

Commission des Communautés Européennes

**CENTRE  
COMMUN DE  
RECHERCHE**

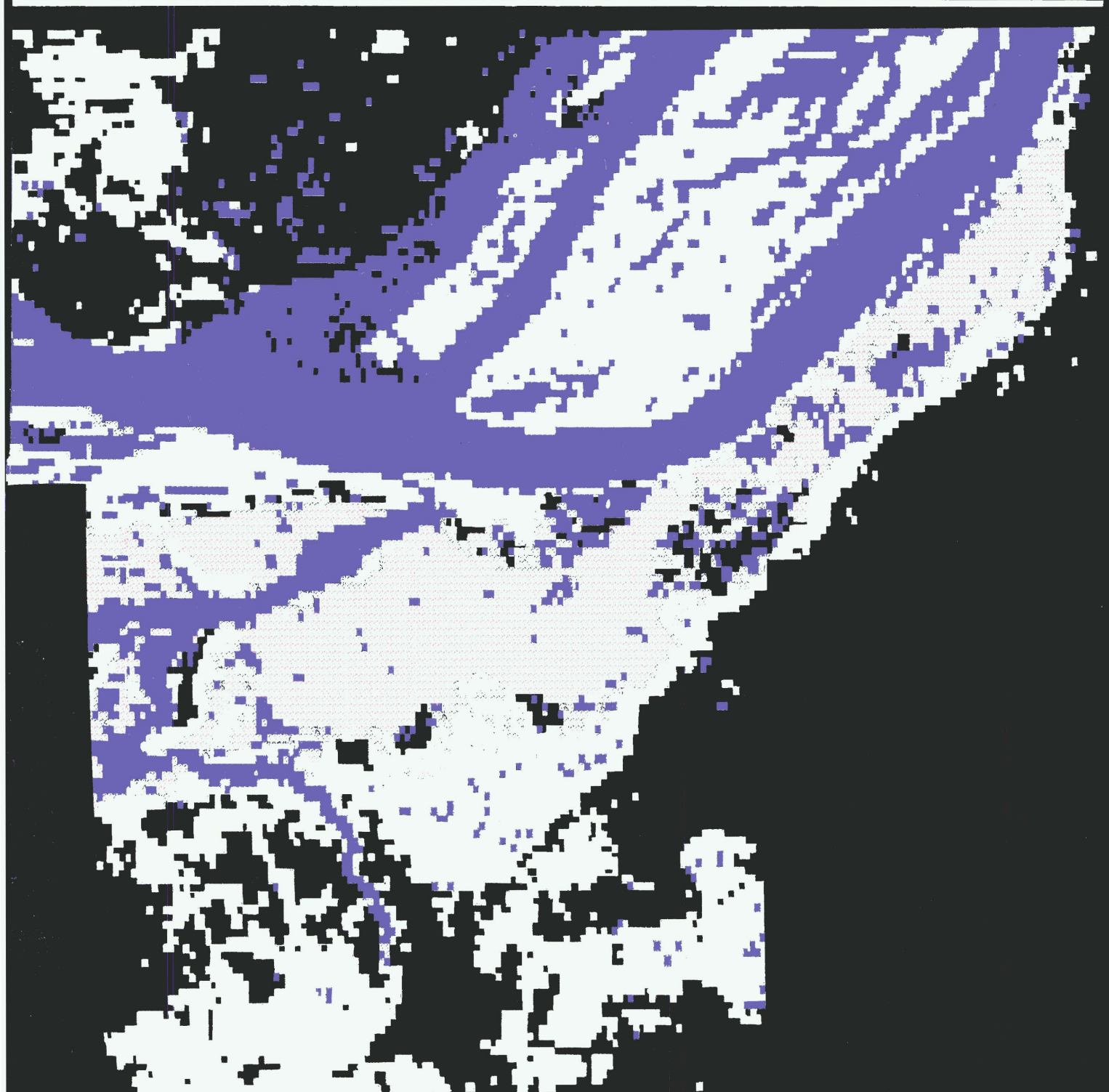


Etablissement d'Ispra

Projet Régional F.E.D. No. 4507.033.97.32

# Prévision des Productions Rizicoles par Télédétection dans le Bassin du Niger en amont du Delta Central Nigérien

Rapport d'activité au 30.6.81





Commission des Communautés Européennes

CENTRE  
COMMUN DE  
RECHERCHE



Etablissement d'Ispra

X

Projet Régional F.E.D. No. 4507.033.97.32

# Prévision des Productions Rizicoles par Télédétection dans le Bassin du Niger en amont du Delta Central Nigérien

Rapport d'activité au 30.6.81

**Ont contribué à la réalisation du travail, objet du présent rapport :**

- Personnel Centre Commun de Recherche des Communautés Européennes, Ispra (Italie):  
MM. Beonio-Brocchieri, Berg, Bonvini, Hubaux, Sentoll
- Personnel Association Européenne pour la Coopération affecté au CCR-Ispra:  
M. Grégoire
- Personnel malien détaché à l'O.R.S.-Ségou par leurs Ministères de tutelle:  
MM. Konake et Togola

**Responsables de l'édition:**

MM. A. Berg, P. De Hoe et J.-M. Grégoire  
avec l'aide technique de Mlle B. Nickel et de M. G.-C. Bonvini



# PREVISION DES PRODUCTIONS RIZICOLES PAR TELEDETECTION DANS LE BASSIN DU NIGER EN AMONT DU DELTA CENTRAL NIGERIEEN

RAPPORT D'ACTIVITE AU 30/06/1981

## Ch. I Généralités

### 1. Origine du projet

Le projet a été conçu originellement comme une activité de recherche appliquée à des problèmes de riziculture en Afrique Occidentale dans un cadre régional. Ainsi défini, le projet devait s'appuyer sur la coopération entre plusieurs organismes communautaires et africains:

- Centre Commun de Recherche (C.C.R) des Communautés Européennes, Ispra (Italie), pour la gestion et la coordination de la recherche, ainsi que pour la formation de cadres africains
- Fonds Européen de Développement FED de la C.C.E., pour la supervision générale du projet et son financement
- Ministères et organismes des deux pays africains concernés (Mali, Guinée) pour le contrôle de l'orientation du projet, la poursuite des opérations sur le terrain et la récolte des données.

Dans un tel contexte, le projet fait partie intégrante du programme quadriennal de recherche du C.C.R (1980 - 1983). Il a été financé pour la période 1980 - 1981, en ce qui concerne les opérations en Afrique, par la 4<sup>o</sup> tranche du FED.

Le personnel à disposition du projet pour la même période est repris en Annexe 1.

### 2. Objectifs

Le projet vise à la mise au point de techniques appropriées mettant en oeuvre la télédétection comme outil d'observation à distance, en vue d'établir des prévisions de production rizicole dans le bassin du Niger en amont du delta central nigérien.

Deux objectifs peuvent de prime abord être définis:

## 2.1 Objectif agronomique

Il s'agit d'un objectif de prévision à court terme de la production rizicole, prévision à établir dans le courant de la période de développement du riz jusqu'au plus tard à la récolte.

Cet objectif se justifie pleinement, étant donné le retard considérable dans la disponibilité des données conventionnelles de production basées sur les résultats de récolte. Une prévision progressivement affinée au cours de la campagne pour aboutir à une estimation de production quelques semaines avant la récolte représenterait un atout sérieux pour les pays producteurs afin d'optimiser leurs achats de céréales et leur demande d'aide alimentaire à l'étranger. \*

Si l'objectif prioritaire du présent projet concerne les périmètres rizicoles en submersion contrôlée (de surface globale d'environ 73.000 ha en 1975 <sup>(2)</sup>), il conviendrait cependant d'envisager l'inclusion des rizières en submersion non contrôlée intervenant de façon notable dans la production étant donné leurs superficies élevées (grossièrement estimées à 120.000 ha en 1975 <sup>(2)</sup>).

## 2.2 Objectif hydrologique

Alors que l'objectif agronomique défini ci-dessus intervient en aval du système de gestion des périmètres rizicoles (mais en amont du système de commercialisation), une prévision du régime hydrologique des plaines rizicoles du bassin du Niger constituerait un avantage énorme pour la prise des décisions préventives concernant la gestion des périmètres rizicoles eux-mêmes. En effet, des surfaces parfois importantes de certains périmètres rizicoles pourraient, en début de campagne, être affectées aux cultures sèches sur la base de prévisions hydrologiques fiables, et suffisamment précoces, de crue insuffisante ou de qualité médiocre. La difficulté majeure d'un tel objectif de prévision hydrologique est inhérente aux mécanismes hydrologiques eux-mêmes en relation avec le calendrier de la campagne rizicole: le régime de crues est à la fois conditionné partiellement par les précipitations tombées sur le bassin versant guinéen avant la mi-juillet (début de la campagne rizicole) mais également par les précipitations à venir

\* Les avantages économiques considérables retirés d'un système de prévision de productions agricoles, justifient les efforts en ce sens de gros pays producteurs comme les EU (voir à ce sujet HEISS <sup>(1)</sup>).

(juillet - août). Alors que la première composante du régime de crues peut être théoriquement appréhendée par un modèle de prévisions hydrologiques basé sur les données existantes de précipitations (assisté par la télédétection), la deuxième composante ne peut dériver que d'un système de prévisions météorologiques au niveau régional.

### 3. Techniques d'investigation

Pour les deux objectifs poursuivis, la télédétection apparaît en principe comme un outil précieux de recherche.

Dans l'objectif agronomique, la télédétection peut contribuer:

- à la reconnaissance de paramètres agronomiques comme variétés, stades phénologiques, conditions culturales (présence d'adventices par ex.), venant conditionner le rendement.
- à l'estimation des surfaces correspondantes, responsables de la production finale.

Dans l'objectif hydrologique, la télédétection peut contribuer:

- à l'estimation de certains paramètres morpho-pédologiques influant sur le bilan hydrologique d'un bassin versant (reconnaissance de la couverture végétale)
- à l'étude de l'extension des zones inondées et de leur évolution dans le temps
- à la reconnaissance et au suivi de réservoirs hydrologiques indicateurs des conditions de crue du fleuve.

Malgré ces contributions très significatives, il est cependant évident que la télédétection constitue un outil complémentaire à des techniques d'étude conventionnelle déjà prouvées et indispensables:

- modèle agro-météorologique de rendement établissant les corrélations entre les facteurs du milieu et le rendement en paddy. Sont à inclure ici toutes les techniques de prospection agronomique ("vérité-terrain")
- corrélations statistiques (analyse multifactorielle) entre les différents paramètres du bilan hydrologique
- techniques de définition et cartographie d'unités morpho-pédologiques.

Tout en axant le projet sur l'utilisation des techniques de télédétection, il est apparu essentiel dès le départ d'orienter la recherche vers des applications compatibles avec les réalités d'opérabilité en Afrique, en tenant compte à la fois des coûts financiers, de la disponibilité en

moyens et en appareils robustes et fiables, de la disponibilité en cadres locaux à former aux nouvelles techniques, des limitations dans la disponibilité pratique de répétitivité des mesures.

En tenant compte de ces critères en ce qui concerne l'acquisition d'images, il convient, dans un objectif à long terme, de miser sur l'imagerie - satellite, la seule compatible avec une couverture au sol étendue et avec un degré raisonnable de répétitivité. Par suite de l'absence d'une station de réception en Afrique Occidentale, l'acquisition de données LANDSAT pour les années écoulées s'avère malheureusement extrêmement limitée. Il a été donc tiré profit des quelques scènes LANDSAT disponibles sur le Mali pour tester leurs potentialités dans des conditions de faible résolution spatiale (79 m x 79 m).

Dans un souci d'opérationnalité à long terme, il convient de s'orienter par contre sur les satellites de seconde génération (LANDSAT D, SPOT), de performances supérieures quant aux résolutions spatiales et spectrales et dont la mise en orbite est prévue dans les toutes prochaines années (1983 - 1984).

Dans l'entretemps, trois autres types d'acquisition de données ont été ou seront expérimentés:

- acquisition de données radiométriques au sol (à partir de plate-formes en vue de tester la sensibilité de techniques radiométriques)
- acquisition aérienne par photographies infra-rouge fausses couleurs: dans un double but, d'une part de simulation grossière de données multi-spectrales, d'autre part de collecte rapide de vérité-terrain sur des surfaces relativement étendues.
- acquisition aérienne de données radiométriques multispectrales simulant les futures données du satellite SPOT: ce vol de simulation, à l'aide d'un radiomètre Daedalus, avec résolution spatiale de 20 m et 10 m (respectivement pour les 3 bandes spectrales et en panchromatique), organisé par le GDTA (France) est prévu pour les mois d'octobre - novembre 1981, d'une part sur le site rizicole en submersion contrôlée de TAMANI, d'autre part sur un site rizicole mixte (submersion contrôlée et non contrôlée) aux environs de MOPTI.



#### 4. Approches des problèmes

##### 4.1 Volet agronomique

L'approche choisie est similaire à celle développée pour le projet LACIE pour la prévision des productions de blé (3): application de techniques de télédétection pour l'estimation des superficies couvertes par les rizières, estimation des rendements par modélisation agrométéorologique.

Si la contribution de la télédétection apparaît donc en principe orientée vers le paramètre superficies, il n'est resté pas moins que la discrimination éventuelle de stades phénologiques, la discrimination de zones rizicoles compromises par le manque ou l'excès d'eau, l'estimation de la biomasse végétale, elle-même en relation avec l'état de vigueur de la culture, représentent autant de potentialités offertes par la télédétection intervenant au niveau du paramètre rendement et dont il conviendra de tester la faisabilité.

##### 4.1.1 Paramètre superficies

Sur la base de la succession ordonnée des phases pluviale et de submersion, conditionnant la réussite des campagnes rizicoles dans le bassin du Niger, l'estimation des superficies à partir de techniques de télédétection peut en principe être entreprise à différentes périodes de développement du riz (Fig. 1):

- à la fin de la période en pluvial (août), par l'identification des superficies compromises par le manque de précipitations
- durant la phase de submersion (septembre - octobre), par l'identification des surfaces inondées
- durant la phase de pré-maturation (novembre) par l'identification des superficies compromises par l'insuffisance de submersion.

Etant donné les disponibilités limitées en imagerie, l'estimation des superficies a été limitée à la dernière phase (pré-maturation), qui s'avère en principe particulièrement appropriée étant donné qu'à ce stade de développement, les rizières intègrent les conditions qui ont prévalu durant les stades précédents.

##### 4.1.2 Paramètre rendements

Dans les conditions climatiques du haut bassin du Niger, caractérisées par une régularité des facteurs insolation et température, et par

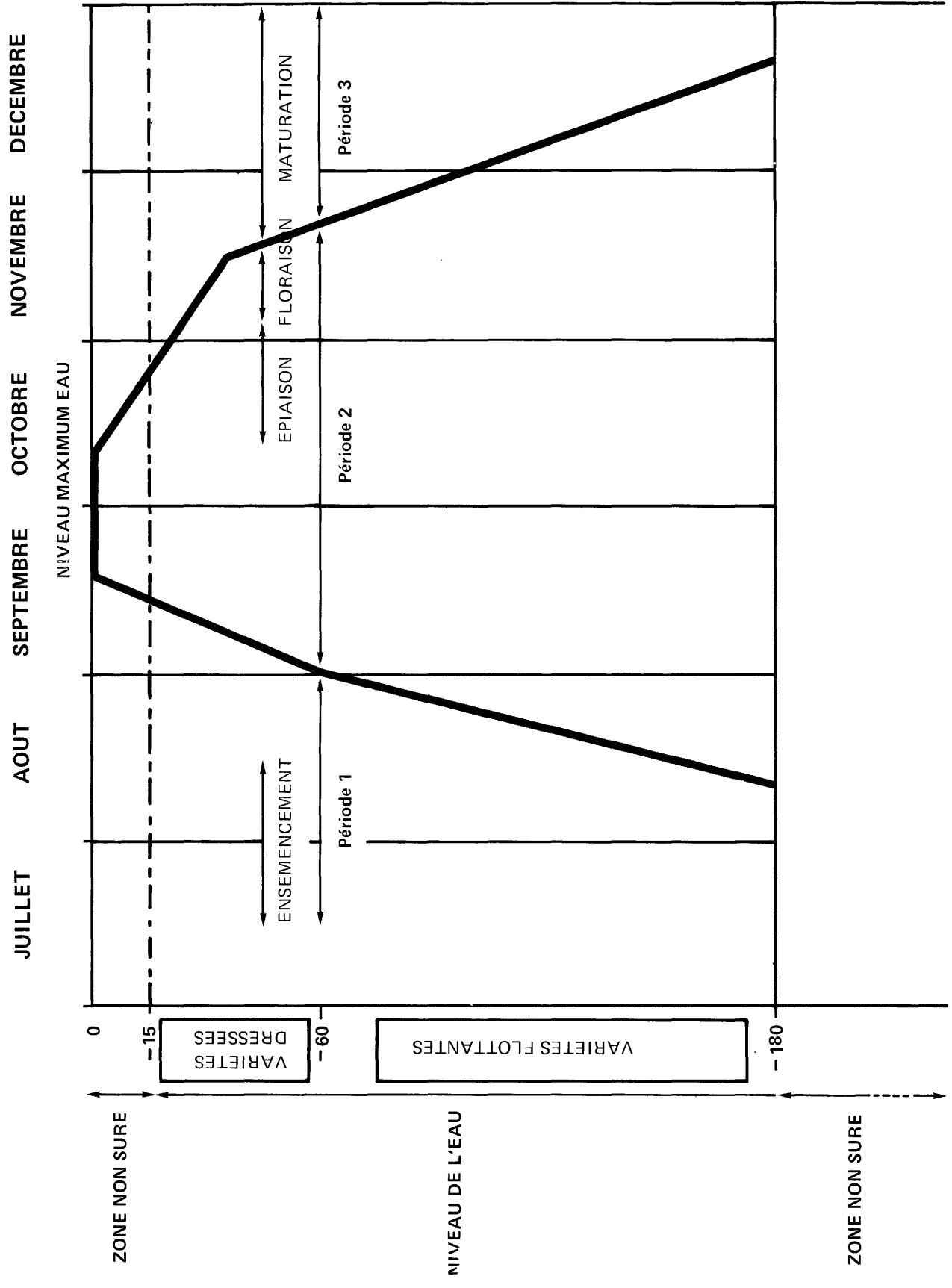


Figure 1: Ecologie du riz aquatique

une irrégularité du facteur précipitations, on peut identifier aisément deux facteurs écologiques conditionnant fondamentalement le succès d'une campagne rizicole (Fig. 1) :

- précipitations durant la période de développement en pluvial (période 1)
- durée et évolution de la submersion qui doit s'étendre jusqu'aux environs du premier stade de maturation (maturation laiteuse) pour ne pas compromettre le rendement final (période 2).

Un modèle agrométéorologique (corrélation statistique entre rendements agronomiques et facteurs météorologiques) sera élaboré sur la base de ces deux facteurs de disponibilité en eau, à trois niveaux différents d'investigation :

- au niveau de 85 rizières normales réparties au hasard dans le site-test et dont on établira le suivi cultural (dates de semis, de désherbage et d'engraissement, stade phénologique, rendement final au battage) et de submersion (dates de mise en eau et de retrait, hauteur d'eau) tout au cours de la campagne
- au niveau d'une centaine de "carrés de rendement" répartis dans les différents sous-casiers du site-test, qui feront l'objet d'un suivi plus poussé, avec échantillonnage de la biomasse végétale et détermination précise du rendement final
- à un stade ultérieur de la recherche, au niveau de petites parcelles expérimentales comportant des degrés artificiellement variables de disponibilité en eau grâce à un système d'irrigation et de submersion contrôlés.

#### 4.2 Volet hydrologique

Il revêt deux aspects : d'une part des prévisions dont le but est de définir les caractéristiques de crue à venir ; d'autre part des constatations qui doivent permettre de décrire la situation à un moment donné du cycle de croissance des plants de riz.

##### 4.2.1. Prévisions

Les caractéristiques de la crue (date d'arrivée, vitesse de montée des eaux, hauteur maximale, étalement dans le temps, vitesse de descente... etc) sont la résultante d'interactions nombreuses et complexes.

Un système de prévision devrait s'appuyer sur une connaissance aussi poussée que possible :

- des précipitations sur le haut bassin versant, le long du fleuve

et au niveau des sites rizicoles

- des hauteurs d'eau à différents points du lit du fleuve
- du niveau de remplissage des réservoirs hydrologiques naturels situés le long du fleuve.

Cela supposerait la multiplication des points de mesures pluviométriques et limnimétriques, la mise en place d'une procédure rapide de collecte et transport des informations, une bonne connaissance du cadre morpho-pédologique dans lequel se situe le fleuve.

A court terme, il est peu probable que de tels objectifs puissent être atteints.

Il est donc souhaitable de mener en parallèle une étude de repérage de points particuliers, sur le parcours du fleuve dont la dynamique de remplissage ou de vidange soit corrélable à des niveaux de disponibilités en eau.

Ceci est le cas de certains réservoirs naturels pouvant être qualifiés de "témoins" dans la mesure où leur niveau de remplissage à un moment donné est très fortement lié non seulement aux hauteurs d'eau à l'aplomb du réservoir mais également à la situation prévalant en amont et en aval.

Ce lien a pu être mis en évidence sur une portion du fleuve Niger en aval du site de MARKALA: certains résultats sont présentés plus avant dans le texte.

Il importe d'effectuer le choix judicieux d'un certain nombre de ces réservoirs pouvant servir de repères, de "voyants lumineux" très utiles pour l'exploitation efficace des données pluviométriques et limnimétriques recueillies en amont ou même l'information de base lorsque ces dernières ne sont pas disponibles en temps voulu.

Une telle étude vient d'être confiée dans le cadre d'un contrat à un institut italien dépendant du Conseil National de la Recherche (Istituto per la Geofisica della Litosfera, Milano).

#### 4.2.2 Constatations

Cet aspect du volet hydrologique consisterait à suivre, sur le lieu même des sites rizicoles, la dynamique d'inondation et donc la qualité de la mise en eau ainsi que la durée de submersion. Les techniques de télédétection fournissent un outil de choix pour la cartographie des superficies inondées à un moment donné et, dans une certaine mesure, pour l'estimation de l'épaisseur de la nappe d'eau.



## Ch. II Exposé des résultats et discussion

### 1. Mesures radiométriques au sol

#### 1.1 Objectifs

La mise en place d'une campagne de mesures radiométriques au sol présentait un double objectif, respectivement celui de la formation des deux stagiaires maliens affectés au projet et celui de la recherche méthodologique.

Le suivi des superficies cultivées en riz le long des fleuves NIGER et BANI par l'intermédiaire d'images multispectrales, doit s'appuyer sur un examen des limitations propres à cette méthode, compte tenu des réalités de terrain spécifiques aux sites d'étude: pratiques culturales, cycle de développement des principales variétés rizicoles, conditions climatiques ...

De ce fait, des campagnes de mesures radiométriques s'avèrent essentielles pour tester la sensibilité des données radiométriques à ces conditions de milieu ainsi que pour permettre un repérage des périodes critiques du cycle de développement du riz au cours desquelles les données multispectrales sont le mieux exploitables pour une éventuelle prévision de production.

#### 1.2 Réalisation pratique

La campagne de mesures s'est appuyée sur les éléments suivants:

##### 1.2.1 Site expérimental

En commun accord avec la Direction de l'Opération Riz Ségou, le casier III (KONODIMINI) de la zone rizicole de TAMANI a été choisi comme site expérimental, étant donné le faible éloignement de SEGOU.

A l'intérieur de ce casier, des parcelles d'observations ont été aménagées de façon à couvrir une gamme assez étendue de conditions rencontrées sur les sites rizicoles, soit sept parcelles de 100 m<sup>2</sup> chacune:

- deux parcelles de riz dressé (GAMBIAKA et D 52), en zone de faible submersion pour ces variétés
- deux parcelles de riz dressé (GAMBIAKA et D 52), en zone de submersion supérieure à la normale
- deux parcelles de riz flottant (KAOGAN), en zone de submersion

normale pour la variété

- une parcelle de riz flottant (KAOGAN), en zone de submersion maximale.

### 1.2.2 Matériel

Les mesures ont été effectuées avec un radiomètre de terrain de la firme MATRA permettant d'effectuer, dans quatre bandes spectrales, les mesures suivantes: radiance, irradiance et réflectance.

Pour cette première campagne de mesures ont été choisis des filtres correspondant aux fenêtres du MSS - LANDSAT:

0.5 $\mu\text{m}$ - 0.6 $\mu\text{m}$	Vert
0.6 " - 0.7 "	Rouge
0.7 " - 0.8 "	Proche Infra-rouge
0.8 " - 1.1 "	Proche Infra-rouge

Les optiques de ce radiomètre permettent deux angles d'ouverture: 1° et 15°.

Utilisant l'ouverture de 15°, l'appareil devait se trouver à 4 m de hauteur pour une surface observée au sol de  $\pm 1 \text{ m}^2$ . Ainsi quatre plates-formes métalliques ont été construites à l'aplomb des parcelles d'observations, chaque plate-forme permettant d'effectuer les mesures sur deux parcelles accolées.

Compte tenu des hauteurs de submersion attendues, les plates-formes se trouvent à 4 m, 4,60m, 5m et 5,50 m au-dessus du niveau du sol.

### 1.2.3 Calendrier des opérations (mai - novembre 1980)

- mai - juin: choix de l'emplacement des parcelles d'observations, début de la construction des plates-formes
- juillet - août: préparation et semis des parcelles (19 août)
- septembre: formation théorique et pratique des deux stagiaires affectés au projet
- septembre - octobre - novembre: campagne de mesures radiométriques régulières (fréquence 4 jours) conjointement à des observations agronomiques suivant un protocole préétabli.

## 1.3 Résultats et discussion

Comme cela avait déjà été mentionné dans un rapport précédent<sup>(4)</sup>, les mesures effectuées à partir des plates-formes II et III ont fourni les meilleurs éléments d'interprétation.

En effet les parcelles correspondant aux plate-s-formes I (riz dressé en submersion minimale) et IV (riz flottant en submersion maximale) ont vu leurs plants de riz respectivement "brûlés" et "noyés", par suite du manque de pluies pendant la période de développement en pluvial et de semis très tardif (19 août).

Du point de vue radiométrique ont été retenues les mesures de réflectance effectuées dans le rouge ( $0.6 \mu\text{m} - 0.7 \mu\text{m}$ ) et le proche infra-rouge ( $0.7 \mu\text{m} - 0.8 \mu\text{m}$  et  $0.8 - 1.1 \mu\text{m}$ ), le rouge correspondant à une bande de forte absorption par la chlorophylle et donc de faible réflexion par la végétation, tandis que l'infra-rouge correspond au contraire à une bande d'intense réflexion par la végétation.

De ce fait, le rapport des réflectances dans le rouge et le proche infra-rouge constitue un paramètre très utile pour le suivi des parcelles de riz.

Il permet en effet de faire la part, dans le rayonnement réfléchi, des composantes "sol nu"/"végétation" (avant et après la submersion) ou "eau libre"/"végétation" (pendant la submersion).

Nous avons essayé de dissocier, par l'intermédiaire du rayonnement réfléchi, les trois éléments suivants:

- épaisseur de la lame d'eau dans les parcelles en période de submersion
- taux de couverture par les plants de riz
- périodes pendant lesquelles les relevés radiométriques ont un fort pouvoir discriminant.

### 1.3.1 Épaisseur de la lame d'eau

Les figures 2 et 3 présentent l'évolution dans le temps, pour les parcelles II - Sud (riz dressé) et III - Nord (riz flottant), de la hauteur d'eau (Heau) et de la réflectance dans le rouge (R 5) et dans le proche infra-rouge (R 7).

La hauteur moyenne des plants de riz au-dessus de l'eau est également représentée pour la même période.

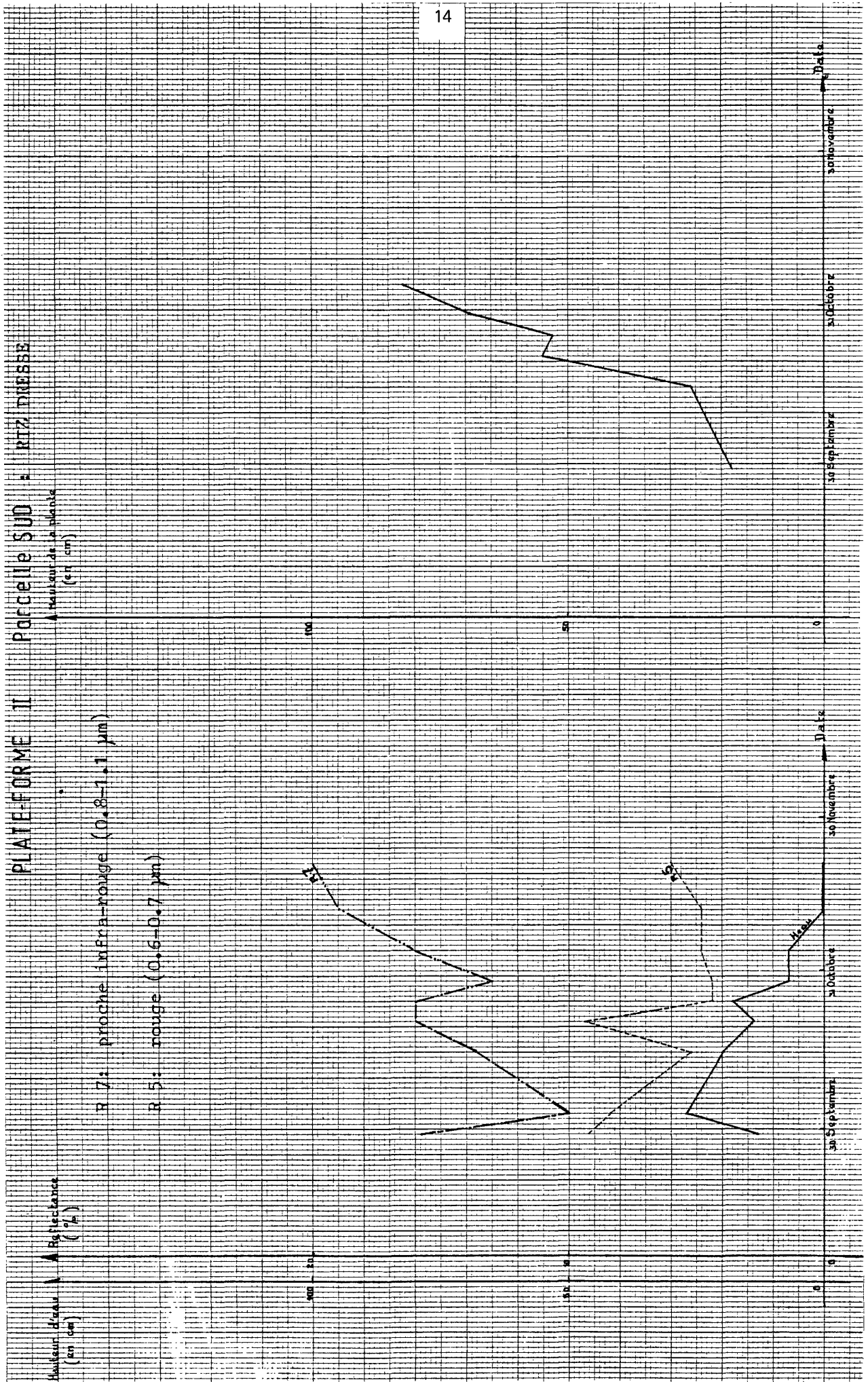


Figure 2: Evolution de la réflectance mesurée dans le rouge (R5) et le proche infra rouge (R7) (a) de l'épaisseur de la couche d'eau (a) de la hauteur de la plante au dessus de l'eau (b)



PLATE-FORME III Parcelle NORD : RIZ FLOTTANT

▲ Hauteur de la plante (en cm)

▲ Réflectance (en %)

R 7: proche infra-rouge (0.8-1.7 μm)

R 5: rouge (0.6-0.7 μm)

100

50

0

0

30 Novembre

30 Octobre

30 Septembre

30 Octobre

30 Novembre

30 Novembre

30 Octobre

30 Novembre

30 Novembre

30 Novembre

30 Novembre

(b)

(a)

Figure 3: Evolution de la réflectance mesurée dans le rouge (R5) et le proche infra-rouge (R7) de l'épaisseur de la couche d'eau (a) de la hauteur de la plante au dessus de l'eau (b)

Les conditions de milieu apparaissent très différentes entre ces deux parcelles:

- le 29 septembre, la parcelle de riz dressé n'avait que 13 cm d'eau, contre 38 cm pour celle de riz flottant
- le niveau d'eau a monté dans les deux parcelles jusqu'au 3 octobre, date à laquelle la première atteint son maximum (27 cm) tandis que la deuxième voyait son niveau monter jusqu'au 13 octobre (71 cm) pour redescendre ensuite
- le 7 novembre, la parcelle de riz dressé n'avait plus que quelques centimètres d'eau (2 à 3 cm) tandis que celle de riz flottant avait encore 50 cm.

Du point de vue radiométrique, on observe deux comportements très différents d'une parcelle à l'autre:

- parcelle de riz dressé:
  - aucun lien particulier entre la réflectance dans le rouge (R 5) et l'épaisseur de la couche d'eau
  - une certaine corrélation négative entre la réflectance dans le proche infra-rouge (R 7) et l'épaisseur de la couche d'eau. En effet lorsque la hauteur d'eau augmente, R 7 diminue, et inversement
- parcelle de riz flottant:
  - forte corrélation négative entre réflectance dans le rouge et hauteur de l'eau
  - pas de lien particulier dans le proche infra-rouge.

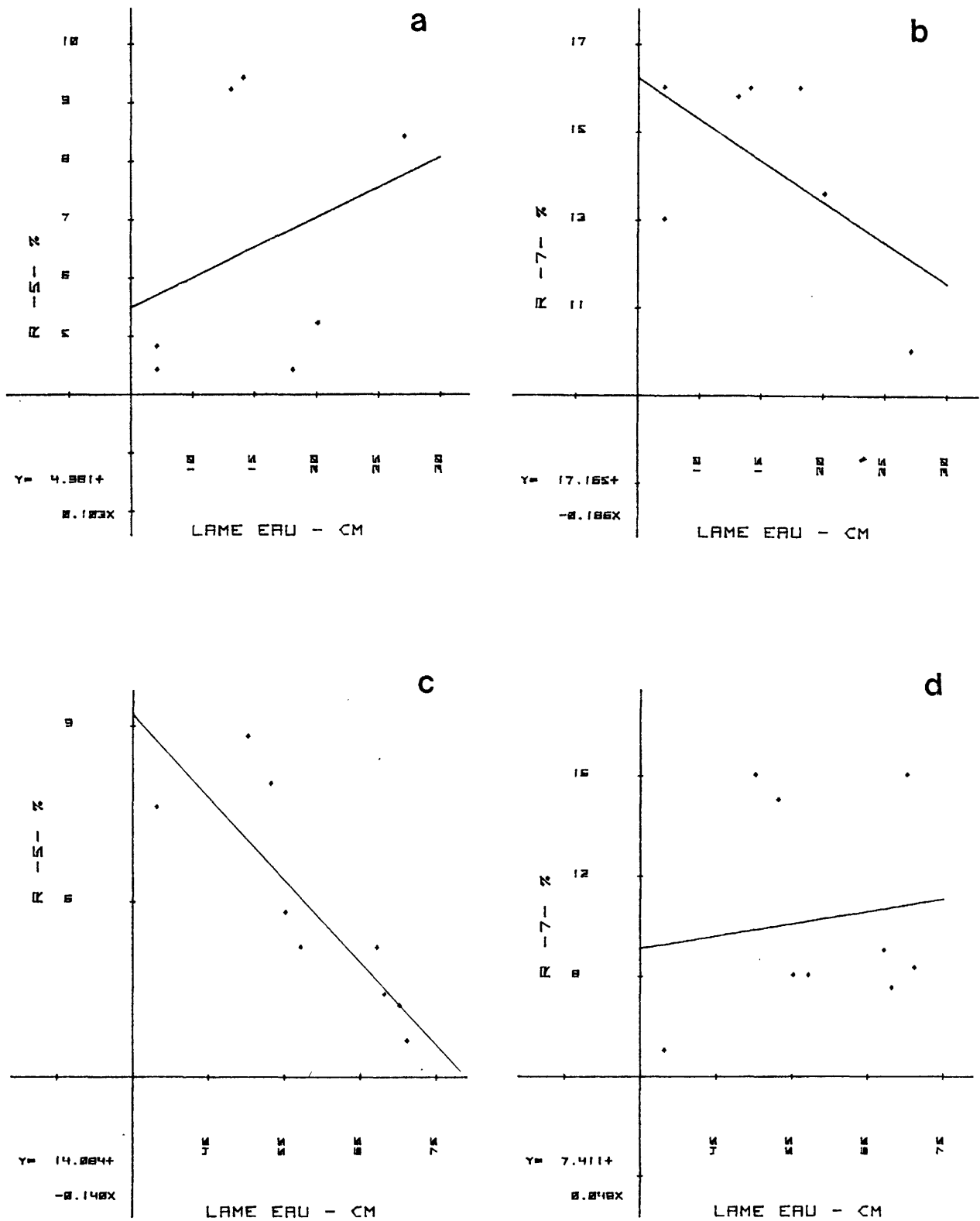
Ces corrélations sont illustrées sur la fig. 4 .

Ces tendances inverses semblent refléter les parts respectives de l'eau et de la masse végétale dans le rayonnement réfléchi résultant:

- sur la parcelle de riz dressé, l'augmentation de l'épaisseur de la couche d'eau entraîne indirectement une diminution de réflectance dans le proche infra-rouge par suite de la baisse de la composante végétation dans le rayonnement réfléchi.

Inversement, lorsque l'épaisseur de la couche d'eau diminue, la part de la composante végétation augmente, ce qui entraîne une augmentation de la réflectance dans le proche infra-rouge.

- sur la parcelle de riz flottant: l'influence de la masse végétale semble moins nette, tandis que celle de l'épaisseur de la couche d'eau est plus forte.



**Figure 4:** Réflectance dans le rouge (R5) et le proche infra-rouge (R7) en fonction de l'épaisseur de la lame d'eau.

- (a) et (b): Plate-forme II - parcelle sud (Riz dressé)  
 (c) et (d): Plate-forme III - parcelle nord (Riz flottant)

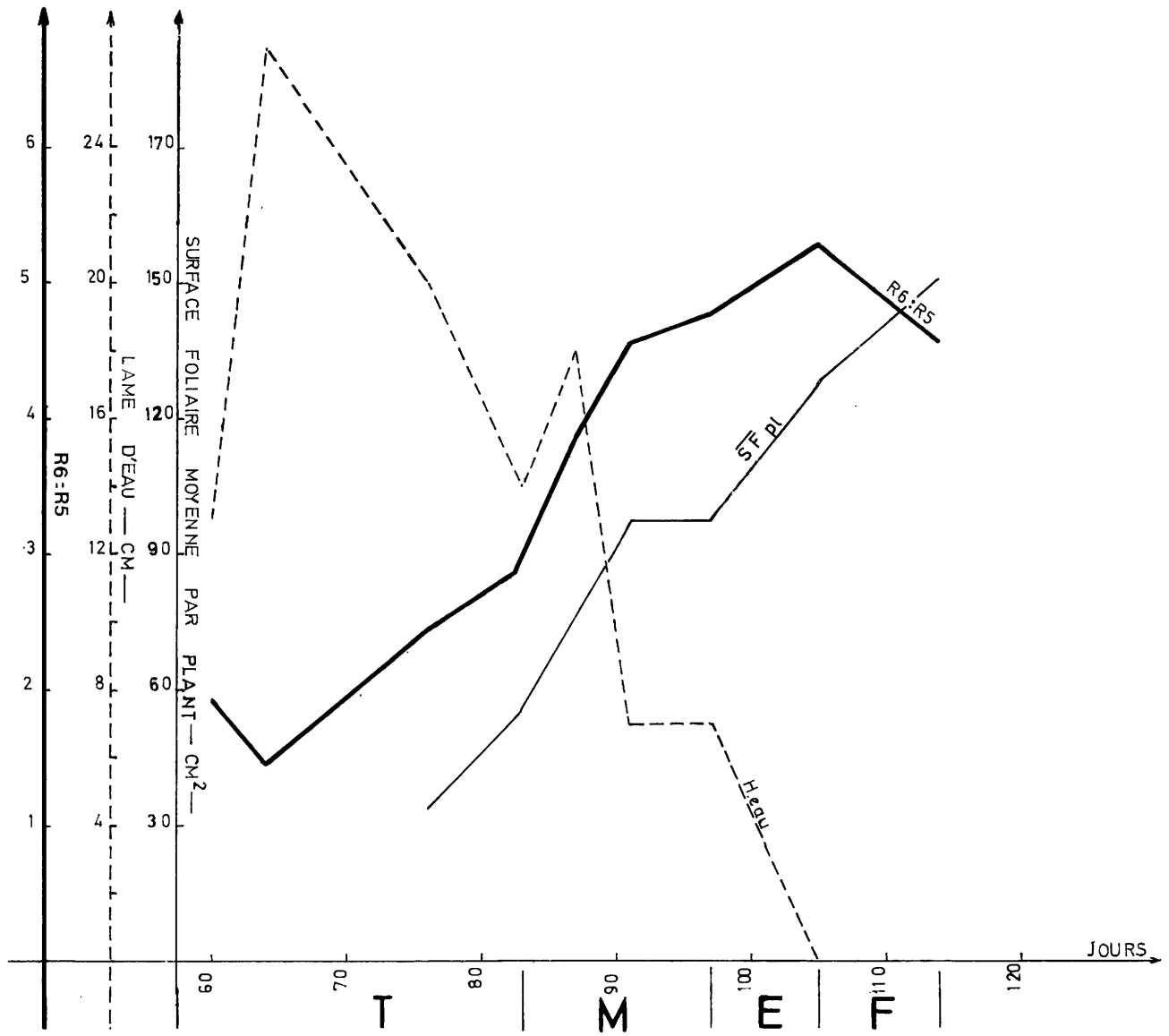


Figure 5: Hauteur d'eau (Heau), surface foliaire moyenne par talle (SF pl) et rapport entre réflectance dans le proche infra-rouge et dans le rouge (R6/R5) sur une parcelle de riz dressé

Cette dernière se fait surtout sentir dans le rouge (R 5). Etant donné la bonne transparence de l'eau observée aux parcelles, on peut penser que l'évolution observée est bien celle de la profondeur de l'eau et non pas de sa turbidité.

### 1.3.2 Pouvoir couvrant des plants de riz

Nous avons essayé d'estimer l'influence de la masse végétale sur le rayonnement réfléchi, par l'intermédiaire des paramètres :

- surface foliaire moyenne par talle : estimée par les mesures des dimensions foliaires

- rapport des rayonnements réfléchis dans le rouge et le proche infra-rouge : R 6/R 5 (voir tableau I et fig. 5).

Tableau I : Hauteur d'eau, surface foliaire moyenne par talle ( $\overline{SF}$ /talle), réflectances dans le rouge (R 5) et le proche infra-rouge (R 6) et leur rapport, pour une parcelle de riz dressé (II - Sud)

Date	Heau (cm)	$\overline{SF}$ /Talle (cm <sup>2</sup> )	R 5 (%)	R 6 (%)	R6/R5	Stade phénolo- gique
29/09/81	13	-	9,2	17,8	1,92	TALLAGE
03/10/81	27	-	8,4	12,2	1,45	
15/10/81	20	38,4	5,2	12,6	2,44	
21/10/81	14	51,5	9,4	27,0	2,86	MONTAISON
25/10/81	18	-	4,4	16,8	3,85	
29/10/81	7	61,1	4,4	19,6	4,55	
04/11/81	7	61,7	4,8	22,8	4,76	EPIAISON
F I N   S U B M E R S I O N						
12/11/81	sol hu- mide	78,7	4,8	25,6	5,26	
21/11/81	sol sec	88,2	6,0	27,5	4,55	

On discerne trois périodes:

- début tallage: l'influence de la masse végétale est encore minime et le rapport  $R_6/R_5$  semble suivre l'évolution de l'épaisseur de la couche d'eau avec une corrélation inverse.

On note en particulier dans les premiers temps de la mise en eau une nette diminution de la réflectance dans le canal 6 lorsque Heau augmente, diminution rendue possible par la faible influence de la végétation dans le signal global.

- du milieu du tallage à la mi-montaison: le rapport  $R_6/R_5$  évolue plus en fonction de la masse végétale que de l'épaisseur de la couche d'eau, l'augmentation du pouvoir couvrant des plants de riz entraînant une certaine augmentation de la réflectance dans l'infra-rouge.

- fin montaison, début épiaison: la montée du rapport est moins rapide et amorce même une baisse quelque temps après le départ des eaux de submersion, vers le début de la floraison.

Cette remontée pourrait s'expliquer par une forte augmentation de la réflectance dans le rouge ( $R_5$ ), augmentation assez forte pour ne pas être complètement masquée par celle, moins accusée, dans le proche infra-rouge ( $R_6$ ) induite par le départ des eaux de submersion.

Cette évolution du rapport de réflectance Proche Infra-rouge/Visible au cours du cycle de développement du riz s'avère essentiellement similaire à celle décrite précédemment pour des parcelles expérimentales de riz irrigué installées au CCR - Ispra <sup>(5)</sup>.

### 1.3.3 Périodes d'intérêt particulier

Il importait, au cours de cette première campagne de mesures, de repérer les périodes d'intérêt particulier compte tenu du cycle de développement des variétés observées, en fonction des objectifs du projet (à savoir le suivi des paramètres pouvant influencer sur la production rizicole).

Pour ce faire, on a regroupé sur un même graphique les rayonnements réfléchis dans le rouge et le proche infra-rouge sur les huit parcelles d'observation, tout au long de la campagne de mesures radiométriques (fig. 6). On obtient ainsi pour chaque cycle de mesures un "spectre" comparatif du comportement radiométrique des huit parcelles, parallèlement à l'évolution du rapport entre la "hauteur de la plante au-dessus de l'eau" et la "hauteur totale de la plante" (rapport  $H_{p1}/H_{p2}$ ). Ce rapport a deux valeurs limites: "zéro" lorsque les plants de riz sont noyés, "un" en dehors des périodes de submersion. Les valeurs intermédiaires correspondent à des situations telles que la parcelle est en eau et que les plants de riz dé-

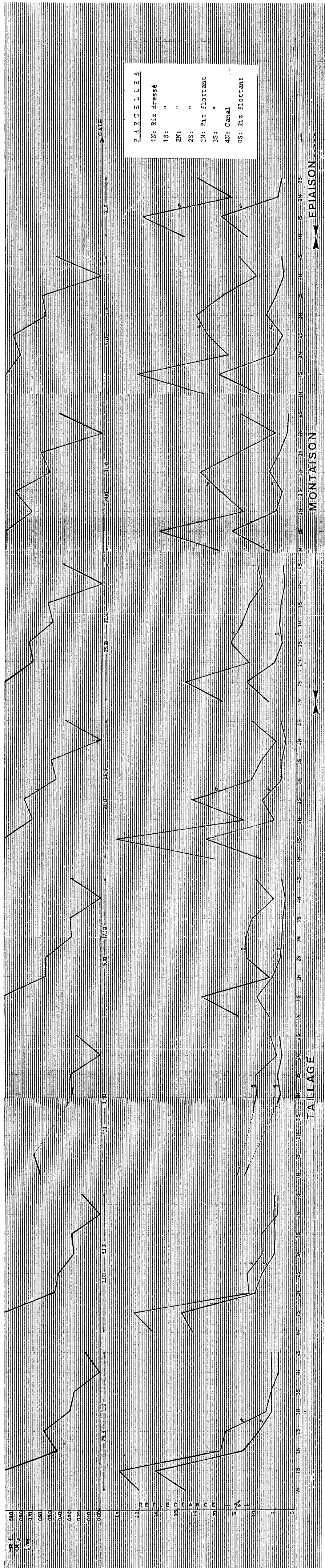


Figure 6: Réflectances mesurées dans le rouge (5) et le proche infra-rouge (6) sur les huit parcelles (1N à 4S); du 29 Septembre au 12 Novembre. Evolution du rapport  $\frac{H_{pi1}}{H_{pi2}}$  durant la même période (courbe du haut)





passent la surface de l'eau.

Les graphiques de la figure 6 montrent des résultats différents suivant que l'on considère la différenciation des parcelles entre elles, pour une même bande spectrale, ou au contraire l'apport spécifique des deux bandes spectrales choisies, pour une même parcelle.

a) différenciation des parcelles riz dressé - riz flottant

Tant le rouge que l'infra-rouge introduisent un écart important entre ces parcelles, du 29 septembre au 6 octobre. Cette différenciation se fait essentiellement par l'intermédiaire de la présence d'eau dans les parcelles.

De fait, l'écart se réduit fortement vers le 11 octobre, période à laquelle les parcelles en situation élevée (plate-forme I) reçoivent de l'eau.

Cet écart réaugmente ensuite progressivement, mais sans atteindre les valeurs élevées de fin septembre: la différenciation introduite par l'eau est alors fortement masquée par la masse végétale.

b) apport spécifique du rouge et du proche infra-rouge pour une même parcelle

Alors qu'au début de la campagne de mesures, en fin septembre, il y a relativement peu de différence entre les deux réflectances pour une même parcelle, l'écart augmente progressivement jusqu'à la fin de la période considérée (début épiaison). Cet écart est dû surtout à une augmentation de la réflectance dans le proche infra-rouge, introduite par l'augmentation de la masse végétale en fin de tallage et en montaison.

En fait, il est probable que l'écart maximum se situe vers l'épiaison.

En résumé, on peut déduire de cette campagne préliminaire de mesures radiométriques les conclusions suivantes:

- un inventaire des superficies ayant bénéficié de la mise en eau peut se faire fin septembre - début octobre par l'intermédiaire du rayonnement réfléchi dans le proche infra-rouge

- une première estimation des superficies productives peut se faire vers la montaison/épiaison par l'intermédiaire du rapport des réflectances dans le proche infra-rouge et dans le rouge, qui devrait être un indicateur de la croissance de la biomasse végétale verte <sup>(5)</sup> <sup>(6)</sup>.

#### 1.4 Perspectives futures

La campagne de mesures radiométriques de l'année 1981 a été organisée de façon à pouvoir tenir compte des enseignements issus de la campagne précédente et de la nécessité d'intervenir également sur le site rizicole de BANKALAN en GUINEE.

##### 1.4.1 Campagne de mesures au MALI

L'appareillage disponible est le suivant:

- un radiomètre de terrain "MATRA" avec filtres correspondant aux quatre bandes MSS - LANDSAT: appareil utilisé pour la campagne 1980
- un radiomètre de terrain "MILTON" avec filtres correspondant aux quatre bandes MSS - LANDSAT: simple, peu coûteux et convenant parfaitement à des opérations de terrain en conditions un peu difficiles, cet appareil a été mis au point par E.J. MILTON du Département de Géographie de l'Université de DURHAM (GB) (7)
- une unité d'enregistrement "DATEL": elle permet d'enregistrer sur cassettes des données sous forme digitale. Cet appareil a été sélectionné surtout pour sa robustesse et ses possibilités de fonctionnement en milieu chaud et humide.

Cet appareillage sera placé sur deux types de support:

- support fixe: les plates-formes d'ores et déjà installées dans le casier de KONODIMINI (zone de TAMANI)
- support mobile: nous avons mis au point un trépied en aluminium permettant de placer un radiomètre à 4 m au-dessus du niveau du sol. Ce trépied est démontable, très léger (~ 15 kg) et permet de travailler aussi bien sur terre ferme que sur l'eau, grâce à des flotteurs amovibles.

La campagne de mesures radiométriques au MALI devrait donc se dérouler de la façon suivante:

- radiomètre "MATRA" + unité d'enregistrement: installée sur les plates-formes, cette chaîne permettra d'effectuer de façon automatique des mesures à intervalle de temps régulier, sur un nombre limité de sites particuliers (en l'occurrence les parcelles d'observation)
- radiomètre "MILTON": fixé au sommet du trépied flottant, il permettra d'effectuer des mesures itinérantes en un nombre plus étendu (statistiquement représentatif de tout le site rizicole, sans être aucunement lié à une plate-forme d'observation fixe, mais nécessitant trois opéra-

teurs.

Le démarrage effectif de la campagne de mesures sur les sites maliens est prévue pour la deuxième semaine de septembre.

Remarque: les deux stagiaires maliens, MM TOGOLA et KONAKE, se sont d'ores et déjà familiarisés avec le maniement du nouveau radiomètre "MILTON" et du trépied. Ils ont en effet participé aux essais de cet appareillage pendant leur séjour au Centre d'ISPRA.

#### 1.4.2 Campagne de mesures en GUINEE

En Guinée, nous disposerons d'un radiomètre du type "MILTON" et d'un trépied flottant.

Nous effectuerons donc des mesures itinérantes en des points particuliers, sur le site rizicole de BANKALAN, sans construction préalable de plate-forme fixe.

Une mission d'une semaine est prévue sur ce site, début septembre, pour enseigner le maniement du radiomètre aux stagiaires désignés par les autorités guinéennes.

## 2. Interprétation visuelle d'images LANDSAT: aspects méthodologiques - conséquences pratiques

Compte tenu des objectifs du projet, on a tenté de définir les potentialités de l'interprétation visuelle d'images LANDSAT dans les trois directions suivantes (cf. fig. 7):

- caractérisation du mode d'occupation des terres: la zone d'étude choisie étant celle des périmètres rizicoles de FAMANA, TAMANI et FARAKO. Le matériel: une composition colorée LANDSAT du 28 Novembre 1975 (site 1)

- comparaison de deux années très contrastées du point de vue disponibilités en eau:

- comparaison en termes de superficies occupées en riz: la zone d'étude étant celle des périmètres rizicoles de FAMANA, TAMANI, FARAKO, TIEN et DIORO. Le matériel: deux compositions colorées LANDSAT du 28 Novembre 1975 et 16 Novembre 1972 (site 1)

- comparaison en termes de superficies inondées: la zone d'étude étant celle du triangle TENENKOU - MOPTI - SOFARA. Le matériel: deux compositions colorées LANDSAT du 27 Septembre 1978 et 22 Septembre 1972 (site 2)

- repérage et suivi de la dynamique de réservoirs naturels indicateurs: la zone d'étude étant celle du déversoir de KOLONGOTOMO. Le matériel: trois compositions colorées LANDSAT du 27 Septembre 1978, 22 Septembre 1972 et 29 Juin 1978 (site 2).

### 2.1 Caractérisation du mode d'occupation des terres

L'étude a été menée en deux étapes: une première de préparation et une deuxième de réalisation des documents cartographiques.

#### 2.1.1 Préparation

Ce travail a permis de définir les éléments de paysage devant être retenus pour l'étude, compte tenu de la région considérée, des objectifs du projet (tant du point de vue hydrologique qu'agronomique) et enfin des outils disponibles.

Au cours de cette phase ont été réalisés un travail de terrain, effectué au mois de mai 1980, et une photo-interprétation d'une couverture aérienne (mission I.G.N - infra-rouge - noir et blanc de mai 1974) au

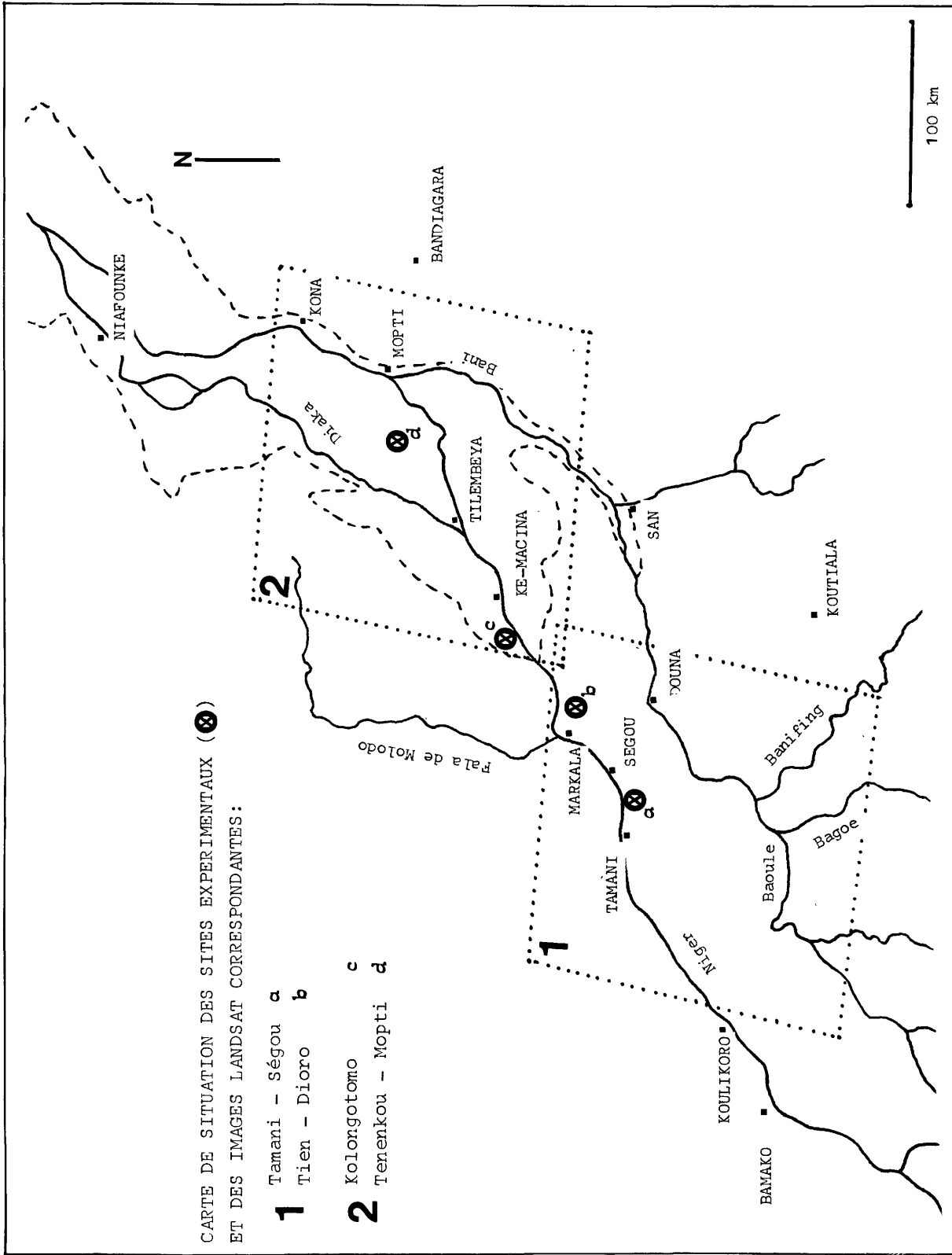


Figure 7: Carte de situation des sites expérimentaux ⊗ et des images LANDSAT correspondantes

1/50.000.

L'esquisse cartographique au 1/50.000 élaborée à partir de cette photo-interprétation concerne 40.300 hectares situés dans la région du site rizicole de TAMANI: - 13.500 ha sont cultivables en riz

- 15.700 ha sont dédiés aux cultures sèches
- 250 ha sont occupés par des plantations de manguiers
- 10.000 à 11.000 ha ne sont pas cultivés.

A l'issue de ce travail ont été établis un projet de légende (voir Tableau II) ainsi que certaines corrélations naturelles existant entre des éléments de cette légende et un cadre morphopédologique plus général, ce dernier étant le plus souvent un facteur déterminant de la différenciation des types de paysages et fournissant par le fait-même une information précieuse sur le mode de fonctionnement des milieux abordés.

#### Mode d'occupation des terres et cadre morpho-pédologique

Suivant les études de R. BERTRAND<sup>(8)</sup> et nos propres observations sur le terrain, on peut distinguer quatre grands types de formations alluviales. La distinction est basée sur la dynamique passée et présente des unités observées:

- formations  $t_0$ : actuelles ou récentes, elles regroupent les différents types de modèle alluvial observables à la lisière nord du périmètre rizicole de TAMANI, en bordure du fleuve. Il s'agit essentiellement de bourrelets de berge et de cuvettes de décantation, correspondant en particulier à des zones inondables non cultivées en riz

- formations  $t_1$ : subactuelles, elles sont constituées de terrasses, levées, deltas de rupture de levée et semblent représenter la plus grande partie des superficies cultivées en riz

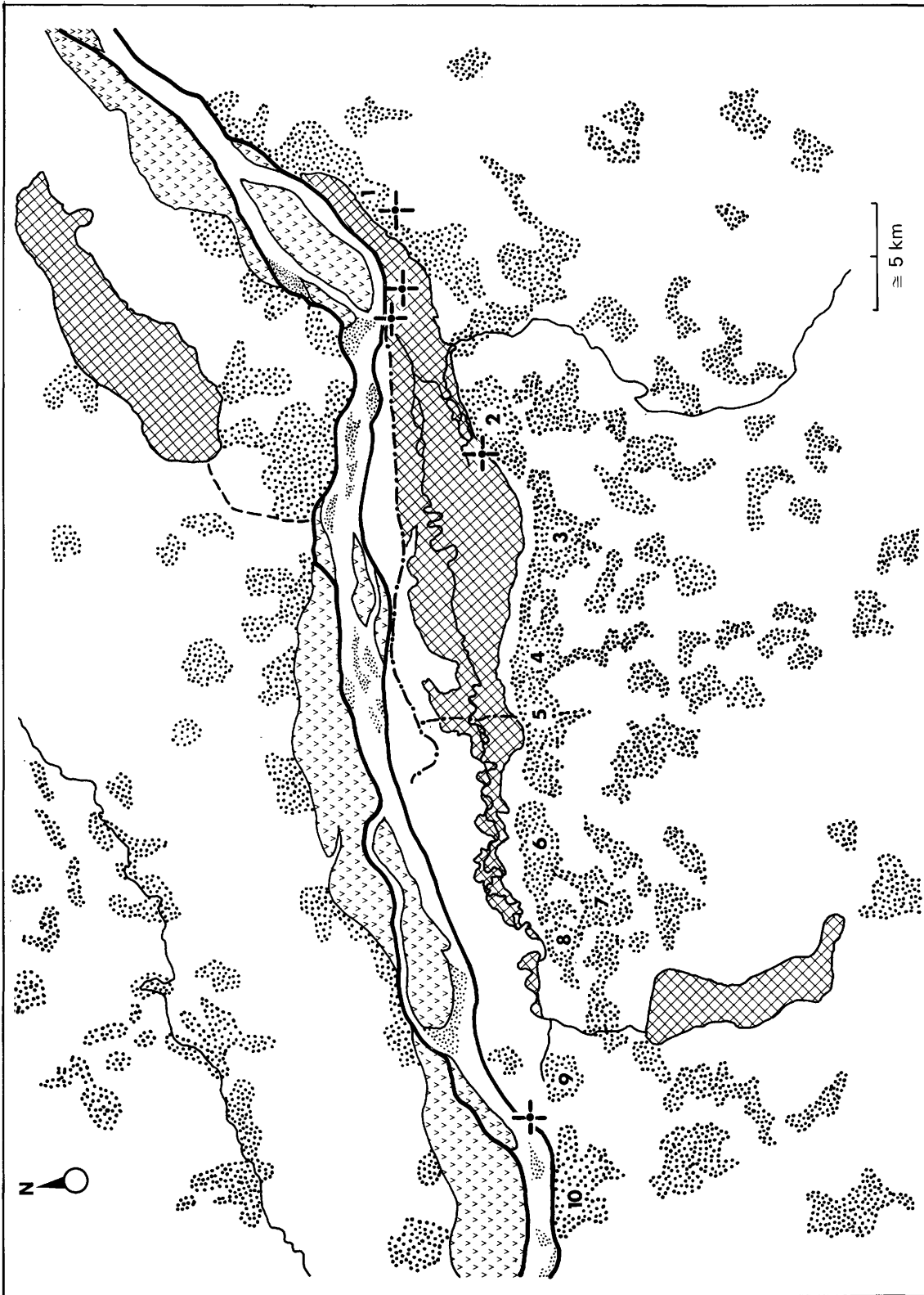
- formations  $t_2$ : constituées de hautes terrasses sableuses ou sablo-argileuses, non inondables, elles rassemblent les surfaces affectées aux cultures sèches et celles non défrichées à couvert végétal de type savane arbustive à arborée

- formations  $t_3$ : anciennes et le plus souvent cuirassées, elles pourraient correspondre aux formations observées non loin de KONODIMINI (EST du périmètre de TAMANI) qui plongent sous la terrasse ancienne  $t_2$ .

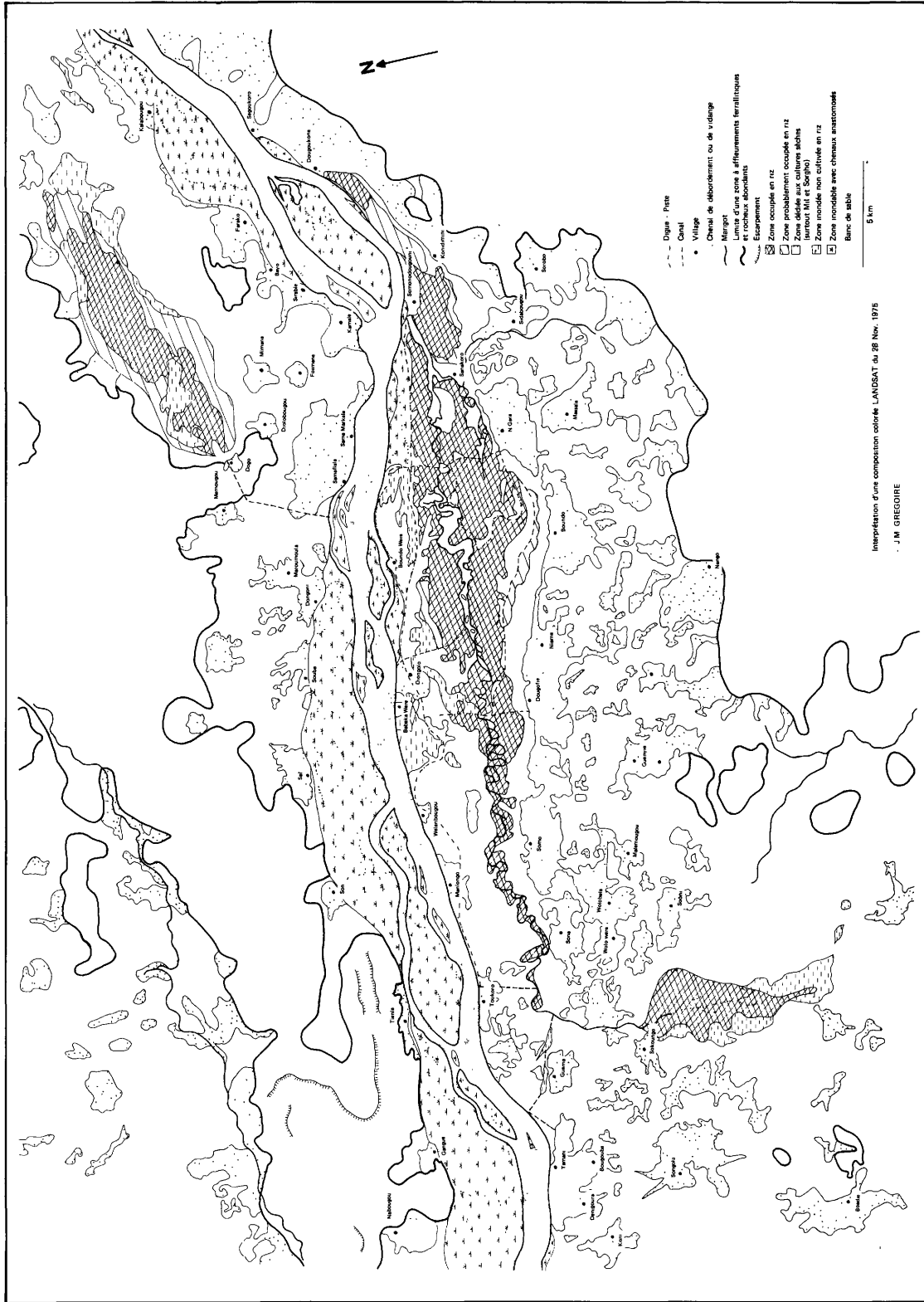
#### 2.1.2 Résultats obtenus

Ils diffèrent suivant le document utilisé comme support de l'interprétation visuelle.

La figure 8 présente les résultats obtenus à partir de la compo-



**Figure 8:** Extension des zones occupées en riz dans la région de TAMANI - KONODIMINI - FARAKO (Rép. du MALI); photo-interprétation d'une "Composition Colorée" du satellite LANDSAT - Scène du 28 Novembre 1975 (pour la légende, se référer au Tableau II, p. 34)



**Figure 9:** Définition du mode d'occupation des terres dans la région de TAMANI - KONODIMINI - FARAKO (Rép. du MALI); photo-interprétation d'une "Composition Colorée" du satellite LANDSAT - Scène du 28 Novembre 1975, agrandie au 1/100000 (pour la légende, se référer au Tableau II, p. 34)



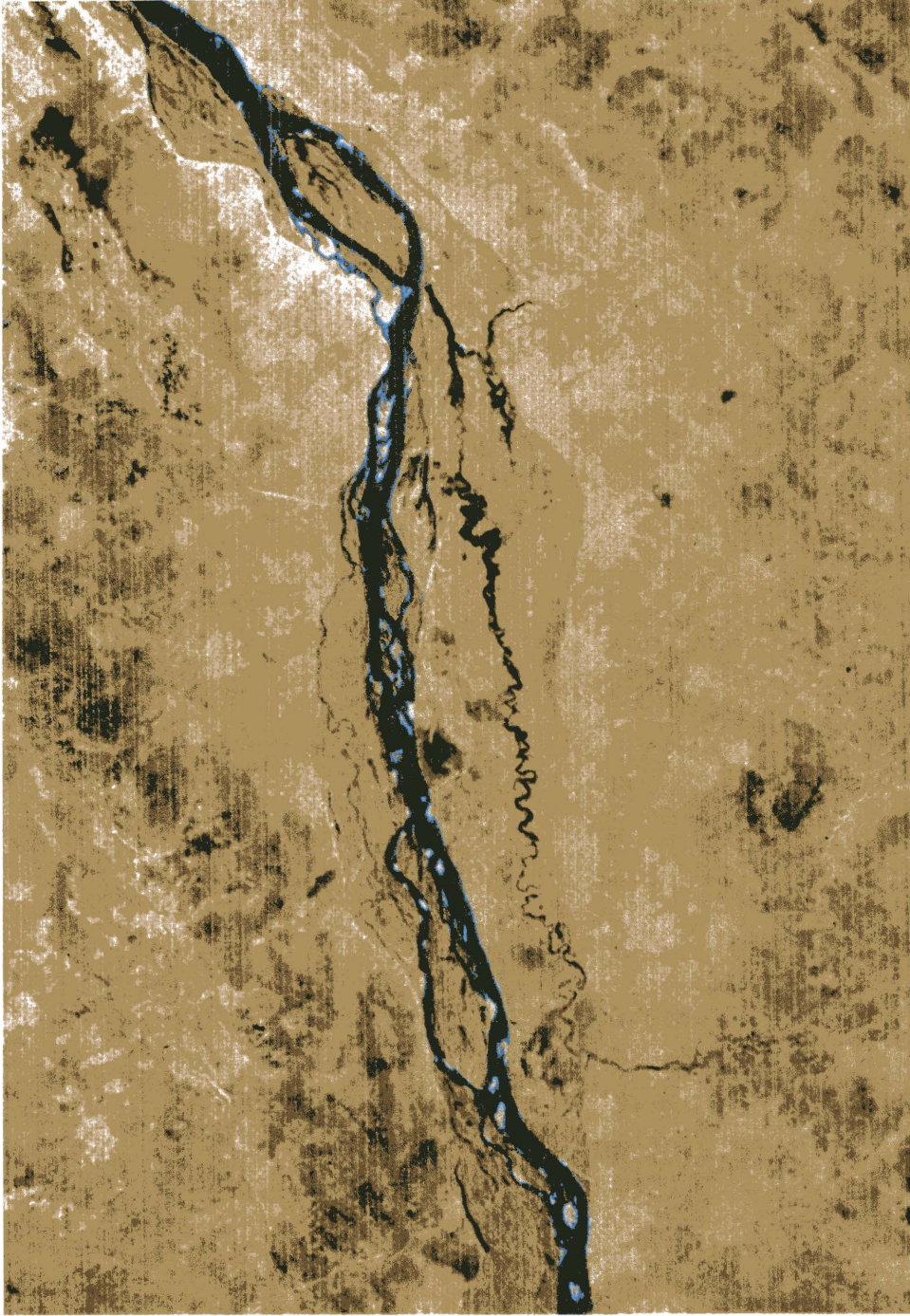
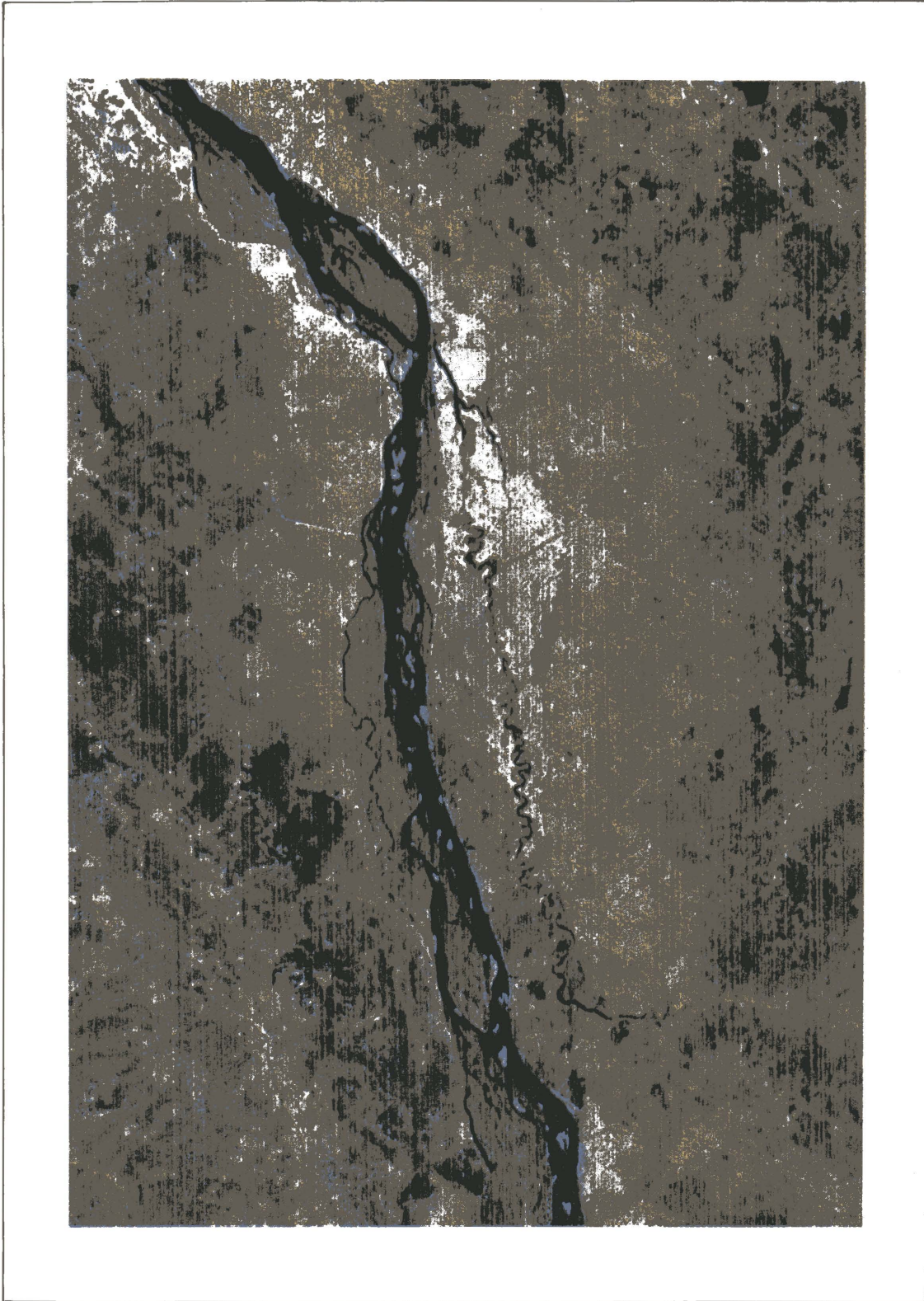


Figure 10: Détail d'une "Composition Colorée" LANDSAT représentant les sites rizicoles de FAMANA, TAMANI et FARAKO (Rép. du MALI) - Scène du 28 Novembre 1975 - Année "normale"





**Figure 11:** Détail d'une "Composition Colorée" LANDSAT représentant les sites rizicoles de FAMANA, TAMANI et FARAKO (Rép. du MALI) - Scène du 16 Novembre 1972 - Année "sèche"

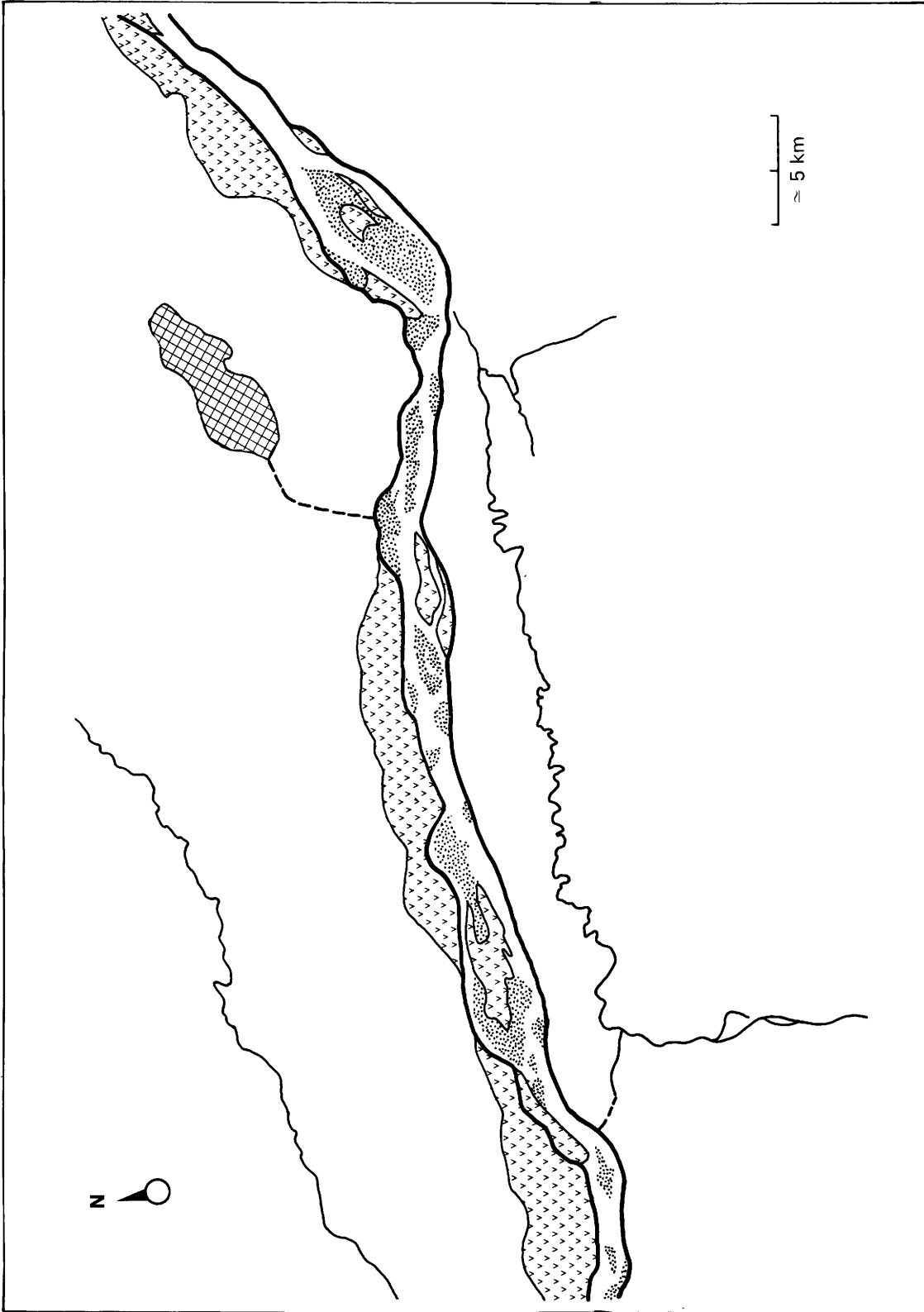


Figure 12: Extension des zones occupées en riz dans la région de TAMANI -KONODIMINI - FARAKO (Rép. du MALI); photo-interprétation d'une "Composition Colorée" du satellite LANDSAT - Scène du 16 Novembre 1972, (pour la légende, se référer au Tableau II, p. 34)

Tableau II: LEGENDE RETENUE APRES PHOTO-INTERPRETATION : ELEMENTS DE PAYSAGE ET SYMBOLES



point-repère

Réseau routier et aménagement hydraulique:

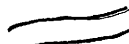
piste - digue

canal

Habitat:

• village d'extension cartographiable ou non

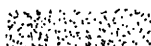
Eléments de paysage associés aux actions fluviales:



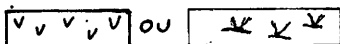
lit mineur du fleuve NIGER



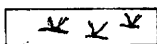
marigot



banc de sable



ou



formation inondable avec chenaux anastomosés



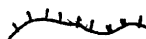
chenal de débordement ou de vidange

Affleurements du substratum rocheux ou de surfaces cuirassées:



limite d'une zone à affleurements

ferrallitiques et rocheux abondants

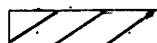


escarpement

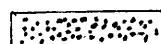
Zones cultivées:



zone occupée en riz

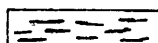


zone probablement occupée en riz

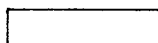


zone affectée aux cultures sèches (surtout  
mil - quelque peu sorgho)

Zones non cultivées:



inondées mais sans contact direct avec le fleuve



non inondées, à couverture végétale de type sa-  
vane arbustive à arborée.

sition colorée originelle (d'échelle 1/250.000, cf. fig.10), tandis que la figure 9 provient de l'interprétation d'un agrandissement (photographique) du document de départ (agrandissement au 1/100.000).

En fait, les différences entre les deux séries de résultats ne sont pas fondamentales et consistent surtout en deux niveaux de précision dans la définition du mode d'occupation des terres, compte tenu des deux niveaux de perception.

a) Cartographie des zones occupées en riz :

Si la composition colorée au 1/250.000 permet de définir une unité de paysage "surface cultivée en riz", le document agrandi au 1/100.000 rend possible la distinction de deux classes :

- . zone occupée en riz
- . zone probablement occupée en riz

Cette distinction s'avère importante dans l'optique d'une éventuelle prévision de production. En effet, après comparaison avec les données de "vérité-terrain", il s'avère que ce que l'interprétation visuelle a classé "riz probable" représente en fait des superficies occupées en riz dressé proche de la maturation, le début de jaunissement les faisant apparaître proches des zones à cultures sèches.

Une deuxième image située plus tôt dans le cycle de croissance du riz, vers fin octobre, permettrait de lever l'indétermination et par le fait-même apporterait une certaine discrimination au niveau de la variété (riz dressé) et du stade de développement (début de maturation).

Un problème analogue se pose au niveau des "zones inondées sans contact direct avec le fleuve" : si la composition colorée agrandie au 1/100.000 permet d'introduire cette catégorie, il est souvent difficile de dire si ces "zones inondées", à forte composante "eau" dans le rayonnement réfléchi, portent une végétation aquatique spontanée ou au contraire du riz flottant très en retard par rapport au calendrier "normal" de croissance (compte tenu de la date de l'image étudiée, 28 novembre).

Là encore une deuxième image permettrait probablement de lever l'ambiguïté et donc d'introduire une discrimination variétale dans la cartographie des superficies occupées en riz, la retombée pratique étant une évaluation des superficies en riz flottant ayant été noyées et sur lesquelles aucune production n'est à espérer.

Des résultats chiffrés sont présentés dans le tableau III.

Tableau III: Inventaire des superficies occupées en riz dans la zone de TAMANI - Mois de Novembre 1975

"1": "vérité-terrain" (9)

"2": planimétrie des zones "Riz Certain" et "Riz Probable" représentées sur la figure 9

Casiers		Riz Certain (ha)	Riz Probable (ha)	Total (ha)	(2)-(1) (en % de la vérité-terrain et en ha)
KONODIMINI	1	2110	—	2110	+ 11%
	2	1830	520	2350	(+ 240 ha)
FARAKO	1	3968	—	3968	+ 3%
	2	2270	1820	4090	(+ 122 ha)
N'GARA	1	4437	—	4437	- 5%
	2	3160	370 + (370+300)	4200	(- 237 ha)
TAMANI	1	2313	—	2313	+ 12%
	2	2580	—	2580	(+ 267 ha)
TOTAL	1	12.828	—		
	2	9840	3380	13.220	+ 3%

Ces chiffres entraînent trois remarques:

- d'une manière générale, l'interprétation visuelle de l'image considérée (28 Novembre) tend à surestimer l'étendue des zones occupées en riz (à raison de 3% pour l'ensemble de la zone rizicole)

- on note au contraire pour tous les casiers une tendance nette à sous-estimer l'étendue des zones reconnues comme étant occupées en riz de façon certaine.

Le cas du casier de N'GARA est caractéristique: sur un total de l'ordre de 4400 ha occupés en riz, un peu plus de 1000 ha sont cartographiés comme "riz incertain".

Ceci signifie que sur ce casier plus de 20% des superficies occupées en riz n'ont pas une réponse spectrale univoque. Ainsi 670 ha de riz dressé en fin de maturation apparaissent très proches, spectralement, de zones sèches, tandis que 370 ha de riz flottant plus ou moins noyés ont une

réponse spectrale correspondant à celle des "zones inondées non occupées en riz".

- l'hétérogénéité des sites rizicoles (des points de vue variété, calendrier agricole, disponibilité en eau) introduit une marge d'incertitude dans l'inventaire des superficies occupées en riz qui ne peut être réduite que par l'utilisation d'une deuxième image située fin octobre.

En contrepartie, l'ambiguïté elle-même ouvre des perspectives intéressantes pour une estimation des productions finales.

b) Cartographie des superficies affectées aux cultures sèches  
(mil et un peu de sorgho)

Deux facteurs rendent relativement aisé l'inventaire de ces superficies:

- cultures sèches se présentant à peu près toujours, du moins dans la zone d'étude, sur la même unité morphopédologique ou unité de paysage: celle correspondant aux "formations  $t_2$ " mentionnées plus haut (hautes terrasses sableuses ou sablo-argileuses non inondables)

- fin novembre, les superficies affectées à la culture du mil et de sorgho montrent un couvert végétal très ouvert limité aux arbres laissés ici et là lors des opérations de défrichement. Du point de vue radiométrique, ces zones ont donc des réponses proches de celle du sol nu et sec, ce qui les différencie fortement des zones non défrichées à couvert de type savane arbustive à arborée ainsi que des zones occupées en riz.

Nous avons vu cependant qu'une confusion pouvait se produire entre "riz dressé en fin de maturation" et "cultures sèches".

Au point de vue du niveau de précision, le résultat fourni par l'agrandissement photographique au 1/100.000 de la composition colorée d'origine (cf. fig. 9) permet d'individualiser les principaux villages entourés de leur "zone d'influence" et par là même de suivre l'évolution quantitative des terres consacrées aux cultures sèches.

Par contre l'image LANDSAT d'origine, au 1/250.000, permet le repérage de ces zones mais pas une estimation précise de leur extension, pour la région considérée, quoiqu'il y soit cependant possible de retrouver les "zones d'influence" de plusieurs villages à la lisière sud du périmètre rizicole de Tamani (numérotées de 1 à 10 sur la fig. 8).

### c) Caractérisation des zones non cultivées

Les éléments de paysage retenus après interprétation de la couverture aérienne infra-rouge noir et blanc au 1/50.000 (voir tableau II) sont localisables et représentables à des degrés divers suivant l'échelle de l'image LANDSAT utilisée.

Ainsi les traits majeurs du réseau routier et d'aménagement hydraulique (pistes, digues, canaux ...) ne sont vraiment cartographiables que sur l'agrandissement photographique au 1/100.000 (cf. fig. 9).

Il en est de même de l'habitat: assez aisément localisables sur le document au 1/100.000, les principaux villages ne sont plus repérables sur la composition colorée d'origine au 1/250.000 que par l'intermédiaire des superficies défrichées qui les entourent.

Ces différences de niveaux de précision sont à considérer non seulement pour la démarche cartographique pure mais également pour une éventuelle étude multitemporelle: l'utilisation de plusieurs images LANDSAT au cours du cycle de développement du riz nécessite en effet le repérage précis d'éléments au sol, ce qui est plus ou moins le cas des villages, pistes, digues ..., visibles sur les agrandissements au 1/100.000.

La même remarque peut être faite pour les éléments de paysage associés aux actions fluviales: une étude hydrologique basée sur l'exploitation de plusieurs images entre juin et octobre ne peut se faire sans repères au sol, précis et individualisables sur l'imagerie satellite.

## 2.2 Comparaison de deux années très contrastées du point de vue des disponibilités en eau

Cette comparaison a été effectuée sous les deux aspects agronomique et hydrologique.

### 2.2.1 Aspect agronomique: étendue des superficies occupées en riz.

La question de base étant: l'interprétation visuelle de compositions colorées LANDSAT permet-elle d'apprécier l'impact d'un déficit hydrologique sur l'étendue des superficies occupées en riz à un moment donné?

Les résultats obtenus à partir des images LANDSAT (fig. 10, 11 et 14) sont présentés sur les figures 8, 12 et 13 A-B.

Les années 1975 et 1972 ont été choisies pour leur contraste très marqué; le mois de novembre pour sa place dans le cycle de développement du riz (pour l'image de novembre 1975, se reporter au paragraphe 2.1 ci-dessus).



Sur le plan général, "cartographie des superficies occupées en riz", il ressort que les compositions colorées d'origine au 1/250.000 fournissent un outil d'investigation très satisfaisant. Par exemple l'"année sèche" 1972 pourrait être caractérisée comme telle en terme de "superficies occupées en riz à production certaine" par rapport à l'année de référence 1975.

Les résultats d'interprétation obtenus pour l'année 1972 reflètent bien les éléments de "vérité-terrain" disponibles. Ainsi le "Rapport de Synthèse des Campagnes 1972 - 1974 de l'Opération Riz Ségou" présente comme suit la mise en eau des casiers du Groupe du Niger:

- Tamani: "... le marigot a tout juste pu être rempli mais les rizières n'ont pu être inondées ...", ce qui est très visible sur l'image où seul le casier de Farako apparaît occupé en riz

- Farako: "... le remplissage de cette plaine est favorisé par un surcreusement du canal ...", ce qui explique l'occupation en riz récoltable dans ce casier

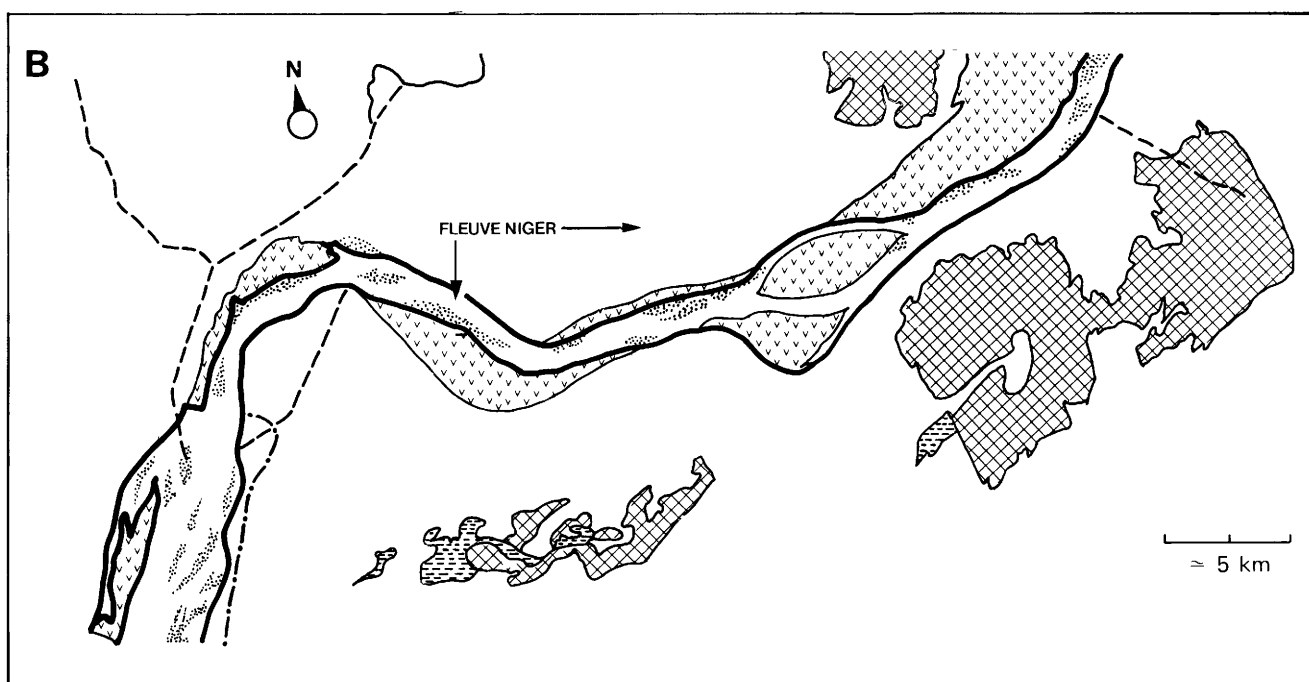
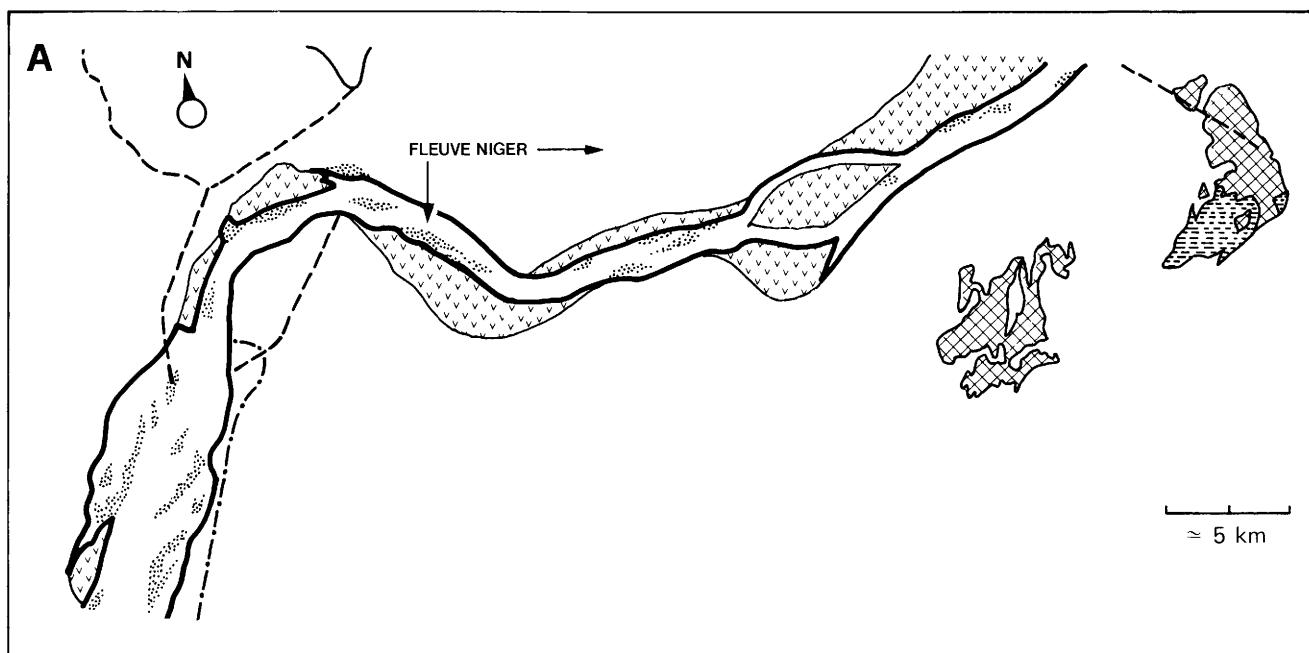
- Dioro - Babougou: "... le casier de Dioro II étant plus bas a été inondé en priorité"; "l'inondation (du casier de Babougou) fut satisfaisante en rapport avec la crue ..." Ce qui ressort très nettement de la fig.14 où seuls les casiers de Dioro II et Babougou apparaissent productifs; dans le quart supérieur droit de l'image.

Si on se place à un niveau plus précis d'investigation, les remarques faites au paragraphe 2.1.2 sont applicables:

- apport indéniable de l'agrandissement photographique du 1/250.000 au 1/100.000

- nécessité d'utiliser une deuxième image située vers la fin octobre.

Il faut cependant noter que le document d'origine au 1/250.000 permet déjà d'individualiser les "superficies inondées" mais non occupées en riz et donc non productives: casiers de Dioro III (pour 1972), éléments des casiers de Soke II et Tien (pour 1975) qui apparaissent sur l'image comme des superficies d'eau libre (fig. 14).



**Figure 13:** Extention des zones occupées en riz dans la région de DIORO (Rép. du MALI); photo-interprétation de "Compositions Colorées" du satellite LANDSAT - Scène du 16 Novembre 1972 (A) - Scène du 28 Novembre 1975 (B) (pour la légende, se référer au Tableau II, p. 34)

### 2.2.2 Aspect hydrologique: étendue des superficies inondées.

Cet aspect a été abordé par l'intermédiaire de deux images LANDSAT, compositions colorées au 1/250.000, couvrant une partie du delta intérieur du Niger, et en particulier les grandes plaines d'inondation situées le long du Diaka (effluent du Niger à la hauteur de Diafarabe) et aux alentours de la confluence Niger-Bani à Mopti.

Les figures 15 A-B présentent la partie des scènes LANDSAT exploitée pour cette étude.

Ces images sont toutes deux situées vers le maximum d'inondation (dernière semaine de septembre), une en année "humide" (1978), l'autre en année "sèche" (1972).

#### a) Direction quantitative: cartographie des superficies inondées.

La planimétrie des surfaces délimitées sur les images a abouti aux chiffres suivants:

465.112 hectares inondés en 1978 contre 383.919 hectares en 1972.

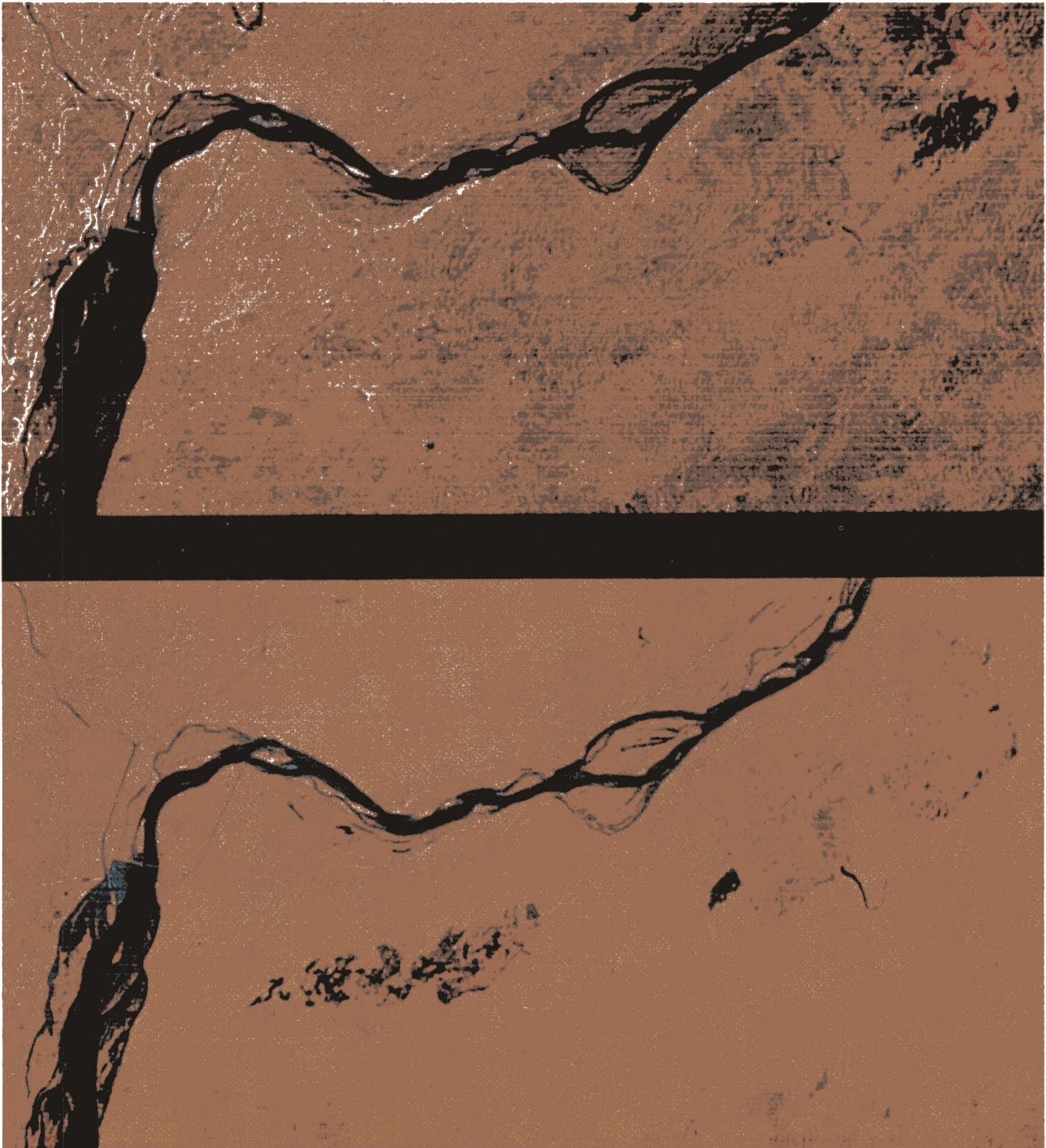
Ceci représente une augmentation de l'"année sèche" à l'"année humide" de 21% (81.200 ha).

Ces données brutes ne font cependant ressortir qu'un aspect très limité du potentiel des compositions colorées LANDSAT pour l'étude des disponibilités en eau.

#### b) Direction qualitative: définition de trois classes à l'intérieur des superficies inondées.

- classe I: surfaces d'eau libre non incluses dans le lit du fleuve et surfaces inondées avec végétation mais où la composante principale du signal reste celle due à l'eau (teinte bleu et noir sur les compositions colorées)
- classe II: surfaces saturées en eau à couverture végétale de l'ordre de 100% (teinte rouge - orange vif)
- classe III: surfaces inondées avec couverture végétale de l'ordre de 50% (teinte intermédiaire)

Le tableau IV regroupe les résultats de planimétrie.



**Figure 14:** Détail de "Compositions Colorées" LANDSAT représentant les sites rizicoles de la région de TIEN, DIORO (Rép. du MALI) en année "sèche" - Scène du 16 Novembre 1972 (moitié supérieure), et en année "normale" - Scène du 28 Novembre 1975 (moitié inférieure)



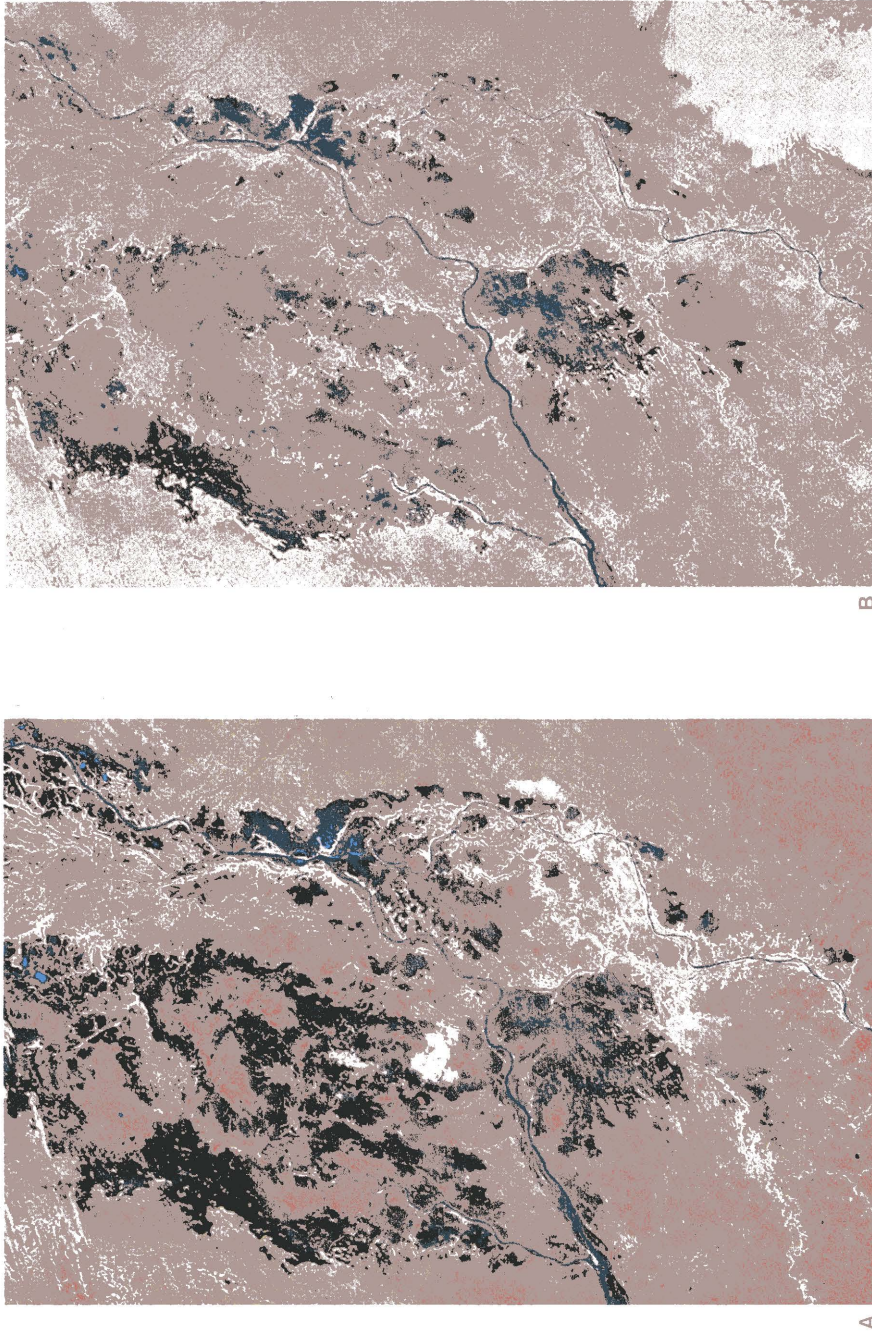


Figure 15 A-B: Détail de "Compositions Colorées" LANDSAT représentant les plaines d'inondation à la confluence des fleuves NIGER et BANI (Rép. du MALI) en année "humide" (A - Scène du 27 Septembre 1978) et en année "sèche" (B - Scène du 22 Septembre 1972)

Tableau IV: Inventaire des superficies inondées dans les grandes plaines à la confluence des fleuves NIGER et BANI, en année "humide" (1978) et en année "sèche" (1972) - Eau libre (I) - Eau et couverture végétale 100% (II) - Eau et couverture végétale 50% (III).

Scène	Classe I	Classe II	Classe III	T O T A L
27/09/78	4644 ha	26.869 ha	433.599 ha	465.112 ha
22/09/72	9437 ha	11.675 ha	362.807 ha	383.919 ha

On distingue nettement deux tendances distinctes, de l'"année sèche" à l'"année humide" (de 1972 à 1978), à savoir: augmentation des superficies inondées à très fort taux de couverture végétale (classe II) et diminution des étendues d'eau libre ou à couvert végétal très lâche (classe I).

Ceci semble indiquer que ce genre d'images permet non seulement la cartographie des superficies inondées mais aussi d'avoir une idée de la "qualité" de la crue: en 1972 on peut penser que les eaux des fleuves Niger et Bani ont envahi les terres de façon assez soudaine et sans qu'un couvert végétal vivace se soit développé pendant les mois de juillet et août, faute de pluies sur le lieu-même des plaines d'inondation.

Par contre en 1978, il semble que les pluies dans le haut bassin ont permis d'avoir une crue très satisfaisante mais aussi que les pluies ont été relativement abondantes en aval, sur le site des plaines d'inondation. Il y a en quelque sorte une certaine "mémoire" des compositions colorées. Dans le cas précis du cycle de développement du riz, la cartographie des superficies inondées vers la mi-septembre permettrait de discerner deux classes:

- zone rizicole à mise en eau satisfaisante avec bon espoir de production dans la mesure où l'inondation a concerné des rizières sur lesquelles les plants de riz n'ont pas subi de "stress" hydrique trop important pendant la période de développement en pluvial
- zone rizicole à mise en eau satisfaisante mais sans espoir de production, les plants de riz étant noyés ou séchés (croissance gênée ou complètement inhibée au cours de la période de développement en pluvial).

### 2.3 Repérage et suivi de réservoirs naturels indicateurs

Il a déjà été mentionné comment des unités morphopédologiques, servant de réservoirs naturels le long du fleuve, montraient une dynamique de remplissage et de vidange fortement corrélée aux facteurs suivants : pluies sur le haut bassin versant, pluies à proximité du réservoir, hauteurs d'eau dans le fleuve à l'amont et à l'aval du réservoir.

En fait, le choix judicieux d'un certain nombre de ces unités le long du fleuve fournirait un ensemble de repères, de "voyants lumineux", très utiles pour l'exploitation efficace des données pluviométriques et limnimétriques recueillies en amont ou même l'information de base lorsque ces dernières ne sont pas disponibles en temps voulu.

Il est en effet indispensable de pouvoir suivre le devenir des eaux, collectées sur le haut bassin versant, tout au long de leur cheminement vers les grandes plaines d'inondation. Sans une certaine compréhension de cette dynamique, la méthode consistant à lier directement "pluies en amont" et "hauteurs d'eau dans le fleuve au niveau des casiers rizicoles" ne pourra apporter de résultats fiables, particulièrement en années dites "anormales".

Il importait, dans un premier temps, d'évaluer la capacité des images LANDSAT à repérer de tels réservoirs et à suivre leur dynamique de remplissage, et dans un second temps, d'estimer l'apport d'une telle méthode au processus de prévision des disponibilités en eau.

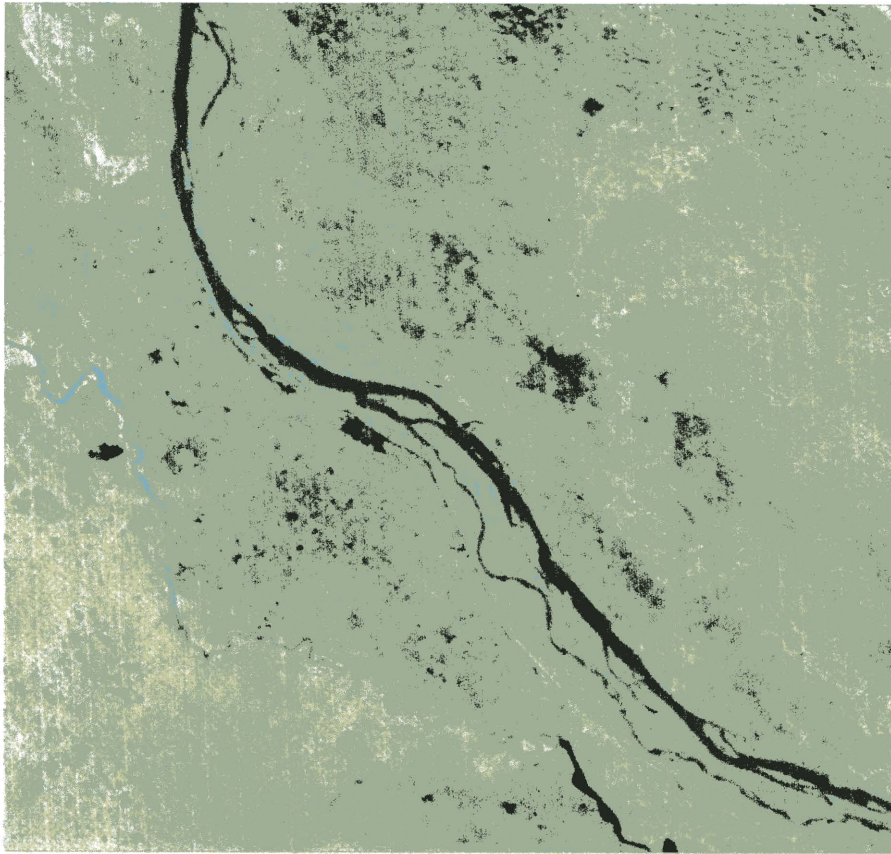
Pour cela nous avons utilisé trois compositions colorées LANDSAT (fig. 16 A-B-C) : une en période d'étiage du fleuve NIGER (29 juin 1978), deux en périodes de hautes eaux (22 septembre 1972 et 27 septembre 1978).

En fait ces images ne représentent qu'un détail d'une composition colorée LANDSAT : elles montrent une boucle du fleuve NIGER à la hauteur du "déversoir de Kolongotomo", à mi-chemin entre la zone rizicole de TAMANI et la ville de MOPTI (60 km en aval du barrage de MARKAKLA).

#### 2.3.1 Localisation des réservoirs

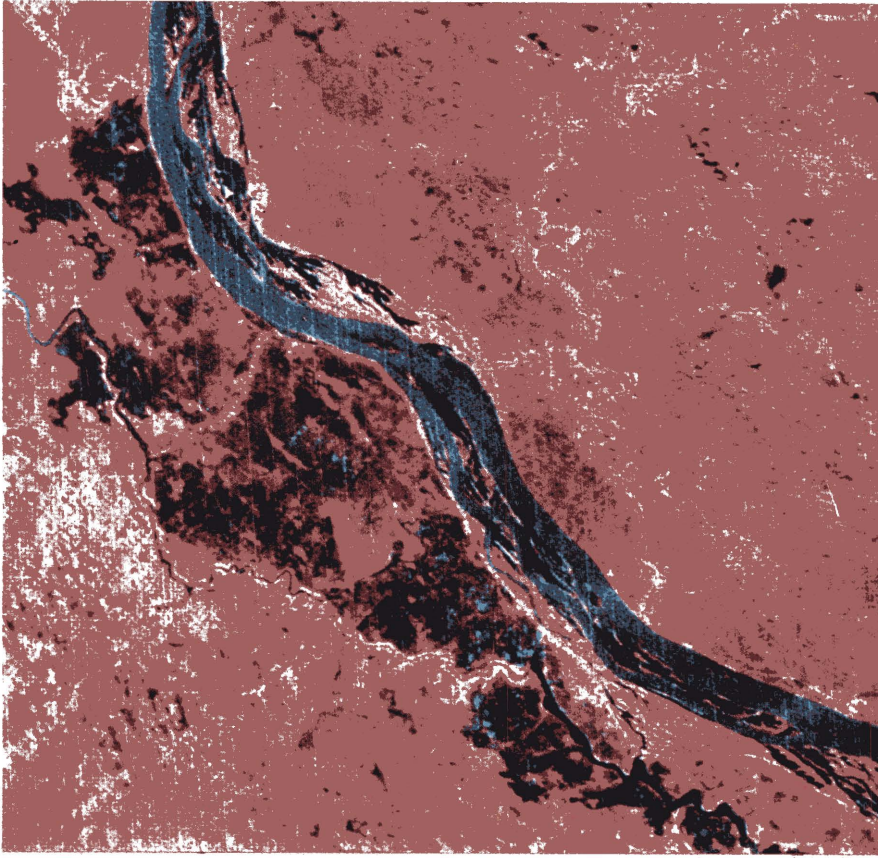
Elle peut se faire par l'intermédiaire de la dynamique de remplissage et de vidange. Sur les trois images retenues, il apparaît clairement que certaines unités de paysage voient leur aspect de surface se modifier suivant l'état des disponibilités en eau. Ces modifications de type hydrique se mani-

Figure 16 a. b. c.: Détail de "Compositions Colorées" LANDSAT représentant la boucle du fleuve NIGER à la hauteur du Déversoir de KOLONGOTOMO (Rép. du MALI)

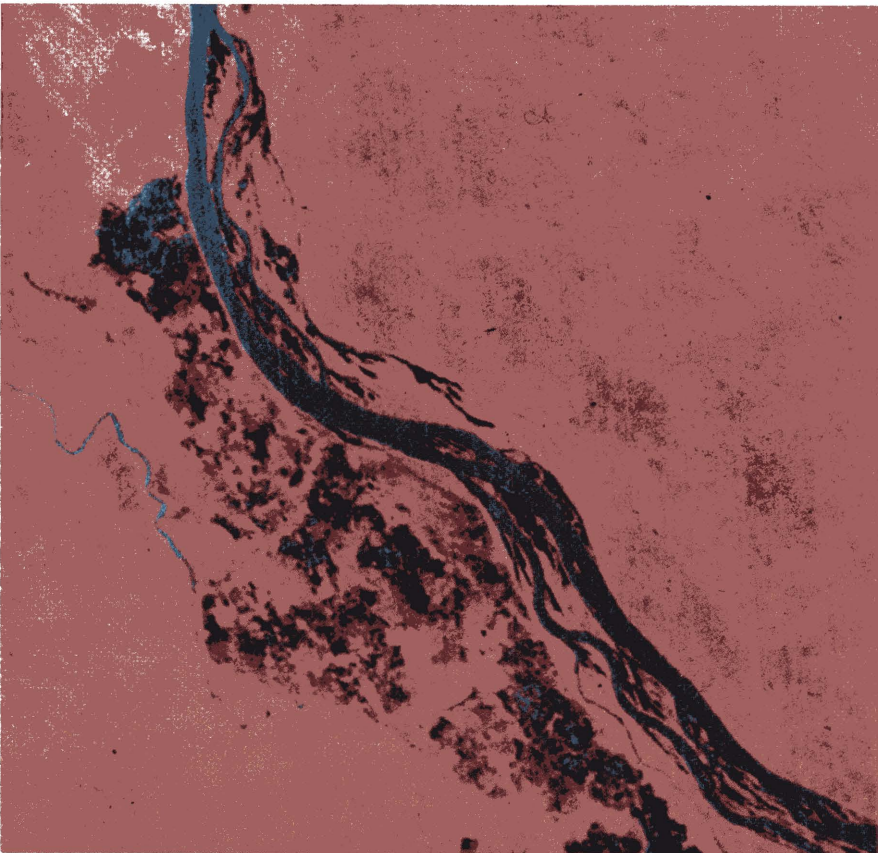


a) Scène du 29 Juin 1978





c) Scène du 27 Septembre 1978



b) Scène du 22 Septembre 1972

se manifestent sur les compositions colorées par:

- l'apparition de "plages" bleu ou noir: surfaces d'eau libre
- l'apparition de taches rouge foncé: surfaces saturées en eau avec couvert végétal de l'ordre de 100%.

Ces unités sont très visibles sur la rive gauche du Niger, entre le fleuve et le petit marigot. De même sur la rive droite apparaissent des taches rouge foncé, piquetées de noir ou de bleu.

Une telle dynamique de remplissage, image "sèche" vers image "humide", ou de vidange, image "humide" vers image "sèche", permet de localiser les unités de paysage jouant le rôle de réservoir.

Au contraire, d'autres éléments de ces images réagissent peu à ces trois niveaux de disponibilité en eau: ainsi dans le quart supérieur gauche des photographies. Les modifications y apparaissent très superficielles, sous forme d'un couvert végétal plus ou moins vivace (teinte rosée) en fonction des conditions hydriques.

Se pose bien sûr le problème du niveau de perception ou du degré de précision: à partir de quel moment le comportement d'une unité est-il considéré comme assez homogène pour la définir "réservoir" ou "non réservoir"?

Au niveau de cette étude, il importe de se limiter aux unités les plus caractéristiques du point de vue dynamique, dans la mesure où leur comportement doit pouvoir être interprété en fonction:

- des disponibilités en eau dans le fleuve au niveau des réservoirs
- des conditions prévalant en aval, au niveau d'éventuelles plaines d'inondation.

### 2.3.2 Insertion dans un processus de prévision de disponibilités en eau

Faute de données de terrain (surtout limnimétriques), il n'est pas encore possible d'approfondir vraiment ce point.

On a tout de même tenté de caractériser les deux images de septembre (sept. 72 et sept. 78) en terme de "niveau de remplissage" des réservoirs. Puis on a recherché les analogies entre ces niveaux et l'étendue des superficies inondées en aval.

La figure 17 représente la différence de niveau de remplissage des réservoirs, entre septembre 1972 et septembre 1978. En d'autres termes: qu'observe-t-on de plus en année "humide" (1978) qu'en année "sèche" (1972)?

Le tableau sur la page suivante résume les résultats obtenus:

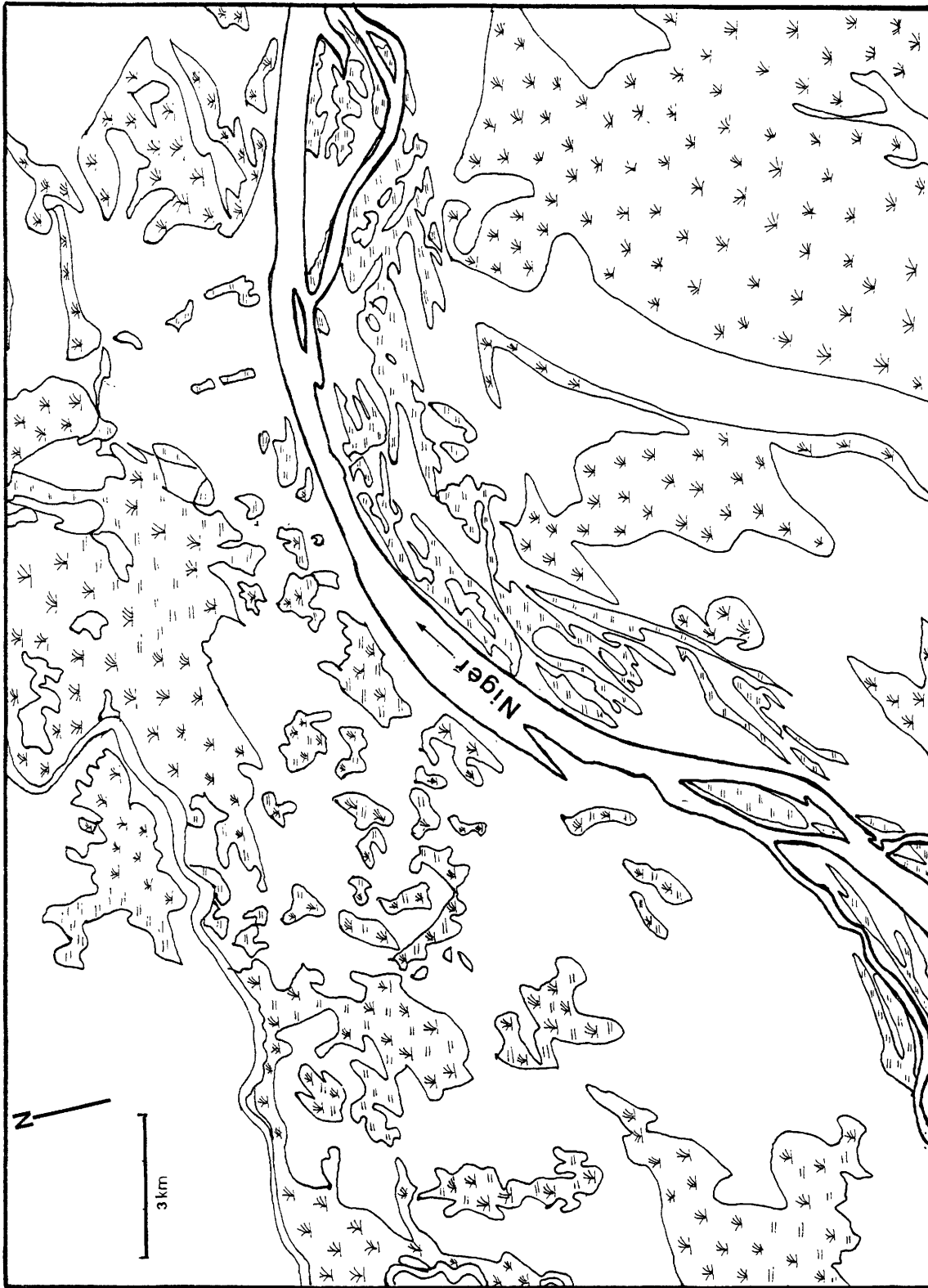


Figure 17: Augmentation du niveau de remplissage de réservoirs naturels d'une année "sèche" (1972) à une année "humide" (1978) - Photo-interprétation de "Composition Colorée" LANDSAT - Déversoir de KOLONGOTOMO (Rép. du MALI)

Tableau V: Extension de réservoirs naturels, en année "humide" (1978) et en année "sèche" (1972), le long du fleuve NIGER, à la hauteur du déversoir de KOLONGOTOMO (Rép. du MALI) - Eau libre (I) - Couverture végétale proche de 100% (II) - Situation intermédiaire (III)

	Classe I	Classe II	Classe III	T O T A L
Sept. 1978	7245 ha	15.870 ha	9735 ha	32.850 ha
Sept. 1972	4725 ha	7240 ha	2425 ha	14.390 ha
"78"- "72"	2520 ha	8630 ha	7310 ha	18.460 ha

En première approximation, on retrouve une évolution analogue à celle observée en aval, dans les grandes plaines d'inondation (cf. 2.2.2) de l'année "sèche" à l'année "humide": pour une augmentation globale de 18.460 ha des superficies inondées au niveau des réservoirs, 47% (soit 8630 ha) concernent la classe II (couverture végétale de l'ordre de 100%) et 14% (soit 2520 ha) la classe I ("eau libre").

Il semble donc que l'évolution qualitative observée au niveau de grandes étendues (dans le delta), apparaisse également au niveau de petites unités particulières.

### 3. Interprétation numérique d'une image LANDSAT - Site de TAMANI - Scène du 28 Novembre 1975

Nous avons vu au paragraphe 2.2 quelques-unes des potentialités de l'interprétation visuelle d'images LANDSAT, tant sur le plan agronomique que sur le plan hydrologique et hydrique.

Nous allons voir à présent les résultats obtenus par exploitation des mêmes scènes LANDSAT mais sous leur configuration digitale, ceci dans le domaine de la "cartographie du mode d'occupation des terres", plus particulièrement de celle des superficies cultivées en riz. La scène du 28 Novembre 1975 a été choisie parcequ'elle présente le plus de "vérité-terrain".

#### 3.1 Définition de réponses spectrales

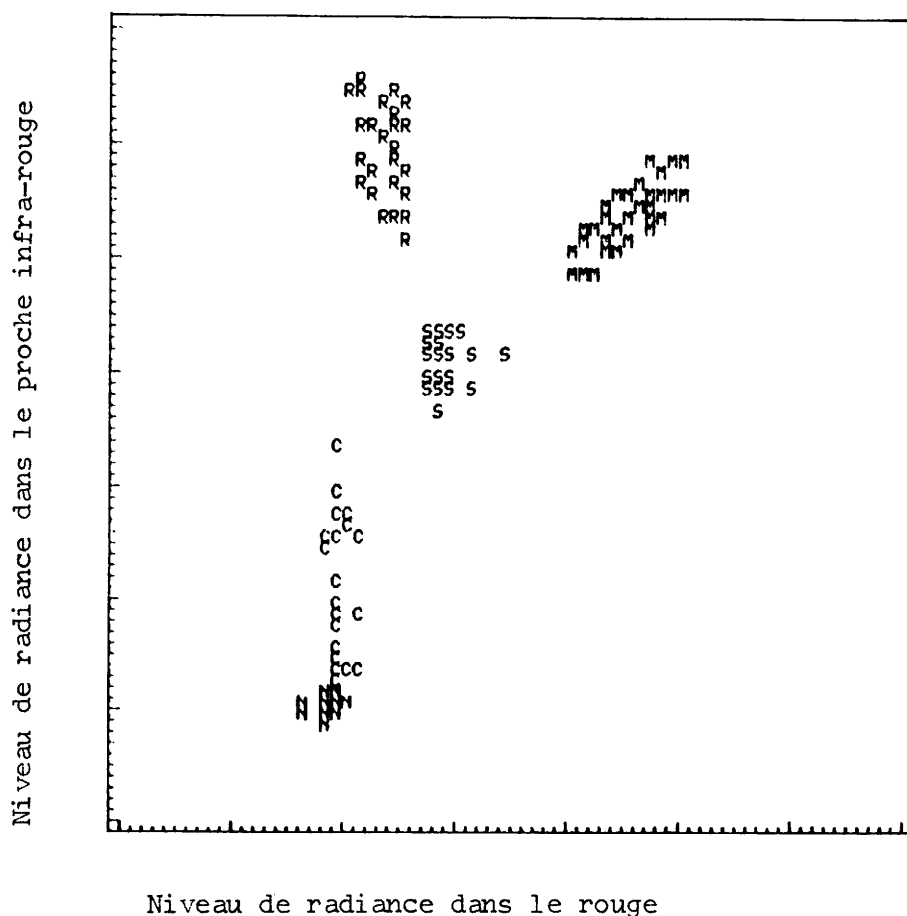
Il convient dans un premier temps d'établir dans quelle mesure les unités de paysage d'intérêt particulier (cf. légende p. 34) peuvent être caractérisées radiométriquement, plus précisément par leurs niveaux de radiance inscrits sur bande magnétique. Un bon degré de précision dans la cartographie nécessite en effet:

- des réponses spectrales bien différenciées d'une unité de paysage à une autre
- une hétérogénéité la plus réduite possible au sein de chaque unité.

Cette définition de réponse spectrale a été effectuée pour les éléments de paysage suivants:

- zones inondées non occupées en riz: classe regroupant les eaux du fleuve NIGER et celles du marigot central du site rizicole de TAMANI
- zones occupées en riz (sans distinction de variété)
- zones défrichées, consacrées aux cultures sèches
- zones non défrichées entourant les précédentes: savane arbustive à arborée.

La procédure couramment utilisée en télédétection pour cette caractérisation spectrale est basée sur la position des radiances réfléchies sur un graphique bi-dimensionnel comportant d'une part le visible (bandes LANDSAT 4, Vert, ou 5, Rouge), d'autre part le proche infra-rouge (bandes LANDSAT 6 ou 7). (voir fig. 18)



**Figure 18:** Caractérisation spectrale des 4 classes (Eau: N,C - Savane: S - Riz: R - Cultures sèches: M) par leurs niveaux de radiance dans les bandes LANDSAT 5 et 7 (sans correction atmosphérique)

L'examen du graphique porte aux conclusions suivantes:

- bonne séparabilité des unités de paysage choisies: les classes apparaissent relativement "pures" du point de vue spectral
- la dispersion des valeurs est plus sensible dans le proche infra-rouge (en ordonnée) que dans le rouge (en abscisse), que ce soit d'une classe à l'autre ou à l'intérieur de la même classe. En effet, mise à part la catégorie "cultures sèches" (M), la dispersion des valeurs au sein d'une classe se manifeste par l'intermédiaire du proche infra-rouge. Ceci est très sensible dans la classe "eau": les eaux du fleuve NIGER (N) ont un niveau de radiance très bas par rapport au niveau moyen des eaux du marigot central (C), probablement à cause de la présence de végétation aquatique spontanée dans ce dernier
- la classe "riz" se distingue très bien des classes "eau" et

"savane" dans le proche infra-rouge, mais mal dans le rouge. Inversément pour la différenciation "riz" et "cultures sèches": distinction assez bonne dans le rouge, mais plus critique dans le proche infra-rouge.

Du point de vue pratique, un tel "comportement spectral" doit permettre la cartographie assez précise des unités de paysage retenues, dans la mesure où on s'efforce d'exploiter la spécificité des bandes LANDSAT 5 et 7.

### 3.2 Apports spécifiques des réponses spectrales dans le rouge et le proche infra-rouge

#### 3.2.1 Le rouge (0.6 $\mu\text{m}$ à 0.7 $\mu\text{m}$ , bande LANDSAT 5)

Il permet de dissocier le groupe "zone défrichée", sol nu et sec" du groupe "zone à couvert végétal dense, zone humide", le premier ayant un niveau de radiance supérieur au second. Ce comportement radiométrique était à prévoir dans la mesure où le rouge est fortement absorbé par la végétation, ce qui induit une faible radiance (rayonnement réfléchi) dans cette fenêtre optique.

Du point de vue pratique, dans notre cas cartographique, on peut voir sur la fig. 19 le résultat obtenu par classement des points en fonction de leur niveau de radiance dans le rouge: les niveaux de gris, du noir au blanc, correspondent à des niveaux de radiance croissants (le négatif ayant servi au tirage de cette image a été produit par transfert point par point des niveaux de gris sur un support photographique).

Les observations faites sur la fig. 18 se retrouvent ici: surfaces d'eau libre (Niger, marigot, mares) et zones rizicoles (Famana, Tamani et Farako) en noir ou gris foncé (niveau de radiance bas); zones de savane arbustive à arborée en gris plus pâle (radiance intermédiaire); zones défrichées à sol nu et sec en blanc ou gris très clair (niveau de radiance très élevé).

Au sud du périmètre rizicole de Tamani, la lisière entre "surfaces occupées en riz" et "surfaces consacrées aux cultures sèches" est particulièrement nette. En fait on observe ainsi par le biais du couvert végétal la zone de contact entre deux unités morphopédologiques déjà mentionnées plus haut (cf. paragraphe 2.1.1):

- terrasse subactuelle inondable représentant la plus grande partie des terres consacrées à la riziculture



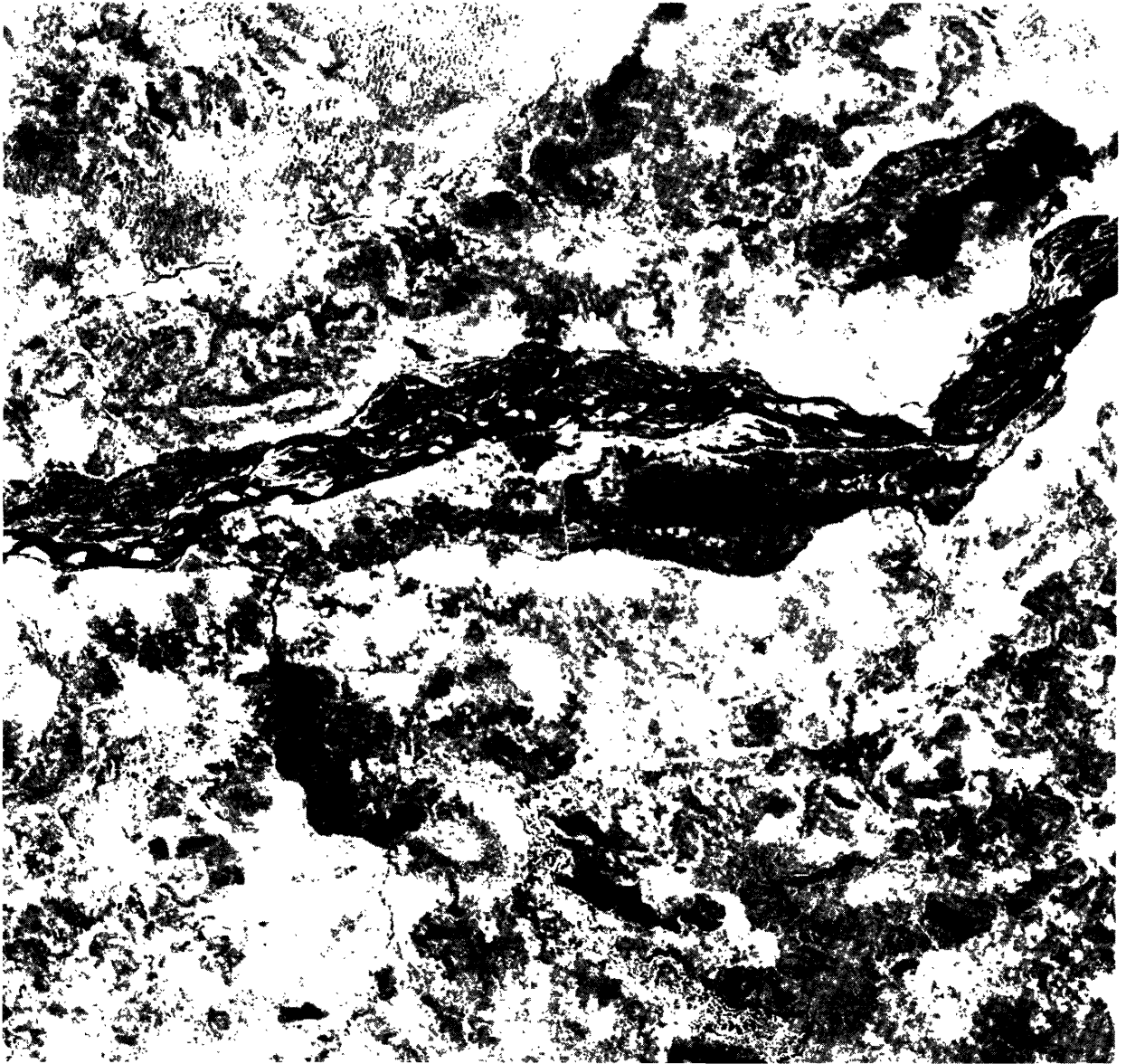


Figure 19: Détail d'une image LANDSAT représentant les sites rizicoles de FAMANA, TAMANI et FARAKO au MALI - Résultat de classement des points en fonction de leur radiance dans le rouge ( $0.6 - 0.7 \mu\text{m}$  - Scène du 28 Novembre 1975



**Figure 20:** Détail d'une image LANDSAT représentant les sites rizicoles de FAMANA, TAMANI et FARAKO au MALI - Résultat de classement des points en fonction de leur radiance dans le proche infra-rouge ( $0.8 - 1.1 \mu\text{m}$ ) - Scène du 28 Novembre 1975

- haute terrasse sablo-argileuse, ou sableuse, non inondable, rassemblant les superficies consacrées aux cultures sèches.

### 3.2.2 Le proche infra-rouge (0.8 - 1.1 $\mu\text{m}$ , bande LANDSAT 7)

De même que pour le rouge, il a été effectué dans le proche infra-rouge un classement des points en fonction de leur niveau de radiance, là encore sans corrections atmosphériques.

Le résultat obtenu est représenté sur la fig. 20.

Deux points sont très frappants :

- la netteté des composantes principales du réseau hydrographique.

On distingue par exemple très bien les bras du marigot central ainsi que les chenaux de débordement ou de vidange présents dans le lit majeur du fleuve NIGER (alors que la distinction était beaucoup moins évidente dans le rouge)

- des nuances sont introduites dans la classe "zones occupées en riz". Par exemple, sur le site rizicole de TAMANI, on peut délimiter les sous-casiers composant le casier de N'GARA ( au centre de l'image) entre les digues de DOUGOFIE à l'Ouest et N'GARA à l'Est. Suivant la nomenclature utilisée sur les documents cartographiques au Génie Rural (Plan Parcellaire et Franges Variétales - 1/20.000), on distingue (fig. 21) :

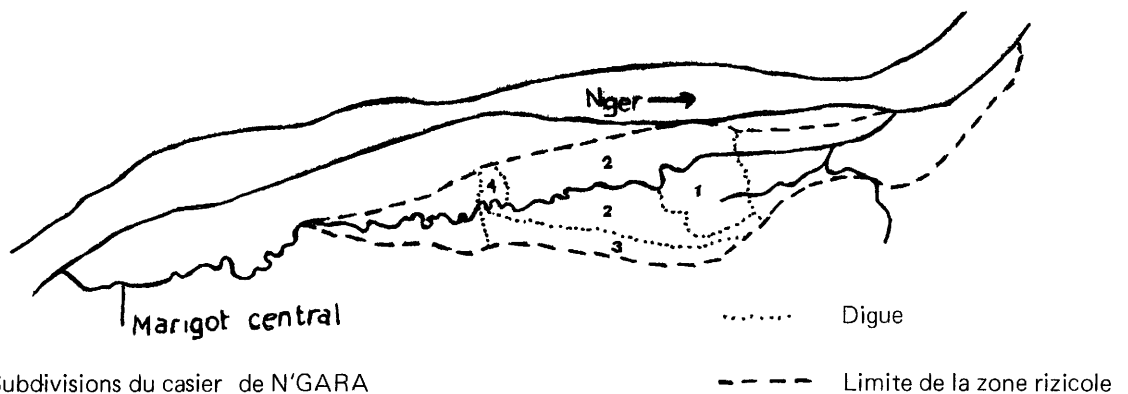


Figure 21: Subdivisions du casier de N'GARA

- le casier annexe de N'GARA ( 1 ) en gris foncé
- le casier de N'GARA proprement dit ( 2 ) en blanc ou gris très clair, au centre
- le casier annexe de DOUGOFIE ( 3 ) en gris foncé, séparé du précédent par un liseré foncé figurant la "digue canal d'alimentation du casier annexe de DOUGOFIE"

- le casier annexe de FANCHON <sup>(4)</sup> en gris très foncé.

De telles distinctions n'apparaissent pratiquement pas dans le rouge, ce qui ressortait déjà sur la fig. 18 où la dispersion des points de la classe "riz" se faisait essentiellement en ordonnée, c.à.d dans le proche infra-rouge.

Cette différenciation des sous-casiers en fonction du niveau de radiance dans le proche infra-rouge semble refléter à la fois des conditions hydriques et des stades phénologiques:

\* différenciation "casier de N'GARA" - "casier annexe de N'GARA": la radiance plus élevée du premier peut provenir de surfaces occupées en riz dressé en phase de maturation, surfaces assez sèches, en voie de jaunissement, par comparaison au "casier annexe" qui présente un niveau de radiance pouvant être celui de parcelles de riz non jauni et à teneur en eau du sol importante.

On peut penser que ce décalage dans le cycle de développement provient d'une différence variétale, les variétés dressées ayant un cycle plus court que les variétés flottantes.

Ceci n'explique pas le niveau de radiance très bas observé sur le casier de FANCHON: cette zone devrait en principe (cf. carte de franges variétales) être cultivée en riz dressé. Elle a pourtant un signal caractéristique de superficie bien verte et à taux d'humidité élevé; ce qui, compte tenu de la place de cette image dans le cycle de croissance (28 Novembre), correspondrait plutôt à des variétés flottantes.

Paradoxalement cette indétermination au niveau de l'interprétation des résultats obtenus montre la richesse d'information contenue dans ces images et donc leurs potentialités pour le suivi des superficies cultivées en riz dans cette région. Ces potentialités, mises en évidence par l'analyse multispectrale (exploitation simultanée des différentes bandes spectrales disponibles) seront sans aucun doute exaltées lorsqu'on pourra adopter aussi une approche multitemporelle (au moins deux images entre fin septembre et fin novembre). Ces conditions ne semblent pouvoir être remplies que lorsqu'on disposera d'une station de réception en Afrique couvrant la zone concernée.

### 3.3 Cartographie automatique des superficies occupées en riz - Classification par la méthode du "maximum de vraisemblance"

Nous avons vu dans les paragraphes précédents qu'il est possible de définir les réponses spectrales des quatre grandes unités de paysage retenues.

Nous avons vu également qu'il n'existe pas un niveau de radiance unique pour tous les points constitutifs d'une unité mais que ces niveaux fluctuent autour d'une valeur moyenne caractéristique, pour chacune des bandes spectrales LANDSAT.

L'étape suivante, dans le processus de cartographie automatique, consiste à définir les paramètres statistiques caractérisant la distribution des niveaux de radiance pour chaque unité de paysage. Ces paramètres permettent en fait de définir des classes dans lesquelles un algorithme de classification automatique par ordinateur va redistribuer tous les points de l'image étudiée: classes "eau", "riz", "cultures sèches" et "savane". Dans notre cas, la méthode de classification utilisée est celle dite du "maximum de vraisemblance".

L'étape finale est constituée par la visualisation du résultat de classification sous forme d'un document cartographique présentant la localisation et l'extension des catégories choisies (cf. fig. 22) (pour une raison d'espace les résultats concernant le casier I, le casier de FAMANA et celui de FARAKO sont exclus de la figure).

De façon à pouvoir apprécier la valeur des résultats obtenus, les plans parcellaires établis par le Génie Rural pour la zone rizicole de TAMANI ont été déformés géométriquement (de façon analogique) et superposés à la fig. 22 (traits rouges).

Il apparaît de prime abord que cette première classification fournit des résultats très positifs, du moins au niveau de perception choisi (c'est-à-dire sans distinction de franges variétales pour la zone "riz").

Du point de vue quantitatif, le tableau VI regroupe les résultats fournis respectivement par l'interprétation visuelle de composition colorée (cf. 2.1.2) et par la cartographie automatique en comparaison avec la "vérité-terrain".



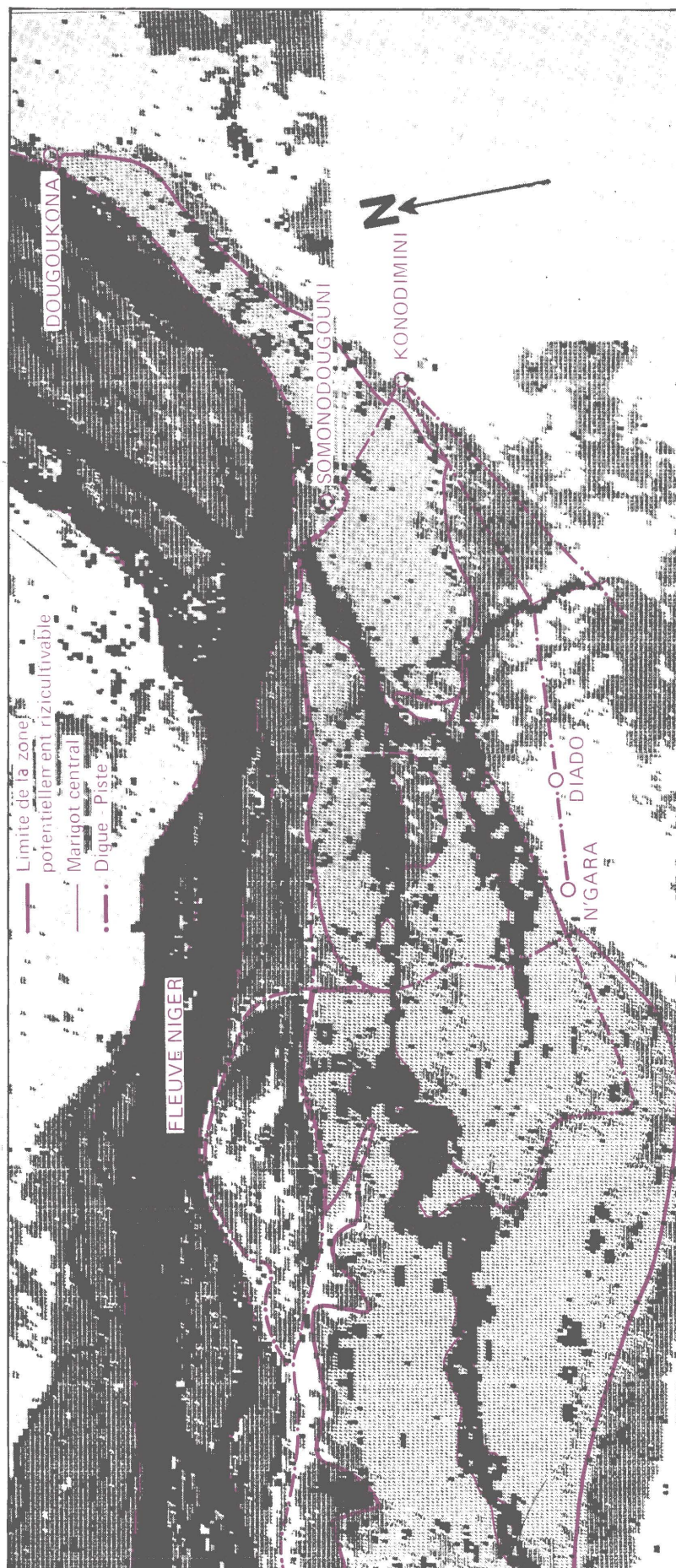


Figure 22: Mode d'occupation des terres dans la zone rizicole de TAMANI - KONODIMINI; en bordure du fleuve NIGER: Résultats de classification par la méthode du "Maximum de vraisemblance" - Scène LANDSAT du 28 Novembre 1975

- Zone défrichée - Cultures sèches
- ▒ Zone non défrichée - Savane arbustive à arborée
- ▓ Zone cultivée en riz
- Zone inondée avec ou sans végétation aquatique spontanée

Tableau VI : Inventaire des superficies occupées en riz dans la zone de TAMANI (Rép. du MALI) - Mois de Novembre 1975

"1": "Vérité-terrain"  
 "2": Interprétation visuelle  
 "3": Cartographie automatique

Zone		Superficies occupées en riz (ha)	Erreur (% de la vérité-terrain)
FARAKO	"1"	3968	—
	"2"	2270 + (1820) *	3%
	"3"	2527 + (1820) *	10%
TAMANI (Famana inclus)	"1"	8860	—
	"2"	7570 + (1560) *	3%
	"3"	6207	- 30%
TOTAL	"1"	12828	—
	"2"	13220	3%
	"3"	10554	-18%

\* (...): superficie cartographiée comme "riz probable".

Ces résultats entraînent le même type de remarques que celles exposées au paragraphe 2.1.2.

Deux points sont à noter tout particulièrement:

- la position de l'image interprétée (28 Novembre) dans le cycle de développement du riz (maturation avancée pour les variétés dressées; départ des eaux de submersion pour les variétés flottantes) introduit une confusion dans la reconnaissance des superficies occupées en riz.

Comme cela a déjà été souligné, il faudrait une autre image située vers fin octobre.

- pour le niveau de précision recherchée, l'exploitation de la scène LANDSAT sous sa forme digitalisée n'a pas apporté d'amélioration marquante par rapport au résultat obtenu par interprétation visuelle directe des compositions colorées au 1/250.000 ou au 1/100.000.

Il n'en reste pas moins cependant que l'apport spécifique de la configuration digitale est de pouvoir remonter, pour chaque élément de réso-



lution au sol, aux niveaux de radiance dans les quatre bandes spectrales, chaque bande ayant son intérêt propre comme cela a été montré au paragraphe 3.2.

#### 4. Interprétation d'une couverture aérienne photographique en infra-rouge fausse-couleur

##### 4.1 Objectif

Comme il a été dit dans le Chapitre I, il a été décidé d'effectuer une couverture aérienne photographique du site-test de Tamani en infra-rouge fausse-couleur, dans un double but, d'une part de simulation grossière de données multispectrales, d'autre part de collecte rapide de vérité-terrain sur des surfaces relativement étendues.

L'aspect simulation relève du fait que la photographie infra-rouge fausse-couleur possède trois composantes, respectivement dans le vert, le rouge et le proche infra-rouge, qui correspondent grossièrement aux bandes 4, 5 et 6 de LANDSAT. La correspondance n'est évidemment que grossière du fait d'un certain chevauchement des courbes de sensibilité spectrale des trois couches de la pellicule. Le développement en diapositives-couleur permet une interprétation visuelle comparable à celle des compositions colorées LANDSAT, tandis que la digitalisation des diapositives par micro-densitométrie permet une analyse numérique des images.

L'autre intérêt de la photographie à une échelle relativement grande réside évidemment dans le fait qu'elle devrait permettre un inventaire aisé des rizières et de leur distribution fine sur un site relativement étendu.

##### 4.2 Modalités

###### 4.2.1 Vol aérien

Suite aux spécifications demandées à l'IGN - France et compte tenu du coût de l'opération, il a été décidé d'effectuer un vol dans la seconde quinzaine de novembre, recouvrant la quasi-totalité de la zone rizicole de Tamani (casiers de Tamani, N'Gara et Konodimini). Le vol a été effectué suivant deux axes parallèles W-E, avec recouvrement longitudinal de 60% et transversal de 20%, avec une chambre WILD de format 24 x 24 cm, en focale

152 mm, fournissant pour une altitude de vol de 2300 m des documents à échelle 1/15.000 compatible avec le détail des éléments à identifier au sol. Les documents photographiques ont consisté en diapositives 23 x 23 cm en infra-rouge fausse-couleur.

Pour des motifs météorologiques, le vol a dû être retardé de quelques jours (2 décembre) pour pouvoir jouir de conditions de brume acceptables. Un total de 56 photographies a été fourni au projet, couvrant une longueur totale de quelque 40 km et une largeur de quelque 6 km.

Etant donné le court intervalle de temps de prise de vue (16'), les conditions d'illumination peuvent être considérées comme uniformes. L'heure moyenne du vol (13.26 h) correspond, à cette époque de l'année à Ségou, à 13.11 h temps solaire vrai.

#### 4.2.2 Vérité-terrain

En vue d'une interprétation objective des photographies aériennes, une campagne d'observations au sol (vérité-terrain) a été entreprise durant la période précédant le vol (6 au 25 novembre 1980) sous la conduite du responsable du projet (M. BERG) en collaboration étroite avec l'encadrement de l'ORS.

Compte tenu de la distribution des zones sinistrées pour causes hydriques, il a été décidé de limiter la campagne de vérité-terrain au seul casier de Konodimini, représentant assez bien, avec ses trois sous-casiers, les conditions de riziculture de toute la zone de Tamani.

Les observations agronomiques ont été conduites à trois niveaux différents:

- observations des parcelles attenantes aux panneaux de repérage: pour assurer un repérage précis des parcelles rizicoles sur les photographies aériennes, on a procédé à la mise en place de 11 panneaux de polystyrène blanc de 1.30 m x 1.30 m, répartis dans les trois sous-casiers à l'intersection de 4 blocs rizicoles de 12 ha. Les 4 parcelles attenantes aux panneaux ont fait l'objet d'observations systématiques concernant les paramètres suivants (voir tableau VII): type (flottant ou dressé), conditions hydriques (submersion ou non-submersion), stade phénologique, hauteur, densité, remarques diverses. Chaque parcelle observée a été ainsi caractérisée par un code simple
- observations des parcelles situées sur des itinéraires déterminés: un certain nombre d'itinéraires, fixés par l'emplacement des panneaux à installer ou choisis pour leur intérêt particulier, ont fait l'objet d'ob-

Tableau VII: Caractérisation des rizières ayant fait l'objet d'observations de vérité-terrain (Novembre 1980)

a) Variété	b) Conditions hydriques	c) Phénologie	d) Hauteur	e) Densité	f) Remarques
1 Khaogan	1 Inondé	11 Début tallage 12 Milieu tallage 13 Fin tallage 21	1 0 - 30 cm  2 30 - 60 cm	0 Presque nulle	1 Infestation par riz sauvage  2 Infestation par adventices
2 D 52	21 Non inondé; sol humide	Début montaison 22 Milieu montaison	3 60 - 100 cm	2 Moyenne	3 Couleur jaune-vert
3 Gambiaka	22 Non inondé; sol légèrement humide	23	4 100 - 150 cm	3 Forte	4 Brûlé
2' Dressé sans spécification	23 Non inondé; sol sec	Fin montaison avec début épiaison 31 Epiaison normale 32 Epiaison avec début floraison 41 Floraison normale 51 52 53 Maturation laiteuse, cireuse, complète			5 Divers

servations suivant la même procédure que ci-dessus

- observations de parcelles réparties au hasard: sur la base d'une prospection préliminaire et de la carte de distribution des franges variétales, 84 blocs, répartis dans l'ensemble de la zone-test, ont été retenus pour des observations effectuées par le personnel d'encadrement de l'ORS. Dans ces blocs, les deux parcelles les plus étendues ont été retenues, ceci en vue d'un repérage plus sûr sur les photographies aériennes.

#### 4.3 Interprétation visuelle

##### 4.3.1 Méthodologie

Etant donné le "vignettage" des photographies (artefact optique entraînant une augmentation de la densité optique dans les coins de la photo), seule la bande centrale d'une largeur de 10 cm a fait l'objet de photo-interprétation, en tirant profit du fort recouvrement longitudinal des photographies.

Une photo-interprétation de détail a été ainsi effectuée sur le casier rizicole de Konodimini (à l'exception de l'extrémité Est du sous-casier III non couverte) en y distinguant les divers types d'occupation des terres inclus à l'intérieur du périmètre rizicole, les limites extérieures du casier rizicole lui-même et les divers types de rizières discernables à la couleur et à la texture.

On a procédé ensuite pour les points de rizières, adéquatement repérés, ayant fait l'objet d'observations au sol, à une analyse comparative entre leurs caractéristiques agronomiques et photographiques, afin de pouvoir attribuer les différentes catégories discernables sur la photographie à des classes déterminées de rizières.

##### 4.3.2 Classes d'objets non rizicoles identifiables sur les photographies aériennes

Cette classification a été entreprise à l'intérieur du casier rizicole de Konodimini, limité au N et à l'W par les digues, à l'E et au S par des zones de savane arborée et arbustive et de cultures sèches.

Il convient immédiatement de préciser qu'au N de ces limites (entre la digue et le Fleuve), des objets non rizicoles pourraient être facilement confondus, par les critères de couleur et de texture, avec les rizières. Dans le cas de périmètres aménagés cependant, le critère de forme

des champs permet de lever facilement cette confusion.

Ce même critère de forme conjointement à celui de la présence de types de végétation incompatibles avec les rizières (zones arborée et arbustive, mangeraies, cultures sèches), permet de délimiter aisément le casier rizicole du côté S.

Les autres objets non rizicoles aisément reconnaissables à l'intérieur du casier sont les suivants:

- digues: reconnaissables à la forme (lignes droites) et à la couleur (vert clair, provenant du déplacement de la couleur rouge latéritique vers le vert sur photo IRC)
- zones de sol nu à réflectance très forte: couleur très claire
- marigot, mares, chenaux à eau libre: couleur vert-bleu uniforme
- végétation aquatique spontanée occupant les bords du marigot et certaines mares: couleur rose-jaune à texture plus fine que les rizières, le plus souvent en mélange avec des points vert-bleu indiquant l'eau libre
- allées entre blocs: très discernables par leur géométrie et par la couleur vert plus ou moins foncé (végétation plus ou moins sèche).

#### 4.3.3 Classes rizicoles identifiables (voir fig. 25)

Dans la description ci-dessous, les fausses couleurs de la photographie aérienne sont indiquées "entre guillemets" pour les distinguer de la vraie couleur des objets au sol.

- (1) Classe "rose-rouge clair" à texture fine, apparaissant à la loupe parsemée de points verdâtres: l'analyse comparative avec la vérité-terrain indique que cette classe représente essentiellement du riz flottant, à végétation encore bien verte étant donné le stade phénologique généralement retardé (montaison, épiaison, floraison).
- (2) Classe "vert foncé", apparaissant à la loupe avec un fond rosâtre: représente les zones rizicoles à forte couverture d'eau, les points rosâtres correspondant à la végétation rizicole clairsemée. Il s'agit sans doute de rizières noyées par suite d'un retard dans le développement au moment de la mise en eau.
- (3) Classe "blanc crème" à "blanc légèrement verdâtre", à texture fine: située à l'intérieur du périmètre rizicole (concernant donc des parcelles à contours réguliers), correspond aux rizières brûlées prématurément par le manque d'eau, avec maigre végétation sèche à réflectance négligeable par rapport à celle du sol sec pratiquement nu.

(4) Classe "vert-brunâtre": la composante brunâtre apparaît à la loupe liée à un fond à nuance légèrement rosée. Cette classe occupe souvent (tout au moins dans les sous-casiers I et II) des bandes assez étroites de terrain situées entre les classes (1) et (3). Elle représente essentiellement du riz dressé, en début de jaunissement mais avec présence de végétation verte résiduelle, responsable de la nuance rosée.

A ces 4 classes fondamentales, il convient d'ajouter les classes intermédiaires suivantes:

(5) Classe "vert foncé-rose", intermédiaire entre classe (1) et (2), représentant du riz flottant à moitié noyé, à couverture mixte riz/eau.

(6) Classe "vert brunâtre-rose", à composante rose plus accentuée qu'en classe (4), représentant du riz dressé à composante verte encore appréciable (début de jaunissement).

Il convient d'ajouter ici les remarques suivantes:

- a) aucune différence de couleur ou de texture ne permet de différencier le riz flottant du riz dressé qui se trouverait au même stade phénologique (le riz flottant en submersion insuffisante prenant d'ailleurs à la montaison l'apparence du riz dressé). La discrimination intervient en fait au niveau du stade phénologique, tout au moins dans les conditions de la campagne rizicole 1980, avec un retard pour le riz flottant, responsable de la couleur verte ("rose") caractéristique du début de la phase générative.
- b) la reconnaissance des zones inondées est facile lorsque la couverture d'eau est importante (classe 2). Elle est par contre très malaisée lorsque la couverture de la végétation est prépondérante, venant ainsi masquer la réflectance de l'eau sous-jacente. Les zones inondées semblent alors discernables par un fond légèrement plus foncé.
- c) l'établissement d'une corrélation stricte entre la classe de couleur et le rendement aurait exigé un sondage des rendements sur un nombre significatif de parcelles repérées. On a dû par contre se limiter, au cours de cette première campagne, à un sondage restreint à quelques parcelles attenantes aux panneaux de repérage, ayant fait l'objet d'un battage mécanique.

Dans ces conditions, la corrélation couleur/rendement reste aléatoire, le rendement étant fonction outre que de la vigueur de la plante, aussi du stade phénologique atteint à la fin de novembre après le retrait des eaux. Il est ainsi probable qu'une grande partie de la classe (1), à stade phénologique retardé, ne puisse par manque d'eau parvenir à maturité,

ce qui ferait attribuer à cette classe un rendement très faible.

Dans le cas de la classe (4), si le jaunissement est dû, comme on a pu le noter à l'W du sous-casier II (blocs L/M - 22/23), à l'approche de la maturation (maturation laiteuse vers le 20 novembre), la prévision de rendements peut être bonne. Par contre, dans le sous-casier III, le jaunissement est dû à l'essiccation des plantes à un stade de maturation trop précoce que pour permettre au riz d'atteindre la maturation: dans ces conditions, le rendement attendu est très faible.

En ce qui concerne les classes (2) et (3), leurs rendements peuvent être considérés comme respectivement négligeable et nul.

#### 4.3.4 Superficies correspondantes aux différentes classes rizicoles

La photo-interprétation des 15 photographies aériennes couvrant le casier de Konodimini (excepté la partie orientale du sous-casier III) a été réalisée sur la base des classes précédemment décrites.

Les résultats de cette photo-interprétation sont reportés sur la figure 23 (représentant une mosaïque construite à partir des 15 photos). Sur le tableau VIII figurent les superficies correspondantes obtenues par planimétrie des surfaces élémentaires distribuées entre les trois sous-casiers; pour ce faire, un contrôle rigoureux de l'échelle effective des photographies aériennes a été effectué sur chaque photo à partir de la longueur (400 m) et de la largeur (300 m) des blocs rizicoles; les écarts maxima d'échelle en relation avec les faibles irrégularités de vol de l'avion se situent à  $\pm 0,6\%$  autour de l'échelle moyenne de 1/15.790 qui a été adoptée pour l'ensemble de la scène.

#### Discussion

a) En ce qui concerne le riz récoltable (non brûlé et non noyé), on note la forte prédominance du riz flottant (classe 1) dans les sous-casiers I et II, et du riz dressé (classe 4) dans le sous-casier III.

b) En ce qui concerne le riz sinistré, on note dans les trois sous-casiers les importantes superficies de riz brûlé (classe 3, total 564 ha) et une part appréciable de riz noyé dans les sous-casiers I et II (classe 2, total 174 ha). Les superficies totales de riz sinistré s'élèvent donc dans le casier de Konodimini à 739 ha (contre 1758 ha de riz récoltable).



c) La superficie rizicole totale du casier de Konodimini obtenue par sommation des surfaces élémentaires des différentes classes rizicoles s'élève à 2497 ha auxquels il convient d'ajouter quelque 200 ha représentant la partie orientale non couverte du sous-casier III. Ce chiffre dépasse considérablement celui adopté pour le casier par l'ORS (2079 ha). Le résultat a par ailleurs été directement contrôlé par planimétrie rigoureuse de la surface globale rizicole telle qu'elle ressort de la mosaïque de la figure 23.

La discordance la plus forte concerne le sous-casier I (1404 ha rizicoles contre 943 ha) et en mesure moindre les sous-casiers II (566 ha contre 453 ha) et III (527 + ~200 = ~727 ha contre 683 ha).

Il faut conclure de ces données contradictoires que l'établissement de cartes topographiques précises des casiers rizicoles s'avère indispensable.

Il ne nous a malheureusement pas été possible, par manque de temps, d'étendre l'estimation des superficies rizicoles aux autres casiers de la zone de Tamani couverts par les photographies aériennes.

Tableau VIII: Superficies correspondantes aux différentes classes rizicoles obtenues par photo-interprétation, casier de Konodimini, 2 Décembre 1980

Classe	SUPERFICIES RIZICOLES (ha)			Total Casier
	Sous-casier			
	I	II	III	
1	597	257	25	879
2	120	51	3	174
3	372	110	82	564
4	211	147	295	653
5	84	1	0	85
6	20	0	122	142
TOTAL	1404	566	527	2497



Figure 23: Photo-interprétation mosaïque du casier de KONODIMINI



#### 4.3.5 Estimation de la production

L'estimation de la production rizicole du casier de Konodimini exigerait une meilleure connaissance des rendements sur un nombre significatif de parcelles. En absence de telles données, il n'est possible de tenter qu'une estimation grossière, sur la base de rendements moyens minimum et maximum supposés pour les différentes classes (tableau IX).

Tableau IX: Hypothèses de rendements moyens minimum et maximum pour les classes rizicoles non sinistrées (en quintaux/ha)

Classe	Sous-Casiers I - II	Sous-Casier III
1	4 / 8	4 / 8
4	7,5 / 15	2,5 / 5
5	2 / 4	---
6	7,5 / 15	4 / 8

Sur cette base, la production totale du casier de Konodimini (à l'exclusion des 200 ha non couverts du sous-casier III, à forte proportion de riz sinistré) se situerait entre 775 et 1550 tonnes de paddy.

Il sera tenté de préciser cette estimation avec les données de rendement accessibles auprès de l'ORS.

#### 4.4 Interprétation numérique

##### 4.4.1 Modalités de numérisation

La numérisation des photographies aériennes a été réalisée en collaboration avec l'"Istituto per la Geofisica della Litosfera" (Conseil National de la Recherche, Milan) par microdensitométrie dans les trois bandes de la fausse-couleur (bleu, vert et rouge). Deux pas différents de numérisation spatiale de l'image ont été adoptés: 200  $\mu\text{m}$  (soit 3 m à échelle 1/15.000, correspondant à une surface de pixel de 9 m<sup>2</sup>) et 400  $\mu\text{m}$  (6 m, 36 m<sup>2</sup>). D'une analyse préliminaire des données, il apparaît que le pas de 400  $\mu\text{m}$  représente la meilleure solution de compromis entre deux exigences contradictoires: celle de réduire le nombre de pixels (et donc le coût en termes de digitalisation et de temps à l'ordinateur) et par ailleurs celle de ne pas détériorer excessivement le détail de l'information spatiale et spectrale.

La numérisation dans les trois canaux aboutit à une échelle de densité optique (valeurs logarithmiques) à 255 niveaux d'intensité. Ces niveaux sont enregistrés sur bande magnétique pour élaboration ultérieure à l'ordinateur.

#### 4.4.2 Aspects considérés

L'étude des potentialités de la classification semi-automatique de données numérisées, en vue de l'inventaire de zones rizicoles, s'est développée suivant deux directions:

- étude de l'information issue des photographies IRC: les potentialités d'une classification par ordinateur, pixel par pixel, dépend fortement à la fois de l'homogénéité des pellicules photographiques et de la sensibilité correcte du film aux différentes composantes de fausse-couleur (résolution spectrale)

- définition des signatures spectrales caractéristiques des classes à discriminer: sur la base des données d'observation des rizières au sol et des données de photo-interprétation des photographies aériennes, on définit des "parcelles d'apprentissage" servant de références pour les différentes classes à discriminer.

#### 4.4.3 Etude de l'information issue des photographies IRC

a) L'homogénéité des photographies aériennes a été estimée en tirant profit de leur superposition longitudinale (60%) qui fait apparaître une même zone sur le terrain, d'une part dans la partie centrale d'une photo (cas A), d'autre part dans la partie latérale de la photo contiguë (cas B).

La figure 24 illustre pour ces deux cas la distribution du nombre de pixels en fonction de l'intensité mesurée de la composante spectrale rouge-fausse-couleur. Une distorsion marquée se note dans le cas B pour lequel 20% de pixels présentent une radiance hors limites qu'il ne serait possible de récupérer que par modification de l'échelle de numérisation. Une telle modification n'a pas été tentée car elle dégraderait de manière sensible le détail spectral de la zone centrale (cas A).

Cette distorsion, conséquence du "vignettage" est généralement très importante dans les coins de la photographie. Il a été décidé d'y remédier en n'utilisant que la partie centrale des photographies, dans le sens longitudinal, afin d'assurer une couverture totale du terrain mais sans recouvrement.

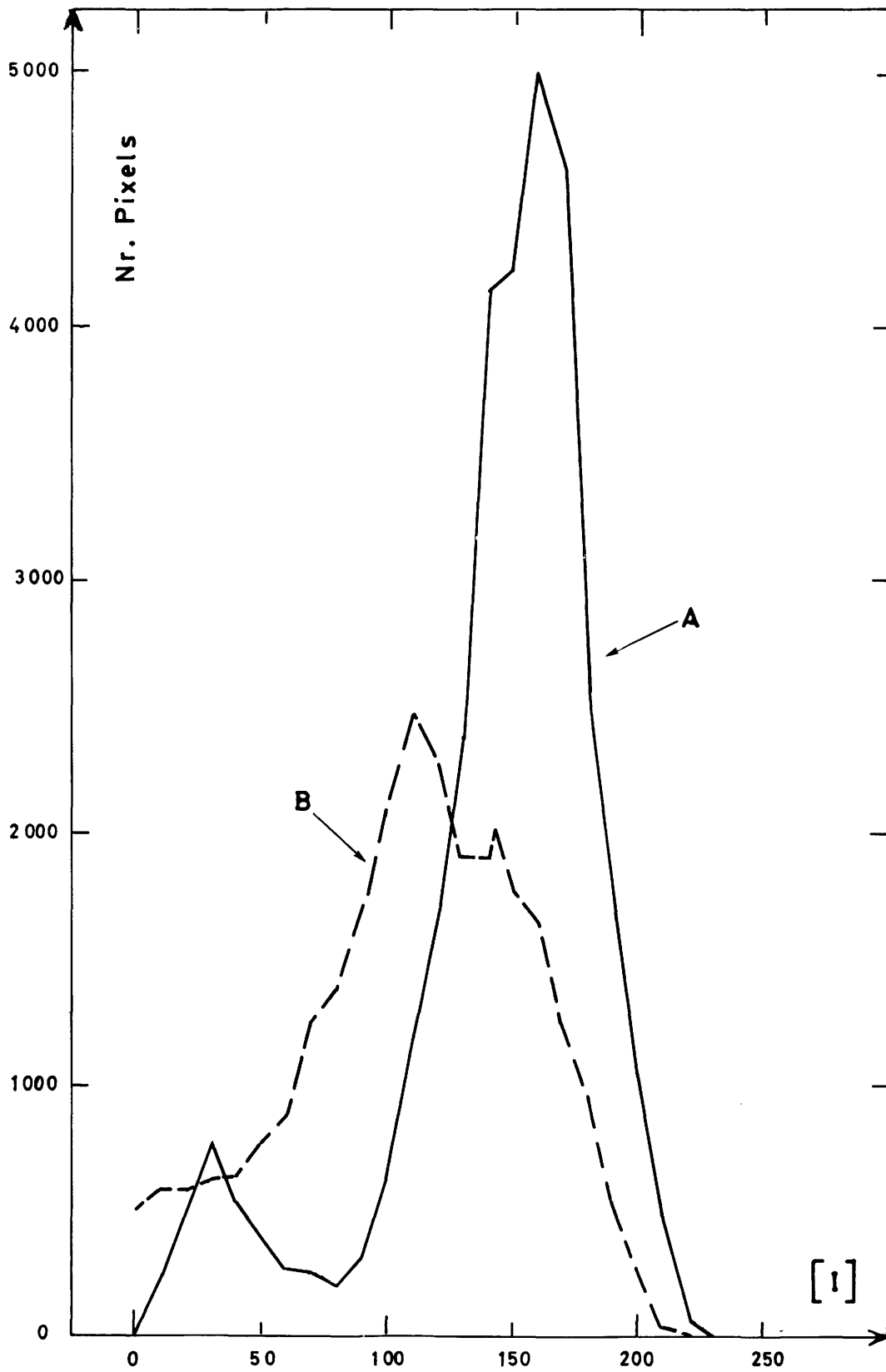


Figure 24: Effet de "vignettage" des photographies aériennes (se référer au texte 4.4.3 a)

b) On a analysé la résolution spectrale des données par la détermination des paramètres statistiques caractérisant la radiance numérisée dans l'espace tridimensionnel des trois fausses-couleurs (canal 1: "bleu", canal 2: "vert", canal 3: "rouge"), en utilisant la partie centrale numérisée de 7 photographies (correspondant à quelque 250 x 500 pixels, soit à une surface d'environ 4,5 km<sup>2</sup>).

On a calculé les coefficients de corrélation linéaire  $C_{i-j}$  ( $i, j = 1, 2, 3$ ) entre les réponses spectrales d'un canal  $i$  à l'autre canal  $j$ , ainsi que le contenu informatif  $\phi_{MAX}$  fourni par la "composante principale" dans un espace obtenu par transformation linéaire de l'espace tridimensionnel originel, de telle manière qu'il en résulte trois axes orthogonaux nouveaux sans plus de corrélation entre les données des 3 canaux ( $C_{i-j} = 0$  pour chaque  $i$  et  $j = 1, 2, 3$ ) (transformation de Karhunen - Loève).

Les valeurs reportées dans le tableau X indiquent clairement la forte corrélation entre les trois canaux de la fausse-couleur. De fait, une représentation monodimensionnelle des données (photo noir et blanc) qui utiliserait les données transformées le long de l'axe de la composante principale, contiendrait environ 95% de l'information globale contenue dans la pellicule originale.

Tableau X: Coefficients de corrélation linéaire entre les trois canaux et vecteurs propres relatifs à la composante principale de la transformation linéaire de Karhunen - Loève

	PHOTOGRAPHIE N°						
	1	2	3	4	5	6	7
C1↔2	0,98	0,98	0,98	0,94	0,94	0,95	0,98
C1↔3	0,91	0,89	0,94	0,89	0,80	0,84	0,90
C1↔4	0,93	0,94	0,97	0,98	0,94	0,94	0,92
$\phi_{MAX}$	95,8	95,6	97,6	96,4	94,2	94,1	95,7



#### 4.4.4 Classification des données numériques

Cette classification a été effectuée au moyen de l'algorithme classique du "maximum de vraisemblance".

Dans une première phase, l'analyse de la vérité-terrain disponible pour la scène de la partie centrale de la photo n° 20 a permis d'identifier 22 "parcelles d'apprentissage" représentatifs de 5 catégories différentes (4 classes riz + 1 classe eau) servant de base à la classification. Les données de radiance des pixels contenus dans chaque parcelle d'apprentissage permettent de définir les paramètres spectraux moyens (radiance moyenne et matrice de variance - covariance) et par là, d'effectuer une première estimation grossière des classes à utiliser dans la classification.

Dans une phase successive, on modifie les paramètres de ces classes pour les adapter à la scène à classifier, au moyen d'une procédure, mise au point au CCR - Ispra, qui consiste à inclure dans le "classificateur" ("parcelles d'apprentissage") les paramètres calculés sur les pixels classifiés par le classificateur lui-même, ceci d'une manière itérative. Au terme de cette procédure, on considère comme classificateurs bien adaptés à la scène considérée seulement ceux que l'itération fait converger vers des valeurs stables des paramètres statistiques.

La figure 25 illustre le résultat d'une telle classification semi-automatique appliquée à une partie de la photo n° 35 (fig. 26) à partir de 10 classificateurs retenus par la procédure itérative. A titre de comparaison, la figure 27 illustre le résultat de la photo-interprétation appliquée à la même scène.

#### Discussion

a) La forte corrélation entre les trois bandes spectrales réduit de manière drastique le contenu informatif des données photographiques disponibles.

Il en résulte deux conséquences:

- les paramètres statistiques moyens définissant les classes obtenues par la procédure itérative ne sont pas suffisamment stables en passant d'une photographie à l'autre, ceci par suite d'une caractérisation spectrale insuffisante à partir d'un espace pratiquement unidimensionnel.

- les catégories à discriminer ne sont pas spectralement bien séparées, ce qui aboutit à des résultats de classification assez aléatoires comme le confirment les valeurs élevées de la probabilité "Bayésienne" de classification erronée.

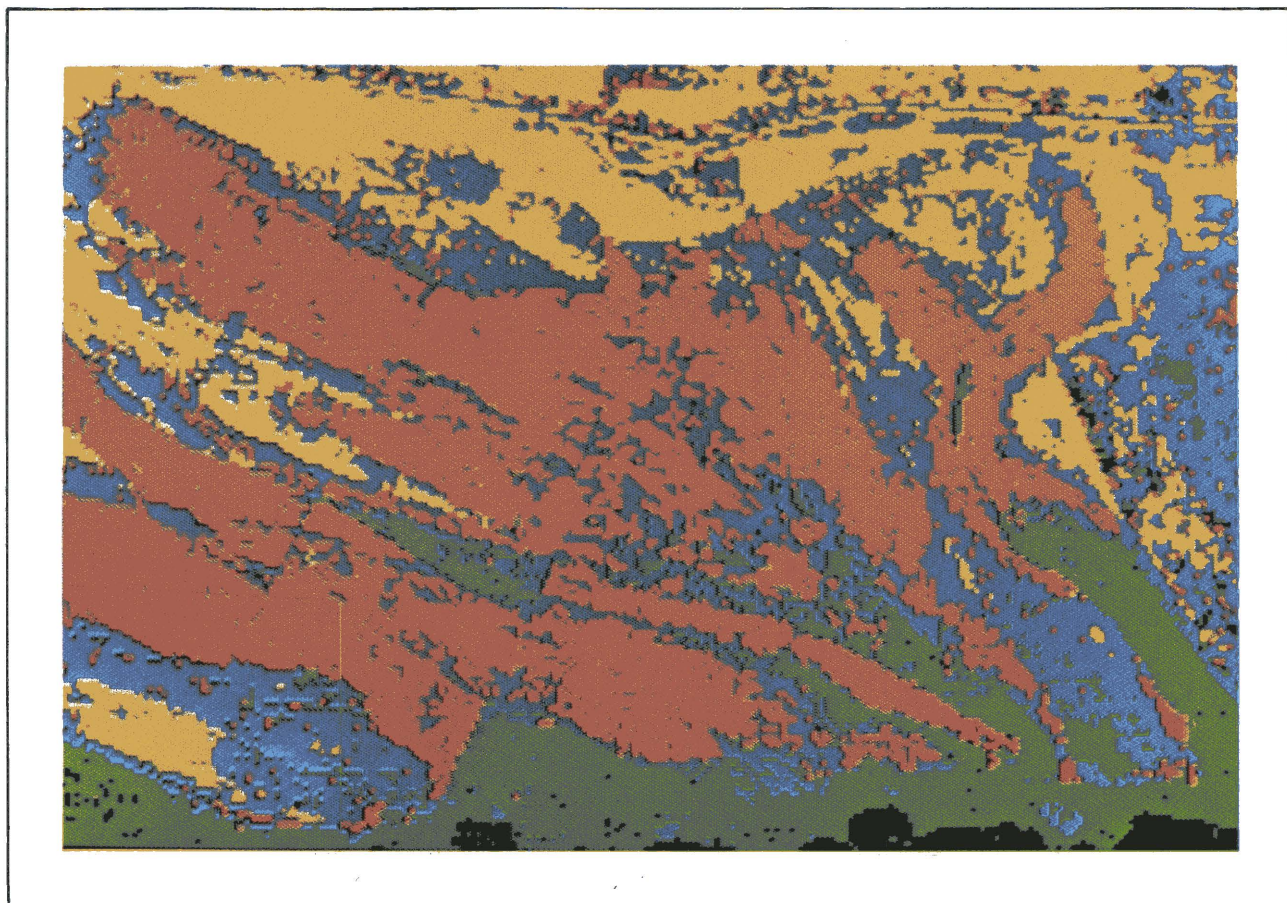
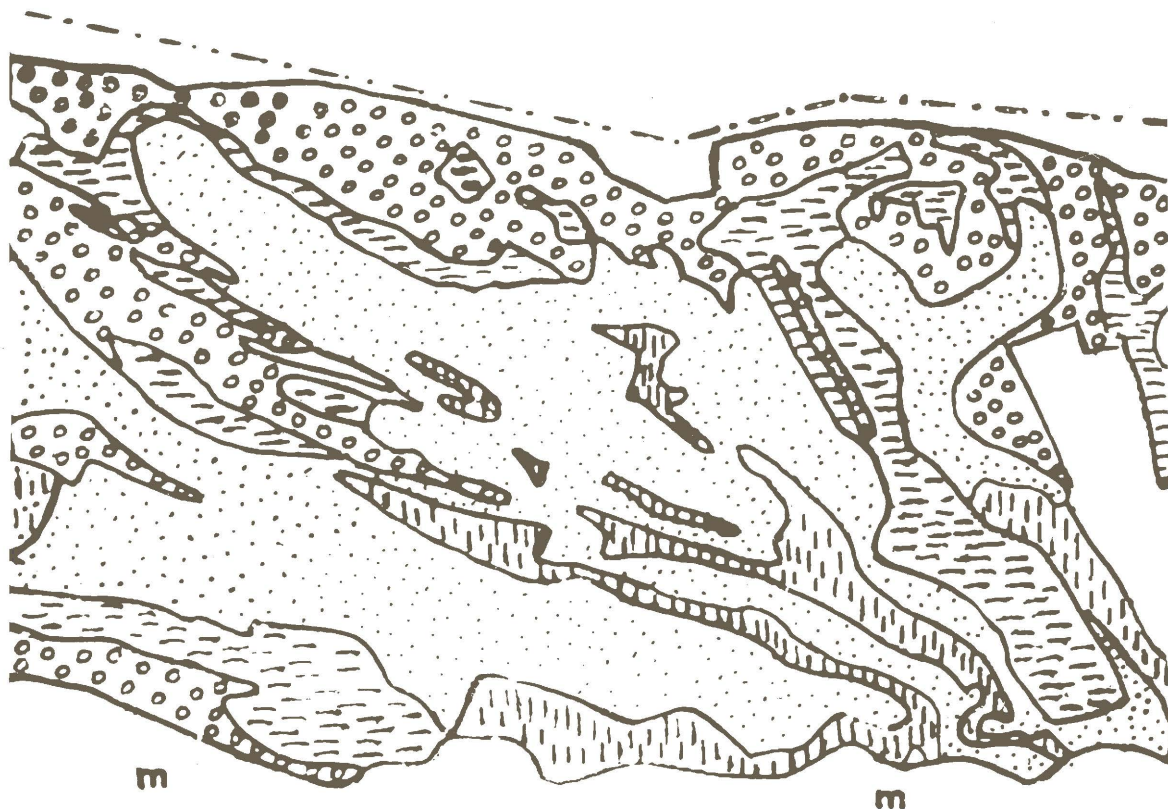
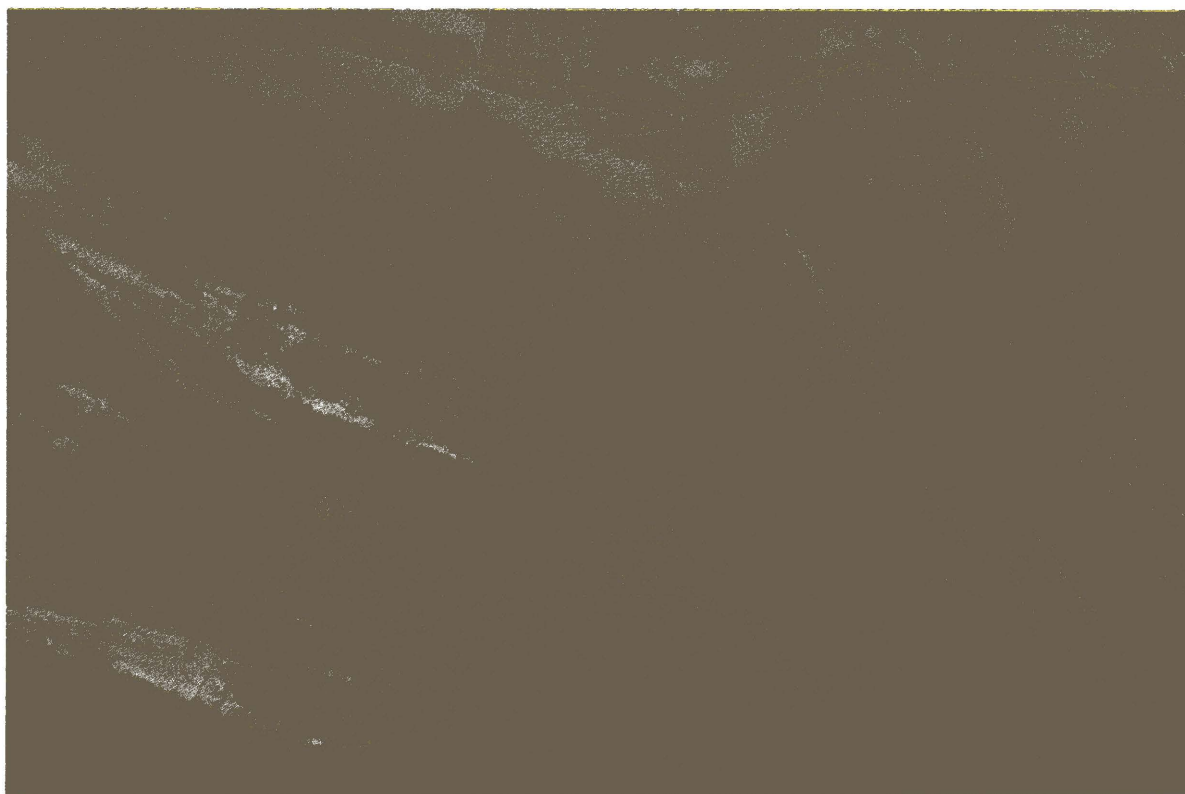


Figure 25: Résultats de l'interprétation numérique de la figure 26



Figure 26: *Page suivante en haut* - Agrandissement en positif partie photo n° 35

Figure 27: *Page suivante en bas* - Photo-interprétation de la Figure 26  
(pour la légende voir figure 23, p. 69)



b) Cette limitation majeure quant à la résolution spectrale de la photographie infra-rouge fausse-couleur est illustrée par la comparaison quantitative entre les résultats d'interprétation numérique (fig.25) et ceux de la photo-interprétation (fig.27).

Si la comparaison qualitative apparaît satisfaisante (correspondance évidente entre les classes issues des deux types de classification), la comparaison quantitative fait apparaître des discordances assez prononcées (tableau XI).

Tableau XI: Comparaison quantitative entre les résultats de classification numérique et de photo-interprétation (photo n° 35, casier de Konodimini), en % de la superficie totale

Classe	Interprétation numérique (%)	Photo-interprétation (%)
Riz vert (1)	33,8	44,6
Forte couverture en eau (2)	12,9	13,0
Riz brûlé (3)	17,9	23,1
Riz jaunissant (4)	34,8	19,3

c) Un test plus précis de fiabilité de la méthode d'interprétation numérique consisterait en une "matrice de confusion" élaborée à partir d'une comparaison détaillée, pixel par pixel, entre les catégories observées par la vérité-terrain et les classes issues de la classification semi-automatique (5). Une telle matrice permet en effet l'analyse fine des erreurs de classification et non seulement une estimation globale de l'erreur d'inventaire (qui peut à la limite se réduire fortement dans le cas d'erreurs compensatoires).

L'élaboration d'une telle matrice de confusion s'avère cependant irréalisable dans le cas de l'analyse numérique des photographies aériennes car elle exigerait une vérité-terrain extrêmement détaillée portant sur des surfaces petites correspondant à la surface des pixels ( $6 \text{ m} \times 6 \text{ m} = 36 \text{ m}^2$ ). Une telle vérité-terrain apparaît irréaliste et dénuée de sens pratique.

Cette considération met en relief la signification de la résolution spatiale dans toute opération de télédétection: une résolution trop fine en arrive à masquer en quelque sorte les caractéristiques générales des objets à classifier et ne représente pas nécessairement une performance souhaitable.



A ce point de vue, une résolution spatiale de 20 m (telle que celle attendue de SPOT) pourrait constituer une bonne solution de compromis.

d) Dans une optique plus opérationnelle d'une interprétation visant à obtenir une information d'ordre plus général, sur la base d'une vérité-terrain issue à la fois de l'examen de la photographie aérienne, corroboré par une prospection ponctuelle sur le terrain, une classification numérique semi-automatique (à partir de données de résolution spectrale plus adéquate que celle des photographies aériennes) apparaît de prime abord comme une procédure lourde et coûteuse vis à vis de la photo-interprétation. Cette dernière méthode présente en effet des avantages appréciables en ce qui concerne les temps d'élaboration des données, les coûts et les performances obtenues.

L'intérêt de l'interprétation numérique pourrait cependant résider dans une analyse quantifiable, plus objective et plus fine, des données spectrales.

### Ch. III Formation

Le volet formation a concerné jusqu'à présent deux stagiaires maliens, MM Batiécoura TOGOLA et Mahamane KONAKE, de formation respectivement agronomique et cartographique. Il a été abordé sur le terrain, au Mali, durant la campagne rizicole 1980/81 (septembre - décembre 1980) et s'est poursuivi au Centre de Recherche des Communautés Européennes d'ISPR, en Italie, pendant une période de trois mois (du 1/4 au 29/6/81).

Ce stage leur a permis, d'une part, de se familiariser avec différentes méthodologies scientifiques appliquées au domaine agronomique et radiométrique, d'autre part, d'acquérir ou d'approfondir certaines notions théoriques de base dans les domaines des rayonnements électromagnétiques, de la photographie aérienne et des satellites LANDSAT, appliquées ensuite au sujet spécifique d'étude.

#### 1. Méthodologies scientifiques

- Types de mesures agronomiques rendant compte du développement et de la croissance du riz ainsi que de l'évolution de la structure de la plante au cours du cycle phénologique
- Notions de statistique biométrique (échantillonnage, paramètres statistiques et leur calcul par ordinateur)
- Notions de radiométrie, paramètres radiométriques (irradiance, radiance, réflectance)
- Apprentissage de mesures radiométriques à l'aide d'un radiomètre multispectral à 4 canaux (MATRA) et application à des mesures de routine sur rizières à partir de plate-forme.

#### 2. Notions théoriques de base

L'aspect "Rayonnement électromagnétique et ses interactions avec les objets au sol", fondamental en télédétection puisqu'il détermine la nature et la qualité des documents utilisés, a été abordé à la fois sur le plan théorique et sur le plan applicatif à travers l'exploitation des mesures radiométriques faites sur le terrain.

Un résumé des "Eléments de photographie aérienne" a également fait l'objet d'exposés: distance focale et angle de vue, sensibilité spectrale, résolution spatiale, types de film, photographie multi-spectrale ...

Enfin ont été présentées les principales caractéristiques des satellites LANDSAT: principe de satellisation, orbites, caractéristiques optiques, types d'image, stations de réception au sol ...

### 3. Techniques de télédétection ayant fait l'objet d'exercices pratiques

#### 3.1 Photo-interprétation d'images "avion"

Deux types de documents ont été étudiés

- photographie aérienne en infra-rouge noir et blanc: couverture au 1/50.000 de mai 1974 sur la zone de TAMANI
- photographie aérienne en infra-rouge fausse couleur :couverture au 1/15.000 de décembre 1980 sur le même site.

Le premier type de document a été exploité pour la définition du mode d'occupation des terres; le second a porté plus précisément sur l'inventaire des superficies rizicoles productives de la zone de TAMANI.

#### 3.2 Photo-interprétation d'images du satellite LANDSAT

Les deux stagiaires se sont familiarisés avec les méthodes d'interprétation visuelle d'images LANDSAT sous forme de "compositions colorées" au 1/250.000.

Ceci dans deux domaines particuliers:

- définition du mode d'occupation des terres et plus particulièrement inventaire des superficies cultivées en riz
- définition de certains aspects de la dynamique de crue du fleuve NIGER; cartographie des superficies inondées.



### 3.3 Traitement numérique d'une image multispectrale LANDSAT

Une brève séance au Laboratoire de Traitement d'Images a permis de présenter quelles sont, sur le plan pratique, les opérations de base à effectuer pour l'exploitation de ce type d'images sous leur configuration digitale (bande magnétique).

## 4. Appareillage utilisé

Les différents aspects abordés ont entraîné l'utilisation d'appareillage spécialisé: radiomètre de terrain, stéréoscope à miroir, planimètre de table, terminal d'accès à un ordinateur, traceur de courbe, mini-calculateur de type "Hewlett-Packard".

Il est prévu une participation active des deux stagiaires maliens à la campagne 1981/82 sur le site-test de Tamani, ainsi qu'un second stage de 3 mois au CCR - Ispra au début de 1982.

## CONCLUSIONS GENERALES

1. Les activités de la première année du projet ont été essentiellement axées sur l'objet du volet agronomique, à savoir la prévision à court terme de la production rizicole, l'amorce du volet hydrologique faisant l'objet d'un contrat avec un institut extérieur.
2. Les mesures radiométriques au sol laissent entrevoir les potentialités de la télédétection pour un inventaire précoce des superficies inondées et de la biomasse végétale verte. Il convient d'augmenter la significativité de ces mesures par l'organisation d'une campagne de mesures itinérantes.
3. L'interprétation visuelle de l'imagerie-satellite disponible sur le cours moyen du Niger, permet, même dans les conditions de faible résolution spatiale de LANDSAT, une caractérisation du mode d'occupation des terres et un inventaire approximatif des superficies rizicoles de périmètres aménagés ainsi que de leurs variations d'une année à l'autre. Cette interprétation visuelle apparaît également prometteuse pour la reconnaissance de réservoirs indicateurs des conditions de crue du Fleuve et pour l'inventaire des zones inondées.
4. L'interprétation numérique de l'imagerie-satellite disponible sur le site de Tamani, permet elle aussi un inventaire des superficies rizicoles sans toutefois présenter d'avantage marquant par rapport à l'interprétation visuelle.
5. L'utilisation de la photographie aérienne infra-rouge fausse-couleur dans l'objectif de simulation grossière de données multispectrales s'avère inadéquate par suite d'une résolution spectrale insuffisante. Par contre, ce type de données s'avère utile pour la reconnaissance de différents types de rizières au début de la maturation et comme un auxiliaire efficace dans l'acquisition de la vérité-terrain. Ici aussi, l'avantage semble être en faveur de l'interprétation visuelle (photo-interprétation) par rapport à l'interprétation numérique, lourde et coûteuse.

6. Le volet "formation" du projet a concerné deux stagiaires maliens, à la fois par des activités sur le terrain durant la campagne rizicole 1980 et par un stage de formation au Centre Commun de Recherche des Communautés Européennes à Ispra (Italie) durant les premiers mois de 1981.

B I B L I O G R A P H I E

- (1) HEISS, K.P. et al. 1981 "Economic benefits of improved crop information on wheat and all cereals for European countries", in: "Application of remote sensing to agricultural production forecasting" (A. Berg, Ed.), Balkema, Rotterdam, 266 p.
- (2) (ANONYME) 1975 "Etudes économique et hydro-agricole du barrage de Sélingué sur le Fleuve Sankarani. Effets économiques du barrage dans le domaine agricole". PNUD, Projet MLI/73/007, Rapport final
- (3) Mac DONALD, R.B., HALL, F.G. 1977 "LACIE: a proof-of-concept experiment in global crop monitoring". NASA-ISG, Houston, Texas, 25 p.
- (4) GREGOIRE, J-M. 1980 "Campagne de mesures radiométriques au Mali" - Rapport de mission septembre 1980
- (5) BERG, A., FLOUZAT, G., GALLI de PARATESI, S. 1978 "Synthèse des résultats acquis dans le cadre d'un programme de collaboration européenne en télédétection, appliqué à l'agriculture et à la sylviculture (Projet AGRESTE)", Comptes-Rendus Conf. Int. Toulouse 6-11/3/1978 (ESA-SP-134): 27-40
- (6) BUNNIK, N.J.J. 1981 "Fundamentals of remote sensing. Relations between spectral signatures and physical properties of crops", in: "Application of remote sensing to agricultural production forecasting" (A. Berg, Ed.), Balkema, Rotterdam, 266 p.
- (7) MILTON, E.J. 1980 "A portable multiband radiometer for ground data collection in remote sensing". Int. J. Remote Sensing, 1, 2: 153-165
- (8) BERTRAND, R. 1974 "Les systèmes de paysages de plaines inondables du delta vif du Moyen Niger (MALI). Une application de la cartographie morphopédologique en vue de l'aménagement hydroagricole". L'Agronomie Tropicale, n° 2-3
- (9) (ANONYME) 1976 "Rapport de campagne agricole 75/76", Opération Riz Ségou, 20 p.

S O M M A I R E

Ch. I	<u>Généralités</u>	p. 3
1.	Origine du projet	3
2.	Objectifs	3
3.	Techniques d'investigation	5
4.	Approches des problèmes	7
Ch. II	<u>Exposé des résultats et discussion</u>	11
1.	Mesures radiométriques au sol	11
2.	Interprétation visuelle d'images LANDSAT: aspects méthodologiques - conséquences pratiques	26
2.1	Caractérisation du mode d'occupation des terres	26
2.2	Comparaison de deux années très contrastées du point du vue des disponibilités en eau	38
2.3	Repérage et suivi de réservoirs naturels indica- teurs	45
3.	Interprétation numérique d'une image LANDSAT - Site de TAMANI - Scène du 28 novembre 1975	51
3.1	Définition de réponses spectrales	51
3.2	Apports spécifiques des réponses spectrales dans le rouge et le proche infra-rouge	53
3.3	Cartographie automatique des superficies occupées en riz	58
4.	Interprétation d'une couverture aérienne photographique en infra-rouge fausse-couleur	61
4.1	Objectif	61
4.2	Modalités	61
4.3	Interprétation visuelle	64
4.4	Interprétation numérique	71

Ch. III	<u>Formation</u>	p. 80
	Conclusions générales	83
	Bibliographie	85
	Sommaire	86

A N N E X E 1Personnel mis à la disposition du projet

- 1 chercheur, Chef de projet (BERG A., agronome), CCR - Ispra
- 1 expert environnementaliste en télédétection (GREGOIRE J-M.), A.E.C, affecté au CCR - Ispra
- 1 technicien (BONVINI G-C.), CCR - Ispra (à partir de 1981)
- 1 technicien (SENTOLL J.), CCR - Ispra, 25%
- 1 informaticien (BEONIO-BROCCHIERI), CCR - Ispra (à partir d'avril 1981)
- 1 analyste de données (HUBAUX A.), CCR - Ispra, 50% (à partir d'avril 1981)
- 2 stagiaires maliens (TOGOLA B., KONAKE M.), détachés à l'ORS - Ségou de septembre à décembre 1980 et en stage auprès du CCR - Ispra, d'avril à juin 1981



Zone rizicole de TAMANI - KONODIMINI (en bordure du fleuve NIGER): Scène LANDSAT du 28/11/75.

