

11670

DDC 48.13

A. Sy

SEMINAIRE SUR LE SUIVI DU DEVELOPPEMENT
DU BASSIN DU FLEUVE SENEgal : L'EXPERIENCE DE LA CEPC/OMVS
ET LES STRUCTURES NATIONALES

(BAMAKO, 20 - 26 SEPTEMBRE 1990)

UTILISATION DE LA TELEDETECTION POUR LA GESTION
DES GRANDS PERIMETRES IRRIGUES, IMAGERIE SPOT
- UN CAS D'APPLICATION A L'OFFICE DU NIGER, MALI -

Mamadou Siré CAMARA
Nouhoum Amadou SOW
CRTD/OUAGADOUGOU

OUAGADOUGOU, Septembre 1990

I. - INTRODUCTION

L'étude est une étude méthodologique qui tente, à travers l'imagerie SPOT, de dégager l'apport de la télédétection dans la gestion des grands périmètres irrigués.

Elle est basée sur l'analyse analogique et numérique de 2 images SPOT (K44/J321 et K45/J322) au niveau de l'Office du Niger (MALI) acquises en février et novembre 1988.

La zone d'étude (cf. fig. 1) qui se situe dans le Delta Central du Niger en aval de Ségou comprend les périmètres irrigués du Sahel et du Macina et des régions à leurs périphéries.

Le débit du fleuve Niger qui alimente l'Office est sujet à de fortes variations annuelles et saisonnières qui n'affectent heureusement pas les besoins de l'Office même en années de faible crue.

Malheureusement cette disponibilité en eau est à l'origine de gaspillage et donc d'une remontée des nappes phréatiques, d'une forte augmentation du PH et de l'apparition d'efflorescences salines localisées.

Les sols de l'Office très profonds (2-5m) sont de texture argileuse à sablo argileuse mais de fertilité médiocre.

Le climat est du type soudano-shaélien avec une seule saison des pluies allant de Mai à Octobre et des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 600 mm.

Le mode d'exploitation des terres aménagées comprend la régie (5% des superficies) et le colonat. Mais depuis quelques années on assiste également à la mise en culture de zones non aménagées situées en périphérie des périmètres de l'Office utilisant les eaux excédentaires de drainage.

Au niveau de l'Office, il y a lieu de signaler également l'accroissement des superficies mises en maraîchage de contre saison.

Après cette partie introductive, la présente communication donne les objectifs de l'étude avant d'aborder les aspects méthodologiques et de traiter des résultats cartographiques et de l'évaluation et des discussions de ces résultats. Elle se termine par des conclusions succinctes.

III. - OBJECTIFS DE L'ETUDE

Les objectifs généraux de l'étude étaient de savoir si l'utilisation des innovations techniques du satellite SPOT, en particulier les possibilités de programmation et une résolution au sol de 20 m en mode multispectral, permettrait une meilleure connaissance de l'état réel des superficies cultivées et par là même une meilleure gestion de l'eau.

Deux (2) images SPOT XS (K44 J 321 et K45 J 322) ont été acquises chacune à 2 dates (15 février et 1er novembre 1988) pour :

1° - l'étude méthodologique des thèmes suivants :

- (M1) l'inventaire des modes d'utilisation de l'eau à l'intérieur et à l'extérieur des casiers officiels de l'Office du Niger en mettant en évidence :

(M1.1) les zones mises en eau pour la riziculture par rapport aux infrastructures existantes : alimentation en eau par les canaux (riz en casier par les drains (riz hors casiers) ;

(M1.2) les zones actuelles de maraîchage hors aménagements ;

(M.2) L'étude de la maîtrise de l'eau et du système de production par :

(M.2.1) l'inventaire des zones mal drainées

(M2.2.) l'inventaire des zones salées à l'intérieur des aménagements actuels, dans l'optique d'une diversification des cultures

(M2.3.) un inventaire des superficies rizicoles à différents stades du cycle cultural et la mise au point, si cela s'avère possible, d'une méthode permettant, par un calage sur le terrain, de relier l'observation par satellite au niveau de la production agricole.

2° - Préciser les méthodes de traitements (analogique ou numérique) les mieux adoptés aux thèmes choisis ; leurs avantages et leurs inconvients.

3° - Déterminer les limites d'utilisation de l'outil satellitaire SPOT ; son intérêt et son coût par rapport aux méthodes d'estimation traditionnelles d'investigation sur le terrain.

4° - Aspects méthodologiques

L'étude porte sur l'interprétation analogique et numérique des images SPOT XS - K 44 J 321 et K 45 J 322.

Deux dates d'acquisition ont été programmées en fonction des thèmes retenus :

- le 15 février 1988 (coeur de la saison sèche) pour l'inventaire des zones de maraîchage, des zones mal drainées et des zones salées ;
- le 1er novembre 1988 (période de maturation du riz) pour l'inventaire des zones mises en eau pour la riziculture et des superficies rizicoles à différents stades phénologiques.

Les données brutes de ces images ont été traitées au niveau 1B qui comporte aussi bien des corrections radiométriques que des corrections géométriques.

Ce niveau 1B permet d'effectuer des travaux courant de photo interprétation thématique. Par contre, il ne permet pas la superposition de l'image à un système de projection cartographique (Lambert, Mercator T.U.,...) ni à une scène identique acquise à une date différente.

Les valeurs corrigées ainsi obtenues sont reproduites sur divers supports.

* - Méthodes d'interprétation analogique

Pour la présente étude, les données se présentaient sous 2 formes :

- bandes magnétiques CCT (Computer Compatible Tape), basse densité (1 bande par canal et par image) :

- film positif "fausses couleurs"

L'interprétation de ce film a été réalisée au CRTO.

Sur ce film :

- . ce qui apparaît en noir provient d'objets reflétant principalement de la lumière bleue (ou ne réflétant pas d'énergie) ;
- . ce qui apparaît en bleu provient d'objets reflétant du rouge ;
- . le rouge provient d'objets reflétant de l'énergie dans le proche infra-rouge (P.I.R.).

Dans le cas particulier des thèmes proposés à l'interprétation analogique (visuelle) des images acquises en février 1988 :

- . la végétation ayant une activité chlorophyllienne au moment de la prise de vue (jardins maraîchers, jardins de case, arbres verts, riz, cultures, végétation semi-aquatique...) apparaîtra en rouge ;
- . les zones bien drainées apparaîtront plus claires et les zones mal drainées plus sombres.

Concernant les images de novembre 1988, le photo-interprète a considéré à propos de la végétation active :

- qu'il s'agissait principalement de riz lorsque le taux de recouvrement par la végétation est proche de 100% et que les zones concernées sont en contact avec les réseaux d'irrigation et/ou de drainage de l'Office du Niger.
- qu'il s'agissait de végétation aquatique autre que le riz dans les endroits identifiés comme tels sur les images de saison sèche ;
- qu'il s'agissait d'arbres et d'herbacées annuelles en fin de cycle dans les autres cas.

L'interprétation des images s'est également basée sur :

- l'observation de la texture de celles-ci ;
- l'observation de détails structuraux tels que canaux d'irrigation, casiers rizicoles, villages, marigots, gerbiers,...
- l'exploitation de la documentation existante (cartes topographiques, études antérieures, plans de casiers,...)
- l'utilisation de données récoltées sur le terrain. Pour cela 24 parcelles de référence judicieusement réparties en surface et suivant les thèmes d'étude ont été visitées approximativement aux périodes d'acquisition (soit 16 - 18 décembre 1987 ; 2 - 4 mars 1988 ; 23 - 24 novembre 1988).

Au cours de ces missions de terrain, les informations recueillies portaient sur le type de milieu, la localisation, la végétation, le sol, le régime hydrique,...

Des photographies de ces parcelles test (24 x 36 mm) ont également été prises. Ces parcelles ont été localisées précisément sur les cartes issues de l'interprétation analogique.

Ce sont des films Vizir (1/200.000) agrandis à 1/50.000 sur papier photographique couleur qui ont servi de support pour l'interprétation analogique.

Ces agrandissements ont été effectués par le Laboratoire du CRTD.

Rappelons que le film Vizir est obtenu à partir des bandes CCT par un système de traitement permettant la sortie de l'image sous forme de produit photographique en composition colorée pour laquelle aux canaux XS1, XS2 et XS3 sont affectées respectivement les couleurs bleu, vert et rouge.

Pour les 2 périmètres concernés, la limite de la zone interprétée a été établie de manière à inclure largement les terres influencées par les aménagements de l'Office du Niger.

* - Méthodes d'interprétation par traitement numérique

A défaut d'équipement approprié au CRTO, le traitement numérique a été réalisé essentiellement par un sous-traitant, le GDTA (Groupement pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale, TOULOUSE, France).

Toutefois, les bases des interprétations par ce système de traitement ont été mises au point au CRTO sur son PERICOLOR 1000 en utilisant des imagettes de 5.12 x 5.12 km autour des parcelles tests.

Ce travail préliminaire réalisé au CRTO a surtout été utile pour avoir permis de donner au GDTA des orientations sur certains thèmes et des directives précises sur d'autres thèmes.

Les différentes opérations de traitement numérique se sont déroulées comme suit :

* Extraction des données brutes

Celle-ci a consisté en une lecture sur les bandes magnétiques des données relatives aux périmètres concernés et leurs environs immédiats.

* Corrections géométriques des images

En vue de rendre superposables les images de février et de novembre, ces dernières ont subi une transformation polynomiale basée sur une dizaine de points d'appui pour chaque périmètre. Ces points ont été choisis principalement aux intersections des canaux d'irrigation.

* Classification des images du 15 février 1988

C'est la classification par maximum de vraisemblance qui a été utilisée. La classification est dite "supervisée", c'est-à-dire qu'elle se base sur un certain nombre de données de terrain et de données bibliographiques.

Dans son principe, la classification au maximum de vraisemblance calcule pour chaque pixel la probabilité d'appartenance aux diverses classes issues des parcelles témoins et attribue à chaque pixel l'appartenance à la classe la plus probable.

Si, pour une classe, la probabilité ne dépasse pas un certain seuil, le pixel reste "non classé".

Pour la présente étude, c'est le document d'interprétation analogique et les parcelles test visitées au cours des missions qui ont servi de vérité terrain.

* Lissage du résultat

Le lissage consiste à attribuer aux pixels isolés la valeur de la majorité des pixels qui les entourent, le but final de l'opération étant de rendre les résultats plus lisibles en donnant aux classes des contours plus francs.

* Classification des images du 1er novembre 1988

D'abord, les annotations générées sur les images de février ont été reportées directement sur les images de novembre.

Après divers essais infructueux de classification des canaux bruts, la méthodologie finalement retenue est celle reposant sur un seuillage de l'Indice de Végétation Normalisé (I.V.N)

L'Indice Normalisé contribue en fait un nouveau canal obtenu à partir des canaux XS2 (rouge) et XS3 (PIR : Proche Infra-rouge).

$$\text{Il se formule comme suit : IVN} = \frac{\text{XS3} - \text{XS2}}{\text{XS3} + \text{XS2}}$$

Les valeurs de cet indice, basé sur la différence de réponses proche infra-rouge et rouge sont comprises entre - 1 et + 1.

Après traitement, les zones à végétation active auront une valeur élevée en raison de leur forte réflectance dans l'IR et de leur relativement faible réflectance dans le visible.

Par contre, l'eau, les nuages refléchissant plus dans le visible que dans l'IR auront des valeurs négatives.

Les roches et les sols nus, refléchissant de manière similaire dans les 2 canaux auront un indice de végétation proche de 0.

Concrètement sur l'image, les valeurs de cet indice sont ramenées entre 0 et 255 par transformation linéaire.

Les valeurs ponctuelles sont ensuite regroupées en différentes classes les seuils de coupure étant déterminés après analyse des histogrammes des zones de casiers et hors casiers.

Les documents graphiques issus de l'interprétation par traitement numérique des images ont été édités sur imprimante couleurs à jets d'encre de type TEKTRONIX 4696.

* Résultats cartographiques

En tout 8 documents cartographiques ont été produits (2 images X 2 dates x 2 types d'interprétation).

* Cartes d'interprétation analogique des images du 15 février 1988

Les résultats d'interprétation analogique des images de cette date sont présentés sous forme de 2 cartes (le Périmètre du Sahel en format 120 x 60 cm et le Périmètre du Macina en 105 x 50 cm).

Outre les éléments planimétriques (limites de casiers, villages, canaux d'irrigation,...), les cartes comportent 4 groupes d'unités cartographiques distinctes :

- les zones hachurées, généralement situées à proximité immédiate des villages, représentant le maraichage mais aussi les pistes et sentiers bordés d'arbres, les jardins de case, les bosquets villageois,...

- les zones aménagées en casiers, portant le symbole C et pour lesquelles 4 graduations ont été distinguées pour l'état de drainage.

L'unité cartographique C4 ne présente que très rarement des traces de mise en culture (diguettes, gerbiers) ; le contrôle terrain y confirme par ailleurs la présence de vastes zones en jachères.

L'unité cartographique C5 représente les casiers mis en eau récemment et même les caisiers en cours de mise en eau. Il est à noter que dans ce cas particulier, les défauts de planage sont bien visibles.

- Les zones hors casiers avec le symbole H et pour lequel les 4 graduations ont pu être distinguées pour l'état de drainage.

L'unité cartographique H5 représente les mares et plans d'eau non liés au réseau hydrographique.

Dans certaines unités, on a pu distinguer de la végétation active en saison sèche humide (symbole C).

- Les zones directement liées au réseau hydrographique symbolisées par F.

3 classes de drainage sont distinguées par les alluvions, l'unité F4 représentant le fleuve Niger, le marigot et les alluvions saturés d'eau en permanence.

L'unité F5 représente les anciennes voies de drainage (défluents ensablés).

La présence de végétation aquatique ou semi aquatique a été indiquée par l'adjonction du symbole V.

* Carte d'interprétation analogique des images du 1er novembre 1988

Comme dans le cas de février 1988, 2 cartes ont été produites pour cette date (le Périmètre du Sahel avec format 44 x 120 cm et le Périmètre du Macina, 71 x 120 cm).

Six (6) unités cartographiques ont été déterminées :

- les aones rizicoles en casiers - Les zones avaient déjà été identifiées sur les images de février 1988. Grâce à des éléments prouvant l'intervention poussée de l'homme, elles sont aisément identifiables (parcellaire, limite rectiligne, continuité,...).

Grâce aux images de novembre 1988 une délimitation plus exacte et la correction de certaines limites ont été possibles.

- Les zones rizicoles hors casiers

Ces zones sont situées à proximité immédiate des zones en casiers et des voies de drainage et se caractérisent par l'absence de structures et par des limites curvlinéaires naturelles.

- Les zones exondées

Elles n'ont été caractérisées comme telles que lorsqu'elles sont situées à l'intérieur ou au contact de zones rizicoles.

- Les zones pâturables

Ce sont des zones de dépressions accumulant davantage d'eau en saison des pluies et dont la végétation arborée et herbacée garde une activité chlorophyllienne pendant une partie de la saison sèche.

Ces zones pâturables ont été cartographiées comme telles seulement lorsqu'elles constituent des unités suffisamment larges.

- Les mares et plans d'eau stagnante

- Les marigots et le fleuve Niger : Ce sont là des plans d'eau courante pendant au moins une période de l'année.

* Cartes d'interprétation par traitement numérique des images du 15 février 1988 :

Les résultats se présentent sous forme de sorties imprimantes couleur à l'échelle approximative du 1/47 600.

29 unités ont pu être déterminées, très peu de pixels ayant été laissés non classés par l'interprétateur.

Dans cette classification les zones de casiers sont clairement délimitées et séparées par un trait blanc.

Les conditions de drainage sont facilement discernables à l'intérieur des casiers. C'est ainsi que :

- les zones très mal drainées sont en marron,
- les zones mal drainées en orange,
- les zones modérément bien drainées en jaune saturé
- les zones bien drainées en jaune clair, et
- les zones mises en eau récemment en magenta.

Ces classes font l'objet d'une tentative de corrélation avec les stades phénologiques du riz et les rendements obtenus dans la partie "Discussion des résultats".

5° - Evaluation et discussion des résultats

* Délimitation des zones rizicoles en casiers et hors casiers

Cette démarcation peut s'effectuer de manière satisfaisante surtout si l'on utilise les informations complémentaires contenues dans les images de février et de novembre.

Les critères d'identification par télédétection d'un casier rizicole aménagé (lignes droites, végétation homogène, digues, canaux,...) par rapport au riz hors casier (limites curvilinéaires, peu ou pas d'aménagements,...) en font le domaine privilégié de l'interprétation analogique.

Deux problèmes principaux se sont posés lors de l'interprétation de ce thème :

- il était parfois difficile de séparer les zones rizicoles propriétaires des zones de jachères à riz sauvage et autres graminées aquatiques présentes aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur des casiers ;
- il était également difficile de délimiter avec précision les zones aménagées par l'Office du Niger à cause de zones mal drainées (aspect sombre). Cette délimitation était rendue encore plus difficile vu l'absence de plans d'aménagement récent de l'Office.

Remarques :

- Une comparaison des images utilisées pour l'étude avec des images de novembre 1987 a permis de constater que la superficie en riz en casiers ne subit que de faibles fluctuations d'année en année, contrairement aux superficies rizicoles hors casiers qui restent forcément sujettes aux variations annuelles physiques (pluviométrie, niveau du fleuve, niveau des canaux,...) et humaines (disponibilité de main-d'œuvre, facteurs socio-économiques,...)
- Ce thème se prête bien à une étude multitemporelle et le niveau de résolution de LANDSAT TM (30 m de résolution) pourrait bien convenir pour cette délimitation.
- Le suivi par télédétection de l'évolution des surfaces cultivées en casiers et hors casiers gagnerait en précision et pourrait être automatisé si l'inventaire par télédétection était complété par une identification planimétrique et si les zones en jachères étaient reabilitées.
- La production de cartes de suivi des terres de l'Office du Niger permettrait de distinguer indubitablement :
 - les zones aménagées en casiers par l'Office et exploitées réellement
 - les zones aménagées par l'Office et non exploitées pour des raisons diverses (jachères)
 - les zones bien aménagées par les paysans en dehors des casiers de l'Office
 - les zones cultivées en riz irrigué en dehors des casiers de l'Office et sans beaucoup d'aménagements.

* Délimitation des zones mal drainées

Les zones mal drainées ont été identifiées très aisément tant par interprétation analogique que par traitement numérique.

La corrélation entre les 2 méthodes a donné d'excellents résultats surtout pour l'objet principal du thème (zones mal drainées en casiers).

Cependant, dans la mesure où l'on ne possède pas d'information sur les dates de mise en eau, certaines zones peuvent être cartographiées comme mal drainées alors qu'en fait elles ont été inondées récemment.

La tonalité de l'image est en effet indicatrice de la teneur en eau et à ce titre, représente plus un état de drainage que la faculté de drainage.

* Délimitation des zones de maraîchage

Les types de végétation et particulièrement le maraîchage, peuvent être différenciés partiellement de manière analogique tant par la couleur que par des éléments planimétriques ou logiques.

C'est ainsi que les zones de maraîchage se situent en général à proximité immédiate des villages.

Autour des voies de drainage, se trouve généralement une végétation aquatique ou semi aquatique et parfois il est possible que ce soit des plantations forestières.

L'interprétation analogique sur ce thème aurait plutôt tendance à surestimer les surfaces en maraîchage, toute végétation autour des villages n'étant pas nécessairement du maraîchage.

La confusion avec la végétation semi aquatique, les plantations forestières et les quelques rares cultures de contre-saison reste possible. Soulignons que certaines zones maraîchères sont transformées en rizières pendant la saison des pluies.

L'interprétation par traitement numérique, telle qu'elle a été effectuée par le G.D.T.A ne tient pas compte du caractère particulier de l'activité maraîchère (proximité des villages). La surestimation ici est donc plus forte encore ; ce qui a été prouvé par les matrices de confusion établies dans le cadre de l'étude.

* Inventaire des zones salées

Il n'a pas été possible de distinguer des zones salées à l'intérieur des aménagements existants. Seules deux parcelles de référence ont servi pour cette étude. Après un repérage de ces parcelles sur les images, celles-ci ne présentent aucune spécificité ni en analyse analogique (couleur, intensité, texture) ni en analyse numérique (signature spectrale).

Les dimensions de la résolution au sol des images SPOT XS (20 m x 20 m) ne permettent pas la mise en évidence de plaques salines qui restent très localisées et n'atteignent jamais cette étendue.

* Stade phénologique du riz-prévision des récoltes

La nature de ce dernier thème d'étude en fait le domaine réservé de l'interprétation par traitement numérique.

Analogiquement, il n'a pas été possible pour le photointerprète de distinguer visuellement des différences de stades phénologiques ou de rendements.

En effet, certaines parcelles de références décrites comme étant du même stade phénologique présentent des différences de facies sur l'image.

Inversément, certaines parcelles de référence présentant un facies similaire correspondent à des stades phénologiques différents.

Les différents essais de classification par traitement numérique des canaux bruts se sont heurtés aux mêmes difficultés. La variabilité de la teneur en eau des différentes parcelles masque fortement la variabilité de la végétation.

C'est pour mettre en évidence cette variabilité au niveau de la végétation que le G.D.T.A a proposé une carte d'indices de végétation normalisés, seuillés en 11 classes.

On constate d'emblée une différence d'activité chlorophyllienne entre le Périmètre du Sahel et le Périmètre du Macina.

On constate également que le parcellaire n'est pas nettement marqué et que beaucoup de parcelles sont hétérogènes.

Remarques :

- il semble que pour ce dernier thème, la date d'acquisition ait été mal choisie. En effet, un faible indice de végétation peut être dû à un faible niveau global de biomasse mais également à un stade phénologique avancé (riz jaune, à maturité).
- De même, un fort indice de végétation peut être dû au riz vert mais aussi à la végétation aquatique?
- Un essai de corrélation entre l'indice de végétation au stade début à fin de floraison et les rendements aurait à coup sûr plus de chance d'aboutir.
- Même en prenant en compte les différentes difficultés rencontrées, il semble bien qu'une bonne appréciation de l'évolution globale du niveau de production puisse être établie d'une année à l'autre à partir de l'évaluation des surfaces emblavées

et de l'évolution des valeurs d'I.V.N.

L'utilisation d'images prises d'année en année donnerait même à cette méthode une grande fiabilité.

- Pour ce thème d'étude, l'utilisation de l'imagerie SPOT (20 m x 20 m en XS) ne se justifiait pas mieux que celle des images T.M. malgré la résolution plus petite de celles-ci (30 m x 30 m).

* Traitements analogique et traitement numérique

Si l'on considère l'ensemble des thèmes de l'étude et les possibilités offertes par l'imagerie SPOT d'inventorier une multitude d'autres thèmes, on peut considérer que l'avantage va aux méthodes d'interprétation analogique :

- pour l'intégration, à l'interprétation d'éléments logiques ou structuraux (par exemple associer la présence des gerbiers à la riziculture, le maraîchage à la proximité des habitations ou bien identifier les canaux d'irrigation...),
- pour le faible coût des investissements de l'étude pour des utilisateurs marginaux,
- pour la possibilité de réaliser facilement des cartes synthétisant plusieurs thèmes.

Par contre, l'avantage va aux méthodes d'interprétation par traitement numérique :

- pour la vitesse d'exécution de l'interprétation et des travaux annexes de cartographie et de planimétrage,
- pour la possibilité d'effectuer rapidement des études diachroniques
- pour la précision cartographique de l'ordre du pixel,
- pour le faible coût des investissements de l'étude pour des utilisateurs fréquents.

Les résultats peuvent être optimisés si l'on associe à l'interprétation par traitement numérique une interprétation analogique à l'écran.

* Intérêt et coût de l'utilisation de l'imagerie SPOT

Le manque de données relatives au coût réel d'une enquête exhaustive de terrain dont le niveau de fiabilité serait identique à notre étude par télédétection n'a pas permis de faire une étude comparative globale.

- Plusieurs éléments peuvent cependant aider à l'appréciation de l'utilité du satellite SPOT ;

- les possibilités de programmation qu'offre SPOT ont été utilisées au maximum ;

- la résolution au sol (20 m x 20 m) a permis de distinguer de nombreux détails structuraux importants tels que canaux d'irrigation et parcellaire.

Le gain en détails structuraux de l'image SPOT XS par rapport à TM (30 m x 30 m) n'est pas à démontrer.

- Une des faiblesses de SPOT XS est l'absence de mesures dans l'I.R. moyen, un canal qui aurait été fort utile pour l'étude des thèmes traitant de la végétation (maraîchages, riz, stade phénologique,...) ;

- Dans ce domaine d'étude de végétation, comme pour d'autres sans doute, l'utilisation du pouvoir de résolution élevé de SPOT n'est pas toujours requise, surtout quand on considère le coût relativement élevé des produits SPOT par rapport à d'autres produits satellitaires.

Aux avantages et inconvénients de l'imagerie SPOT, s'additionnent les avantages et inconvénients de l'imagerie satellitaire, en particulier le faible coût de l'acquisition des données par rapport aux superficies saisies.

6. - CONCLUSION

Les enseignements que nous apporte cette étude à caractère essentiellement méthodologique restent positifs pour de futures études opérationnelles.

- Le thème "mauvais drainage" a pu être identifié sans difficultés tant en analogie qu'en numérique ;

- les "zones salées" n'ont pu être identifiées en analogie comme en numérique, ces zones étant très localisées et ne couvrant que de petites étendues non décelables à la résolution de 20 m x 20 m ;

- le thème "maraîchage" à fait l'objet d'une certaine confusion surtout en numérique ;

- les zones rizicoles en casiers et hors casiers sont bien identifiables en analogique ;

- trop de variables présent sur les rendements pour permettre une prévision des récoltes au niveau du parcellaire mais une prévision globale au niveau d'un Périmètre est possible sous réserve d'un meilleur choix de la période de prise de vues et d'une meilleure enquête de terrain ;

- il est évident que la participation d'un thématicien au traitement informatique aurait permis d'aboutir à des résultats bien meilleurs.

BIBLIOGRAPHIE

- K. Cools, V.N.U, CRT0, 1989 - Utilisation de la télédétection pour la gestion des grands pérимètres irrigués.
- Y. Tricart & J.P Blanck 1989 : "l'Office du Niger" - Annales de géographie n° 549, p. 568 à 587.
- Banque Mondiale : "Mali, Office du Niger, Rapport d'identification" rapport n° 2135 - Mali du 30 Juin 1978.
- SPOT : Notes de cours concernant le Satellite - 26 : stage régulier, CRT0, 1988.
- K. Cools "Notice explicative" relative à l'interprétation analogique des images SPOT K 44 J 321 et K 45 J 322 du 1er novembre 1988, CRT0, Août 1989.
- D. Lasselin et P. Jaubertié : "Rapport provisoire concernant le traitement numérique des données SPOT sur les pérимètres du Sahel et du Macina" G.D.T.A, Toulouse, Janvier 1990.
- D. Lasselin et P. Jaubertié : "Traitement numérique des images SPOT 44 - 321 et 45 - 322 des 15 Février 1988 et 1er Novembre 1988, G.D.T.A - Toulouse, Avril 1990.
- T.U. Lillesand et R.W. Riefer "Remote Lansing and Image interpretation" John Willy et Sons, Inc, 1987.