

## **FORESTERIE RURALE**

### **Cartographie des changements de surfaces dans la forêt classée de Balmadou**

#### **Contexte de l'étude**

L'étude est une composante de l'évaluation exhaustive des ressources forestières et de leur dynamique sous l'emprise de l'action anthropique et du climat. Elle accompagne l'inventaire de la forêt classée de Balmadou, caractérisé par la mise en oeuvre d'une méthodologie nouvelle basée sur la combinaison de l'imagerie satellitaire, de la photographie aérienne et des mesures au sol. L'appréciation de l'évolution de ces ressources, en fonction des facteurs physiques et socio-économiques devrait permettre au projet "Systèmes de production intégrés pour la protection des ressources en Moyenne Casamance" (PSPI) d'élaborer un plan d'aménagement et un modèle de gestion communautaire des terroirs.

L'étude porte sur l'évaluation des changements de surface intervenus dans la zone entre 1990 et 1995 par la comparaison de cartes d'occupation des sols issues d'images satellitaires de haute résolution Spot XS et Landsat TM.

#### **Présentation de la zone d'étude**

La zone d'étude est située dans le département de Sédhiou (région de Kolda). Elle est délimitée par les longitudes 15°05' O-15°30' O et les latitudes 12°40' N-12°50' N dans la zone soudano-guinéenne de la moyenne Casamance. Elle s'incruste entre le fleuve Casamance qui représente sa limite septentrionale et un petit affluent de ce fleuve qui constitue sa limite sud. La zone d'étude est correspond pour l'essentiel à la Forêt classée de Balmadou et au domaine agricole environnant.

- **Le climat**

La forêt classée de Balmadou appartient au domaine climatique soudano-guinéen. Elle est comprise entre les isohyètes 1 200 mm et 1500 mm. La saison des pluies dure cinq (5) mois (juin / octobre) avec un cumul annuel moyen de 1223 mm, calculé de 1904 à 1993. La répartition mensuelle de la pluie. Selon les observations du Projet Intégré de la Moyenne Casamance (PRIMOCA), la répartition mensuelle des pluies est telle que le cumul le plus important (32 %) est enregistrée en septembre.

- **La morphopédologie**

Le centre de la zone est occupé par un plateau avec principalement des sols du type ferrugineux tropical lessivé à taches ou à concrétions et quelques fois hydromorphes. Ils sont peu évolués aux endroits où la cuirasse affleure. Les pentes restent très faibles avec des sols ferrugineux non différenciée.

Les sols des têtes de vallons sont de type peu évolués d'apport de couleur grisâtre, tandis que le fond des vallées est occupé par des sols hydromorphes peu humifères limono-sableux à limono-argileux. Le cours intérieur de la grande vallée est bordé par des sols hydromorphes plus ou moins affectés par l'intrusion marine ou la présence de sédiments salés.

- **La végétation**

Les formations varient de la forêt claire à la forêt dense humide. Les savanes et forêts jeunes couvrent les pentes faibles des plateaux. Les forêts claires occupent le plateau, tandis que les forêts classées denses humides se localisent dans les parties basses des dépressions et des vallées.

Le sous-bois arbustif est dominé par des combretacées (*Combretum glutinosum*, *C. nigricans*, *C. geinitonophyllum*) accompagnées par *Acacia macrostachya*, *Terminalia macroptera*, *Lanea velutina*, *Crossepterix febrifuga*, *Hexalobus monopetalus*. Les espèces de l'étage supérieur sont représentées par *Pterocarpus erinaceus*, *Bombax costatum*, *Cordyla pinnata*.

## Objectifs

Il s'agit de réaliser une cartographie évolutive de l'occupation des sols de la zone de Balmadou en vue d'évaluer son potentiel forestier et d'apprécier l'étendue et l'évolution des zones agricoles. L'objectif final est d'aboutir à une carte des changements physiques intervenus entre 1990 et 1995 dans la forêt de Balmadou, changements qui résultent de l'effet combiné de plusieurs facteurs (péjoration climatique, exploitation forestière et extension des zones de cultures).

## Méthodologie

- **Les données**

Les données de base utilisées sont les suivantes :

- une scène Spot XS du 1/01/95 centrée sur la forêt classée de Balmadou et obtenue par programmation auprès de Spot-Image (il s'agit de la scène Spot de niveau 1 B<sup>1</sup>, identifiée 025-324 sur la grille de référence) ;
- une scène Landsat TM du 28 novembre 1990 de la même zone disponible dans la base de données du CSE (son numéro de référence sur la grille Landsat est 204-51).

La scène Spot a fait l'objet d'une correction géométrique de haut niveau suite à une campagne de collecte de points de contrôle par GPS dans la zone d'étude. La précision

---

<sup>1</sup> Correspond au niveau de prétraitement de base relatif aux corrections radiométriques et géométriques, en prenant en considération les caractéristiques de la prise de vue et du système satellite\Terre.

des points de contrôle a été fortement rehaussée grâce à la technique de correction différentielle appliquée au CSE.

- **“Recalage” de l'image Landsat sur l'élément de référence**

Cette opération est nécessaire pour rendre les deux scènes Landsat et Spot superposables. Elle consiste à modifier la géométrie de l'image Landsat TM (résolution 30m) en fonction de l'image de référence (Spot XS, résolution 20m). Le principe est d'abord d'utiliser des amers constitués par des points ayant des coordonnées géographiques communes aux deux images, pour ensuite appliquer un Modèle de Déformation Relative (MDR).

- **Égalisation radiométrique**

Pour chaque bande spectrale, la distribution des valeurs radiométriques est comparée aux données de référence et modifiée par application d'une distribution statistique gaussienne de façon à rendre les valeurs radiométriques comparables entre elles.

- **Définition de la nomenclature**

Par souci de continuité et de cohérence avec le cadre global de cette étude, les classes retenues dans l'inventaire effectué au sol ont été reconduites, à savoir :

- zone de terroir
- forêt jeune (FJ)
- régénération (RE)
- forêt claire (FC)
- forêt dense (FD)
- eau

- **Classification supervisée**

Par cette méthode, des aires d'entraînement réduites et homogènes choisies dans l'image sont utilisées pour “entraîner” l'ordinateur à reconnaître les 6 classes définies plus haut. Dans ce cas-ci les photographies aériennes au 1/1000 et au 1/3000, regroupées par catégories de classes, ont servi de points échantillons pour localiser les aires d'entraînement pour chaque thème. Ainsi, 440 photographies avec leurs coordonnées géographiques, réparties entre les six (6) classes retenues, ont été projetées sur les deux scènes superposées, dont la classification s'est faite de manière simultanée.

Il faut préciser toutefois que les zones de terroirs sont discriminées manuellement avec une numérisation interactive.

## La carte des changements

La classification a permis de dégager deux grandes catégories de classes : celle qui montre une variation entre les deux dates, et celle qui reste identique. La carte est générée à partir d'une matrice où sont croisées les deux classifications. Toutes les combinaisons de classes apparaissent dans la matrice ; compte tenu du nombre élevé de combinaisons (36), toutes les classes n'ont pu être cartographiées. Il a fallu procéder à un regroupement de classes pour aboutir à quatre classes aisément identifiables par le système *PC Arc-info*. Ces regroupements ont conduit à inclure la classe "forêt jeune" dans la classe "forêt dense" d'une part, et "zones de terroirs" et "régénérations" dans la classe "zone agricole" d'autre part. Précisons que la classe "forêt claire" n'a pas connu de modification.

Les principales classes se présentent sous forme de zones concentriques qui se succèdent de l'extérieur vers le centre dans l'ordre suivant :

- les eaux forment le contour du fleuve Casamance qui constitue la limite naturelle de la forêt de Balmadou vers le nord et l'ouest ;
- la zone agricole correspond aux terres de cultures et aux jachères ; (le système de culture local explique leur imbrication notée dans les cartes d'occupation) ;
- la forêt dense regroupe la végétation des parties dépressionnaires, les savanes arborées classées en jeunes forêts et la forêt typique (recouvrement supérieur à 60 %).
- La forêt claire (recouvrement < 20 %) occupe la partie centrale de la zone constituée par un plateau à affleurement gravillonnaire.

## Résultats et analyse

Les modifications de surface entre 1990 et 1995 affectent toutes les classes retenues. Cependant l'importance varie en leur sein et d'une classe à l'autre (*cf.* tableau 1). La Forêt claire se caractérise par un accroissement très important en particulier dans la zone centrale de la forêt classée (*cf.* tableau 2). L'ampleur du changement intervenu au détriment de la forêt dense, dans un délai relativement court, s'explique principalement par des facteurs anthropiques (coupes, feux de brousse). On note, cependant quelques changements d'état de la forêt claire en forêt dense (729 ha).

Entre 1990 et 1995, l'empiétement du domaine agricole sur les forêts est limité (1 %) par rapport à la récupération des anciennes jachères (32,21 %) par les formations forestières. Cependant, on remarque une extension assez importante du domaine agricole à la périphérie de la forêt classée, surtout dans les zones méridionales (Diarifa, Sinthiang N'diabo, Saré Maly Kandé et Saré Tening) . Tout laisse penser que ce phénomène est antérieur à 1990.

En somme, une lecture d'ensemble de la carte des changements permet de déceler une ***dynamique centripète d'extension du domaine de culture*** qui s'organise autour des établissements humains bordant la forêt classée de Balmadou. A terme, l'absence d'un plan d'aménagement pourrait entraîner des ***empiétements plus importants*** susceptibles de menacer l'intégrité du domaine protégé.

*Tableau 1 : Évolution de l'occupation des sols : 1990-1995*

Classes	Etat	Superficie (ha)	%
Forêt Dense	inchangé	21.592	34
	extension à partir de Forêt Claire	729	1
	extension à partir de Zone Agricole	5.081	8
Forêt Claire	inchangé	3266	5
	extension à partir de Forêt Dense	9.814	16
	extension à partir de Zone Agricole	3.309	5
Zone Agricole	inchangé	18.484	30
	extension	763	1

*Tableau 2 : Évolution de l'occupation des sols (en ha) : 1990-1995*

	Forêt Dense	Forêt Claire	Zones Agricoles
Sans changement	21 592	3 266	18 484
Diminution	9 814	729	8 390
Progression	729	13 123	763

## Conclusion

Bien que les activités agricoles aient peu évolué dans la zone de la forêt classée *stricto sensu*, le domaine forestier accuse une dégradation assez importante qui se traduit notamment par le passage des forêts denses en forêts claires. L'importance de ce type de changement entre 1990 et 1995, en l'absence d'une calamité naturelle, laisse supposer que les causes ne peuvent provenir que d'une exploitation forestière abusive.

page blanche 30 : verso

## **INFRASTRUCTURE ET ENVIRONNEMENT**

### **La *spatiocarte* de la zone d'exploitation des phosphates de Taïba**

#### **Contexte du Projet**

La recherche des sites propices de même que l'estimation et le suivi des surfaces excavées, sont des activités constantes dans l'exploitation des ressources minières. La présence sur le terrain ne suffit pas toujours pour avoir une vue globale de la zone, elle ne permet qu'une vue partielle locale et superficielle. La prise régulière de photographies aériennes peut offrir cette vue d'ensemble. Cependant, le coût élevé des missions aériennes limite souvent leur utilisation avec une périodicité rapprochée. L'imagerie satellitaire constitue une alternative heureuse. De par sa répétitivité qui permet des prises de vue sur les mêmes lieux plusieurs fois par an, voire par mois, son champ de vue (quelques hectares à plusieurs kilomètres carrés) et la richesse des informations, la télédétection spatiale occupe une place de choix dans l'ensemble des techniques d'étude de l'environnement.

#### **Objectifs**

Il s'agit d'élaborer, pour le compte de la Division Mine de la Compagnie Sénégalaise des Phosphates de Taïba (CSPT), une *spatiocarte* de la zone d'exploitation des phosphates de Taïba. Les informations d'une image Spot ont été combinées avec des données topographiques (courbes de niveau, points cotés) et les éléments d'infrastructures (localités, voies de communication).

#### **Méthodologie**

La réalisation d'une *spatiocarte* se fait en plusieurs étapes allant du choix des images à l'impression finale en passant par la mise en conformité des couches de données.

- **Le choix des images**

La date de prise de vue des images doit correspondre à une période de l'année où la couverture végétale n'a pas encore totalement disparu pour être identifiée aisément. Mais, elle ne doit toutefois pas gêner la perception des linéaments et des autres formes. Si en saison sèche, la visibilité est moins perturbée par la présence des nuages, il faut déplorer en revanche la fréquence de la brume sèche ou de la poussière. Le choix s'est porté sur des images Spot à cause de leur résolution spatiale accrue par rapport aux autres satellites.

Les données traitées correspondent aux images numériques multispectrales (résolution spatiale de 20 m) et panchromatique (résolution de 10 m) de la scène Spot du 25 octobre 1996. La simultanéité de prise de vue assure une parfaite

correspondance du contenu des scènes (mêmes conditions atmosphériques, orbites identiques).

- **L'intégration des images**

L'intégration des images XS et P permet de bénéficier à la fin de la finesse de résolution spatiale du panchromatique (P) et de la richesse des trois bandes multispectrales (XS).

Un rééchantillonnage permet d'uniformiser la taille du pixel de l'image XS par rapport à celle du panchromatique P. Un pixel de 20 x 20 m produit 4 pixels de 10 x 10 mètres ayant tous la même valeur radiométrique. Afin de les rendre parfaitement superposables, les canaux XS ont été d'abord redressés par rapport au Panchromatique. Il s'agit donc d'un redressement d'images à images.

Pour l'intégration nous avons utilisé la transformation RGB-IHS qui est une méthode de passage de la composition en fausse couleur Rouge-Vert-Bleu à la combinaison de canaux selon le système Intensité-Luminance-Saturation.

L'image résultante XS+P est une composition obtenue par l'affectation de la couleur Rouge au canal 2, la Verte au 3 et la Bleue au 1.

- **La "géoréférentiation"**

La géoréférentiation vise à exprimer les coordonnées des différentes couches de données dans un même référentiel. Elle est mise en oeuvre sur la base de coefficients obtenus à partir d'une série de points prélevés sur l'image et sur un document de référence. Des points remarquables et précis (carrefours de routes, coins de champs...) sont repérés sur l'image satellite et leurs homologues identifiés sur les cartes (amers) ; en l'occurrence les cartes topographiques au 1/50 000.

Sur une trentaine de points pris en compte neufs ont satisfait au critère de modélisation mathématique fournissant 5 m d'écart à la moyenne quadratique.

- **La délimitation de la zone d'étude**

La zone d'étude se situe dans la région de Thiès, au Nord Ouest du Sénégal. Elle s'inscrit dans un rectangle de 40 km de long sur 35 km de large allant de l'axe routier Tivaouane-Mékhé à la frange côtière. Les sections sur les différentes images de la fenêtre englobant la zone d'étude, permettent d'éviter de travailler inutilement en dehors de celle-ci.

### • La numérisation des cartes topographiques

Les cartes topographiques constituent une source de données complémentaires pour l'utilisation des images spatiales. Les *couches* suivantes ont été ciblées :

- limites administratives,
- limites des forêts classées,
- position des localités,
- toponymie,
- réseau hydrographique,
- réseau routier (routes et pistes),
- courbes de niveau,
- points côtés.

Par ailleurs, la Division des Mines de la CSPT a fourni des renseignements complémentaires sur quelques infrastructures importantes de la zone d'exploitation (la localisation des panneaux, le type de coordonnées locales utilisées, etc.).

L'ensemble de ces informations sont superposées aux images satellitaires pour l'élaboration de la *spatiocarte*.

## Résultats et discussions

Les différentes couches de données ainsi constituées sont regroupées dans un Système d'Information Géographique. Les divers produits obtenus sont présentés en format numérique, sur papier ordinaire et sur papier photo (échelle 1 /50.000). Sur tous ces supports les éléments caractéristiques de la zone sont nettement mis en évidence. Ainsi on distingue la zone en cours d'extraction en couleur blanchâtre, celle qui a été délaissée (plus sombre avec les ravinements), les conduites d'eaux (en noir ou en bleu selon la teneur des produits présents). D'autres éléments sont aisément repérables (les localités et les axes de communication qui y aboutissent). L'ajout d'une grille de coordonnées UTM permet de se situer et d'estimer la distance d'un point à un autre.

Les résultats obtenus confirment l'intérêt des données satellitaires à haute résolution pour le suivi des aménagements et des zones d'exploitation. Il faut constater la limite de la résolution des images pour des phénomènes plus localisés qui nécessitent la perception à une grande échelle (voisine ou supérieure au 1 /25 000). En tout état de cause, la *spatiocarte*, combinaison de l'imagerie satellitaire et des données cartographiques fournit un document riche en information pour les besoins du suivi et de la planification.

page blanche 34 : verso

page 35, réservée à la spatiocarte de Taïba

page blanche 36 : verso spatiocarte

## **AMÉNAGEMENT DE L'ESPACE RURAL**

### **Mise en place d'un réseau de stations d'analyse et d'expérimentation en milieu rural pour le développement soutenu des terroirs villageois**

#### **Contexte du Projet**

L'élaboration d'un réseau d'observatoires des systèmes de production répond à une demande précise émanant des intervenants locaux et se rapportant à une meilleure connaissance des interactions entre systèmes de production et environnement. Jusqu'à présent, toutes les études visant à répondre à cette demande, exceptées celles parrainées par l'OMVG, ont été effectuées à l'échelle nationale. La présente étude, développe une approche sous-régionale, vues les nombreuses similitudes entre les facteurs écologiques, ethniques, agro-écologiques et physiques qui prédominent dans les zones cibles. Celles-ci sont constituées par les bassins versants du fleuve Gambie Kayanga (Rio Géba) et Koliba (Rio Corubal). Ces bassins versants sont à la jonction du Sénégal, de la Gambie, de la Guinée-Bissau et de la Guinée.

La gestion de ce projet, qui couvre une superficie totale supérieure à 27 000 km<sup>2</sup> est confiée à l'Université Catholique de Louvain (UCL) dont le principal partenaire local est l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Gambie (OMVG). Parmi les partenaires techniques locaux figure le CSE avec lequel le projet a établi un protocole d'accord.

#### **Objectifs**

Il se pose des problèmes de gestion des ressources naturelles dans le parc transfrontalier du Niokolo-Badiar, objet de sollicitations de plus en plus fortes dans les zones périphériques. Le parc se trouve en outre confronté à des risques de conflits sociaux au niveau des terroirs villageois riverains.

Pour toutes ces raisons, les objectifs que se fixe le projet sont entre autres :

- de contribuer à créer des conditions nécessaires à un développement soutenu des terroirs villageois par la mise en place d'un réseau d'observatoires des systèmes de production et la promotion de techniques de protection et de régénération du milieu,
- assurer la compatibilité entre production agro-sylvo-pastorale et conservation de l'environnement et de la biodiversité,
- renforcer les structures locales partenaires sur le plan scientifique, technique et méthodologique.

Pour atteindre ces objectifs le projet envisage de définir un zonage agro-écologique approprié permettant de réaliser une analyse fine des systèmes agraires et de leurs relations avec le milieu naturel, à l'échelle de la station observation. C'est dans ce

sens que l'élaboration d'un support cartographique sous la forme d'une spatiocarte de la zone d'étude au 1/300 000 a été demandée au CSE.

Cette collaboration s'inscrit dans le cadre d'un protocole d'accord conclu entre le CSE et un Projet commun de l'OMVG, la CIUF et l'UCL. Les principaux domaines de collaboration identifiés concernent la prestation de service, la conduite de missions communes, la participation à des séminaires organisés par le Projet ainsi que l'appui à l'octroi de bourses de formation complémentaire en Belgique.

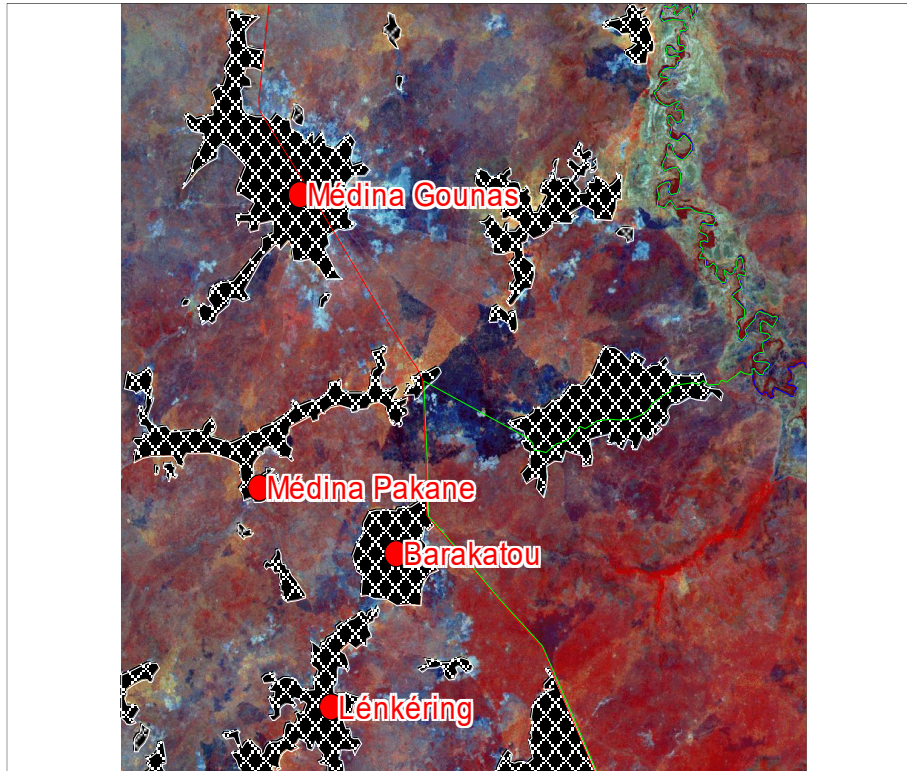
Ce projet offre au CSE l'opportunitz l'occasion pour le CSE de valoriser les images satellites dans les programmes d'aménagement des espaces ruraux.

### **Méthodologie et résultats**

Le zonage agro-écologique réalisé s'appuie sur l'imagerie satellitaire à haute résolution, et en particulier l'image Landsat TM de 30 mètres de résolution. Les deux images acquises par le Projet datent du 4 mai et du 11 mai 1995. Le CSE a été chargé par le Projet de les corriger géométriquement, de réaliser leur mosaïque et leur habillage (tracé des frontières et de la limite de la zone d'étude) et de les imprimer à l'échelle 1/300 000.

Les six spatiocartes produites seront photo-interprétées (identification des grandes unités morphopédologiques) et constitueront la base d'un Système d'Information Géographique.

Ainsi que l'illustre la figure représentant le terroirde Médina Gounas, une analyse fine des systèmes agraires et de leurs relations avec le milieu naturel à l'échelle des stations d'observatoire permet de compléter et d'approfondir le diagnostic du milieu rural par une intégration des données multisources (images satellitaires, superposition de données vectorielles issues d'orthophotoplans ou de cartes).



*Terroir de Médina Gounas (département de Vélingara)*

L'interprétation visuelle à l'écran de l'image satellitaire permet d'identifier les principales classes d'occupation de l'espace : zones cultivées, savane arborée à arbustive, forêts galeries, cultures sur brûlis, bas-fonds, jachères... Les contours de ces classes peuvent être numérisés directement à l'écran et superposés à l'image satellitaire pour en faciliter la lecture.

L'analyse des images à l'écran constitue une alternative prometteuse aux classifications numériques habituellement utilisées pour la caractérisation des classes d'occupation du sol. Elle autorise une plus grande intervention du technicien et améliore par conséquent la précision du produit.

page blanche 40 : verso

## **GESTION INTÉGRÉE DE LA DIVERSITÉ BIOLOGIQUE AU FERLO**

### **Le projet *Bioferlo***

#### **Contexte du Projet**

Durant la période sèche des années 1970, les écosystèmes sahéliens ont été durement éprouvés. Il s'en est suivi une dégradation sévère des ressources naturelles, accentuée par l'absence de stratégies rationnelles, à grande échelle, d'exploitation et de protection de l'environnement. Le déficit pluviométrique de ces deux dernières décennies a eu des conséquences écologiques majeures dans la zone au nord du Sénégal en particulier. Il s'est opéré de plus en plus dans cette région une sélection naturelle tendant à favoriser l'apparition et le maintien d'espèces végétales et animales adaptées aux nouvelles conditions climatiques. Cela s'est traduit par une restriction de la diversité biologique au Ferlo.

Dans la partie sableuse, au niveau de la strate ligneuse, se retrouvent essentiellement des épineux tels que *Balanites aegyptiaca* ou divers *Acacia* associés à *Boscia senegalensis*, *Calotropis procera* ou *Salvadora persica*. Par contre, dans le Ferlo ferrugineux, la gamme des espèces est plus variée, mais une forte mortalité de *Pterocarpus lucens* est notée par endroits. Des espèces comme *Bombax costatum*, *Lannea acida*, *Terminalia avicennoides* ou *Sterculia setigera* se retrouvent plus au sud. Au niveau de la strate herbacée, des espèces comme *Andropogon amplexans*, *Andropogon gayanus*, *Schizachyrium exile*, *Ctenium elegans*, *Blepharis linearifolia* ou *Indigofera astragalina* se sont nettement raréfiées dans cette partie du pays.

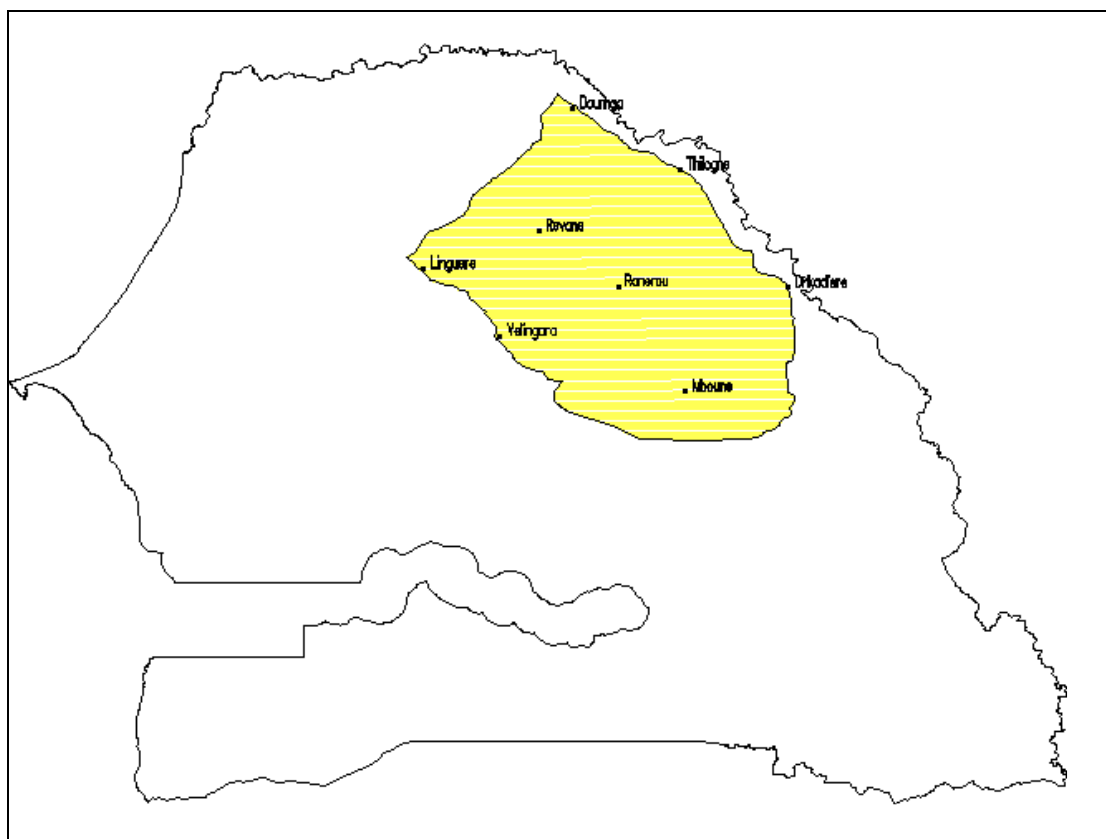
Pendant que cette dégradation liée surtout à une aridification progressive des conditions climatiques est en train de s'opérer, la pression de l'homme sur le milieu s'est d'autant accentuée (surpâturage, déboisement, avancée du front agricole, etc.).

#### **Objectif et zone d'étude**

L'objectif principal du projet, élaboré par le bureau d'études danois, Ornis Consult S/A, en collaboration avec la Direction des Parcs Nationaux (DPN) et la mission locale de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) est d'instaurer un équilibre entre l'homme et son milieu à travers une gestion rationnelle des ressources naturelles. Le CSE a été retenu pour la réalisation de la cartographie de l'occupation du sol qui permet de cerner la répartition des différentes composantes de l'espace (végétation naturelle, zones de culture, sol nu, localités, autres unités), et d'appréhender les potentialités biologiques de la zone d'étude, en vue de définir des stratégies d'aménagement et de gestion des ressources naturelles.

La zone cartographiée s'étend sur 31 667 km<sup>2</sup> et comprend la réserve de faune du Ferlo et ses abords immédiats. Comprise entre les latitudes 14°35'N-16°15'N et les

longitudes 13°10'W-15°00'W elle est limitée par les localités de Linguère, Doumga, Orkadiéré, Mboune et Korkol (cf. carte de situation).



*Figure 1 : Zone d'intervention du Projet de gestion intégrée de la diversité biologique au Ferlo*

## Résultats de la classification et de l'interprétation

La carte d'occupation du sol est réalisée à partir d'images satellitaires Landsat TM et d'enquête menée le terrain. Trois logiciels sont utilisés dans les traitements :

- *CHIPS* et *ERDAS* pour le traitement d'images
- *ARC/INFO* pour la cartographie.

### • Les images utilisées

Les images Spot offrent de meilleures possibilités pour la réalisation du produit. Mais, en raison de leur coût élevé, l'on a préféré recourir aux images Landsat TM. Ainsi, trois scènes et un quart ont été utilisés pour couvrir la totalité de la zone d'étude. Les dates de prise de vue sont :

- le 9 juin 1994 pour les scènes 204-49 et 204-50 ;
- le 18 juillet 1994 pour la scène 203-49 et le quart de scène 203-50.

### • Détermination des classes de végétation

Les classes des types physiologiques de la végétation sont fondées sur les définitions des types de végétation adoptées à la réunion de Yagambie (Boudet, 1977) et sur la classification internationale de la végétation proposée par l'UNESCO en 1973 (tableau 3).

*Tableau 3 : Base de détermination des différentes classes de formations végétales*

Type de végétation	Recouvrement ligneux (%)
Steppe arbustive	2 - 5
Savane arbustive claire	5
Savane arbustive	5 - 15
Savane arbustive dense	15 - 20
Savane arborée	> 20

Sur cette base, 115 relevés ont été effectués à l'aide du GPS sur l'ensemble de la zone. Les taux de recouvrement de la strate ligneuse ont été estimés en se référant aux valeurs de recouvrement calculées au niveau des sites de contrôle du CSE (CSE, 1996).

Pour chaque relevé, l'importance relative de chaque espèce a été déterminée selon l'échelle d'abondance relative suivante :

- + très rare
- 1 rare
- 2 assez abondant
- 3 abondant
- 4 très abondant

Dans la phase de classification supervisée, l'application des aires d'entraînement déterminées par la similarité de relevés a permis de discriminer quatorze (14) classes dont douze (12) concernent la végétation naturelle et deux (2) le sol nu et les établissements humains (figure 2). Chaque classe de végétation est caractérisée, dans la mesure du possible, par le type morphopédologique auquel elle appartient.

Les classes constituent des variantes liées essentiellement à la nature du sol et à la topographie des deux types de formations végétales caractéristiques de la zone (Steppe et Savane). Les formations steppiques sont localisées principalement dans la moitié ouest de la zone du projet et sur les versants de la vallée du Ferlo tandis que les savanes sont plutôt présentes dans la moitié est. La steppe arbustive relevée au sud constitue des faciès de dégradation de la savane créés plus par l'érosion hydrique des versants des vallées du Ferlo sud que par la déforestation à des fins agricoles.

Du point de vue floristique, certaines espèces comme *Balanites aegyptiaca*, *Acacia raddiana*, *Sclerocarya birrea* et *Calotropis procera* sont surtout caractéristiques des steppes tandis que d'autres telles que *Pterocarpus lucens*, *Commiphora africana*, *Acacia seyal* et *Mitragyna inermis* sont le plus souvent identifiées dans les savanes.

En revanche, *Guiera senegalensis*, *Boscia senegalensis* et *Combretum glutinosum* sont également réparties dans les deux types de formations. Savanes et steppes qui représentent la quasi-totalité de la zone constituent les parcours naturels utilisés par le cheptel et la faune sauvage.

Dans la partie sud où l'agriculture occupe une place non négligeable, les zones de culture se confondent avec les parties nues en raison de la période de prise de vue (juillet), mais surtout du fait de l'absence de structures c'est à dire d'éléments de délimitation. Ces zones se localisent, en général, sur les versants des vallées fossiles et à proximité des villages.

Les établissements humains regroupent les villes, les villages, les gros campements et les sites des forages où l'activité humaine est très importante. La densité humaine y est beaucoup plus élevée que la moyenne régionale qui est de l'ordre de 10 hbts/km<sup>2</sup>

Tout laisse penser que, le mode actuel d'occupation et d'utilisation de l'espace au Ferlo va être sensiblement modifié par la remise en eau des vallées fossiles qui ne manquera pas de provoquer des changements au niveau de la flore, des biotopes, des activités agricoles et de la répartition spatiale de la population.

page 45, réservée aux résultats de classif *Bioferlo*

**Références**

Fotius J., Valenza J., 1966- Etude des pâturages naturels du Ferlo oriental. Etude Agrostologique n°13. Maison Alfort. IEMVT.179p.

Valenza J., Diallo A.K., 1972, Etudes des pâturages naturels du Nord-Sénégal. Etude Agrostologique n° 34. Maison Alfort. IEMVT.

Boudet G., 1977- Contribution au contrôle continu des pâturages tropicaux en Afrique occidentale. Revue IEMVT, 30(4) : pp387-406.

Stancioff A.S., 1986- Cartographie et Télédétection des Ressources de la République du Sénégal. RSI, South Dakota. 653pp.

Touré O., 1990- Ngaynaaka majji : la perte des pratiques pastorales dans le Ferlo (Nord-Sénégal). Centre de Suivi Ecologique.

Faye A., 1992, Estimation des effectifs du bétail par Vol Systématique de Reconnaissance dans la moitié Nord du Sénégal. DocNT92, Centre de Suivi Ecologique.

CSE, 1996, Contribution à l'analyse statistique des données sur la production primaire des parcours naturels du Sénégal (1987-1995). Étude n° 96.

## APPORT DE LA TÉLÉDÉTECTION À L'ÉTUDE DES MANGROVES

### Application sur imagerie Haute Résolution

#### La mangrove

Le domaine intertidal qui comprend les côtes plates d'accrétion rapide et les zones à fort marnage est un milieu favorable à l'installation de la mangrove ; les deltas, estuaires, lagunes étant les sites privilégiés. La nature du substrat n'est pas un facteur limitant (Trochain, 1980).

La mangrove ouest africaine est essentiellement représentée par 6 espèces, dont :

- Rhizophoras : *Rh. racemosa*, *Rh. mangle*, *Rh. harrissonii*,
- Avicennia : *Av. africana*,
- Combrétacées : *Laguncularia racemosa* et *Conocarpus erectus* (*ibid.*).

Plus connus sous le nom de palétuviers, ce sont des plantes halophytes facultatifs. Dans la nature, c'est plus le balancement périodique des marées que la salinité de l'eau qui conditionne le développement de la mangrove. *Rhizophora* est plus adapté à la sursalure. A ces palétuviers et autres espèces qui forment la mangrove stricto sensu, sont souvent associés des marais salés, saumâtres ou d'eau douce généralement liés à la dégradation des mangroves et aux changements dans le régime de sédimentation et surtout du régime hydrique.

Les écosystèmes de mangroves assurent de fonctions multiples et importantes fonctions : protection contre les tempêtes et l'érosion, piégeage des sédiments, filtration de la pollution, zones de reproduction pour différentes espèces de poissons, réserves de nourriture pour les oiseaux migrateurs, habitat protégé pour une faune marine variée. En plus, les mangroves sont intensivement utilisées pour la pêche, la production de sel, la cueillette de coquillages et le ramassage de bois de feu (*The World Bank*, 1993).

Le taux de déforestation dans plusieurs zones côtières est élevé et la crainte d'une destruction de l'écosystème n'est pas exagérée. Le défrichement des zones de mangroves pour l'agriculture, en particulier pour la riziculture, est fréquent dans plusieurs pays d'Afrique de l'Ouest. Face à une telle situation, il est indispensable de définir des stratégies permettant de garantir une meilleure gestion de ces écosystèmes. Pour évaluer, contrôler et prendre des décisions, la connaissance de l'état des lieux et des modifications continues, qui interviennent est nécessaire. La télédétection, notamment l'imagerie Haute Résolution (HR) constitue l'un des outils les plus indiqués pour effectuer ce travail d'étude .

## Le rôle de l'“outil télédétection”

Grâce à la télédétection, l'évolution de la qualité de l'eau et le balancement des marées peuvent être mieux étudiés. L'imagerie Haute Résolution (HR) permet aussi une cartographie de ces écosystèmes, avec la possibilité de mises à jour éventuelles. Contrairement aux inventaires de terrain, la télédétection spatiale permet, dans de brefs délais, à coûts réduits et à échelle variée, de localiser les ressources naturelles, y compris dans les zones d'accès difficile, de dresser des cartes et d'établir des inventaires de l'occupation des milieux naturels (A. Husson, 1985).

## Méthodes et résultats d'interprétation

Afin de démontrer la capacité de l'imagerie HR dans le cadre du suivi de l'écosystème côtier et particulièrement des mangroves, le CSE a classifié une image Landsat TM de novembre 1988 couvrant une partie de Delta du Saloum dans la région de Fatick. L'image a été traitée à l'aide d'un algorithme de classification supervisée (*maximum likelihood*) qui a utilisé les canaux spectraux rouge, proche infrarouge et moyen.

Il ressort de cet exercice que les données du moyen infrarouge permettent d'identifier clairement les mangroves parmi les autres composantes de l'occupation du sol. En particulier une nette distinction avec la savane et le sol nu peut être faite. Par conséquent, les capteurs de type TM semblent assez bien indiqués pour la cartographie des écosystèmes estuariens (*cf.* l'image classifiée dans la zone d'entraînement).

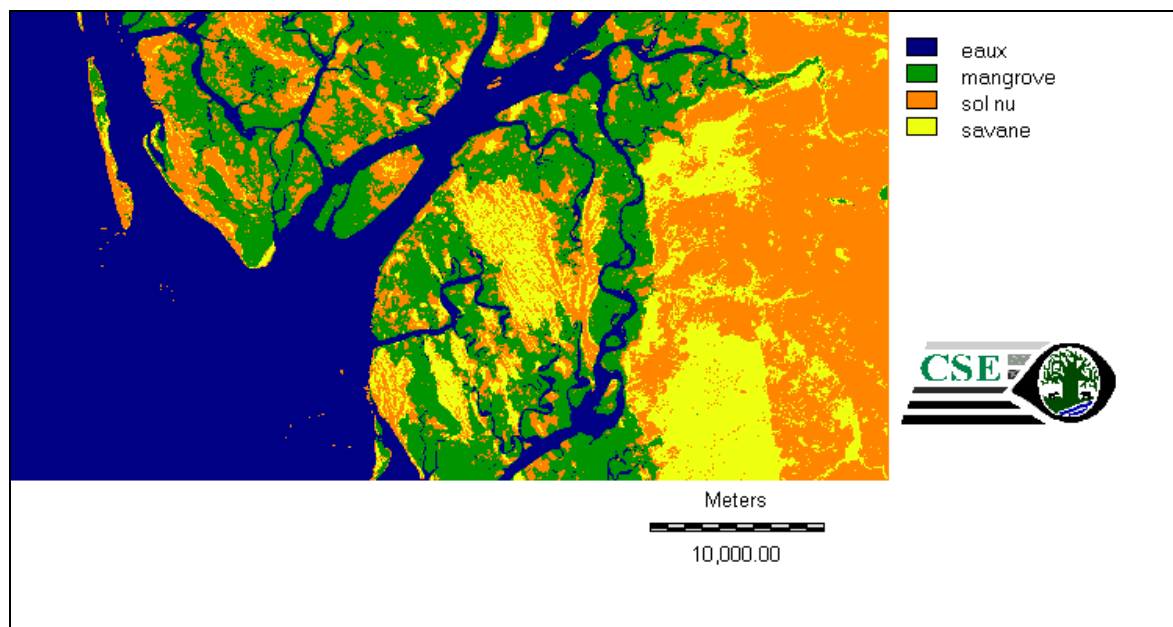


Image classifiée de l'estuaire du Saloum  
(Landsat TM, canaux rouge, proche infrarouge, et moyen infrarouge, novembre 1988)

Afin de la valider, l'image a été comparée à une carte au 1/50 000 de la même zone qui a procédé de photographies aériennes prises en 1989<sup>2</sup>. Trente-six points ont été échantillonnés au hasard et le taux de correspondance entre l'image classifiée et la carte a été estimé à 95 %.

Il ressort des traitements que la télédétection permet de cartographier en un temps très court les formations majeures de l'écosystème, et donc de passer plus rapidement à la réflexion sur des stratégies permettant de rétablir l'équilibre du milieu naturel. L'évolution des zones de mangroves peut être appréciée en utilisant la même approche méthodologique à des dates différentes pour mieux percevoir les changements liés à l'action de l'homme.

## Conclusion

La mangrove est un écosystème très particulier, tant par son rôle écologique et socio-économique que par sa spécificité et l'équilibre dynamique et fragile de ses différentes composantes. En effet, outre l'habitat qu'elle offre à diverses espèces animales et végétales, la mangrove assure des fonctions de modérateur de la pollution et de l'érosion. Elle est source de reproduction, de production de sel et de bois de feu. Ses abords sont cultivés par l'homme. Mais ce sont ces mêmes potentialités qui menacent son équilibre en l'absence d'une bonne gestion.

Cette bonne gestion nécessite au préalable une meilleure compréhension du milieu et de son évolution, une bonne évaluation des ressources disponibles. Il faut donc cartographier ces milieux, faire l'inventaire de leurs ressources et suivre la dynamique du système. L'imagerie HR, dans le concert de diverses techniques, offre la possibilité de réaliser tout cela en peu de temps, avec une bonne précision et à un faible coût et de contribuer ainsi de manière significative à la gestion rationnelle de l'écosystème mangrove.

## Références

Husson A., 1985, Plan Directeur de l'utilisation de la Télédétection dans l'inventaire des ressources naturelles de l'équateur, *Télédétection et gestion des ressources naturelles. Compte rendu du 5<sup>e</sup> congrès de l'Association Québécoise de Télédétection*, pp. 431-433

Marius C., 1985, Mangrove du Sénégal et de la Gambie. Pédologie, Géochimie, Mise en valeur et aménagement, *Ed. de l'ORSTOM*, Paris, 357 p.

The World Bank, 1993, Africa : A Framework for Integrated Coastal Zone Management. Land, Water and Natural Habitats Division. Africa Environmentally Sustainable Development Division, The world Bank.

Trochain J-L., 1980, Ecologie végétale de la zone intertropicale non-désertique, Université Paul Sabatier, Toulouse, 468 p.

---

<sup>2</sup> C'est pourquoi le choix a porté sur une image de cette période au lieu d'une "vue" de 1996.

page blanche 50 : verso

## **IMAGERIE SATELLITAIRE HAUTE RÉOLUTION ET ENVIRONNEMENT URBAIN**

### **Les perspectives offertes**

#### **Contexte de l'étude**

L'évolution des espaces urbanisés est devenue une préoccupation majeure du monde actuel puisque les recherches montrent que la population du globe sera à majorité urbaine dans les prochaines décennies. Cette croissance des villes, singulièrement dans les pays en développement, induit une mutation rapide des sociétés, se traduisant par une forte dynamique spatiale. Les méthodes traditionnelles de collecte d'informations géographiques ne peuvent appréhender les multiples facettes de cette dynamique qu'à des coûts très élevés (missions de photographies aériennes, opérations de recensements et d'inventaires) et dans des délais relativement longs, aussi bien pour la collecte que le traitement des données.

La mise en place de plans d'aménagement urbains et de schémas directeurs, doivent se fonder sur des données fiables, actuelles et facilement accessibles portant sur le mode d'occupation du sol, son affectation et son utilisation. Dans ce cadre que les images satellitaires de haute résolution telles que les données Landsat TM ou Spot XS et P peuvent être d'un grand apport pour la gestion des espaces urbanisés. Ces images constituent de précieuses sources d'information cartographique pour deux raisons au moins : d'une part parce qu'elle sont moins onéreuses que les méthodes traditionnelles de collecte et d'autre part parce que leur fréquence temporelle est plus élevée (26 jours pour Spot et 16 jours pour landsat).

#### **Images à haute résolution et milieu urbain**

L'arrivée des satellites à haute résolution spatiale apporte une autre vision de la ville. En effet, l'image numérique de la terre fondée sur les propriétés électromagnétiques du sol et des objets qui se trouvent à sa surface permet non seulement de disposer d'informations très variées sur la morphologie des villes, la structure des tissus urbains, leur contenu, mais aussi de percevoir et de quantifier des phénomènes invisibles à l'oeil nu et sur les photographie aérienne.

Il est possible d'affiner l'information obtenue avec l'imagerie satellitaire en combinant les résolutions spatiales et spectrales. Les images Landsat TM, avec 30 m de résolution spatiale et 7 canaux spectraux, permettent de travailler au niveau des quartiers et du tissu urbain.

Les images Spot offrent d'avantage de possibilités avec 20 m et 3 canaux spectraux en mode multispectral (XS) et 10 m de résolution spatiale en mode Panchromatique (P). Elles autorisent des études plus fines permettant de descendre jusqu'au niveau des grands immeubles.

Par des combinaisons alliant la richesse radiométrique des canaux XS ou TM et la résolution spatiale de 10 m du canal Panchromatique de Spot, les cartes des tissus urbains permettent de faire ressortir les classes suivantes : urbain dense évolutif, évolutif peu dense, résidentiel, collectif en bande, industriel, spontané...

Cette information primaire que fournit la télédétection sur la morphologie, la structure, l'occupation et l'utilisation du sol peut être livrée sous forme de cartes, de tableaux statistiques ou intégrée dans une base de données urbaines.

Du fait que près de 80 % des données utilisées par les collectivités en matière de gestion urbaine sont référencées spatialement (Somer, 1987), l'intégration de ces données de télédétection dans les Systèmes d'Information Géographiques permet de bâtir des systèmes d'aide à la décision.

## **Produits dérivés des images satellitaires**

- **Les spatiocartes**

Ce sont des cartes résultant de la superposition de données topographiques d'une part et cartographiques d'images satellitaires d'autre part. Elles sont conformes à un système de projection cartographique et peuvent alimenter une banque de données géoréférencées. La spatiocarte donne une information précise et riche parce que n'ayant pas subi les règles de généralisation de la cartographie classique. Elles peuvent constituer la couche de fond d'un SIG urbain. C'est dans cet esprit qu'un projet test a été appliqué à la région de Dakar.

- **Les cartes d'occupation-utilisation du sol**

L'élaboration ou la mise à jour d'un schéma directeur, outils de base du planificateur pour l'allocation des ressources spatiales, tire de nombreux avantages de l'utilisation des images satellitaires. L'IAURIF (1995) a montré qu'il était possible de déterminer 21 postes de légende avec l'imagerie satellitaire contre 19 pour la photographie aérienne en milieu urbain et pour les milieux naturels 25 postes contre 15. Les statistiques associées aux données cartographiques intègrent facilement une base de données à des fins d'analyse.

Ces cartes d'occupation du sol, couche de base d'un Système d'Information Géographique, combinées à d'autres types de données ouvrent les perspectives intéressantes en matière de planification, d'aménagement et d'équipement.

La structure des réseaux peut aussi être cartographiée avec l'imagerie satellitaire dans l'optique de la gestion du trafic routier, des dessertes, etc.

- **Les cartes thématiques**

De nombreuses cartes thématiques peuvent être élaborées en fonction d'objectifs précis d'aménagement. La combinaison de la carte des îlots avec des données de recensement permet par corrélation de créer des cartes de densité sur lesquelles peuvent s'appuyer les bases de sondages ou d'enquêtes par échantillonnage.

Des indicateurs environnementaux tels que l'indice de végétation ou la température de surface peuvent être extraits et cartographiés à partir des images satellites ou des produits dérivés: cartes des espaces verts utilisant l'indice de végétation, carte de la répartition de la température localisant les principales anomalies thermiques souvent indicatrices de sources de pollution, etc.