès de projets d'application com-
me le projet JELIBA.

BIBLIOGRAPHIE

- (ANONYME), 1975. Etudes économique et hydro-agricole du barrage de Sé-
lingué sur le fleuve Sankarani. Effets économiques du barrage
dans le domaine agricole". PNUD, Projet MLI/73/007, Rapport
final.
- BERG, A., FLOUZAT, G. & GALLI DE PARATESI, S., 1978. Synthèse des résul-
tats acquis dans le cadre d'un programme de collaboration euro-
péenne en télédétection, appliqué à l'agriculture et à la syl-
viculture (Projet AGRESTE). Comptes-rendus Conférence Interna-
tionale Toulouse 6-11 mars 1978 (ESA-SP-134), 27-40.
- BERG, A. & GREGOIRE, J.M., 1981. Prévision des productions rizicoles
par télédétection dans le bassin du Niger en amont du delta
central Nigérien. le Rapport d'activité, Commission des Commu-
nautés Européennes, CCR-Ispra, 88 p.
- BERG, A., GREGOIRE, J.M. & HUBAUX, A., 1983. Prévision des productions
rizicoles par télédétection dans le bassin du Niger en amont
du delta central Nigérien. 2e Rapport d'activité, Commission
des Communautés Européennes, CCR-Ispra, S.A./1.07.10.83.08,
59 p.
- BRIVIO, P.A. & ZILIOLI, E., 1983. Détection des réservoirs hydrologi-
ques naturels en amont de Ségou. Etude de faisabilité. Rapport
d'activité, Commission des Communautés Européennes, CCR-Ispra,
S.A./1.07.10.83.09, 38 p.