

CIRAD-EMVT
10, rue Pierre Curie
94704 MAISONS-ALFORT Cedex

Ecole Nationale Vétérinaire
d'Alfort
7, avenue du Général de Gaulle
94704 MAISONS-ALFORT Cedex

Institut National Agronomique
Paris-Grignon
16, rue Claude Bernard
75005 PARIS

Muséum National d'Histoire Naturelle
57, rue Cuvier
75005 PARIS

**DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES SPECIALISEES
PRODUCTIONS ANIMALES EN REGIONS CHAUDES**

MEMOIRE DE STAGE

**EVALUATION PAR TELEDETECTION DE LA
DYNAMIQUE PASTORALE DE LA REGION DU LAC R'KIZ**

(République Islamique de Mauritanie)

entre 1987 et 1993

par

Hélène LEMONNIER

année universitaire 1993-1994

DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES SPECIALISEES PRODUCTIONS ANIMALES EN REGIONS CHAUDES

EVALUATION PAR TELEDETECTION DE LA
DYNAMIQUE PASTORALE DE LA REGION DU LAC R'KIZ

(République Islamique de Mauritanie)

entre 1987 et 1993

par

Hélène LEMONNIER

Lieu de stage : VALBONNE (France)

Organisme d'accueil : GEOIMAGE

Période de stage : 18 avril - 18 juillet 1994

Rapport présenté oralement le : 20 décembre 1994

REMERCIEMENTS

A l'issue de ce stage, je tiens à exprimer toute ma gratitude aux personnes qui m'ont permis de mener à bien ce travail.

Je remercie tout d'abord Monsieur Le Professeur G. DE WISPELEARE qui m'a proposé le sujet de ce stage, et encadré jusqu'à la rédaction finale de ce rapport.

Monsieur Lionel LAURORE, directeur de la société GEOIMAGE, en m'accueillant dans de très bonnes conditions au sein de son entreprise, m'a permis de m'initier aux traitements des images satellitaires. Je le remercie très sincèrement.

Mes remerciements s'adressent tout particulièrement à Christel CHAMIGNON, pour tout ce qu'elle m'a appris au cours de ce stage, avec patience et disponibilité, ainsi que pour sa bienveillance à mon égard et sa gentillesse.

J'exprime également toute ma reconnaissance à l'équipe de GEOIMAGE qui a toujours été prête à répondre à mes questions avec sympathie.

Enfin, je ne saurais oublier le précieux soutien de Jean-Paul, et la patience de notre fils Antoine, qui a sagement attendu la fin de ce stage pour voir le jour.

RESUME

Dans le domaine de la mise en valeur des pâturages en zone tropicale, la carte est un outil fondamental de la décision et de la gestion des projets de Recherche Développement.

Cette étude a pour objet de cartographier une importante zone pastorale, la région du lac R'kiz en Mauritanie entre 1987 et 1993.

Les données multispectrales de SPOT ont été utilisées pour la classification des différents postes d'occupation du sol.

L'étude du milieu, des résultats obtenus à la suite des différents traitements et des cartes, nous a permis de définir une dynamique pour chacun des écosystèmes rencontrés.

Les surfaces de cultures irriguées du Wallo, ces sols hydromorphes aux abords du fleuve Sénégal, ont pratiquement doublé. L'hydromorphie globale de cet écosystème a augmenté. La progression des îlots d'*Acacia nilotica*, définis par photo-interprétation laisse penser que le couvert végétal a fortement progressé.

La couverture végétale du Dieri, ensemble de dunes sableuses où la steppe se fait plus ou moins dense, s'est également accrue. Néanmoins, cette progression s'avère très forte à l'ouest, alors que l'est aurait connu une importante dégradation.

La mise en évidence d'un tel contraste dans l'évolution de la végétation nous amène à réfléchir sur les limites d'utilisation des données SPOT pour des surfaces peu couvertes tel que le sahel.

MOTS-CLES : Pâturages, Télédétection, Elevage, Mauritanie, Pluviométrie, Couvert herbacé.

TABLE DES MATIERES

	Pages
INTRODUCTION	6
<u>1. PRESENTATION DE L'ETUDE</u>	7
1.1. Problématique pastorale de la région du lac R'kiz : objectifs de l'étude	7
1.2. La télédétection au service de l'étude de la dynamique des milieux	9
<u>2. DEFINITION DU MILIEU D'ETUDE</u>	12
2.1. L'état du couvert végétal : des pâturages dégradés	12
2.2. L'impact de l'élevage sur la végétation	13
2.3. La cause climatique majeure de cette dégradation : la pluviométrie	15
<u>3. LA CARTOGRAPHIE DE L'OCCUPATION DU SOL DE LA REGION DU LAC R'KIZ POUR 1987 ET 1993 : Méthodes, résultats, discussion</u>	20
3.1. Typologie	20
3.2. Méthodologie générale	21
3.2.1. Les prétraitements	
3.2.1. 1. Améliorations radiométriques	21
3.2.1. 2. Corrections géométriques	22
3.2.2. Les trichromies : une première approche visuelle des images SPOT	22
3.2.3. Les indices de végétation et de brillance : définitions et intérêts	25
3.2.4. Les classifications dirigées	26
3.2.5. La photo-interprétation	27
3.3. Exposé des résultats et leur contrôle, discussion	27
3.3.1. La stratification	27
3.3.2. Les néocanaux	27
3.3.2. 1. Les indices de végétation	28
3.3.2. 2. L'indice de brillance	28
3.3.3. Les classifications dirigées	34
3.3.3.1. Méthode employée	34

3.3.3.2. Le contrôle de la cartographie finale	35
3.3.3.3. Exposé des résultats	38
3.4. Comparaison des résultats indice de brillance/néocanaux	34
3.4.1. Présentation des résultats	43
3.4.1.1. Le Wallo	43
3.4.1.2. Le Dieri	44
3.4.2. Discussion	46
<u>4. INTERPRETATION THEMATIQUE</u>	47
4.1. Présentation des résultats	47
4.2. Analyse des résultats	47
4.3. Diagnostic et hypothèses retenues sur l'évolution de l'occupation du sol entre 1987 et 1993	50
CONCLUSION	52
Liste des illustrations	54
Annexes	55
Références bibliographiques	62

INTRODUCTION

Depuis le début des années 1970, le sahel a entamé un processus de désertification, dû à la succession de saisons pluvieuses très déficitaires et mal réparties dans le temps.

Les pâturages de la région du lac R'kiz, vaste zone d'élevage au sud-ouest de la Mauritanie en zone sahélienne, ont subi ce déficit pluviométrique, lequel s'est poursuivi jusqu'au milieu des années 1980. Depuis 1986, les relevés pluviométriques sahéliens sont relativement plus réguliers, comparés aux deux décennies précédentes. Même si ils restent peu élevés, la végétation semble reprendre le terrain gagné par le désert.

La télédétection, par les surfaces qu'elle permet de couvrir ainsi que par la qualité, la diversité et la répétitivité des images qu'elle produit est un moyen récent pour l'inventaire de l'occupation du sol et le suivi de son évolution.

Les zones sahéliennes sont des régions propices à l'utilisation d'images satellitaires, du fait de surfaces vastes mal connues, de difficultés de circulation ou d'implantations de points de suivi, de la faible couverture cartographique de précision et de l'alternance violente des saisons (PUECH, 1992).

Son intérêt en Mauritanie a déjà été démontrée (DE WISPELEARE *et al.*, 1989 ; GODARD, 1991).

A partir d'images satellitaires SPOT, nous nous proposons de cartographier l'occupation du sol de la région du lac R'kiz, au nord de la ville de Rosso, pour les années 1987 et 1993, afin d'évaluer le recul du phénomène de désertification.

Après la définition du milieu d'étude, nous exposerons brièvement les traitements d'images employés pour obtenir la cartographie de l'occupation du sol du nord de Rosso. Les résultats cartographiques seront exposés et leur validité sera discutée.

L'exploitation de ces résultats et l'étude de la dynamique du milieu entre 1987 et 1993, ainsi que l'exactitude du terme "remontée biologique" pour la région du lac R'kiz fera l'objet de notre quatrième partie.

1. PRESENTATION DE L'ETUDE

1.1. Problématique pastorale de la région du lac R'kiz : objectifs de l'étude

Situation pastorale

La zone étudiée s'étend au nord-est de la ville de Rosso (annexe 1), entre le fleuve Sénégal et le lac R'Kiz (16°40'N, 15°20'O).

Elle est caractérisée par un climat subdésertique sahélo-saharien, avec une période active des pâturages d'un mois environ (août), et une saison pluvieuse répartie sur deux à trois mois, avec une pluviosité moyenne annuelle allant de 200 à 400 mm (IEMVT, 1991).

L'élevage qui y est pratiqué est de type extensif : la charge animale et la productivité animales à l'hectare sont très faibles. En effet, les ressources fourragères rares et temporaires, dépendantes du régime pluviométrique, ne permettent pas une exploitation intensive.

Pour subvenir aux besoins alimentaires du troupeau, sur cet espace vaste et marqué par l'alternance saisonnière, la mobilité est une question de survie.

Lorsque les premières sécheresses sont apparues (1973 et 1974), les pâturages du nord de la Mauritanie (les plus arides) ont déperissé et ont amené les éleveurs à descendre plus au sud pour trouver les ressources fourragères nécessaires à leur troupeau.

L'abandon des anciens parcours ont eu pour conséquence une réduction de l'espace exploiter, et donc une augmentation de la charge animale à l'hectare.

Les pâturages sahéliens du sud de la Mauritanie, écosystème fragile, en sus d'une pluviométrie insuffisante, ont été surpâturés, ce qui a diminué chaque année leur capacité de régénérescence, jusqu'à la désertification totale de certaines zones.

Ce phénomène, la désertification, est définie par RAPP et *al.* (1976) comme "une extension des conditions désertiques en régions arides et semi-arides jusqu'à 600 mm, due à l'influence humaine ou aux changements climatiques".

En effet, dans la région du lac R'kiz, le climat n'est pas le seul responsable du phénomène de désertification, à fortiori dans les zones où l'anthropisation est forte.

La gestion des pâturages mauritaniens est donc complexe : il s'agit de préserver un espace vaste, où la notion de pérennité n'est pas toujours bien perçue par les éleveurs qui vivent avant tout au jour le jour, et où les conflits transhumants / sédentaires se révèlent très délicats.

L'étude du dynamisme des pâturages est fondamentale et indispensable à l'élaboration d'un programme d'exploitation. En milieu sahélien, la difficulté de l'évaluation de la ressource pastorale tient à deux notions essentielles :

- la notion temporelle, puisque la productivité des plantes est étroitement liée à la pluviométrie rassemblée sur quelques mois ;

- la notion d'espace, car le terrain est souvent très hétérogène, chaque microrelief a généralement son espèce spécifique (difficulté d'échantillonnage).

Pour cela, les problèmes d'évaluation de la ressource pastorale tiennent au peu d'homogénéité des surfaces et à la rapide modification de la valeur d'un pâturage, sous l'effet des variations climatiques.

Depuis peu, on a noté pour la région du lac R'Kiz la recolonisation du couvert herbacé sur certains espaces dénudés. La végétation ligneuse, qui apporte en saison sèche un complément azoté essentiel à la production laitière, connaît un développement plus lent, et d'autant plus freiné que l'homme exploite les arbres pour ses besoins domestiques.

Objectifs poursuivis

A travers cette étude, ayant pour objectif la cartographie de l'occupation du sol, du sud du lac R'kiz au fleuve Sénégal, pour les années 1987 et 1993 à partir d'images satellitaires SPOT, nous nous proposons d'analyser l'évolution du potentiel fourrager de cette région.

L'inventaire des niveaux de densité de la végétation, des sols plus ou moins dégradés, des cultures et des surfaces en eau, permettra une vision synthétique de l'importance et de la localisation des différents thèmes répertoriés.

A partir de ces données cartographiques, une dynamique du milieu pourra être définie, laquelle constitue un appui important aux actions de développement rural et à la gestion de l'espace pastoral sahélien.

Il est important de noter que la vérité de terrain réalisée en 1993, n'a pas été exploitable, car elle n'était pas adaptée à ce type d'étude. En effet, dans le cadre d'études basées sur les données d'images satellitaires, les enquêtes de terrain doivent être appropriées (méthode d'échantillonnage, taille de l'échantillon ...).

Pour cela, l'exploitation des résultats ne pourra donner lieu qu'à des hypothèses d'évolution entre les deux années.

D'autre part, les résultats de cette étude constitueront une première étape dans le cadre du projet SPOT 4/MIR, ayant pour but d'évaluer l'apport du canal moyen infra-rouge du futur satellite SPOT4, à partir de données Thematic Mapper de LANDSAT pour la classification des régions arides, la région du lac R'kiz étant choisie comme lieu d'expérimentation.

1.2. La télédétection au service de l'étude de la dynamique des milieux

Les objectifs poursuivis par cette étude sont fondés sur l'utilisation des données satellitaires.

En effet, le suivi de l'évolution des écosystèmes par télédétection offre de nombreux avantages, par rapport aux moyens traditionnels (interprétation de photographies aériennes, enquêtes de terrain...) :

- la répétitivité : la plupart des satellites repassent au-dessus du même point en moins de 30 jours, et cela pour les moins fréquents. Ils assurent donc un minimum de 12 couvertures théoriques par an.

- la quantification : les enregistrements numériques provenant d'images satellitaires permettent de quantifier la matière sèche d'un pâturage ou le rendement d'une parcelle cultivée.

- la localisation : il est possible de réaliser une correspondance géométrique entre un document cartographique et un document satellitaire géoréférencé, et donc de positionner avec une précision connue les relevés de terrain.

- le moindre coût : l'étude d'une zone connue peut être extrapolée à l'ensemble d'une scène, on conçoit alors le gain de temps réalisé par rapport à une étude de terrain où chaque point doit être enquêté.

L'acquisition d'informations multiples et complémentaires par télédétection concède ainsi un suivi des peuplements végétaux et des phénomènes naturels.

En milieu sahélien, les potentialités de la télédétection ont déjà été testées et ont donné des résultats très encourageants.

Pour ces raisons, l'outil satellitaire répond aux attentes de notre étude.

Quelques notions de base de la télédétection

Un système de télédétection comprend nécessairement :

- un vecteur (avion, satellite),
- un ou plusieurs capteurs (appareil de mesure)
- les moyens permettant de recevoir, contrôler et exploiter les données.

La télédétection aérospatiale exploite des radiations allant de l'ultra-violet aux micro-ondes, et restitue les mesures sous forme d'images.

Les capteurs mesurent, dans les différentes longueurs d'ondes, l'énergie réfléchie ou émise par la surface terrestre (VERGER, 1982).

La mesure d'énergie est intégrée sur une surface carrée au sol. Cette surface élémentaire, appelée "pixel" (de l'anglais "picture element"), varie suivant le capteur utilisé.

Nous pouvons distinguer deux catégories d'instruments d'observations de la terre. Les satellites passifs, comme SPOT ou LANDSAT, observent le rayonnement émis par la surface visée. Ainsi ils ne fonctionnent que grâce à la lumière du jour. Par opposition, les satellites actifs, comme ERS 1, envoient un rayonnement vers une surface et enregistrent la réponse de celle-ci.

Nous utilisons pour notre étude des images SPOT.

A ce jour, deux satellites sont exploités simultanément et assurent la réalisation de prises de vue de la quasi totalité du globe terrestre, depuis une orbite héliosynchrone circulaire située à 830 Km de la surface terrestre. Les images SPOT couvrent une surface au sol de 60 x 60 Km, soit 3600 Km². Elles sont issues de la mesure de l'énergie solaire réfléchie par le sol, sont stockées sous forme numérique de fichiers informatiques et peuvent être restituées sur support papier.

SPOT possède deux capteurs identiques à haute résolution dans le visible (HRV). Chacun d'entre eux possède deux modes de fonctionnement : panchromatique ou multispectral.

En mode panchromatique, l'image est produite par l'utilisation d'une fenêtre spectrale correspondant au domaine du visible électro-magnétique : de 0,51 à 0,73 micron. Ce mode de prise de vue, restitué en niveau de gris, est largement utilisé dans tous les domaines nécessitant une caractérisation géométrique fine telle que l'occupation du sol, l'urbanisme ou l'aménagement.

En mode multispectral, l'image est enregistrée par l'utilisation de trois fenêtres spectrales, dont deux situées dans les domaines du visible et une dans le proche infra-rouge (PIR) du spectre électro-magnétique. Trois mesures sont affectées à chaque pixel, dont la résolution est de 20 x 20 m, dans les longueurs d'ondes suivantes :

canal XS1 : de 0,5 à 0,59 micron (vert)

canal XS2 : de 0,61 à 0,68 micron (rouge)

canal XS3 : de 0,79 à 0,89 micron (PIR)

L'image est restituée en couleurs.

Données utilisées

Ce mode spectral a été choisi pour notre étude, car les signatures spectrales sont ici utilisées en tant que caractéristique des objets à appréhender.

Le but de ce projet étant d'identifier l'occupation du sol, et surtout les différentes formations végétales sahéliennes, la sélection des images à acquérir prend en compte la saison phénologique, et le synchronisme entre 1987 et 1993.

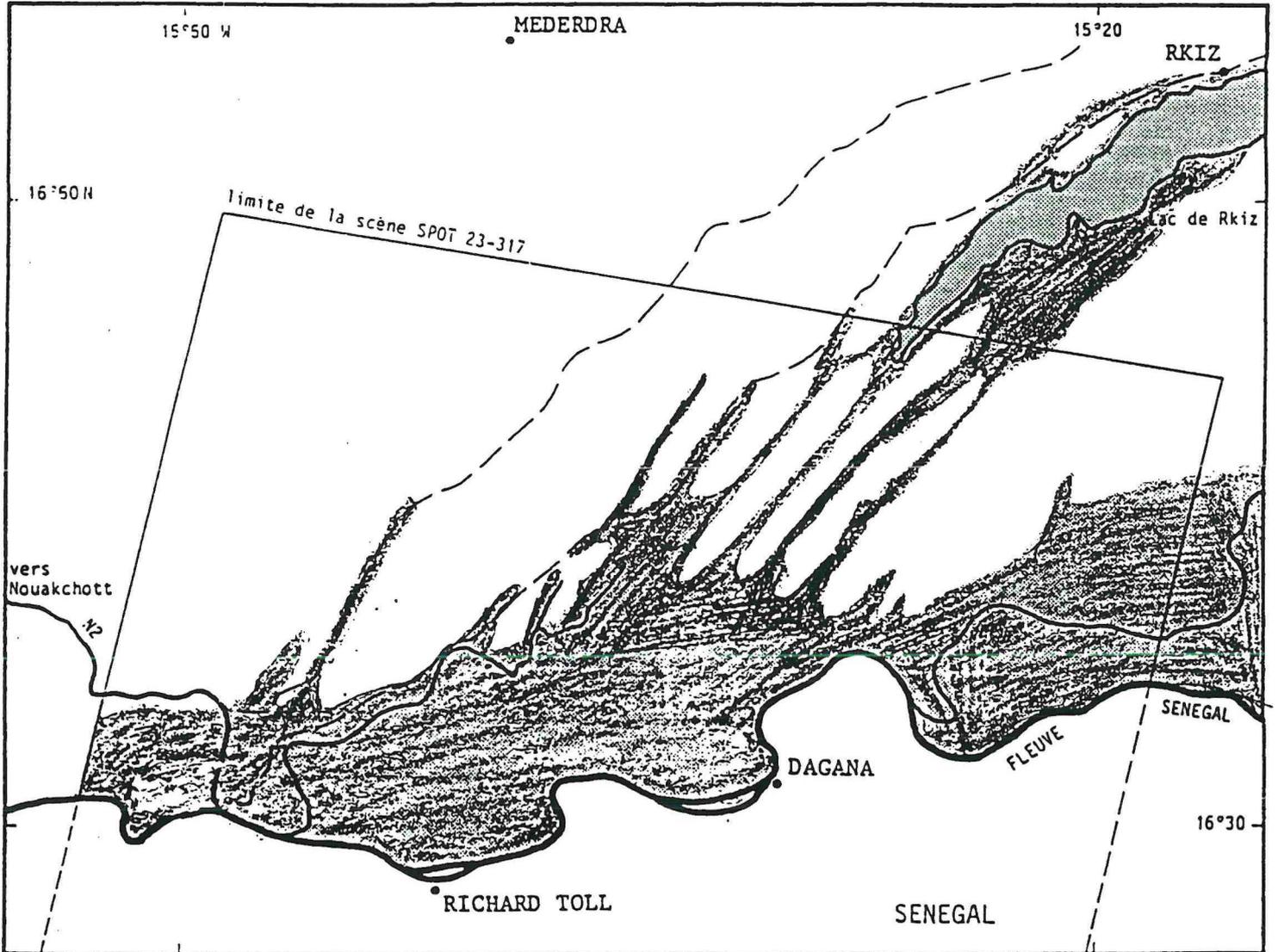
La fin de la saison des pluies (fin octobre, début novembre) est le moment où la végétation est la plus présente. Les données utilisées seront donc les scènes de KJ 23/317 du 6 novembre 1987 et du 22 octobre 1993, enregistrées en mode multispectral par le capteur HRV de SPOT.

Moyens techniques

Ce travail a été réalisé au sein de l'atelier cartographique GEOimage. La société Géoimage a développé un ensemble de logiciels répondant aux principaux besoins de traitements géométriques et thématiques des images spatiales, englobant des prétraitements, des traitements thématiques et des utilitaires.

Dans le cadre de notre de travail d'analyse et d'interprétation thématique, nous utiliserons le module thématique Géoclassif.

Figure 1 : Situation pastorale de Rosso
 (source : DE WISPELEARE, 1989)



zones d'inondation durable
 zones d'inondation temporaire

0 5 10 20 km

2. DEFINITION DU MILIEU D'ETUDE

La zone d'étude est située dans le Trarza au sud-ouest de la Mauritanie (figure 1). Elle s'étend au nord de Rosso, entre le fleuve Sénégal et le lac Rkiz (16°40'N, 15°, 20'O).

Ce secteur est caractérisé par deux ensembles écologiques particuliers, ainsi, on peut distinguer :

- le Dieri, vaste zone d'ondulations sableuses, couverte d'une steppe herbeuse à graminées annuelles, avec en général une strate arbustive à épineux très clairsemée. Les interdunes ont une végétation plus dense, notamment aux abords de celles inondées par les crues du fleuve (DE WISPELEARE, 1989).

- le Wallo, qui est la cuvette de décantation du fleuve Sénégal. C'est une zone privilégiée de cultures traditionnelles (sorgho) et de cultures irriguées (riz). C'est un milieu contrasté : les sols hydromorphes sont nus, alors que les bourrelets alluvionnaires peuvent être couverts d'*Acacia nilotica*.

Dans le secteur de transition Wallo-Dieri, les surfaces nues et ravinées sont localement importantes (COUREL, 1985).

2.1. L'état du couvert végétal : des pâturages dégradés

Définition du pâturage sahélien type

Au sahel-type, les graminées vivaces sont peu abondantes : *Cymbopogon proximus* sur sols limoneux, et *Andropogon gayanus* sur sols squellettiques.

Les graminées annuelles dominent et constituent un tapis herbacé haut de 80 cm à 1m. On y rencontre : *Cenchrus biflorus* (cram-cram) sur sols sablonneux, *Aristida funiculata*, *Aristida adscensionis*, *Schoenefeldia gracilis* sur pénélaines et dépressions limoneuses à argileuses. Des espèces telles que *Tephrosia purpurea* ou *Blepharis linariifolia* sont fréquentes sur sols sablonneux.

Les espèces ligneuses sont plus diversifiées :

- *Acacia raddiana*, *Acacia senegal*, et *Commiphora africana* sur sols sablonneux ;

- *Acacia ehrenbergiana*, *Balanites aegyptiaca* et *Boscia senegalensis* sur sols limoneux des interdunes et dépressions.

Dans la zone de décrue des grands fleuves sahéliens (le Wallo), la hauteur et la durée de l'inondation diversifient la flore : on rencontre des prairies à *Cynodon dactylon* avec *Andropogon gayanus* et *Vetiveria nigriflora*, des prairies à *Bracharia mutica*, ou à *Panicum anabaptistum* et *Andropogon gayanus*.

tableau 1 : tableau synoptique des espèces rencontrées en fonction de la pluviométrie

		Période de pluviométrie normale	Période sèche
DIERI	Graminées annuelles	<i>Cenchrus biflorus</i> <i>Aristida funiculata</i> <i>Aristida adscensionis</i> <i>Schoenefeldia gracilis</i> <i>Tephrosia purpurea</i>	<i>Cenchrus biflorus</i>
	Graminées vivaces	<i>Cymbopogon proximus</i> <i>Andropogon gayanus</i>	
	Espèces herbacées diverses	<i>Blepharis linariifolia</i>	
	Ligneux	<i>Acacia senegal</i> <i>Acacia ehrenbergiana</i> <i>Acacia raddiana</i> <i>Commiphora africana</i> <i>Balanites aegyptiaca</i> <i>Boscia senegalensis</i>	<i>Bauhinia rufescens</i> <i>Maytenus senegalensis</i> <i>Ziziphus mauritania</i>
WALLO	Graminées annuelles		<i>Panicum laetum</i> <i>Eragrostis pilosa</i>
	Graminées vivaces	<i>Andropogon gayanus</i> <i>Vetiveria nigriflora</i> <i>Cynodon dactylon</i> <i>Panicum anabaptistum</i> <i>Bracharia mutica</i>	<i>Echinochloa stagnina</i> <i>Echinochloa colona</i>
	Ligneux	<i>Acacia nilotica</i>	quelques <i>Acacia nilotica</i>

Cette énumération donnée par BOUDET dans le "manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères", n'est malheureusement plus très représentative du sahel actuel.

Situation pastorale actuelle

D'après le rapport de 1989 de BOUDET, les formations ligneuses des plateaux à sols peu profonds du Dieri ont disparu (*Acacia ehrenbergiana*, *Commiphora africana*) pour laisser place à des sols dénudés. Sur les terrains à texture sableuse à sablo-limoneuse, *Acacia raddiana* et *Acacia senegal* sont morts pour la plupart. GODARD (1991) note également cette disparition. Les ligneux les plus courants sont *Bauhinia rufescens*, *Maytenus senegalensis* et *Ziziphus mauritania* sur des horizons sableux plus épais, mais en nombre restreint.

La diversité floristique des herbacées s'est appauvrie, les graminées annuelles dominantes sont les plus adaptées à la sécheresse, comme *Cenchrus biflorus*.

Dans le Wallo, l'extension d'*Acacia nilotica* a été restreinte par l'activité agricole et le "grignotage" des charbonniers. Des peuplements subsistent encore dans les cuvettes les plus inondées, aux abords du fleuve.

Quand l'hydromorphie est moyenne, des herbacées comme *Echinochloa colona* ou *Echinochloa stagnina* peuvent apparaître. A la frontière avec le Dieri, le Wallo est couvert de çà et là de *Panicum laetum* et *Eragrotis pilosa*. (tableau 1).

Le Wallo est également un lieu de cultures : lorsque les pasteurs descendent vers le sud, la convergence de ces deux activités est source de conflit.

Sur cette zone contrastée, la productivité des pâturages est très hétérogène : elle peut varier de 0 à 1800 Kg de matière sèche (M.S.) par hectare sur sols squelettiques plus ou moins recouverts par des épandages sableux et limoneux, et jusqu'à 3 tonnes dans les creux interdunaires et ombragés (IEMVT, 1991).

Le bilan fourrager d'une zone peut être sérieusement modifié par deux principaux facteurs : l'homme (directement, ou par l'intermédiaire de son troupeau) et le climat (particulièrement la pluviométrie en milieu semi-aride).

Nous allons tout d'abord étudier la place de l'élevage et son rôle dans la dégradation des pâturages sud-mauritanien, puis nous aborderons ensuite l'effondrement de la pluviométrie sahélienne.

2.2. L'impact de l'élevage sur la végétation

Le pastoralisme est défini par DIGARD et *al.* (1993) comme "une mise en oeuvre à travers des modes d'élevage très extensif vis-à-vis de la terre, fondée sur l'exploitation par des troupeaux d'herbivores domestiques des ressources fourragères spontanées offertes par les parcours naturels, consommés sur pied".

La Mauritanie reste l'un des rares pays au monde où cette activité continue à jouer un rôle primordial pour une grande partie de la population, malgré la modification des conditions économiques, sociales, écologiques et politiques.

Les espèces élevées sont diverses : dromadaires, chèvres, moutons et bovins.

L'élevage du dromadaire est plus fréquent au nord, à cause de la relative humidité du sud. Les bovins, plus exigeants en eau sont en plus grand nombre au sud. L'élevage ovin et caprin s'étend sur toute la Mauritanie.

Les ressources fourragères sont rares et temporaires au sahel. Par leur mobilité, les pasteurs se sont adaptés à ce milieu hostile.

Durant la saison sèche, les troupeaux se sont concentrés au sud, où de nombreux puits profonds et la crue des grands fleuves les approvisionnent en eau et en fourrages (ils pâturent les bourgoutières). A la saison humide les pasteurs se dirigent vers le nord pour exploiter les pâturages devenus verts, après le passage des pluies. Ils exploitent généralement les pâturages proches des nappes phréatiques peu profondes pendant la saison fraîche.

Au Sahel, la transhumance est donc étroitement dépendantes des conditions d'abreuvement.

En effet, l'extension actuelle de la pénétration du cheptel au nord dépend fortement des pluies. Pendant les années sèches, on a pu rencontrer des pasteurs Rigabat du Sahara à l'extrême sud de la Mauritanie, où l'approvisionnement en eau et fourrages étaient assurées (JOHNSON, 1990).

En fait, les habitudes migratoires ont été perturbées par la sécheresse : de nombreux groupes ethniques se sont repliés sur le sud. La plupart d'entre eux pratiquent aujourd'hui une activité mixte élevage / agriculture. Les déplacements sont maintenus, mais seule une partie de la famille migre avec les animaux.

Si la production fourragère a fortement chuté, suite à une succession d'années sèches, l'éleveur ne s'est pas pour autant séparé de son bétail, fait peu étonnant lorsque l'on connaît les nombreux rôles culturels (le prestige, par exemple) et économiques (la thésaurisation) qu'il joue.

Les effets de cette concentration animale sur les sables de Rosso ont été observés par Boudet. Les graminées annuelles sont fortement dégradées : *Schoenfeldia gracilis* a entièrement été consommée. De grands troupeaux de dromadaires se sont attaqués aux ligneux (*Balanites aegyptiaca*, *Commiphora africana*...). Les rares graminées vivaces ont été broutées jusqu'à la racine par les bovins.

Les parcours les plus touchés par le surpâturage se situent souvent près des puits, qui favorisent la concentration du bétail. L'assèchement de ces puits peut parfois soulager certains parcours, car ils sont alors momentanément abandonnés.

L'élevage situé en périphérie urbaine a drégadé de vastes périmètres autour des agglomérations, en attendant l'accès aux champs de culture, après la récolte.

Parallèlement à l'assèchement régional, les éleveurs ont exploité les parcours jusqu'à la disparition quasi-totale de certaines espèces de ligneux et d'herbacées.

Après un tel constat, il convient d'étudier la pluviométrie de Rosso, afin de mieux cerner les origines climatiques de la dégradation des pâturages.

2.3. La cause climatique de cette dégradation : la pluviométrie

Au Sahel type, la production fourragère est très étroitement corrélée à la pluviométrie. Le tableau 2 met en relation la production des pâturages sahéliens avec la pluviométrie.

Tableau 2
La production des pâturages sahéliens
et la pluviométrie

Pluies	Production	Dépressions	PARCOURS	
			Dunes moyennes	Sols de glaciis squelettiques
Pluies faibles (1 an sur 5)	Kg/ha de M.S. ha par U.B.T.	350	80	-
		20	85	-
Pluies moyennes	Kg/ha de M.S. ha par U.B.T.	860	460	40
		8	15	165
Pluies fortes (1 an sur 2)	Kg/ha de M.S. ha par U.B.T.	1370	840	280
		5	8	24

Pour des pluies faibles, le kilo de matière sèche (M.S.) à l'hectare décroît, il faut alors un espace plus grand pour nourrir une Unité de Bétail Tropical (U.B.T.).

Pour le sahel, GRANIER (1993) considère que la quantité de M.S. produite par hectare est égale aux millimètres de pluie tombée.

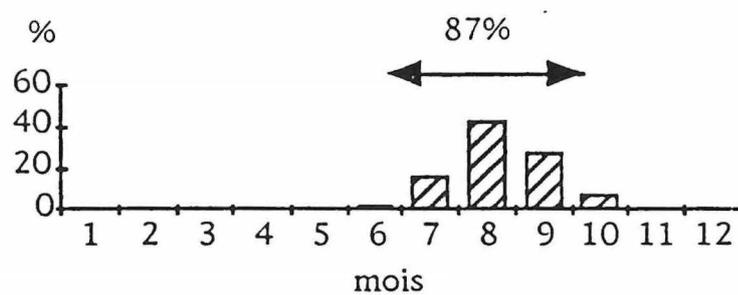
On conçoit alors l'importance du régime pluviométrique et les conséquences de son aspect très aléatoire sur une région semi-aride.

Pour analyser la situation pluviométrique de Rosso, nous disposons des données AGRHYMET (programme d'AGRo-HYdro-METéorologie) de Nouakchott pour les années de 1982 à 1993, et du laboratoire d'Hydrologie de l'ORSTOM de Montpellier pour les années antérieures. Toutes ces données figurent en annexe 2.

L'originalité du climat sahélien réside dans la distribution mensuelle des pluies, qui oppose une courte saison pluvieuse à une longue saison sèche.

La saison sèche est la période allant de novembre à mars-avril inclus, pendant laquelle la zone sahélienne est sous l'influence unique de l'air boréal. Les pluies y sont très rares, et ne représentent qu'une faible portion des précipitations annuelles.

Figure 2 : Fréquence mensuelle des précipitations de 1934 à 1993



La saison des pluies s'étale de mai à octobre, avec un maximum de précipitations entre juillet et septembre.

Les périodes de transition entre saison des pluies et saison sèche sont qualifiées de saison fraîche et sèche (en fin de saison des pluies) et de saison chaude et sèche (en fin de saison sèche).

La figure 2 représente la fréquence mensuelle des précipitations de 1934 à 1993. 87 % des pluies sont rassemblées sur trois mois, la saison pluvieuse est clairement mise en évidence, et ce sans grande variabilité sur 60 ans. L'optimum de végétation est donc atteint entre octobre et novembre, avant que le dessèchement n'intervienne.

Les pluies de 1987 et 1993 présentent le même profil (annexe 2) que la fréquence moyenne 1934-1993.

On peut donc dire que les dates des prises de vue, le 6 novembre pour 1987 et le 22 octobre pour 1993, correspondent aux périodes optimales de végétation.

Il s'agit maintenant de définir si nous nous situons pour chaque année respective en période déficitaire, normale ou excédentaire, par l'analyse des variations interannuelles.

D'un point de vue quantitatif, le sahel-type reçoit entre 200 mm (isohyète marquant la limite septentrionale) et 400 mm de pluies annuelles (limite méridionale en bordure sahélo-soudanienne). D'autre part, il est caractérisé par de grandes variations interannuelles.

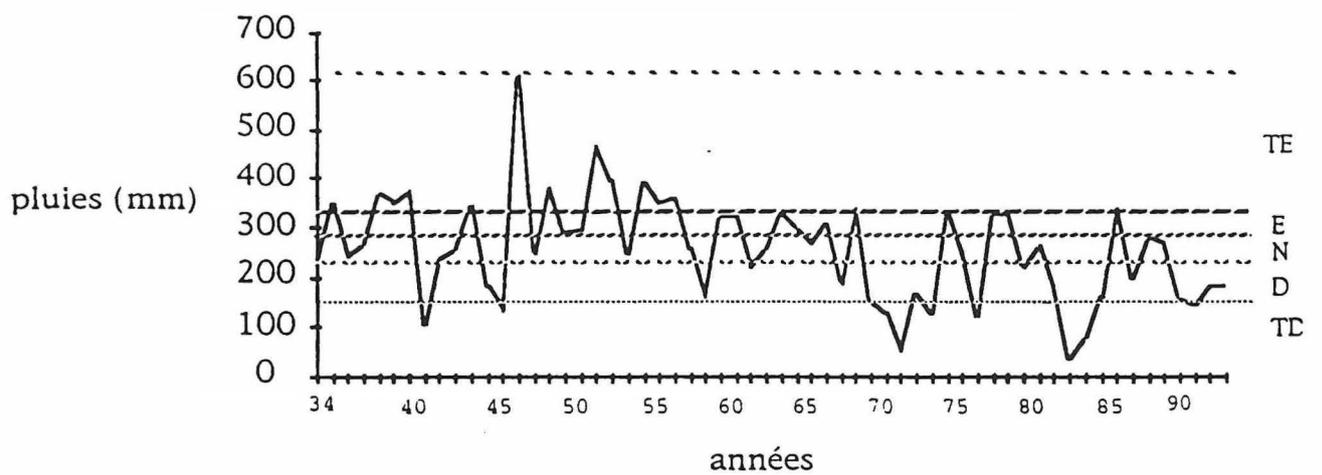
Les précipitations annuelles de Rosso sont reportées sur la figure 3 pour la période 1934-1993. Visuellement, les variations interannuelles apparaissent très nettement. Sur cette période, l'amplitude est très importante : 574 mm. La pluviosité saisonnière peut être inférieure à 100 mm (3 cas sur 60). Elle atteint une fois le chiffre exceptionnel de 611,8 mm (1947).

La moyenne, l'écart-type et le coefficient de variation ont été calculé (tableau 3) sur les 60 années, puis sur deux périodes de 24 ans, la période "humide" (1947-1969) et la période "sèche" (1970-1993). 1969 a été considérée comme la dernière année de pluviométrie "normale" (338,7 mm), avant la succession d'années déficitaires.

Les moyennes montrent la forte chute des précipitations entre les deux périodes (122 mm de différence). L'extrême variabilité des pluies est confirmée par les coefficients de variation qui oscillent entre 31,3% et 43,6%.

La période sèche est donc caractérisée par une baisse de la moyenne pluviométrique et une augmentation des variations interannuelles.

Figure 3 : Variations interannuelles des précipitations de 1934 à 1993



TE : très excédentaire, E : excédentaire
N : normale, D : déficitaire, TD : très déficitaire

Tableau 3
Variations de la pluviométrie par période

	1934-1994 (60 ans)	1947-1969 (24 ans)	1970-1993 (24 ans)
moyenne (mm)	258,2	310,2	188,1
écart-type	104,1	98,3	82,1
coefficient de variation	41	31,3	43,6

Afin d'approfondir l'analyse de la variabilité des pluies, nous pouvons utiliser la méthode des quintiles. Les données, classées par ordre croissant et regroupées en 5 classes par tranche de 20% (soit 12 années par classe) peuvent être répertoriées en fonction de leur appartenance à l'intervalle ainsi défini. Cette segmentation permet d'affecter des seuils à la pluviométrie.

Tableau 4
Seuils interquintiles (en mm)

minimum	Q1	Q2	Q3	Q4	maximum
36,6	163,3	236,5	277,7	338,9	611,8

Nous avons repris la dénomination arbitraire mais assez significative de GODARD (1991) pour chaque classe, soit :

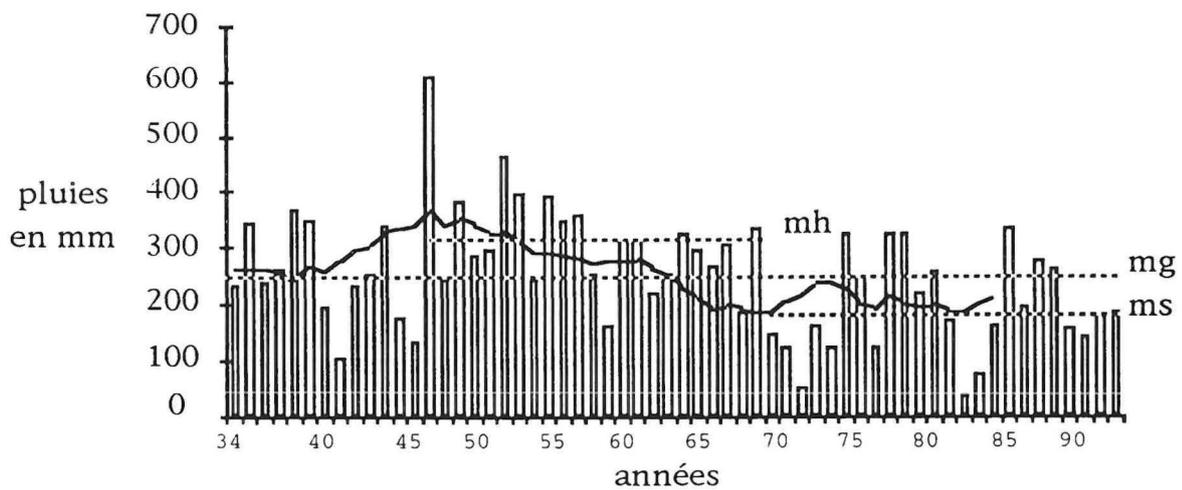
Précipitations (P) Très Déficitaires	Minimum < P < Q1
Déficitaires	Q1 < P < Q2
Normales	Q2 < P < Q3
Excédentaires	Q3 < P < Q4
Très Excédentaires	Q4 < P < Maximum

Ainsi, la figure 3 permet d'identifier plus aisément les différentes périodes qui se sont succédées de 1934 à 1993.

Jusqu'en 1969, les années très déficitaires sont rares (3 cas). Les années déficitaires sont également peu nombreuses, et dans tous les cas, la pluviométrie revient à la normale une ou deux années après au maximum. Les années normales à très excédentaires sont majoritaires.

A partir de 1970, la situation s'inverse. Cinq années déficitaires ou très déficitaires vont se succéder (1970-1974). Après une accalmie (1975-1979), une

Figure 4 :
Diagramme pluviométrique lissé
(avec un pas de 9 ans)



mh : moyenne humide (47-69); mg : moyenne générale (34-93); ms : moyenne sèche (70-93)

▮ précipitations annuelles
— moyenne lissée

nouvelle vague d'années sèches s'installe de 1980 à 1985. De 1986 à 1993, Rosso connaîtra une seule année excédentaire, pour deux années de pluviosité normale, trois déficitaires et deux années très déficitaires successives (1990 et 1991).

On remarque que sur les 2 dernières décades, les années sèches se sont concentrées. La tendance actuelle pour Rosso est une nette aridification. Les années 1987 et 1993 apparaissent comme des années déficitaires (<163,3 mm) d'après les seuils interquintiles.

Afin de distinguer les différentes phases de la pluviosité, nous pouvons pratiquer des lissages sur les précipitations annuelles. Le lissage des données pluviométriques, en atténuant les oscillations mineures nous permettra de dégager une phase humide et une phase sèche. Les calculs seront effectués avec un pas de 9 ans.

La figure 4 représente la moyenne pluviométrique lissée (courbe) et les relevés pluviométriques en arrière-plan (histogrammes). Les moyennes calculées dans le tableau 3 figurent en pointillés.

Les années de changement de période sont déterminés par l'intersection de la courbe avec la moyenne générale.

La courbe coupe une première fois la moyenne générale en 1940, il s'agit d'une très courte période sèche, on repasse très rapidement à une phase humide. Le deuxième et dernier point d'intersection est aux alentours de 1967-1969, la courbe lissée frôlera ensuite la moyenne générale en 1975-1977, puis restera proche de la moyenne sèche jusqu'en 1986. Cette phase caractérise la sécheresse qui sévit actuellement.

De cette analyse, on peut tirer trois conclusions :

- depuis 1970, le sahel sud-mauritanien est entré dans une phase sèche durable ;
- de plus, les années de sécheresse sévère se sont suivies, (70-74, 82-85) ;
- les années 90 sont marquées par une pluviosité déficitaire et régulière (comprise entre 143,4 mm et 187,3 mm).

Pour nos deux années d'étude, 1987 et 1993, nous nous considérerons donc en années déficitaires, mais il faut cependant noter que 1987 a succédé à une année très excédentaire (338,9 mm), alors que la période 1990-1993 est marquée par un déficit régulier. Si la quantité de pluies de cette période est péjorative, sa régularité permet un développement végétatif bien meilleur qu'une succession de précipitations annuelles très variables.

Si d'un point de vue quantitatif 1987 a reçu 10 mm de pluies de plus que 1993, la régularité des précipitations de 1990 à 1993 nous permet de considérer ces deux années quantitativement équivalentes.

|| Ainsi, il ressort que le secteur de Rosso est un milieu écologiquement contrasté, où la végétation s'est dégradée sous l'effet de l'effondrement de la pluviosité et du surpâturage du bétail.

Nous venons de définir le milieu de notre étude.

Nous pouvons maintenant aborder la cartographie de cette région pour 1987 et 1993, elle nous permettra d'interpréter l'évolution de l'occupation du sol en quatrième partie.

3. LA CARTOGRAPHIE DE L'OCCUPATION DU SOL DE LA REGION DU LAC R'KIZ POUR 1987 ET 1993 : Méthodes, résultats, discussion

Ce chapitre a pour objectif d'évoquer brièvement les méthodes qui ont permis d'obtenir les résultats cartographiques, exposés et discutés à la fin de ce chapitre. Nous présentons tout d'abord la typologie de l'occupation du sol, ce travail ne bénéficiant pas d'étude de terrain, celle-ci est largement inspirée de la typologie qu'ont employé G. DE WISPELEARE et *al.* en 1989, à la suite d'enquêtes phytosociologiques menées entre 1987 et 1988.

3.1. La typologie de l'occupation du sol

Les thèmes recherchés ou "unités cartographiques" sont au nombre de 12. On peut les regrouper comme suit :

- les surfaces en eau ;
- les cultures irriguées ;
- les thèmes du Wallo ;
- les thèmes du Dieri.

Surfaces en eau et Cultures irriguées sont des entités à part entière dans le paysage, et leur dénomination ne donne pas lieu à discussion.

Par contre, les thèmes du Wallo sont sujet à un débat, quant à leur adéquation entre l'objet identifié par la classification et sa réalité sur le terrain.

En effet, comme nous l'avons décrit antérieurement, le Wallo est une cuvette de décantation du fleuve Sénégal.

La télédétection, qui permet l'étude des propriétés spectrales d'objets au sol, enregistrées depuis les capteurs permet d'identifier les objets. Dans le cas du Wallo, milieu très hydromorphe, l'eau et le végétal sont étroitement associés. La signature radiométrique de cet écosystème peut provenir de la réponse spectrale combinée des sols humides avec les végétaux. Face à cette confusion, dont nous discuterons ultérieurement (cf.3.3.1.), et à l'absence de données de terrain, il nous est apparu nécessaire de définir une typologie ne faisant référence qu'au niveau d'hydromorphie : nous parlerons en gradient d'humidité pour les sols les plus humides.

Par contre, les sols de la cuvette de décantation sèche, étant dénudés, pourront être différenciés.

Les thèmes du wallo seront au nombre de 5 :

- sol nu sablo-limoneux
- sol nu argileux
- Cuvette de décantation moyennement humide
- Cuvette de décantation humide
- Cuvette de décantation mouillée

Quant aux thèmes du Dieri, nous préférerons évoquer les niveaux de densité à une dénomination précise et restrictive du couvert végétal, ne correspondant pas aux objets classés.

Les thèmes identifiés seront les suivants :

- sable vif
- steppe herbeuse très claire
- steppe herbeuse claire
- steppe herbeuse à arbustive moyennement dense
- steppe dense avec ligneux

3.2. Méthodologie générale

3.2.1. Les prétraitements

Les prétraitements recouvrent les phases de mise en conformité géométrique des données et d'amélioration de qualité de l'image.

Ces opérations, en homogénéisant les données de 1987 et 1993, vont nous permettre de travailler sur des objets comparables.

3.2.1.1. Améliorations radiométriques

L'objectif poursuivi étant la comparaison de deux images, il nous faut travailler sur des objets radiométriquement similaires.

Les données multispectrales, destinées à intervenir comme discriminants spectraux au sein des processus de classification, ont subi une égalisation globale. Par cette fonction, on a pu modifier le contraste de l'image de 1987 par rapport à celui de 1993, afin que la dynamique des deux images soit la même.

3.2.1.2. Corrections géométriques

Les images ont été ortho-rectifiées, selon un modèle orbitographique dans la projection cartographique UTM, associée à l'ellipsoïde de Clarke1880. Cette transformation permet d'obtenir des plans images superposables entre eux et à une carte. Ainsi les comparaisons entre images de dates différentes sont possibles.

3.2.2. Les trichromies : une première approche visuelle des images SPOT

Les premières images produites sont des trichromies ou classifications non dirigées. Cette méthode de classification va agglomérer les données radiométriques en un certain nombre de groupes distincts. Le nombre de classes a été fixé à 200 (pour obtenir une grande gamme de valeurs radiométriques) avec la méthode d'agrégation par nuées dynamiques (annexe 3).

Ces classifications (planches 1a et 1b) visent à nous familiariser avec les images sur lesquelles nous allons travailler, mais ne représentent en aucun cas une cartographie définitive. Elle va nous permettre de répertorier les différents thèmes présents.

Ces images sont la combinaison des trois canaux XS1, XS2, XS3, chaque donnée radiométrique a sa propre couleur.

Cette composition trichrome oppose les milieux à forte activité végétale plus ou moins humides (faibles valeurs spectrales) aux milieux réfléchissants (fortes valeurs spectrales).

Ainsi, les cultures sont représentés en rouge vif. La steppe dense apparaît en plusieurs tons de marron et les sols les plus hydromorphes en noir à gris foncé. Les sols nus sont blanc à gris très clair et les sables vifs en nuances de jaune.

En bleu, apparaissent les surfaces en eau : le fleuve Sénégal en bas de l'image, les cuvettes de rétention d'eau, et l'extrémité du lac R'kiz, tout en haut de l'image.

Le contraste Wallo/Dieri est très net sur les deux images : le Wallo est caractérisé par les différents tons de gris, alors que les nuances de jaune et de marron s'attribuent au Dieri.

Analyse visuelle du Wallo

L'étendue des méandres du fleuve et de ses affluents et confluents aux abords de celui-ci sont équivalents entre 1987 et 1993. Par contre, l'hydromorphie du Wallo apparaît plus importante en 1993 (tâches pourpre au centre de l'image). Au sud du Tambass, les retenues d'eau sont plus étendues qu'en 1987.

COMPOSITION TRICHROME - XS3 XS2 XS1 -

KJ 23-317 du 6-11-87

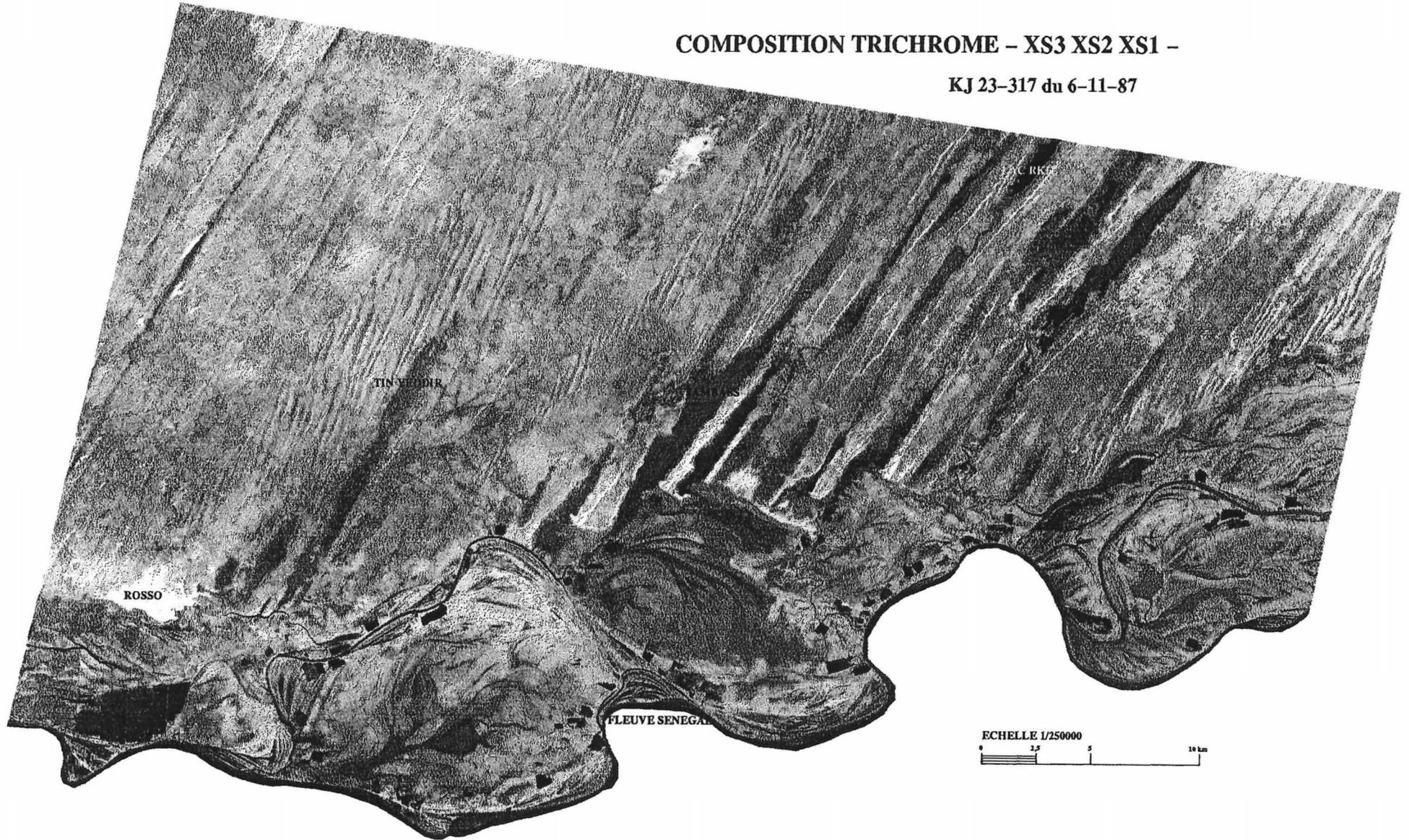


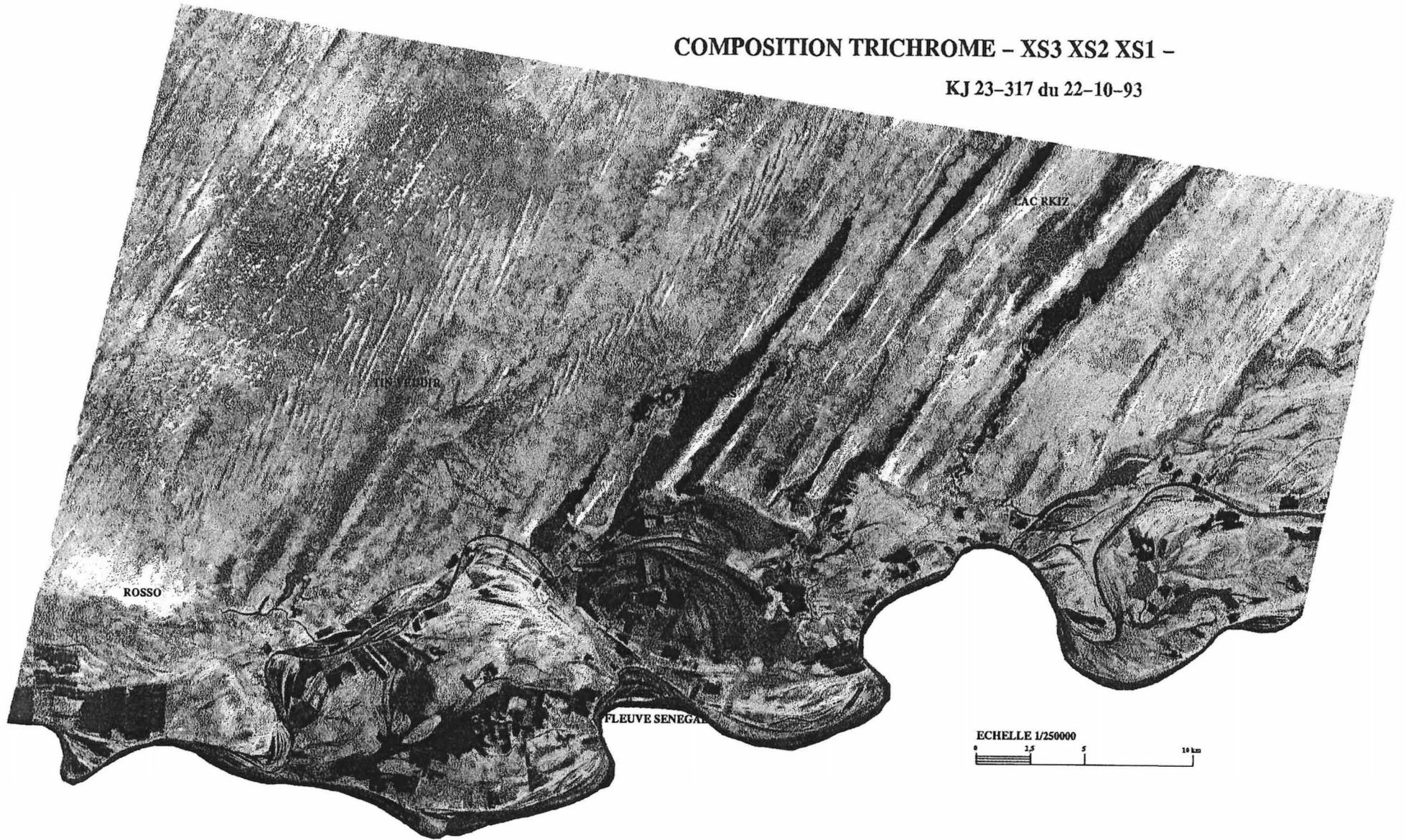
Planche 1a

ECHELLE 1/250000
0 2,5 5 10 km

23

COMPOSITION TRICHROME - XS3 XS2 XS1 -

KJ 23-317 du 22-10-93



24

Planche 1b

Les cultures irriguées se remarquent à leur couleur rouge (car ce sont des zones très végétalisées, donc très réfléchantes dans l'infra-rouge), et à leur forme géométrique. Leur progression est très remarquable : les abords du Sénégal et les zones les plus humides du Wallo sur l'image de 1987 ont été aménagés.

Les sols dénudés semblent moins importants en 1987. Néanmoins, les sols totalement nus (de couleur blanche, à gauche du quart sud-est et au nord en milieu d'image) n'ont pas régressé.

De nouvelles nuances de marron foncé apparaissent dans le Wallo pour 1993, entre les cultures irriguées et les retenues d'eau, signature d'une hydromorphie plus importantes..

Analyse visuelle du Dieri

On note d'entrée une similitude dans la distribution des zones sableuses : on retrouve sur chaque image les mêmes orientations (nord-est/sud-est) des dunes sableuses, aux mêmes endroits, et à première vue, dans des proportions assez similaires.

L'analyse visuelle du Dieri met tout de suite en évidence une opposition entre les deux images. Les steppes plus ou moins denses, sont localisées très différemment entre 1987 et 1993.

En 1987, la présence de la steppe dominait très largement au nord-est de la zone, et était pratiquement absente du quart nord-ouest. L'image de 1993 révèle la distribution inverse : sur le quart nord-est, les dunes dominaient, alors que le quart nord-ouest est couvert de steppe, et même de steppe dense au centre de cette nuée marron.

A droite du Tin Yeddir, les "bras" de steppe dense se sont étendus.

La première approche visuelle des images SPOT met en évidence un fort dynamisme des pâturages, puisque les zones végétalisées de 1987 sont très différentes de 1993. De même, les variations d'hydromorphie du Wallo et son développement agricole a entraîné une nouvelle répartition de l'occupation du sol.

3.2.3. Les néocanaux : définition et intérêts

Dans un premier temps, il s'avère intéressant d'appliquer des méthodes de création de néocanaux, afin de pouvoir dégager les grandes tendances de la répartition des objets (végétation, sols nus...).

Les canaux ayant subi les prétraitements (XS1, XS2, XS3) sont combinés entre eux, à partir de formules connues. Les indices utilisés seront :

- l'indice de végétation normalisée (IV), calculé à partir des bandes spectrales infra-rouge (XS3 ou IF) et rouge (XS2 ou R) selon la formule :

$$IV = (IF - R) / (IF + R)$$

L'IV est d'autant plus élevé que la masse chlorophyllienne est abondante.

- l'indice de végétation des zones arides (SAVI), par sa spécificité devra nous apporter une information plus complète. Sa formule est :

$$SAVI = (IF - R) / (IF + R) + 0,75$$

- l'indice de brillance (IB) apportera une information complémentaire, car il met en évidence les sols dépourvus de couverture végétale.

$$IB = \sqrt{IF^2 + R^2}$$

L'IB est d'autant plus élevé que le taux de recouvrement est faible.

3.2.4. Les classifications dirigées

A priori, La classification dirigée repose sur une connaissance du terrain à partir de laquelle on initie les traitements. Comme nous ne disposons pas de réalité-terrain, les parcelles seront choisies en fonction des classifications non dirigées. L'algorithme de la classification dirigée est fondé sur une méthode assimilable au maximum de vraisemblance. Les pixels sont affectés à une classe en fonction de la distance radiométrique qui les sépare des différents centres de classes, mais aussi de leur probabilité d'appartenance à cette classe. Les parcelles d'apprentissage ou groupe de pixels servent à initialiser les traitements.

Nous pourrions évaluer la fiabilité des classifications à l'aide des matrices de confusion. Ces tableaux de contingence regroupent les résultats des contrôles effectués sur un certain nombre de pixels. Ces matrices font apparaître les concordances entre l'image classée et les parcelles de contrôle.

3.2.5. La photo-interprétation

Elle permet de valider la classification dirigée et d'identifier les thèmes non-discriminés par l'analyse spectrale.

3.3. Exposé des résultats et leur contrôle, discussions

Il s'agit ici de présenter les méthodes les mieux adaptées aux problèmes spécifiques rencontrés, leurs résultats et leur contrôle, dans le but d'établir les évolutions de l'occupation du sol entre 1987 et 1993.

Toutes les opérations regroupées dans ce chapitre ont été simultanément menées pour 1987 et 1993.

Comme nous l'avons décrit lors de l'analyse visuelle des trichromies, il existe deux entités écologiques sur la zone que nous traitons : le Wallo et le Dieri . Dans un premier lieu, il est donc apparu nécessaire de les discriminer, afin d'éviter toutes confusions radiométriques lors des traitements ultérieurs.

3.3.1. La stratification

La stratification renvoie à une notion de zones homogènes, par rapport à la typologie définie, à savoir les deux ensembles distincts : Wallo et Dieri.

A partir d'une classification non supervisée en 30 classes avec la méthode d'agrégation par nuées dynamiques, nous avons obtenu une classification où le nombre de classes peu élevé permet de repérer les groupes radiométriquement stables. La limite Wallo/Dieri a ensuite été tracée par photo-interprétation, à partir des contrastes définis par l'information numérique.

Etant donné la netteté du contraste entre le Wallo et le Dieri perçu par l'oeil et l'apport de l'information radiométrique, le tracé entre les formations peut être considéré juste.

Cette stratification a permis de traiter séparément les deux entités pour toutes les opérations ultérieures.

3.3.2. Les néocanaux

Les indices sont calculés à partir des canaux égalisés et ortho-rectifiés, nous travaillons donc sur des données comparables.

3.3.2.1. Les indices de végétation

Dans un premier temps, l'indice de végétation a été calculé à partir des canaux XS2 et XS3 en 255 classes.

D'entrée, cet indice met en évidence les zones non chlorophylliennes, à savoir l'eau et les zones très chlorophylliennes, les cultures irriguées.

Pour définir l'évolution de ces deux thèmes entre 1987 et 1993, on a eu recours à une combinaison entre les deux indices.

L'indice de végétation a donc permis d'individualiser les thèmes "Surfaces en eau" et "Cultures irriguées".

Une analyse complémentaire est venue valider les résultats de l'indice de végétation pour les cultures : Les limites des zones de cultures ont été tracées par photo-interprétation à partir des trichromies, afin d'éviter toute confusion avec un thème radiométriquement proche : la "Cuvette de décantation mouillée".

Les indices de végétation sont représentés sur les planches 2a et 2b en 14 classes. Les thèmes identifiés par ce néocanal se détachent très nettement.

Le SAVI ou indice de végétation des zones semi-arides qui semblait plus adapté à notre secteur d'étude a également été calculé. Or, il n'a apporté aucune information complémentaire, la différence entre l'indice de végétation et celui-ci étant nulle.

3.3.2.2. L'indice de brillance

Il a été noté lors de la définition de notre milieu d'étude, que la végétation du sahel était souvent peu dense, et que les sols dénudés et les dunes sableuses occupaient une place importante.

Par conséquent, le calcul de l'indice de brillance qui caractérise les objets "clairs" peut apporter une réponse plus pertinente que l'indice de végétation, pour la détermination de la dynamique du couvert végétal.

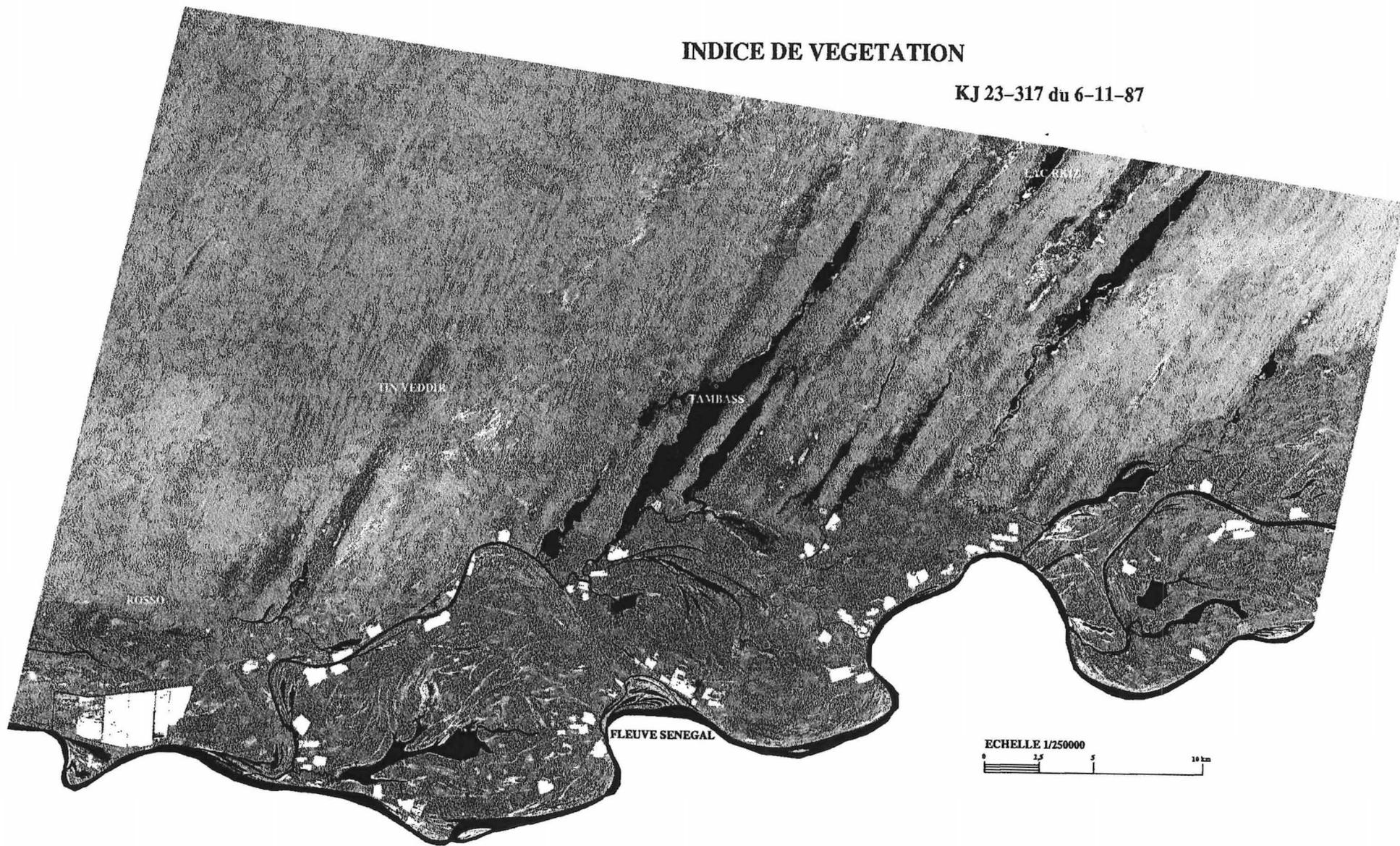
L'image présentée sur la planche 3 est le résultat du croisement des indices de brillance de 1987 et 1993, à laquelle on a ajouté le résultat du croisement de l'indice de végétation pour l'eau et les cultures.

Le tableau ci-après nous expose synthétiquement les résultats.

INDICE DE VEGETATION

KJ 23-317 du 6-11-87

Planche 2a



ECHELLE 1/250000
0 2.5 5 10 km

INDICE DE VEGETATION

KJ 23-317 du 22-10-93

Planche 2b

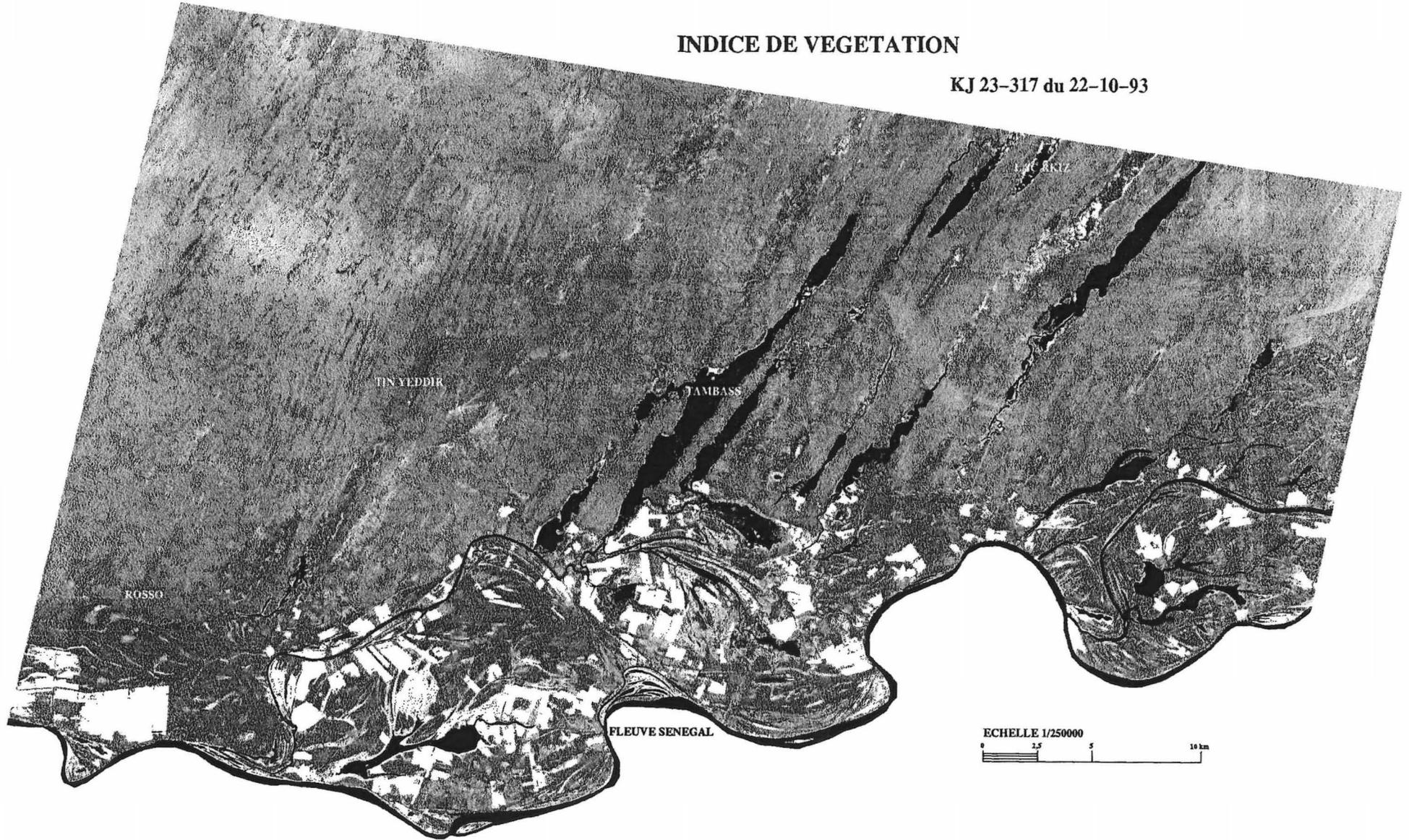


Tableau 5 : Evolutions générales définies par l'Indice de Brillance

	Wallo		Dieri	
	en ha	en %	en ha	en %
Progression importante à faible	143	5	111	3
	207	7	227	6
	417	14	723	20
	760	26	921	25
	1426	48	1682	46
TOTAL	2953	42	3664	45
Stagnation	1962	28	2083	26
Régression faible à importante	1313	64	1381	60
	524	26	629	27
	153	7	258	11
	41	2	370	1,5
	20	1	13	0,5
TOTAL	2051	30	2651	29

Les évolutions régressives et progressives ont été réparties en 5 niveaux : des plus fortes, aux plus faibles.

On entend ici par très forte progression, une zone sèche en 1987 très hydromorphe en 1993 pour le Wallo, et une zone dénudée s'étant très fortement végétalisée pour le Dieri, et inversement pour les plus régressions. Les zones n'ayant pas subi de changements ont une dynamique stable.

A la lecture des résultats généraux (en gras), la dynamique du Wallo et du Dieri est proche : la répartition des évolutions entre progression, stabilité et régression est pratiquement équivalente.

La dynamique progressive est dominante : 42% pour le Wallo et 45% pour le Dieri. Un quart des sols du Dieri et un peu moins d'un tiers des sols du Wallo n'ont pas évolué. La dynamique régressive représente à peu près un tiers des terres pour chaque entité.

Si on s'attache aux différents niveaux des évolutions, celles du premier degré sont les plus importantes. Cette dominance est plus marquée pour la dynamique régressive (64% du Wallo, 60% du Dieri), un peu moins en ce qui concerne la dynamique progressive (respectivement 48% et 46%). Les évolutions de degré 2 représentent un quart du total de chaque dynamique.

Par contre, les régressions de degré 3 à 5 (10% pour le Wallo, 13% pour le Dieri) sont en proportion largement inférieures par rapport aux progressions de même degré (respectivement 26 et 29%)

On constate donc que la dynamique progressive des deux entités est dominante, et également que les plus fortes évolutions ont été des progressions, et ce surtout dans le Dieri. L'indice de brillance nous informe donc que la zone a subi entre

1987 et 1993 une augmentation de superficie ainsi qu'une densification du couvert végétal et une augmentation de l'hydromorphie dans le Wallo.

A l'aide de la carte des évolutions générales (planche 3), déterminées à partir du calcul des néocanaux, nous pouvons localiser les évolutions que nous venons de quantifier.

Dans le Dieri, la densification végétale est très fortement localisée au nord-ouest de la zone. Le pourtour des zones végétalisées entre 1987 et 1993 a connu une faible progression, alors que le centre de celles-ci a très fortement progressé. A l'ouest du Tambass, une vaste zone a également connu une progression très importante.

Les dunes sableuses aisément identifiables sur les trichromies sont toujours présentes, l'étendue de la végétation les a parfois gagné, mais dans l'ensemble, elles sont restées stables ou ont régressé.

Dans ce quart nord-ouest, les zones ayant connu une régression importante sont minoritaires, et pour la plupart, ce ne sont que de faibles régressions, voire des zones stables.

L'est du Dieri offre une tout autre image : à partir de la rive est du Tambass, la régression domine. Un vaste ensemble de "dévégétalisation" se détache de cette carte.

Les faibles régressions et les zones n'ayant pas évoluées occupent le reste du terrain, mis à part sur les rives des surfaces en eau où la végétation s'est développée.

Pour le Wallo, la dynamique progressive est également bien localisée : Au sud du Tambass, le long des cours d'eau et des cuvettes, et sur les berges du fleuve Sénégal. L'augmentation d'hydromorphie est très marquée au centre de cette zone.

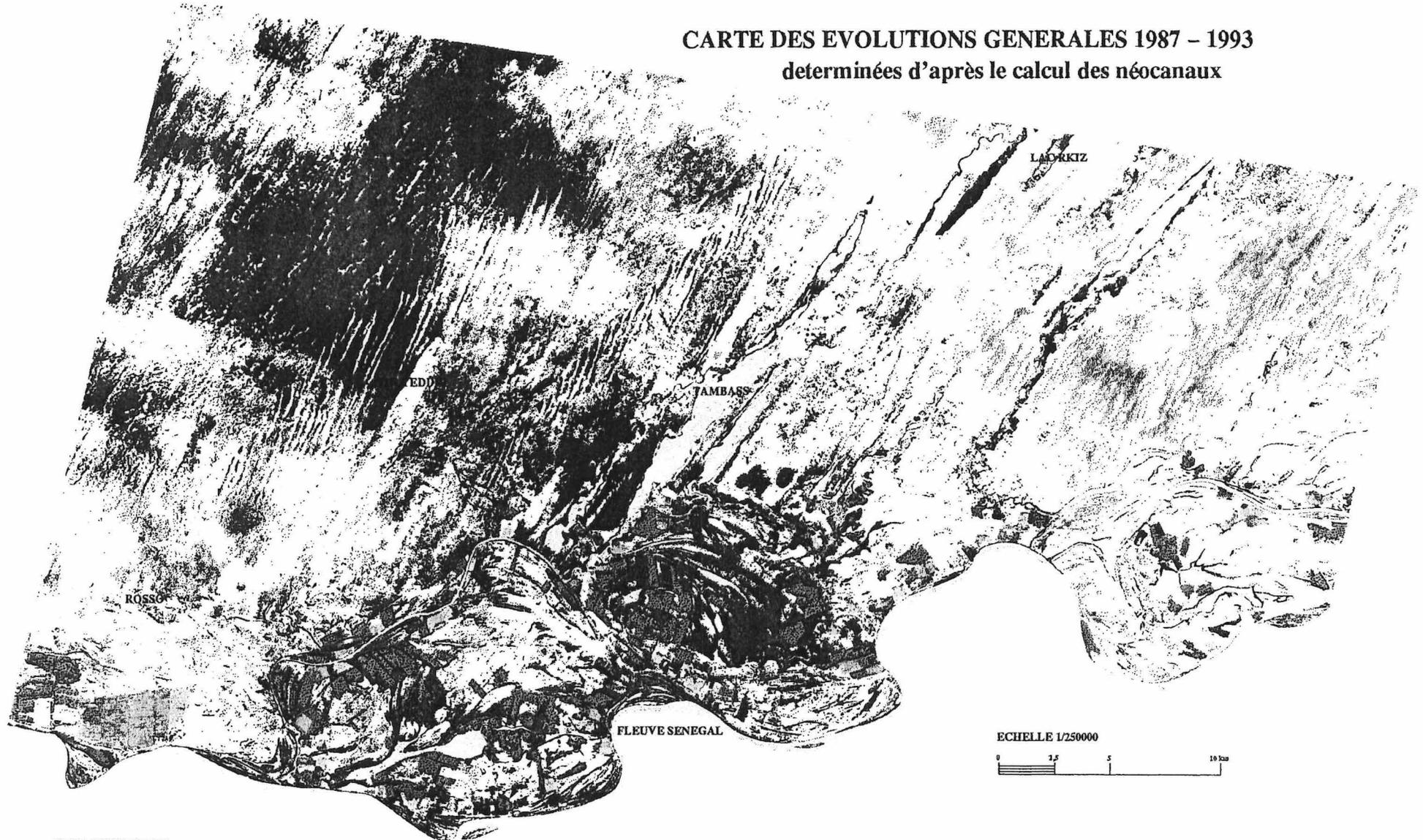
Les alentours de la ville de Rosso, dont la désertification par les charbonniers avaient été notés par G. DE WISPELAERE et *al.* (1989) connaît une dynamique légèrement progressive.

Comme nous venons de le noter, les faibles régressions dominent dans le Wallo. Les cuvettes pénétrant çà et là le Dieri, tel que le Tin Yeddar sont relativement stables. Les plus fortes régressions (20 ha sur les 2051 ha du Wallo) sont situées à l'est de la carte comme pour le Dieri.

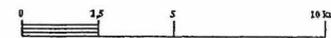
Les cultures irriguées font partie intégrante du Wallo, même si pour notre analyse, il a été préférable de les individualiser. Si quelques champs ont été abandonnés par rapport à la situation de 1987, de nombreuses nouvelles zones irriguées se sont développées.

CARTE DES EVOLUTIONS GENERALES 1987 - 1993
determinées d'après le calcul des néocanaux

Planche 3

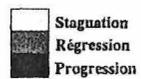


ECHELLE 1/250000

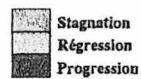


LEGENDE

Surfaces en eau *

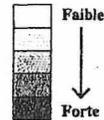


Cultures irriguées *



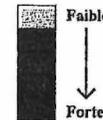
Evolution de l'occupation du sol pour le Wallo et le Dieri **

Dynamique régressive



Dynamique stagnante

Dynamique progressive



* Evolution déterminée par le calcul de l'indice de végétation

** Evolution déterminée par le calcul de l'indice de brillance

Leur disposition suit d'ailleurs les zones où nous avons mis en évidence une forte augmentation du niveau d'hydromorphie.

Quant aux surfaces en eau du Wallo, certaines marquent un recul par rapport à 1993, certainement dû aux systèmes d'irrigation des cultures.

La pointe du lac R'kiz, au nord de la zone est asséchée. Par contre, une vaste cuvette s'est remplie entre 1987 et 1993, peut-être au détriment du lac.

En conclusion, cette première analyse consacrée aux néocanaux nous a permis de mettre en évidence une dynamique progressive pour l'ensemble de la zone. Au regard du calcul des indices, il apparaît que la végétation du Dieri s'est densifiée à l'ouest, et a régressée à l'est. La dynamique progressive du Wallo est très localisée au centre de la carte, et sa régression totale bien qu'équivalente au Dieri, est plus faible.

Nous allons maintenant entamé le travail de classification de la zone. Il nous permettra de confirmer ou d'infirmer cette première analyse.

3.3.3. Les classifications dirigées

3.3.3.1. Méthode employée

Grâce à la stratification, les confusions radiométriques inter-strates seront éliminées. Par contre, la confusion intra-strate reste un problème à gérer au mieux.

Pour cela, le choix des parcelles d'apprentissage qui initialise les traitements est primordial.

Pour notre part, nous avons choisi des parcelles d'apprentissage de taille quasi-égale avec un nombre de pixels important (50 pixels au minimum), dans la mesure où l'homogénéité des codes numériques de la classification non dirigée le permettait.

Pour atteindre une certaine représentativité radiométrique des thèmes, plusieurs parcelles d'apprentissage seront utilisées. Il aurait été souhaitable de garder les parcelles d'apprentissage de 1987 pour la classification de 1993. Or, il n'a pas été possible de trouver des zones invariantes pour chaque thème.

Chaque résultat de classification supervisée a pu être évalué par le calcul automatique des matrices de confusion qu'offre le logiciel.

Lorsque le chevauchement radiométrique était trop important - et cela a été le cas notamment entre le "Sable Vif" (Sv) et la "Steppe herbeuse Très Claire" (ShTC), et entre la "Cuvette de décantation Mouillée" (CdM) et "la Cuvette de décantation Humide" (CdH), nous avons été contraint à réaliser les traitements sous masque pour séparer les deux thèmes.

A l'opposé, il existe des pixels inclassés. Si ces "vides" sont trop importants, il se peut que la typologie ne convienne pas à la réalité du terrain.

Dans notre cas, nous avons ajouté à la typologie initialement définie un niveau d'hydromorphie supplémentaire aux cuvettes de décantation du Wallo. Il s'agit du thème "Cuvette de décantation Moyennement Humide" (CdMH). L'abondance de pixels inclassés entre les sols nus et la "Cuvette de décantation Humide" nous a contraint à la création d'un nouveau thème.

Il s'est révélé impossible à partir de l'analyse des données spectrales de SPOT de discriminer l'*Acacia nilotica* de son milieu. En effet, le gonakié pousse sur les berges du Sénégal, là où l'hydromorphie est à son maximum : la classification dirigée n'a pas permis de différencier l'un de l'autre. Or, il est apparu nécessaire d'évaluer le développement de ce ligneux car il représente un véritable critère de suivi pour la végétation dans le Wallo, alors que jusqu'ici, nous n'avions pu qu'évoquer des niveaux d'hydromorphie. Ce thème a donc été identifié par photo-interprétation.

Les documents cartographiques présentés sur les planches 4a et 4b nous permettent de visualiser les différents postes d'occupation du sol.

3.3.3.2. Le contrôle de la cartographie finale

Dans la mesure où nous ne disposions pas d'enquêtes de terrain pour valider nos résultats, nous avons pu évaluer la fiabilité de nos résultats grâce aux parcelles de contrôle. Lors de la saisie des parcelles d'apprentissage, nous avons simultanément saisi des parcelles, auxquelles on a affecté un rôle de contrôle. On vérifie ensuite la concordance entre les thèmes identifiés par la classification et ceux des parcelles de contrôle, par croisement des deux images.

On obtient des matrices de confusion (tableaux 6a et 6b), qui se présentent sous la forme d'un tableau à double entrée, où sont lus horizontalement les thèmes classés sur la classification et verticalement les thèmes reconnus en phase de contrôle.

Une forte concentration de points sur la diagonale signifie que les parcelles de contrôle sont fidèles à la classification.

L'exactitude globale (somme des points sur la diagonale divisée par la somme du tableau) est l'indicateur du taux de fiabilité global de la cartographie.

Tableau 6a : Matrice de confusion de 1987 (en pourcentage)

	Se	Ci	SnSL	SnA	CdMH	CdH	CdM	Sv	ShTC	ShC	ShMD	SDL
Se	100											
Ci		100										
SnSL			98	6		20						
SnA			2	94		8						
CdMH					92	8						
CdH					2	63						
CdM					6	1	100					
Sv								95	1	7		
ShTC								4	99			
ShC								1		92	1	2
ShMD										1	71	3
SDL											28	95
EXACTITUDE GLOBALE : 92												

Surfaces en eau (Se), Cultures irriguées (Ci), Sols nus sablo-limoneux (SnSL), Sols nus Argileux (SnA), Cuvette de décantation Moyennement Humide (CdMH), Cuvette de décantation Humide (CdH), Cuvette de décantation Mouillée (CdM), Sable vif (Sv), Steppe herbeuse Très Claire (ShTC), Steppe herbeuse Claire (ShC), Steppe herbeuse à arbustive Moyennement Dense (ShMD), Steppe Dense avec Ligneux (SDL).

Tableau 6b : Matrice de confusion de 1993 (en pourcentage)

	Se	Ci	SnSL	SnA	CdMH	CdH	CdM	Sv	ShTC	ShC	ShMD	SDL
Se	100											
Ci		100										
SnSL			85	24								
SnA			15	76								
CdMH					93	22						
CdH					7	78						
CdM							100					
Sv								97				
ShTC								3	98			
ShC									2	91		
ShMD										9	97	11
SDL											3	89
EXACTITUDE GLOBALE : 92												

Remarque : le thème "Ilots d'*Acacia nilotica*" ayant été identifié par photo-interprétation, il ne peut apparaître dans les matrices de confusion.

L'analyse de ces matrices va nous permettre d'apprécier les résultats, et également d'examiner les thèmes qu'il faudra traiter avec prudence lors de l'interprétation des résultats.

Pour 1987 et 1993, on note l'excellente précision des thèmes "Surfaces en eau" (Se) et "Cultures irriguées" (Ci). En effet, aucun des pixels contrôlés ont été cartographiés en un autre thème. Par contre, un thème tel que "Cuvette de décantation Moyennement Humide" en 1987, a été classé pour 2% en "Cuvette de décantation Humide" (CdH) et pour 6% en "Cuvette de décantation Mouillée" (CdM).

Nous pouvons donc répartir les thèmes en deux groupes, selon leur fiabilité.

Tableau 7 : Fiabilité des thèmes d'après les matrices de confusion

	1987	1993
Thèmes fiables	<ul style="list-style-type: none"> - Surfaces en eau (Se) - Cultures irriguées (Ci) - Sable vif (Sv) - Steppe herbeuse Très Claire (ShTC) - Steppe herbeuse Claire (ShC) - Steppe Dense avec Ligneux (SDL) - Sols nus Sablo-Limoneux (SnSL) - Sols nus Argileux (SnA) - Cuvette de décantation Moyennement Humide (CdMH) - Cuvette de décantation Mouillée (CdM) 	<ul style="list-style-type: none"> - Surfaces en eau (Se) - Cultures irriguées (Ci) - Sols nus Sablo-Limoneux (SnSL) - Sols nus Argileux (SnA) - Sable vif (Sv) - Steppe herbeuse Très Claire (ShTC) - Cuvette de décantation Moyennement Humide (CdMH) - Cuvette de décantation Mouillée (CdM) - Steppe herbeuse Claire (ShC) - Steppe herbeuse à arbustive Moyennement Dense (ShMD) - Steppe Dense avec Ligneux (SDL)
Thèmes peu fiables	<ul style="list-style-type: none"> - Cuvette de décantation Humide (CdH) - Steppe herbeuse à arbustive Moyennement Dense (ShMD) 	<ul style="list-style-type: none"> - Cuvette de décantation Humide (CdH)

Les thèmes que nous avons considéré relativement fiables présentent des performances d'au moins 89%, et une confusion entre thèmes proches, mise à part la "Steppe herbeuse Claire" (ShC).

En 1987, le thème "Cuvette de décantation Humide" a été sous-estimé, puisque 8% de la surface qui lui a été attribué en contrôle est en fait une "Cuvette de décantation Moyennement Humide", et pour 28% une cuvette de décantation sèche (les sols nus), les confusions d'origine spectrales étant pourtant peu probables. Il se peut qu'il s'agisse d'un problème de frontière entre ces deux thèmes, lors de la saisie des parcelles. En effet, si on observe la carte d'occupation du sol de 1987, les sols nus et la "Cuvette de décantation Moyennement Humide" ont de nombreuses frontières communes.

De même, on peut comprendre que la "Steppe herbeuse Claire" cède 1% de sa surface à la "Steppe herbeuse à arbustive Moyennement Dense", mais plus difficilement que 7% ait été classé en "Sable vif".

6% de la "Cuvette de décantation Moyennement Humide" ont été classés en "Cuvette de décantation Mouillée" et 2% en "Cuvette de décantation Humide". Ces thèmes qualifiant des niveaux d'hydromorphie ont une radiométrie proche, dont la limite est parfois difficile à établir. On le ressent automatiquement sur les résultats. De même, la "Steppe herbeuse à arbustive Moyennement Dense" a été surestimée au détriment de la "Steppe Dense avec Ligneux". L'étroitesse des surfaces en "Steppe Dense avec Ligneux" en 1987 a pu sensiblement réduire la précision des limites entre ces deux thèmes.

En 1993, la confusion radiométrique entre "Sols nus Argileux" et "Sols nus Sablo-Limoneux" s'est accrue. Néanmoins, la confusion ne s'étend pas au-delà de la cuvette de décantation sèche.

Les problèmes évoqués pour la "Cuvette de décantation Moyennement Humide" se retrouvent en 1993, où 7% des pixels appartiennent à la "Cuvette de décantation Humide". La confusion radiométrique de la "Cuvette de décantation Humide" a diminuée, et l'absence de pixels classés dans la cuvette de décantation sèche confirme l'hypothèse d'une frontière mal définie pour 1987.

"Steppe herbeuse Claire" et "Steppe Dense avec Ligneux" ont une confusion de 9 et 11% avec leur thème intermédiaire, la "Steppe herbeuse à arbustive Moyennement Dense".

En Conclusion, on remarque que les thèmes les moins fiables sont ceux dont la superficie est la moins importante, et ceux dont la limite radiométrique a été difficile à cerner. La qualité de la cartographie reste cependant très satisfaisante pour l'ensemble des thèmes (92% d'exactitude globale pour les deux années).

3.3.3.3. Exposé des résultats

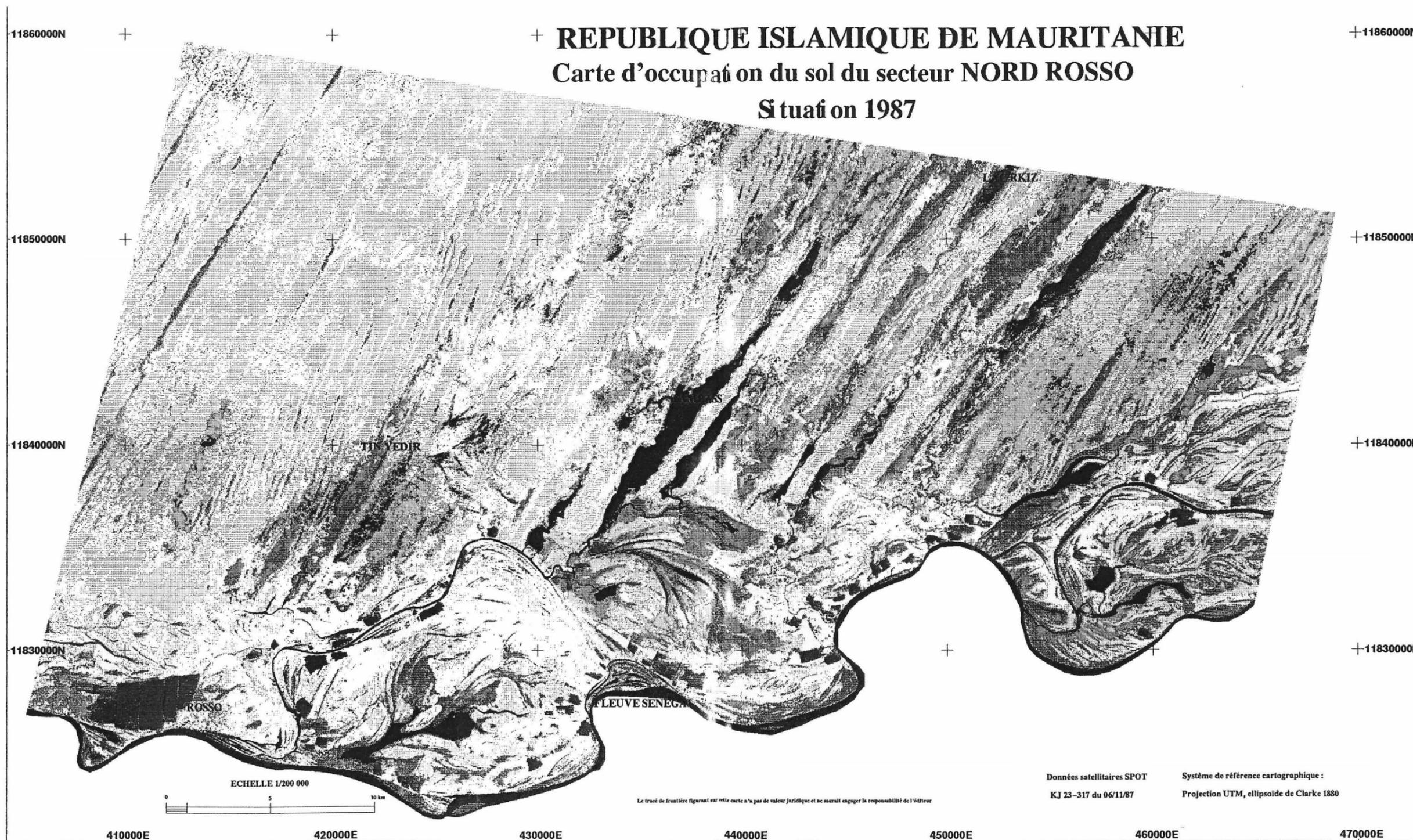
Les cartes d'occupation du sol de 1987 et 1993 sont présentées ci-après (planches 4a et 4b).

Afin de déterminer les évolutions générales de l'occupation du sol entre 1987 et 1993, nous avons eu recours au croisement des classifications, selon les mêmes modalités que l'indice de brillance (cf. 3.3.2.).

Le tableau 8 présente les résultats obtenus en hectare et en pourcentage.

Planche 4a

+ REPUBLIQUE ISLAMIQUE DE MAURITANIE
Carte d'occupation du sol du secteur NORD ROSSO
Situation 1987



LÉGENDE

--- Frontière

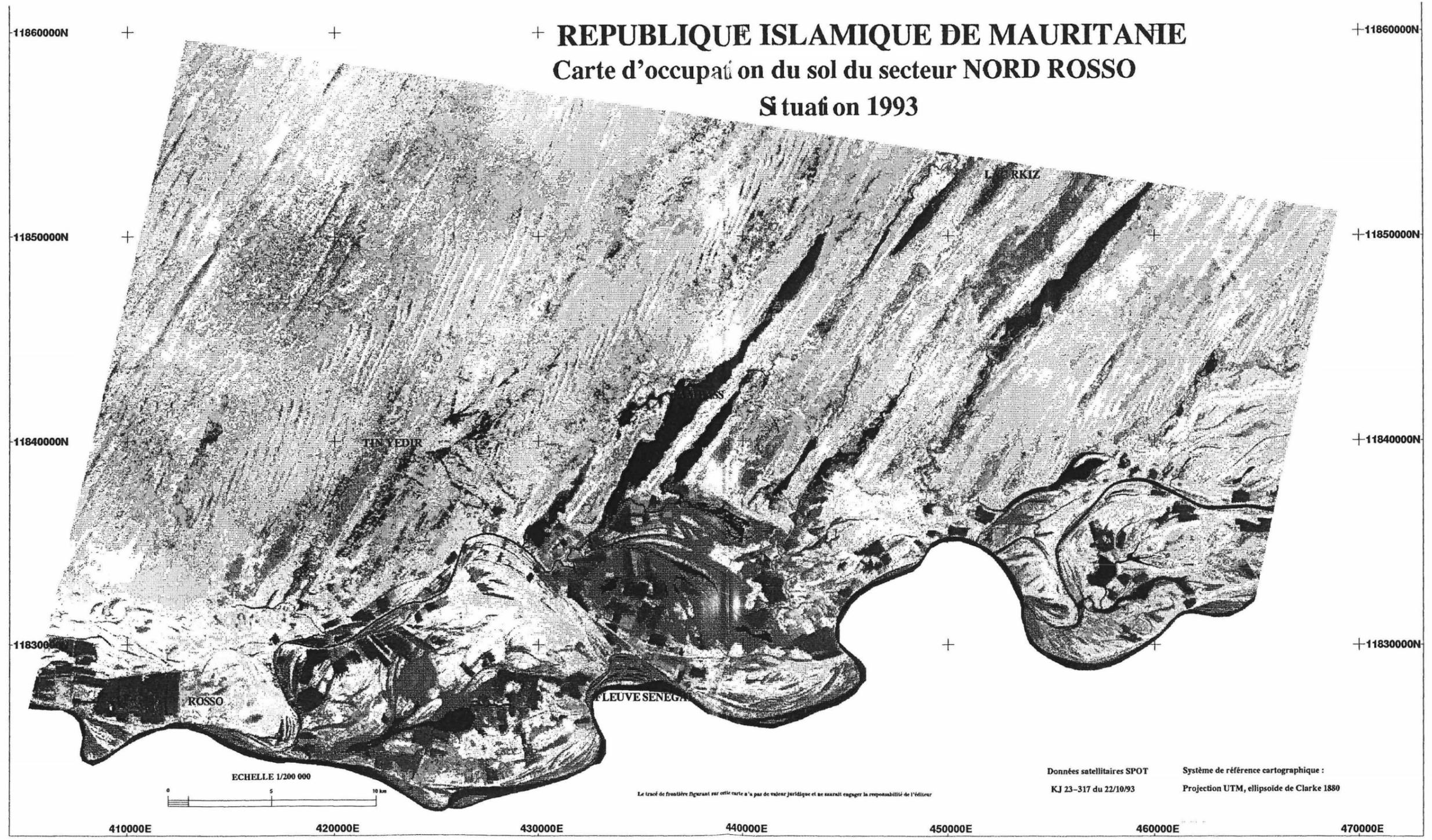
Thèmes du WALLO

- | | | |
|--------------------|--------------------------------|---|
| Surface en eau | Cuvette de décantation sèche : | Cuvette de décantation moyennement humide |
| Cultures Irriguées | Sol nu sablo-limoneux | Cuvette de décantation humide |
| | Sol nu argileux | Cuvette de décantation mouillée |

Thèmes du DIERI

- | | |
|-----------------------------|---|
| Sable vif | Steppe herbeuse claire |
| Steppe herbeuse très claire | Steppe herbeuse à arbustive moyennement dense |
| | Steppe dense avec ligneux |

Planche 4b



LÉGENDE

--- Frontière

Thèmes du WALLO

- Surface en eau
- Cuvette de décantation sèche :
- Cultures Irriguées
- Sol nu sablo-limoneux
- Sol nu argileux

- Cuvette de décantation moyennement humide
- Cuvette de décantation humide
- Cuvette de décantation mouillée

Thèmes du DIERI

- Sable vif
- Steppe herbeuse très claire
- Steppe herbeuse claire
- Steppe herbeuse à arbustive moyennement dense
- Steppe dense avec ligneux

Tableau 8 : Evolutions générales définies par les classification dirigées

	Wallo		Dieri	
	en ha	en %	en ha	en %
Progression importante à faible	89	3	4	
	505	18	59	2
	861	31	833	30
	1302	47	1862	68
TOTAL	2757	40	2758	33
Stagnation	2461	35	3339	40
Régression faible à importante	799	48	2109	92
	565	34	166	7
	256	15	24	1
	57	3	2	
TOTAL	1748	25	2301	27

A la lecture de ces résultats, on constate tout d'abord que le Wallo a plus progressé que le Dieri (40% contre 33%).

Ainsi, la stabilité et la régression dans le Dieri a été plus importante.

Concernant les différents niveaux de progression et de régression, celles du premier degré dominant. Cette dominance est très marquée dans le Dieri, où 92% des régressions et 68% des progressions sont de degré 1, alors que Celles du Wallo sont de 47 à 48 %.

Un tiers des évolutions de chaque dynamique du Wallo sont de degré 2, et la part des évolutions de degrés 3 et 4 restent relativement importantes, comparées à celles du Dieri.

En effet dans le Dieri, la progression de degré 2 est de 30%, inférieur à 10% pour les régressions, et relativement négligeables en degrés 3 et 4, les régressions de degré 1 ayant acquis 92% du territoire.

La dynamique progressive du Dieri de degrés 3 et 4 sont également très faibles.

On peut noter que la grande majorité des évolutions du Dieri sont de degré 1. Ceci indique que le Dieri a connu une évolution moins brutale que le Wallo entre 1987 et 1993.

Cela peut s'expliquer assez aisément. Les variations d'hydromorphie peuvent être considérables d'une année à l'autre, et à fortiori sur 5 ans. Par contre, l'évolution du couvert végétal et a fortiori des ligneux, nécessite une plus longue période pour se mettre en place ou pour disparaître (si on exclut le facteur humain, notamment la déforestation).

En conclusion, le croisement des classifications met en évidence une dynamique progressive dominante dans le Wallo, alors que les zones n'ayant pas évoluées l'emportent sur la progression dans le Dieri.

Au regard des résultats obtenus par les néocanaux, et ceux obtenus par les classifications, la dynamique définie par ces traitements n'est pas totalement identique.

Afin d'évaluer les distorsions entre ces deux traitements, il nous est apparu important de comparer les résultats.

3.4. Comparaison des résultats indice de brillance/classification

Comme précédemment, nous avons eu recours à la méthode des croisements afin d'aborder cette comparaison.

Le Wallo et le Dieri ont été étudiés séparément. Pour chaque entité, on a individualisé les évolutions déterminées par les classifications en progression, régression, et stabilité. On a affecté à chaque degré des dynamiques progressive et régressive un code propre.

Etant donné les différences de méthodes entre les différents traitements, nous serons amenés parfois à considérer comme inchangés les évolutions de degré 1. Pour une restitution plus fidèle des résultats, nous garderons néanmoins les répartitions initiales des tableaux.

Pour simplifier la présentation et la compréhension, les résultats ne seront exprimés qu'en pourcentage

Enfin, il faut dès maintenant noter que les évolutions de degré 3 et 4 ne seront que rarement commentées, car leur surface sont dans la majorité des cas très restreinte.

Les évolutions des degrés 1, 2, 3, et 4 et leur surface sont détaillées dans l'annexe 3.

Ainsi, les tableaux présentés ci-dessous seront lus de la manière suivante : dans le tableau 9, 12% des progressions sont classées en degré 1 par les classifications et les néocanaux, par contre 19% de celles-ci ont été classées au degré supérieur par l'indice de brillance et 7% au degré inférieur ; 42% des points stables de la "Cuvette de décantation Sèche" (CdS) le sont pour les deux traitements, par contre 22% ont été classés en régression 1 par l'indice de brillance etc ...

3.4.1. Présentation des résultats

3.4.1.1. Le Wallo

Tableau 9 : Comparaison des résultats obtenus pour le Wallo

CLASSIFICATION													
Progression				Stabilité					Régression				
Degré 1	Degré 2	Degré 3	Degré 4	CdS	CdMH	CdH	CdM	TOTAL	Degré 1	Degré 2	Degré 3	Degré 4	
Régression 5									1		3	3	
Régression 4									2	2	4	6	
Régression 3						3	2	1	7	10	11	18	
Régression 2		1		5	4	18	6	8	13	21	28	38	
Régression 1	7	11		22	31	31	13	24	28	44	32	29	
INCHANGE	12	36	10	42	43	32	19	34	29	21	18	6	
Progression1	19	30	12	1	24	19	13	16	18	15	2	4	
Progression2	26	17	18	6	6	3	3	19	8	5			
Progression3	19	5	23	18	1			15	4				
Progression4	11		20	25				7	2				
Progression5	7		17	50				3	1				

Sols nus sablo-limoneux (SnSL), Sols nus Argileux (SnA), Cuvette de décantation Moyennement Humide (CdMH), Cuvette de décantation Humide (CdH), Cuvette de décantation Mouillée (CdM).

Si on s'attache à la répartition des chiffres dans le tableau, on remarque qu'ils se concentrent dans la partie commune du tableau. Par exemple, la majorité des cases "Régression" de la partie "Progression" de la classification sont vides. Cela signifie que peu de points de la dynamique progressive de la classification ont été représentés en dynamique régressive par l'indice de brillance.

On peut donc observer que la répartition générale des pourcentages est satisfaisante. On ne rencontre qu'un seul taux très faible (1%) en régression de niveau 2 pour les progressions, et seul 5% des régressions ont été classés en progressions de niveau 2. Le taux d'inchangés de la dynamique stable est de 34%.

Si on considère comme points inchangés les évolutions de niveau 1, les taux d'inchangés se situent entre 38% et 88%, si on exclut les progressions de degré 3 et 4.

Les degrés 3 et 4 de la progression, dont l'importance est ici non négligeable se comporte très différemment pour les deux traitements. Le degré 4 est en fait une "Cuvette de décantation Sèche" dans la classification de 1987 classée en "Cuvette de décantation Mouillée" en 1993. Face à une telle distorsion (50% de ces points ont cinq niveaux d'écart avec la classification), nous avons localisé les codes concernés sur l'image. On les rencontre essentiellement en bordures de rives (fleuve Sénégal, cours d'eau), on peut donc penser qu'à travers l'indice de brillance,

les zones les plus hydromorphes de la "Cuvette de décantation Mouillée" ont réagi de la même manière qu'une surface en eau.

En ce qui concerne les points stables de la classification, la "Cuvette de décantation Mouillée" a réagi comme précédemment. L'indice de brillance a mieux caractérisé les niveaux d'hydromorphie très humide (19% en progression de niveau 2 et 15% de niveau 3).

De même, La plus forte distorsion des régressions est celle du degré 4 (38% occupent une régression de niveau 2), les régressions de niveau 3 sont faibles pour les degrés 2 et 3.

En conclusion, le Wallo s'est globalement comporté de la même façon pour la détermination des évolutions. Les plus grands écarts proviennent des zones les plus humides du Wallo, lesquelles se sont parfois comportées comme des surfaces en eau pour l'indice de brillance. Qualitativement, l'indice de brillance a mis en évidence de plus fortes dynamiques régressive et progressive que la classification.

3.4.1.2. Le Dieri

Tableau 10 : Comparaison des résultats obtenus : Le Dieri

CLASSIFICATION														
	Progression				Stabilité						Régression			
	Degré 1	Degré 2	Degré 3	Degré 4	Sv	ShTC	ShC	ShM D	SDL	TOTAL	Degré 1	Degré 2	Degré 3	Degré 4
Régression5												3	76	81
Régression4											2	20	50	19
Régression3					11		2			1	8	40	40	
Régression2	2	3			33		8			4	21	29	10	
Régression1	14	3			23	9	22	7	8	14	35	10		
INCHANGE	23	15			24	32	38	38	43	34	26	1		
Progression1	16	36			7	36	24	46	40	32	7			
Progression2	17	27	18		2	18	6	9	9	13	1			
Progression3	15	11	42	20		5				3				
Progression4	9	5	30	35										
Progression5	4		10	45										

Sable vif (Sv), Steppe herbeuse Très Claire (ShTC), Steppe herbeuse Claire (ShC), Steppe herbeuse à arbustive Moyennement Dense (ShMD), Steppe Dense avec Ligneux (SDL).

On peut faire la même remarque que précédemment, c'est-à-dire que l'indice de brillance et la classification ont répertoriés des surfaces quasi égales de progression et de régression. Malgré cela, la répartition qualitative laisse entrevoir certains écarts.

On peut noter que l'indice de brillance a défini une dynamique plus forte que la classification en matière de progression.

16% des progressions de degré 1 et 27% de degré 2 ont évolué vers deux niveaux supérieurs d'après l'indice de brillance. De même, les progressions de niveau 3 atteignent 15 et 11%.

Concernant la dynamique stable, tous les thèmes, mis à part le "Sable vif" (Sv) sont regroupés à plus de 70% sur la ligne des inchangés et des évolutions de degré 1. D'après l'indice de brillance, le "Sable vif" affiche une régression de 67% par rapport au résultat de la classification. D'après l'indice de brillance, le "Sable vif" affiche une régression de 67% par rapport au résultat de la classification. Trois thèmes ont été affectés à la catégorie des progressions par l'indice de brillance (la "Steppe herbeuse Très Claire", la "Steppe herbeuse à arbustive Moyennement Dense" et la "Steppe Dense avec Ligneux").

Concernant les régressions de la classification, 77% d'entre elles ont été classés comme telles par l'indice de brillance (en considérant les évolutions de niveau 1 comme inchangées). Par contre, 10% du degré 2 est ainsi considéré par l'indice de brillance (40% sont affectés à 3 niveaux de régression supérieurs). Néanmoins, le poids de la surface de degré 1 (plus de 10 fois supérieure à celle de degré 2) nous permet de dire que les régressions constatées dans le Dieri pour l'un et l'autre des traitements divergent fortement.

La classification a mis en évidence un très fort taux de régression de degré 1 par rapport à l'indice de brillance. Les régressions de degré 2 sont alors logiquement sous-estimée dans la classification.

En conclusion, la comparaison des résultats met en évidence une distorsion importante pour la dynamique progressive et la stabilité du Dieri.

D'une part, les surfaces qui ont progressé entre 1987 et 1993 sont inférieures à celles déterminées d'après l'indice de brillance.

D'autre part, les surfaces inchangées sont plus représentées par la classification.

Quantitativement, les régressions sont similaires, mais au sein de ce groupe, les régressions de degré 1 dominant fortement dans la classification.

3.4.2. Discussion

Nous venons d'exposer les résultats d'une comparaison entre deux traitements. Il était clair que nous ne pouvions attendre une concordance absolue des résultats, la démarche de classification étant très différente de celle du calcul d'indices. Elle tient essentiellement au fait que dans le premier cas, l'opérateur intervient, alors que dans le deuxième cas, il s'agit d'une formule mathématique définie entre des canaux déterminés.

Dans l'ensemble, le Dieri a marqué de plus fortes variations d'évolution, comparé à celles du Wallo.

En effet, la dynamique progressive est majorée dans le Dieri par l'indice de brillance. On peut ici avancer le fait que l'indice de brillance caractérise des objets clairs. La végétation de la zone étant majoritairement clairsemée, il est possible que l'indice de brillance ait surestimé les surfaces végétalisées si l'herbe éparsée et sèche se confond avec le sol.

Dans le Wallo, les résultats globaux sont équivalents entre la classification et l'indice de brillance. Par contre, les niveaux de dynamique sont répartis très différemment. Pour les progressions, l'indice de brillance détermine une dynamique plus forte.

L'exposé des méthodes de cartographie à partir d'images satellitaires nous a permis de soulever les problèmes de fiabilité et d'évaluation des résultats. Nous disposons désormais d'une quantité d'informations assez importantes pour formuler l'interprétation thématique de l'évolution de l'occupation du sol de la région du lac R'Kiz entre 1987 et 1993.

4. INTERPRETATION THEMATIQUE

L'interprétation thématique de notre zone d'étude présentée ici sera réalisée à partir du tableau 11 de statistiques d'occupation du sol, et des documents cartographiques 4a et 4b. Le premier nous permettra d'affecter des valeurs aux évolutions, et les deuxièmes auront pour vocation de localiser les changements. Le diagnostic et les hypothèses retenues seront fondés sur cette analyse, et complétés par les informations acquises lors de la définition du milieu d'étude (cf. 2.).

4.1. Présentation des résultats

Tableau 11 : Statistiques d'occupation du sol en 1987 et 1993

Thèmes	1987		1993	
	Superficie en ha	Superficie en %	Superficie en ha	Superficie en %
Surfaces en eau (Se)	785	4,8	802	4,9
Cultures irriguées (Ci)	196	1,2	540	3,3
Sols nu sablo-limoneux (SnSL)	2684	16,4	1571	9,6
Sols nus argileux (SnA)	1735	10,6	1816	11,1
Cuvette de décantation moyennement humide (CdMH)	1014	6,2	1587	9,7
Cuvette de décantation humide (CdH)	884	5,4	1145	7
Cuvette de décantation Mouillée (CdM)	1227	7,5	1063	6,5
Ilots d' <i>Acacia nilotica</i> (IAN)	16	0,1	33	0,2
Sable vif (Sv)	1735	10,6	1113	6,8
Steppe herbeuse très claire (ShTC)	3551	21,7	3502	21,4
Steppe herbeuse Claire (ShC)	2013	12,3	2749	16,8
Steppe herbeuse à arbustive Moyennement Dense (ShMD)	376	2,3	327	2
Steppe dense avec ligneux (SDL)	147	0,9	115	0,7
Total	16363	100	16363	100

4.2. Analyse des résultats

A la lecture du tableau de statistiques d'occupation du sol de 1987, on peut observer que les thèmes largement dominants sont caractérisés par leur faible taux de couverture végétale. Il s'agit des thèmes "Sable vif" (Sv), 10,6%, "Steppe herbeuse très claire" (ShTC), 21,7%, et "Steppe herbeuse Claire" (ShC), 12,3%, lesquels représentent 44,6% de la zone d'étude.

En 1993, la "Steppe herbeuse Très Claire" domine toujours, et dans des proportions équivalentes (21,4%). Par contre, la superficie du "Sable vif" a

diminué, alors que celle de la "Steppe herbeuse Claire" augmente de plus de 700 ha (+4,5%).

En 1987, les sols nus sont majoritaires à raison de 16,4% pour les "Sols nu sablo-limoneux" (SnSL), et 10,6% pour les "Sols nus argileux" (SnA). Si on associe les thèmes peu ou non végétalisés (sus-énoncés), ils occupent 71,6% de la zone d'étude. En effet, les tons de jaune et de rose compactes prédominent très nettement sur la carte d'occupation du sol (planche 4a).

En 1993, on assiste à une régression de 5,9% des surfaces peu ou non végétalisées (elles occupent 65,7%).

L'augmentation des surfaces couvertes est dûe d'une part, à la progression de la "Steppe herbeuse Claire" et d'autre part, au recul du "Sable vif" et des "Sols nus Sablo-Limoneux".

dans le Dieri, ces changements sont très localisés. L'est de la carte montre la forte dégradation qu'a connu ce secteur : la "Steppe herbeuse Très Claire" et le "Sable vif" ont pratiquement colonisé toute la zone. La "Steppe Dense avec Ligneux" (à majorité d'*Acacia senegal*) présente en 1987 a laissé place à une "Steppe herbeuse Claire" dont l'étendue est très limitée, et qui persiste encore sur les rives est de la retenue d'eau.

Dans une moindre mesure, l'espace compris entre le Tambass, le lac R'kiz et les cuvettes de décantation sèche du centre-nord de la carte s'est dégradé.

Par contre, la "Steppe Dense avec Ligneux" à l'est du Tin Yeddar bien que toujours compacte est plus étendue.

Enfin, le quart nord-ouest de notre carte illustre la massive progression de la "Steppe herbeuse Claire" entre les dunes de sable, à l'intérieur de laquelle de petites "nuées" de "Steppe herbeuse à arbustive Moyennement Claire" se développent.

Quant au Wallo, les cuvettes de décantation moyennement humides à mouillées occupent 19% du territoire en 1987, parmi lesquelles la "Cuvette de décantation Mouillée" (CdM) est un peu plus importante (7,5%). Cette dernière est essentiellement localisée à l'est de la carte en 1987. Celle-ci régresse légèrement en 1993, par contre la "Cuvette de décantation Humide" et la "Cuvette de décantation Moyennement Humide" ont progressé.

Le couvert ligneux du Wallo et du Dieri tient une place très réduite dans le paysage de 1987. L'*Acacia nilotica* ne subsiste que sous forme d'îlots très contractés entre le fleuve et la "Cuvette de décantation Mouillée" (CdM). La "Steppe Dense avec Ligneux" (SDL) est également très confinée au centre de la "Steppe herbeuse Claire" (ShC), autour de laquelle la "Steppe herbeuse à

arbustive Moyennement Dense" (ShMD) occupe une place restreinte (2,3%). Elle est principalement localisée à l'est du Tin Yeddar et dans le quart nord-est de la carte.

D'ailleurs, on observe d'un point de vue global que les zones les plus hydromorphes du Wallo et, les zones de végétation du Dieri sont concentrées à l'est du Tambass.

Les statistiques de 1993 affiche une évolution inverse : l'*Acacia nilotica* (dans des proportions toujours infimes) a doublé son étendue, alors que la "Steppe Dense avec Ligneux" perd 32 ha en 1993.

Les "Surfaces en eau" (Se) et les "Cultures irriguées" (Ci) se distinguent très nettement sur les deux cartes.

Les "Surfaces en eau" n'ont pas significativement évolué en matière de chiffres, mais on doit noter la présence d'une nouvelle retenue d'eau à l'ouest du lac R'kiz, déjà présente sur la carte des évolutions déterminées d'après les néocanaux (planche 3).

Les "Cultures irriguées" se sont considérablement développées : elles ont pratiquement triplées leur surface. Si le grand champ cultivé au nord de Rosso a régressé, les cultures ont colonisé les sols de part et d'autre du cours d'eau qui relie le Tambass au fleuve Sénégal. Les aménagements se sont également situés aux niveaux des cuvettes ayant connu une forte progression de leur hydromorphie (au centre du Wallo).

A l'est du Wallo, les cuvettes de décantation se sont amenuisées pour laisser place aux sols nus. Les poches de décantation sèche qui se détachent du paysage du Dieri n'ont pas connu de véritables changements, mise à part à l'ouest, où l'hydromorphie est plus forte en 1993.

le terrain gagné par l'*Acacia nilotica* a été pris au niveau de la "Cuvette de décantation Mouillée" des méandres du fleuve, aux endroits où celles-ci est largement étendue.

|| Pour conclure, à l'issue de 1993, on peut dire qu' une densification du couvert herbacée a eu lieu, mais que celle-ci ne s'est opérée qu'au détriment de l'est où une forte dégradation est constatée. Le profil hydromorphique des sols du Wallo est plus élevé, plus précisément au centre de la carte.

Nous pouvons formuler un certain nombre d'explications quant à l'évolution mise en évidence par le traitement des données SPOT. Néanmoins, elles ne resteront qu'à l'état d'hypothèses en raison de l'absence de données précises sur la fréquentation animale et les ressources fourragères sur cette zone entre 1987 et 1993.

4.3. Diagnostic et hypothèses retenues sur l'évolution de l'occupation du sol entre 1987 et 1993

Concernant les cuvettes de décantation du fleuve Sénégal, l'hydromorphie a augmenté au centre du Wallo et baissé à l'est.

Les nombreux aménagements agricoles peuvent nous amener à penser que les canaux d'irrigation implantés pour les cultures ont augmenté la rétention en eau des sols. Néanmoins, cette hypothèse est contradictoire à l'est, puisque des cultures irriguées se sont également implantées.

D'autre part, la progression de l'*Acacia nilotica* peut être considérée comme le signal d'une densification végétale dans le Wallo, alors que les données spectrales n'ont pu être interprétées qu'en niveau d'hydromorphie.

Dans le Dieri, on observe globalement un déplacement de la végétation selon un gradient croissant de l'est à l'ouest.

Si on tente d'expliquer ce phénomène par la pluviométrie, on a pu remarquer qu'il n'y avait pas eu de remontée significative entre 1987 et 1993. 1986 fut une année de pluviométrie excédentaire (338,9 mm) et a pu contribuer à l'accroissement du couvert herbacé, lequel aurait permis une augmentation du stock de graines de graminées annuelles, potentiellement prêtes à germer l'année suivante. Mais 1987 n'a pas bénéficié d'une pluviométrie suffisante pour utiliser ce potentiel. 1988 et 1989 sont les deux dernières années de pluviométrie normales jusqu'à 1993, où quatre années déficitaires se sont succédées.

Le déficit pluviométrique de 1987 et 1993 permet donc de comparer un potentiel fourrager sur des années de pluviométrie quantitativement équivalente.

La cause des variations de couvert végétal est donc à rechercher dans la répartition des pluies sur le territoire : les pluies ont-elles été plus importantes à l'est qu'à l'ouest en 1987 et inversement en 1993 ?

Au sahel, les pluies peuvent être très localisées, sans qu'aucune barrière naturelle n'existe, comme dans notre cas, où rien ne peut empêcher les pluies de traverser la zone d'ouest en est.

Il suffit généralement d'une quinzaine de jour après une pluie pour que le couvert herbacé se développe considérablement. Une pluie tombée localement deux semaines avant la date de prise de vue pourrait alors nous induire en erreur.

Un tel contraste nous amène à avancer un autre facteur : la gestion pastorale. En effet, le quart nord-ouest très dégradé en 1987 a pu contraindre les éleveurs à exploiter la zone plus à l'est. D'autant que la présence de puits notée sur la cartographie de la zone Nord Rosso par DE WISPELAERE et *al.* (1989), et l'enquête de BOUDET (1989) confirment que le quart nord-ouest était effectivement des pâturages fréquentés.

Le déplacement des troupeaux à l'est aurait permis la mise en défens "forcée" du quart nord-ouest, lequel a pu se régénérer.

A l'est, la concentration animale aurait dégradé pratiquement toute la végétation en l'espace de cinq ans, la pluviométrie faible n'ayant qu'accentué ce phénomène.

En raison du manque d'informations détaillées sur la pluviométrie et l'exploitation des pâturages par le bétail de la zone d'étude, nous ne pouvons justifier de telles hypothèses.

Récemment, la mission de terrain destinée à l'étude de l'apport du canal MIR (moyen Infra-rouge) de SPOT s'est achevée. Nous avons pu bénéficier de quelques renseignements sur la couverture végétale du Dieri. Cette enquête infirme les résultats obtenus sur le quart nord-est : la végétation est présente au même titre qu'en 1987.

L'accroissement de la couverture végétale a donc considérablement augmenté.

Cette information nous amène à réfléchir sur les limites de l'analyse des données SPOT.

En effet, la réponse spectrale caractérise un taux de chlorophylle au sol. Dans le cas d'un pâturage à dominance d'herbacées, la signature spectrale mettra en évidence un fort taux de chlorophylle.

Si ce pâturage est à dominance d'arbustes et de ligneux, avec un couvert herbacé clairsemé, l'analyse spectrale fera ressortir l'aspect peu dense du taux de chlorophylle, malgré la présence d'une strate arborée.

Ainsi, nous pouvons réviser notre hypothèse de départ : le contraste est/ouest mis en évidence peut être l'illustration des limites des capteurs de SPOT. A savoir, un couvert herbacé dense dominerait à l'ouest, alors que l'est serait caractérisé par une strate plus haute, constituée d'arbustes et de ligneux.

Les cartes d'occupation du sol sont donc à interpréter avec précaution : elles sont le résultat de traitements effectués à partir de données satellitaires, aucune vérité de terrain n'ayant été exploitée pour valider ses résultats.

CONCLUSION

Au terme de cette étude, nous avons pu mettre en évidence, à travers le traitement des images satellitaires SPOT, les changements intervenus sur l'ensemble de la zone nord de Rosso de la région du lac R'Kiz entre 1987 et 1993.

En associant l'étude du milieu à l'utilisation des données satellitaires, il a été possible de définir une dynamique pastorale de notre zone d'étude.

Nous avons pu constater une augmentation de l'hydromorphie dans le Wallo, et également d'une densification végétale, si l'on se base sur l'extension de l'*Acacia nilotica*, considéré comme l'indicateur du développement végétal des sols hydromorphes du Sahel.

Cette évolution s'est accompagnée d'un accroissement de la surface couverte par la végétation entre 1987 et 1993. Cette progression s'est avérée très concentrée à l'ouest du secteur, alors que l'est a connu une forte dégradation de son couvert végétal.

Devant la faible couverture végétale du quart nord-ouest dont fait état la carte de 1987, nous avons tout d'abord pensé que l'action du bétail avait été déterminante. Les pasteurs auraient été contraints à l'abandon de ces pâturages, et se seraient repliés sur le quart nord-est entre 1987 et 1993.

L'ouest aurait donc pu bénéficier d'une période de mise à l'écart, pendant laquelle le couvert herbacé, et dans une moindre mesure le couvert ligneux, se seraient régénérés.

Cette transformation du paysage végétal est très brutale, et n'a pu être la conséquence des pluies, très moyennes à partir de 1990 (inférieur à 200 mm).

Des données pluviométriques plus détaillées, à savoir un relevé propre à chacun des sites discernés, aurait pu donner lieu à une explication climatique du phénomène.

Le supplément d'informations apporté par la mission de terrain SPOT 4/MIR de novembre 1994 nous a permis de remettre en question l'écart est/ouest.

L'opposition est/ouest du couvert végétal peut-être l'expression d'une des limites de l'utilisation des données SPOT, qui caractérise avant tout une densité de chlorophylle au sol et pour cela ne discrimine pas une strate herbacée d'une couverture ligneuse ou arborée clairsemée.

L'accroissement des surfaces végétales du Dieri a donc largement été sous-estimé. Il apparaît donc qu'en milieu semi-aride, de fortes dégradations du couvert végétal ne soient pas irréversibles.

Le futur capteur SPOT 4/MIR pourra caractériser avec plus de pertinence le domaine sahélien, par l'apport d'une meilleure différenciation des strates herbacées et ligneuses, l'accroissement de la sensibilisation aux faibles niveaux de la production herbacée.

L'utilisation des données satellitaires pourra alors être généralisée à l'ensemble du sahel afin de surveiller, gérer et contrôler les pâturages pour mieux y répartir le bétail.

Plus largement, l'information des capteurs permettra de surveiller avec une précision supérieure les secteurs fragilisés par l'action de l'homme et du climat, pour ainsi prendre les mesures appropriées contre l'extension des surfaces dégradées.

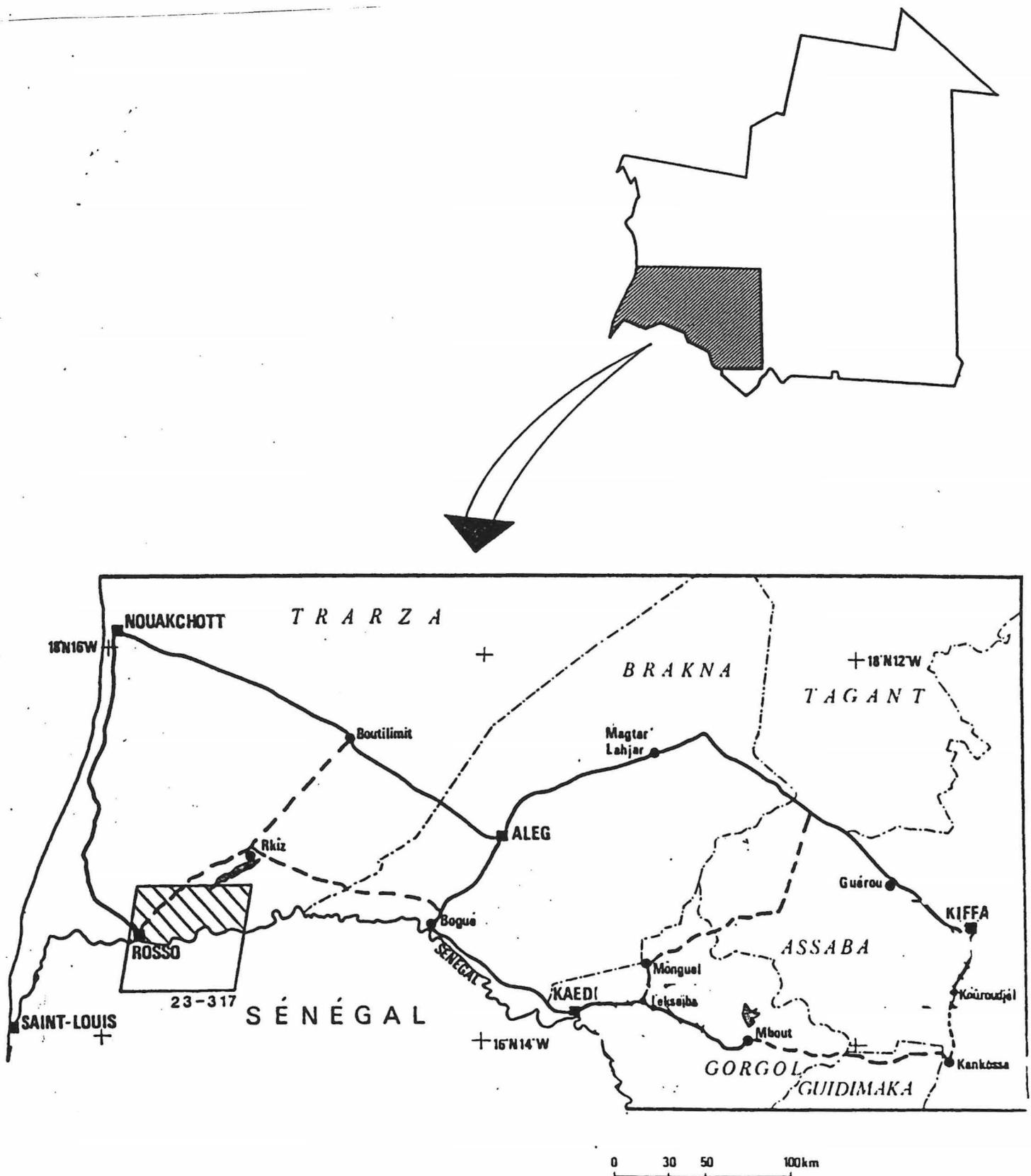
LISTE DES ILLUSTRATIONS

	PAGES
FIGURES	
Figure 1 : Situation pastorale de Rosso	12
Figure 2 : Fréquence mensuelle des précipitations de 1934 à 1993	16
Figure 3 : Variations interannuelles des précipitations de 1934 à 1993	17
Figure 4 : Moyenne pluviométrique lissée	18
TABLEAUX	
Tableau 1 : Espèces les plus rencontrées selon les phases climatiques	13
Tableau 2 : La production des pâturages sahéliers et la pluviométrie	15
Tableau 3 : Variations de la pluviométrie par période	17
Tableau 4 : Seuils interquintiles	17
Tableau 5 : Evolutions générales définies par l'indice de brillance	31
Tableau 6a et 6b : Matrices de confusion de 1987 et 1993	36
Tableau 7 : Fiabilité des thèmes d'après les matrices de confusion	37
Tableau 8 : Evolutions générales définies par les classifications	41
Tableau 9 : Comparaison des résultats obtenus pour le Wallo	43
Tableau 10 : Comparaison des résultats obtenus pour le Dieri	44
Tableau 11 : Statistiques d'occupation du sol en 1987 et 1993	47
PLANCHES	
Planches 1a et b: Compositions colorées à partir des canaux XS3, XS2, XS3 de SPOT pour 1987 et 1993	23 à 24
Planches 2a et b: Indices de végétation de 1987 et 1993	29 à 30
Planche 3 : Carte des évolutions générales déterminées d'après le calcul des néocanaux	33
Planche 4 a et b: Cartes d'occupation du sol de 1987 et 1993	39 à 40

ANNEXES

	Pages
Annexe 1 : Localisation de la zone d'étude	56
Annexe 2 : Données pluviométriques de la zone Nord Rosso	57
Annexe 3 : Données détaillées du croisement classifications/ indice de brillance	59

Annexe 1 : Localisation de la zone d'étude
(source : DE WISPELEARE, 1989)



Annexe 2 : Données pluviométriques de la zone Nord Rosso

(source : AGRHYMET et le laboratoire d'Hydrologie de l'ORSTOM de Montpellier)

Années	Jan	Fev	Mars	Avril	Mal	Juin	Jull	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	TOTAL
1934	0	0	0	0	0	0	34,3	136	60,6	2,8	0	0	233,7
1935	0	0	0	0	0	9,8	44	233	61,1	0	0	0	347,6
1936	0	0	0	0	25	2,2	32,8	118	42	22	0	0	241,5
1937	0	0	0	0	0	60	16,5	113	42,4	17,7	18	0	267,1
1938	0	0	3	0	0	0	6,1	161	164	35	0	0	368,9
1939	0	0	0	0	0	1,6	70	206	37,3	34,6	0	0	349,2
1940	0	0	0	0	0	1	55,3	199	105	15,5	0	0	376
1941	0	0	0	0	0	0	18,2	6,6	81,2	0	0	0	106
1942	0	0	0	0	0,9	0	7,5	197	20,7	0	10,8	0	236,5
1943	0	7,4	0	1	4	7	63,1	111	0	40,8	0	22,9	257,6
1944	0,2	0	0	0,9	0	6,2	55,7	162	84,5	34,7	0	0	344,1
1945	0	0	0	0	0	0	48,3	36,9	90,7	4,6	0	0	180,5
1946	0	0	0	0	0	14,1	22,8	35,9	49,9	13,7	0	0	136,4
1947	0	0	0	0	0	0	11,7	498	102	0	0	0	611,8
1948	0	0	0	0	0	0,2	40,2	142	37,1	28,4	0	0	247,4
1949	0	0	0	0	6,1	10	57,8	203	54	48,5	4	0	382,9
1950	0	0	0	0	0	7,4	34,5	110	85,1	50	0,3	0	287,6
1951	0	4,7	0	0	3,2	13,3	26,9	40	76,5	115	18,1	0	297,3
1952	0	0	0	0	3	8,8	107	80,5	162	106	0,1	0	467,6
1953	0	2	0	0	0	29,5	58	122	130	56,2	0	0	397,4
1954	0	10	0	0	0,6	1,8	25,1	183	22,3	4,7	0	0	247
1955	0	0	0	0	2,8	52,5	90,4	144	87,8	15,4	0	0	392,7
1956	0	0	0,4	0	0	0	25,2	125	140	2,2	0	56,4	349,5
1957	5	0,6	0	0	0	1,2	24,9	178	36	105	9,7	2,5	362,3
1958	8	0	0	0	0	7,5	33	199	6,5	3,4	0	0	257,1
1959	0	0	0	0	0	16,2	23,3	56,2	67,3	0	0	0	163
1960	0	0	0	0	0	0	84,1	85,2	145	5,3	0,2	0	319,9
1961	1,7	0	0	0	0	8,2	92	32,9	183	2,5	0	0	319,9
1962	0	0,1	0	0	0	4	11,5	131	15,4	57,2	0	0	219,6
1963	0	0	0	0	0	1,6	57,5	42,1	63,6	90,7	0	0	255,5
1964	3,1	0	0	0	0	0	47,8	201	65,9	10,3	0	0	327,8
1965	4	8,6	0	0	0	19,2	67,2	94	95,4	9,3	0	0	297,7
1966	0	0	0	0	0,6	6,7	45	97,2	33,2	84,7	0	1,1	268,5
1967	0	0	0	0	0	37,9	99,2	23,2	129	19,2	0	0	308,1
1968	0	11	0	2,4	0	11,6	36,8	59,8	68,3	0,6	0	0	190,2
1969	0	0	0	0	0	0	94,3	157	43,7	43,4	0	0	338,7
1970	0	0	0	0	0	0	40,3	46,9	62,1	0	0,4	0	149,7
1971	0	0	0	0	0	0	26	83	17	0	0	0	126
1972	0,5	0	0	0	0	17,9	0,7	0,7	25,2	7,9	0	0	52,9
1973	0	0,2	0	0	0	1,6	14,3	89,8	60,2	0	0	0	166,1
1974	0	0	0	0	0	0	17,3	87,7	18	3,9	0	0	126,9
1975	0	0	0	0	0	0	118	108	91,1	12,1	0	1	329,3

Données pluviométriques de la zone Nord Rosso (siute)

1976	0	6,7	1,2	0	0	2	30,5	59,7	135	0	0	13,2	248,6
1977	0	0	0	0	0	0,5	0	36,7	86,1	0	0	0	123,3
1978	0,9	0	0	1,7	3,8	16,4	43,5	74,2	179	5,5	0	0	325,1
1979	12	0	0	0	0,1	24,1	44,2	157	77,2	11,5	0	0	325,9
1980	0	6,7	0	0	0	0	10	126	79	0,9	0	0	222,2
1981	3,7	0	6,6	0	0,3	0	122	65,9	62	1,6	0	0	261,6
1982	0	0	0	0	0	0	37,7	106	20,6	7	0	0	171,6
1983	0	0,5	3,7	0	2,2	0	3,2	21,8	5,2	0	0	0	36,6
1984	0	0	0	0	0	10,6	0	8,7	59,7	0,5	0	0	79,5
1985	0	0	0,5	0	0	0	44	62,9	55,9	0	0	0	163,3
1986	0	2,4	0	0	0	0	11	127	191	0	5	2,4	338,9
1987	0	0	0	0	0	9,4	23,5	51,5	102	11	0	0	197,4
1988	3	19	0	0	0	1	18,7	124	112	0	0	0	277,7
1989	0	0	0	0	0	25,7	51,2	152	19,3	4,2	10,7	0	262,6
1990	17	0	0	0	0	0	52,9	83,4	4,3	0	0	0	157,1
1991	4,4	0	0	0	2	3,3	5,8	61,4	40,7	24,5	0	1,8	143,9
1992	1,3	14	0	1	0	0	16,3	83,4	67,2	0	0	0	182,9
1993	0,8	0	0	0	0	0	20,4	121	45	0	0	0	187,3

Annexe 3 : Données détaillées du croisement classifications/
indice de brillance

LE WALLO :

Tableau des inchangés

	CdS	CdMH	CdH	CdM	TOTAL
Régression 5					
Régression 4					
Régression 3			3333	1567	
Régression 2	33967	1210	16631	4850	56658
Régression 1	156165	8479	29463	10106	204213
Inchangés	293340	11689	29987	13477	348493
Progression 1	163848	5361	12115	12519	193843
Progression 2	41668	765	2673	14633	59739
Progression 3	8448			11744	20192
Progression 4				5477	
Progression 5				2485	
Total	697436	27504	94202	76858	883138

Tableau des régressions

	CdMH>CdS	CdM>CdM H	CdH>CdM H	CdM>CdM H	CdM>CdS	TOTAL
Régression 5		1357		1436	1422	4215
Régression 4		2350	753	1852	2485	7440
Régression 3	1958	6179	3595	4574	8233	24539
Régression 2	15867	12888	7280	12178	17470	65683
Régression 1	31922	29473	15223	13978	13113	103709
Inchangés	16901	29541	7133	7677	2980	64232
Progression 1	1904	14058	481	1921		18364
Progression 2		3853				3853
Progression 3						
Progression 4						
Progression 5						
Total	68552	99699	34465	43616	45703	292035

Tableau des progressions

	CdS>CdMH	CdH>CdM	CdMH>Cd H	CdS>CdH	CdMH>CdM	CdS>CdM	TOTAL
Régression 5							
Régression 4							
Régression 3							
Régression 2			707				
Régression 1	6367	1230	6689				14286
Inchangés	37978	6856	21108	8540	181	9	74672

Progression 1	68993	15610	18143	26555	2103	258	131662
Progression 2	47266	22587	9895	35238	7674	2012	124672
Progression 3	15290	14812	2770	31405	11829	5951	82057
Progression 4	3770	6160		16238	8954	8033	43155
Progression 5		1276		6816	5927	16304	30323
Total	179664	68531	59312	124792	36668	32567	500827

LE DIERI

Tableau des inchangés

	Sv	ShTC	ShC	ShMD	SDL	TOTAL
Régression 5						
Régression 4						
Régression 3	3052		5244			8296
Régression 2	9372		20763			30135
Régression 1	6420	40591	57511	1552	1213	107287
Inchangés	6771	147875	95652	7988	5989	264275
Progression 1	2129	166900	61984	9804	5734	246551
Progression 2	482	80664	15604	1930	1288	99968
Progression 3		24213				24213
Progression 4						
Progression 5						
Total	28226	460243	256758	21274	14224	780725

Tableau des régressions

	ShTC>Sv	ShC>ShTC	ShMD>ShC	SDL>ShM D	ShC>Sv	ShMD>ShT C	SDL>ShC	ShMD>Sv	SDL>Sv	TOTAL
Régression 5					864	263	111	139	353	1730
Régression 4		6611	1055		5076	1699	618	90	92	15241
Régression 3	2377	31791	4921		9589	2827	2120	73	22	53644
Régression 2	25224	63897	13142	652	6578	1391	2774	19		113677
Régression 1	80570	66653	21949	2649	1899	232	1707			175659
Inchangés	87510	20209	15975	3876			459			128029
Progression 1	29246		3350	681						33277
Progression 2	3215									3215
Progression 3										
Progression 4										
Progression 5										
Total	228142	189161	60392	7858	23142	6149	7678	182	114	522818

Tableau des progressions

	Sv>ShTC	ShT>ShC	ShC>ShMD	ShMD>SD L	Sv>ShC	ShTC>ShM D	ShC>SDL	Sv>ShMD	Sv>SDL	TOTAL
Régression 5										
Régression 4										
Régression 3										
Régression 2	9601				5186					104787
Régression 1	59752					6775				66527
Inchangés	94688	1992	1470	453	29695					128298
Progression 1	42330	16190	10172	2550	67144		733			139119
Progression 2	6324	50883	11879	2664	49997		2330	2464		126541
Progression 3		61716	3056	533	19124	749	1945	5857	207	93187
Progression 4		39253	271		3951	4351	501	4034	364	52361
Progression 5		17501						1123	476	19100
Total	212695	187535	26848	6200	175097	11875	5509	13478	1047	640284

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANTIDIKIS (J.P.) - Evaluation de la télédétection spatiale - in : CNES (p. 25-31) Utilisation pédagogique des images satellitaires, éd Cépaduès, Toulouse, 1988.
- BOUDET (G.) - Pâturages tropicaux et cultures fourragères - Paris, éd. la documentation française, ministère de la coopération et du développement (Coll. Manuels et précis d'élevage). Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays tropicaux. 1991. 266p.
- BOUDET (G.), WIT (P.) - Recherches pluridisciplinaires sur les pâturages, leur conservation et l'élevage en république Islamique de Mauritanie - (Rapport périodique du 2ème trimestre) Maisons-Alfort, IEMVT. 1986. 61p.
- BOUDET (G.)- Aspects pastoraux et politique pastorale du PDLCD phase 2 et composantes pastorales des projets de lutte contre la désertification en Mauritanie - (Rapport de consultant) Maisons-Alfort, IEMVT. 1989. 43p.
- BRUNEAU (M.), KILLIAN (J.) - L'apport des données satellitaires dans l'établissement des utilisées pour le développement rural - in : CNES (p. 197-202) SPOT, premiers résultats en vol. éd Cépaduès, Toulouse, 1986. 336p.
- CHAMIGNON (C.) - Evaluation comparée des satellites à haute résolution spatiale en zone de moyenne et haute montagne méditerranéenne (données TM de LANDSAT 4 et HRV de SPOT 1) - Thèse de doctorat (spécialité écologie) de l'Université d'Aix-Marseille. Décembre 1990. 311p.
- COURBOULES (J.) - Contribution de la télédétection à haute et très haute résolution spatiale à la perception des ressources naturelles renouvelables : Exemples d'applications aux zones littorales de la Mer Rouge (données TM de LANDSAT 4 et HRV de SPOT 1) - Thèse de doctorat (spécialisation sciences de la vie) de l'Université de Nice. Décembre 1989. 257p.
- COUZY (A.) - La télédétection - Paris, éd. P.U.F. (coll. Que sais-je ?). 1981. 127p.
- DE WISPELEARE (G.), GODARD (V.), CARRIERE (M.) - Expérimentation méthodologique pour le suivi de l'environnement par télédétection dans le Trarza, le Gorgol et l'Assaba (République Islamique de Mauritanie - Rapport de fin de recherche, CIRAD-EMVT. Décembre 1989. 197p.

DE WISPELEARE (G.), PEYRE DE FABREGUES (B.), GACHET (R.) - Evaluation de la biomasse herbacée en zone sahélienne dans la région du Sud-Tamesna (Niger) ; perspectives et limites d'utilisation des données SPOT - in : CNES - SPOT 1, Utilisation des images, bilans, résultats. Ed. Cépaduès, Toulouse, 1988 (p. 139-151)

DIGARD (J.P.), LANDAIS (E.), LHOSTE (P.) - La crise des sociétés pastorales : regards pluridisciplinaires - cours du D.E.S.S. de productions animales en régions chaudes, CIRAD-EMVT. 1993, 15p.

GODARD (V.) - Utilisation conjointe de la télédétection et de l'enquête de terrain lors des inventaires d'occupation du sol. Thèse de doctorat en Géographie. E.H.E.S.S. 1991. 351p.

GRANIER (J.) - Cours de pastoralisme du D.E.S.S. de productions animales en régions chaudes, CIRAD-EMVT. Maisons-Alfort. 1993.

HOWARD (J.A.), LANTIERI (D.) - Vegetation classification, land systems and mapping using SPOT multispectral data, preliminary results - in : CNES (p. 137-149) SPOT, premiers résultats en vol. éd Cépaduès, Toulouse, 1986. 336p.

JOHNSON (D.) - Pastoral regimes of Mauritania - in : The improvement of tropical and subtropical rangelands - National Academy Press. 1990. p. 216-226.

PUECH (C.) - Télédétection et milieux sahéliens - in : CNES (p. 179-182) Utilisation pédagogique des images satellitaires, éd Cépaduès, Toulouse, 1988. VERGER (F.) - L'observation de la terre par les satellites - Paris, éd. P.U.F. (coll. Que sais-je ?). 1982. 127p.

RAPP (A.) LE HOUEROU (H.N), LUNDHOLM (B.) - Peut-on arrêter l'extension des déserts ? - Stockholm (SWE), UNEP, Stockholm Ecological bulletins. 1976 (24). 248p.