

DDC 40.81

31689

**ORGANISATION POUR LA MISE EN VALEUR
DU FLEUVE SENEgal**

HAUT-COMMISSARIAT

11720

**EXPERIENCE DE L'OMVS EN MATIERE DE
SUIVI-EVALUATION PAR TELEDETECTION
DANS LE BASSIN DU FLEUVE SENEgal**

1. INTRODUCTION

L'expérience acquise depuis 1986, dans le domaine de la télédétection au sein de l'OMVS à travers la Cellule de Suivi et d'Evaluation du Bassin du fleuve Sénégal (CEPC/DDC) montre les larges possibilités offertes aux utilisateurs dans différentes applications. Après une période pilote sur financement du FAC et du PNUD et l'exploitation des données, l'OMVS a su tirer parti de cette technique nouvelle par l'acquisition d'un système d'information géographique.

La phase pilote a permis l'interprétation, le traitement numérique et la cartographie des données des crues de 1986 à 1991 qui ont contribué à mieux définir des thèmes précis et à voir l'évolution qui s'est opérée sur une période relativement courte marquée par des différentes crues. Cette exploitation a permis entre autres :

- la localisation et l'inventaire des superficies inondées,
- la localisation et l'inventaire des superficies cultivées en décrue dans la vallée sur des zones « tests »
- la situation et l'évolution des périmètres irrigués.

Depuis 1994, sur financement de la Région Wallon de Belgique et la CCT, une expérience sur la caractérisation des domaines agricoles par télédétection est en cours.

2. OBJECTIFS

Le Haut-Commissariat, dans un souci d'une bonne maîtrise des aménagements hydroagricoles et le suivi de leurs impacts sur l'environnement, s'était doté d'un outil fiable pour une collecte rapide de données indispensables pour le suivi des paramètres du bassin du Fleuve Sénégal.

Dans ce cadre l'OMVS s'est fixée comme objectifs :

- ♦ de suivre efficacement les phénomènes à évolution rapide par l'acquisition régulière des données précises sur les milieux naturel et agricole et l'environnement en général,
- ♦ de disposer rapidement d'informations et de résultats pour répondre dans les meilleurs délais aux besoins des différents acteurs socio-économiques intervenant dans le bassin du fleuve Sénégal,
- ♦ d'élargir son champ d'investigation à des domaines autres que celui de la culture irriguée des cultures de décrue et des superficies inondées, tout en exploitant les importantes données déjà acquises au cours des dernières années,
- ♦ de promouvoir dans le domaine de la télédétection une collaboration étroite entre l'OMVS et les différentes structures nationales impliquées dans le suivi-évaluation du développement dans le Bassin du Fleuve Sénégal.

Cette démarche met en exergue le rôle que doit jouer dorénavant la télédétection dans les activités futures de l'OMVS ; elle nécessite à cet effet et dans les meilleurs délais, la conception d'une stratégie visant à optimiser cet important outil.

Cette stratégie se situe à deux niveaux :

- une mise à jour des équipements,
- une étroite collaboration entre le Haut-Commissariat de l'OMVS, les structures nationales et les utilisateurs.

3. DONNEES, EQUIPEMENTS DISPONIBLES

3.1. IMAGES

L'OMVS dispose d'importantes données SPOT acquises pendant la phase test de 1986 à 1991 de Bakel à Saint-Louis et sur la retenue de Manantali, pour différentes périodes relatives aux thèmes choisis.

Ces différents produits pour chaque scène sont :

- des films couleur positif en mode multispectral au 1/400 000 ème,
- des agrandissements au 1/50 000 ème sur papier couleur de la partie de l'étude,
- des bandes CCT pour presque toutes les scènes destinées aux traitements numériques.

3.2. EQUIPEMENTS ET LOGICIELS

3.2.1 Les Equipements

L'OMVS, dans le cadre de la Cellule de Suivi Evaluation avait acquis en 1989 sur financement PNUD un important matériel de traitement d'images satellites doublé d'un système d'information géographique.

Ces équipements sont constitués :

Pour le G.I.S. de deux stations H.P. 9 000 série 340

- 1 ère Station avec 16 MB RAM et un disque dur de 160 MB
- 2 ème Station de 16 MB RAM et un disque dur de 600 MB
- 1 Moniteur couleur haute résolution
- 1 Tracteur HP DRAFTPRO-EXL A4-1O avec 8 couleurs
- 1 Lecteur de cartouche
- 1 Table à digitaliser grand ALTEK format A0

Ces deux stations fonctionnent sur un environnement UNIX.

La station de traitement d'images satellites est composée du matériel suivant :

- micro H.P. vectra RS 25 avec 4MB de RAM processeur 80386 à 25 MHZ
- 2 disques durs de 310 MB chacun
- 1 moniteur couleur à haute résolution 19
- 1 imprimante graphique couleur H.P. Paintjet
- 1 dérouleur de bande 1600 - 6250 BPI

3.2.2 *les Logiciels*

les logiciels disponibles sont :

- ARC/INFO pour le GIS : (la nouvelle version fournie sur CD/ROM n'est plus compatible avec le HP 9000-340 qui ne dispose pas d'un lecteur de CD/ROM).
- Multiscope pour les traitements d'images satellites. La release de ce logiciel est en cours d'acquisition.

4. RESULTATS OBTENUS

4.1. LOCALISATION ET INVENTAIRE DES PERIMETRES IRRIGUES ET DES SUPERFICIES INONDEES PAR LA CRUE 1988-1989 DU FLEUVE SENEGAL (DONNEES DU SATELLITE SPOT)

Ces thèmes ont été étudiés de 1986 à 1991. L'année hydrologique 1988-89 est présentée à titre d'exemple.

L'interprétation, les traitements numériques et la cartographie des données de la crue 1988-1989 ont permis de saisir des thèmes précis et de voir l'évolution qui s'est opérée sur une période relativement courte ; marquée par des crues assez différentes. Cette exploitation a permis entre autres :

- la localisation et l'inventaire des superficies inondées ;
- la localisation et l'inventaire des superficies cultivées en culture de décrue dans la vallée du fleuve Sénegal ;
- la situation des périmètres irrigués en maîtrise totale de l'eau.

4.1.1 *Les acquisitions d'images SPOT*

Les acquisitions des images du satellite SPOT ont été dans l'ensemble satisfaisantes. Il a fallu procéder à une programmation d'urgence vu le temps qui restait. Les acquisitions dans l'ensemble sont assez bien calées sur la période hydrologique visée à savoir 15 Septembre plus ou moins une semaine avec un couvert nuageux faible de moins 10%.

Le maximum à Bakel s'est manifesté le 13 Septembre à la côte 958 cm (maximum journalier) à l'échelle limnimétrique ; avec un débit maximum journalier de 4950 m³/s

alors que le maximum intervenu le 9 Septembre 1986 était de 3 200 m³/s. Le débit de la crue 1988-89 a fait 1390 m³/s de plus soit 43,43% que 1986. La prise de « vue » de la scène KJ 30-320 est survenue le 25 Septembre 1988 avec un débit de 2040 m³/s.

A Matam, l'acquisition de la scène KJ 28-319 a été réalisée le 30 Septembre 1988, alors que le maximum instantané est intervenu le 13 Septembre 1988 à 800 cm à 8 h du matin et le maximum journalier le 15 Septembre aussi à 799 cm.

La prise de l'image a été faite à la côte 308 cm.

En 1986, l'image était mieux calée sur le maximum de la crue avec seulement 6 jours de décalage par rapport au maximum qui est intervenu le 10 Septembre. Malgré ce retard relativement important de la saisie de cette scène du 30 Septembre 1988 les superficies inondées ont été plus importantes.

Les scènes de Kaédi ont été enregistrées le 30 Septembre pour les KJ 28-318 et KJ 27-318 le 5 octobre 1988 alors que le maximum journalier est intervenu le 22 Septembre 1988 à la côte 757 cm.

Cette saisie permet (malgré le décalage existant, entre les prises de vue et le maximum de la crue) une bonne exploitation de ces données relatives aux thèmes visés.

* La zone de Boghé : représentée par les scènes KJ 26-317 et KJ 26-318 n'ont été prises que le 5 Octobre dans la même période que le KJ 27-318 de Kaédi.

* A Podor la côte maximum à l'échelle limnimétrique se situe à 432 cm (maximum journalier) le 3 Octobre tandis que l'image a été enregistrée le 23 Septembre pratiquement 10 Jours avant la côte maximum. Ces données répondent malgré ce décalage à nos préoccupations, la majorité des cuvettes était déjà occupée par les eaux de la crue.

* A Dagana, l'image a été prise le 28 Septembre, le maximum journalier est de 312 cm intervenu le 7 octobre 1988. Les dépressions inter-dunaires et les cuvettes étaient déjà remplies par les eaux.

* Pour le Delta les enregistrements ont été réalisés le 14 Octobre 1988 et les maximums journaliers relevés : Richard-Toll 278 cm le 5 Octobre, Rosso 253 cm le 7 Octobre.

Dans l'ensemble les acquisitions, malgré les décalages liés aux contraintes des paramètres du Satellite mais aussi aux conditions atmosphériques ont permis d'apporter les informations souhaitées.

4.1.2 Méthodologie utilisée pour l'analyse de l'image SPOT

Cette analyse consiste à mesurer dans une ou plusieurs bandes spectrales le rayonnement, (visible et proche infrarouge) renvoyé par l'objet à observer. Les images sont soit en noir et blanc, (en mode panchromatique) dans la bande 0,51 μm - 0,73 μm en résolution 10 m avec une bonne finesse géométrique, soit en couleur (pour le mode multispectral) dans trois

bandes spectrales : le vert $0,50 \mu\text{m} - 0,59 \mu\text{m}$, le rouge $0,61 \mu\text{m} - 0,68 \mu\text{m}$ et le proche infrarouge $0,79 - 89 \mu\text{m}$; ce choix permet une bonne saisie de la végétation.

4.1.2.1. L'interprétation visuelle

Les premières études ont été essentiellement réalisées sur des images XS couleur à résolution 20 m agrandies au 1/50 000 (film au 1/400 000) sur papier, une interprétation visuelle sur les zones test de Matam et Podor a permis de localiser les zones inondées et d'estimer les superficies inondées par la crue de Bakel à Saint-Louis avec une bonne précision . Un planimètrage électronique a été effectué pour cet inventaire. La superficie totale inondée est estimée à 429 154 ha répartie comme suit : Rive Gauche 233 105, 25 ha, Rive Droite 161 189,25 ha et fleuve 34 859,5 ha pour 1988. Mais l'interprétation visuelle ne permet de saisir qu'une seule classe eau.

4.1.2.2. Le traitement numérique

Des bandes magnétiques CCT ont été utilisées sur les systèmes de traitement d'images, sur des zones tests Matam et Podor ; la méthode numérique apporte plus d'informations et la discrimination est plus précise entre les différentes classes « eau » tandis que l'analyse visuelle ne permet pas de saisir toutes les classes :

- eau de turbidité moyenne du lit mineur du fleuve, d'écoulement et de bordures de cuvettes ;
- eau de forte turbidité des cuvettes de décantation et dépressions ;
- sols engorgés ou sous une faible tranche d'eau de bordure de cuvette de dépressions ou de chenaux.

Plusieurs missions sur le terrain ont été effectuées dans la vallée pendant la période de passage du satellite dans les zones tests Matam et Podor et dans différents secteurs :

- Ndioum - Aéré Lao - Médina Ndiayebé
- Thilogne - Kaédi
- Wala - Saldé - Bgoui - Thilogne
- Kanel - Bakel
- Manantali : la retenue a fait l'objet d'un traitement numérique pour l'estimation de la superficie totale couverte qui est de 28.964 ha - la saisie de la scène KJ 35-324 couvrant cette zone a été effectuée le 31 octobre 1988.

Les figures 1 et 2 en annexe montrent l'étendue de la retenue. La composition colorée (figure 1) permet non seulement de déterminer plusieurs « classe » eau, mais une meilleure insertion spatiale. Dans la figure 2 il n'y a que l'eau qui est représentée.

Pour la plupart des zones visitées des images photographiques ont été prises ; elles permettent de mieux situer les cuvettes et mémoriser l'état de la « crue ».

4.1.2.3. Visualisation des données

La phase de visualisation des résultats :

- La cartographie des données SPOT a été réalisé sur différents thèmes

Pour mieux optimiser l'utilisation de ces informations, la préoccupation première était de trouver une technique de visualisation simple, précise et abordable pour tous les utilisateurs potentiels.

Les thèmes prioritaires ont été :

- la carte des zones inondées, la localisation avec précision des périmètres irrigués.
- la carte des occupations de sol,
- la carte des infrastructures,
- la carte des inventaires forestiers.

La cartographie de la vallée de Bakel à Saint-Louis (8 cartes au 1/50 000 exécutées manuellement) constitue une visualisation intéressante permettant de caler toutes sortes de données du bassin et aussi pouvant être automatisées . Cette carte permet de tenir compte des possibilités de chaque zone pour une meilleure implantation des ouvrages et leur harmonisation.

Sur ces cartes, il y a eu un souci d'homogénéisation du Walo des deux rives sans accentuer le découpage traditionnel (le Walo mauritanien et le Walo sénégalais) avec des carte ayant une approche synoptique de l'espace. Elles constituent ainsi un support permettant de suivre l'évolution des différents phénomènes du bassin du fleuve Sénégal sans difficulté majeure.

La légende a été choisie ouverte avec possibilité d'augmenter les variables sans perte de clarté pour le lecteur ; la hiérarchie peut changer selon le thème choisi sans perte d'information, leur généralisation ne pose pas grand problème.

Les taxons qui sont représentés sont :

- grands périmètres et moyens périmètres irrigués
- petits périmètres irrigués villageois
- périmètres sucriers (CSS)
- villes
- villages
- route principale bitumée
- route secondaire
- piste
- digue
- marigot
- fleuve
- piste d'aviation

- digue prévue.

4.2. METHODES DE CARACTERISATION DES DOMAINES AGRICOLES PAR TÉLÉDETECTION AU SAHEL

Dans le cadre d'un projet financé par le Ministère des Relations Extérieures de la Région Wallone de Belgique via l'ACCT (Agence de Coopération Culturelle et Technique), la Société Da Vinci Consulting chargée de l'exécution du projet avec l'OMVS, a élaboré un prototype d'outil informatique d'intégration et de gestion de données.

Ce prototype dénommé SYGMA (système de gestion des Eaux du Barrage de Manantali) a été produit avec le logiciel GMS, qui est un système de catalogage géographique de données.

L'outil GMS a été adapté afin d'intégrer dans le prototype le cadastre des périmètres irrigués réalisés par télédétection, pour une zone test (Podor) dans le but de mettre en place une méthodologie de gestion des périmètres irrigués et de rendre opérationnelle une procédure administrative de facturation de l'eau régularisée pour l'irrigation.

Le système permet actuellement, pour la zone de Podor :

- le recensement des périmètres irrigués,
- la visualisation sur base de fonds de plan de zones inondées,
- le suivi de périmètres au niveau de leur superficies et de leur occupation du sol, etc...

Le développement du prototype s'est poursuivi en 1995 afin de valider la méthodologie sur 3 (trois) zones pilotes (Delta Rive Gauche, Delta Rive Droite, Haut Bassin).

A long terme, le projet vise à mettre en place l'étude, la conception et la mise en oeuvre d'un système intégré et modulaire pour le suivi de l'environnement et la gestion des ressources en eaux des barrages dans le Bassin du Fleuve Sénégal.

5. PERSPECTIVES

5.1. MISE A NIVEAU DES EQUIPEMENTS

Le matériel disponible actuellement est vétuste. Les supports ne sont plus adaptés avec les nouvelles versions des logiciels dont nous disposons (les logiciels sont fournis sur CD/ROM alors que le matériel ne dispose pas de support adéquat). D'autre part, la maintenance n'est plus assurée pour ce type de matériel.

Il est donc impératif d'acquérir du matériel compatible avec les logiciels actuels et pouvant fonctionner sur un environnement réseau. Ceci permettrait entre autres une exploitation rapide et une connexion facile avec les autres structures.

5.2. OBJECTIFS ET THEMES IDENTIFIES A COURT TERME (1996-1999)

Doter le Haut-Commissariat des capacités nécessaires à l'accomplissement de ses missions aux plans de :

- a) l'optimisation de la gestion des retenues de Manantali et de Diama par l'utilisation de l'imagerie satellitaire en vue de :
 - maîtriser le remplissage des réservoirs et la gestion du plan d'eau,
 - contrôler de manière efficace la portée des lachers opérés à partir de Manantali pour un meilleur suivi de la crue et des zones inondées,
 - (*) maîtriser la gestion hydraulique des affluents, défluents et cuvettes du fleuve Sénégal.
- b) la collecte, le traitement, l'analyse et la synthèse des données (agricoles, climatologiques, écologiques, socio-économique,...) relatives au bassin du fleuve Sénégal pour leur utilisation effective dans la formulation, le suivi et l'évaluation des politiques et programme de développement intégré ;
- c) la coordination et l'harmonisation des politiques et programmes nationaux en vue d'une utilisation efficiente (au regard de l'optimum régional et des contraintes nationales) des potentialités générées par l'exploitation des ouvrages communs.
- d) le suivi des mutations socio-économiques et gestion de l'environnement dans le bassin du fleuve Sénégal en vue de créer les conditions optimales d'exploitation des ressources générées par la maîtrise de l'eau.

Pour réaliser ces objectifs, il faut nécessairement :

- une définition et une délimitation des zones d'intérêt OMVS/SND et des critères d'identification de sous zones homogènes en vue de la constitution des banques de données cartographiques et géographiques de l'OMVS.
 - . Recensement de l'ensemble des données susceptibles d'être intégrées dans le S.I.G. (cartographie, images satellites, banques de données numériques...etc).
- Une mise en œuvre du programme de collaboration avec les SND visant l'exploitation des données satellites à travers l'utilisation des systèmes de traitement de l'OMVS pour :
 - . Le suivi-évaluation des aménagements hydroagricoles.
 - . La localisation et suivi des cuvettes.
 - . Le suivi des forêts.
 - . L'élaboration de carte d'occupation de la zone de retenue de Manantali. etc...

(*) Les termes de référence pour cette étude sont finalisés et la recherche de financement est en cours.

- (*) Mise en place d'un observatoire pour le suivi de la qualité des eaux, de l'environnement et de la santé dans le Bassin du fleuve Sénégal.
- (*) Etude des problèmes d'environnement et de protection des milieux naturels dans la moyenne vallée et le haut-bassin.
- Un ensemble de méthodes et techniques d'analyses et de synthèse (batteries d'indicateurs, tableaux de bord, atlas cartographie...) permettant sur la base des données nationales et régionales recueillies et traitées, d'assurer le suivi et la mise en cohérence des plans et schémas directeurs nationaux et de procéder à leur synthèse régionale, en vue de la définition d'un cadre (schéma) correspondant à l'optimum régional et servant de référence à l'ajustement des politiques nationales dans le cadre de la mise en œuvre du système de pilotage.
- Dans le cadre de la poursuite des études multisectorielles pour une meilleure intégration des différentes activités économiques définir un cadre de collaboration avec les organismes nationaux et/ou sous-régionaux où des compétences complémentaires peuvent être trouvées.
- Séminaires de vulgarisation et de formation des experts du Haut-Commissariat et des Etats-membres dans le domaine de traitement d'images satellitaires et de S.I.G.

5.3. THEMES D'ETUDE POSSIBLE A MOYEN TERME

La mise à niveau des équipements du projet (traitement d'images et système d'information géographique) permet à l'OMVS d'aller au-delà d'une simple identification des superficies inondées et cultivées pour intégrer, dans une perspective d'un réel suivi de l'évolution de l'environnement dans le bassin du fleuve Sénégal, tous les autres thèmes ou domaines intéressant la zone d'influence de l'OMVS.

L'OMVS a eu déjà l'occasion au cours du séminaire sur le suivi-évaluation tenu à Bamako du 20 au 26 Septembre 1990 de mesurer d'une part, l'intérêt manifesté par les structures nationales de développement, pour l'utilisation de la télédétection et d'autre part, de se faire une idée sur les préoccupations et les thèmes d'études pouvant intéresser les acteurs du développement opérant dans le bassin du fleuve Sénégal.

(*) Les termes de références pour ces études sont finalisés et la recherche du financement est en cours.

Différents thèmes avaient été identifiés :

- Etude des potentialités agricoles,
- Etude du littoral pour suivre l'évolution des dunes pour une meilleure gestion des zones sensibles en vue d'établir un programme de protection.
- Etude des plans d'eau pour un inventaire et une estimation de surface.
- Carte d'occupation de l'espace en vue de l'établissement d'un programme de lutte efficace contre la déforestation et la dégradation des sols.
- Réalisation de banques de données cartographiques.
- Cartographie des incendies de fôrets et feu de brousse.
- Carte de désertification et de pâturages.
- Gestion des zones à risque.
- Réalisation d'atlas de périmètres.

5.4. LA COLLABORATION AVEC LES SOCIETES NATIONALES

Une fois l'équipement mis en niveau, l'OMVS serait désormais en mesure de couvrir plusieurs domaines, intéressant la gestion de l'environnement.

Cet instrument d'analyse de suivi et d'évaluation du milieu en profonde mutation du Bassin du fleuve Sénégal nécessite une collaboration étroite avec les différents partenaires : sur le plan national (centre de suivi écologique au Sénégal, programme d'inventaire des ressources terrestre au Mali, la Cellule de planification du MDR en Mauritanie...), sur le plan régional (Centre Régional de Télédétection de Ouagadougou, Service de Télédétection de la Direction Régionale des grands travaux à Abidjan, Centre Régional de Naïrobie etc...) aux fins d'échange d'expérience et de mise en commun des moyens dans certain cas.

Les domaines possibles de collaboration entre les différentes structures peuvent être résumés comme suit :

- Etude de thèmes d'intérêt commun à exécuter conjointement avec les structures nationales impliquées dans le suivi-évaluation du développement dans le Bassin du fleuve Sénégal (étude de terrain et traitement des données). Pour ces aspects une liste indicative de thème a été présentée précédemment.
- Etude à caractère sous-régional à réaliser conjointement avec les organismes sous-régionaux en tenant compte du mandat des uns et des autres.
- Formation des experts nationaux impliqués étroitement dans le suivi-évaluation du développement dans le bassin du Fleuve Sénégal.

Cette formation peut s'orienter dans deux directions : la formation enseignement et la formation sur projet.

- . *La formation-enseignement* permet d'avoir les bases théoriques pour l'utilisation de la photo interprétation, la cartographie et les techniques de télédétection indispensables ;

La formation sur projet ou formation sur le tas s'adresserait plutôt à des thématiciens qui veulent dans la cadre de leur travail utiliser la télédétection dans la réalisation des différents projets : forestiers, pastoraux, hydroagricoles, gestion etc...

6. CONCLUSION

Le développement des aménagements hydroagricoles dans le Bassin du fleuve Sénégal favorisera une concurrence dans l'utilisation des ressources en sol et en eau. C'est pourquoi, la nécessité d'un suivi-évaluation est apparu très rapidement à l'OMVS qui a décidé en 1986 d'intégrer la télédétection avec en particulier l'utilisation des images à haute résolution SPOT comme outil d'évaluation et de planification dans le Bassin du fleuve Sénégal. Initialement circonscrite au suivi des zones inondées et des superficies cultivées en décrue, la télédétection et le SIG constituent un important outil d'aide à la décision pouvant dynamiser tout le processus de gestion et de suivi des ressources naturelles et des phénomènes socio-économiques en perpétuel changement.

C'est pourquoi, outre le renforcement des ressources humaines en télédétection et la mise à jour des équipements pour ramener le niveau d'expertise dans ce domaine à la hauteur des objectifs fixés et des résultats escomptés. L'élargissement des activités en la matière aux structures nationales et/ou organisme intervenant dans l'aménagement et la mise en valeur du Bassin du Fleuve Sénégal est nécessaire voire indispensable. Il est exclus dès lors de travailler en « vase clos » afin de faire connaître les possibilités d'expertise et de collaboration que l'OMVS est en mesure d'offrir et par la même occasion de bénéficier de l'expérience des tiers dans le domaine de télédétection. C'est dans cette dynamique qu'il faut placer les futures activités de télédétection de l'OMVS.

o-o-o-o-o-o-o-o-o