

UNIVERSITÉ GASTON BERGER

UFR DE LETTRES ET SCIENCES HUMAINES
SECTION DE GÉOGRAPHIE



Mémoire de maîtrise

ÉTUDE DE L'ÉVOLUTION DE LA RÉGION DU LAC DE GUIERS APPORTS DE LA TÉLÉDÉTECTION AU SUIVI DU MILIEU

Présenté par :

SOULEYMANE GUEYE

Sous la direction scientifique de :

MAMADOU M. SALL
Professeur à l'UCAD

BOUBOU ALDIOUMA SY
Assistant à l'UGB

MADIAGNE DIAGNE
Chercheur (ISRA/UTIS)

Année académique 1998-1999

THL 2375

SOMMAIRE

SOMMAIRE	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	4

PREMIÈRE PARTIE : LA RÉGION DU LAC DE GUIERS, UN ÉCOSYSTÈME

DIVERSIFIÉ	10
-------------------------	-----------

Chapitre 1 / Présentation du milieu physique	11
Chapitre 2 / Les hommes et leurs activités traditionnelles	38
CONCLUSION À LA PREMIÈRE PARTIE : LA NÉCESSITÉ D'UNE INTERVENTION SUR LE MILIEU PHYSIQUE	49

DEUXIÈME PARTIE : ÉTUDE DE L'ÉVOLUTION DE L'ENVIRONNEMENT DU LAC DE GUIERS ET DE SES CONSÉQUENCES.....	50
---	-----------

INTRODUCTION.....	51
Chapitre 1 / L'artificialisation du milieu	52
Chapitre 2 / Application de la télédétection à l'étude des changements du milieu.....	66
CONCLUSION	104
BIBLIOGRAPHIE	105
INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES.....	109

REMERCIEMENTS

Ce travail n'aurait pas abouti sans le soutien affectif, moral, financier d'un certain nombre de personnes. Qu'il me soit permis de remercier :

Ma famille adoptive : Ndèye Bigué DIAGNE, Babacar THIAM et toute la famille THIAM de Cité Marine. Merci à Ndiouga, Baydi, Fagaye, Khady, Pape, Binta, Fatou, Astou de m'avoir accepté et intégré totalement parmi vous.

M. Boubou Aldiouma SY pour m'avoir conseillé, encadré et corrigé avec patience et générosité.

M. Adrien Coly qui m'a suivi du début à la fin de ce travail. Je ne trouve pas de mots pour vous remercier de votre disponibilité sans faille, de votre engagement, de vos encouragements...

Ce travail a été effectué à l'Unité de Traitement d'Images Satellitaires (UTIS) du Centre de Recherche Océanographique de Dakar-Thiaroye (CRODT). L'UTIS est un laboratoire commun de l'ISRA (Institut Sénégalais pour la Recherche Agricole) et de l'IRD (Institut pour la Recherche et le Développement) ex ORSTOM. C'est un laboratoire excellent à tous les points de vue : de la qualité de ses prestations à la composition de son personnel. Je tiens à remercier très vivement Madiagne DIAGNE, Directeur d'UTIS, Awa NIANG, Aminata MBOW, Mamy RAKOTO, Amadou KA, Daouda NIANG, Christophe PEIGNON, Jean CITEAU, Tidiane SANÉ, Alassane BA, pour leur chaleureuse collaboration.

Je tiens à remercier spécialement Madiagne DIAGNE et Awa NIANG qui m'ont soutenu sur tous les plans : matériel, financier, technique, scientifique... Je vous suis éternellement reconnaissant de m'avoir accueilli, formé, aidé, soutenu affectueusement. Vous m'avez permis de me rendre compte de la véracité de l'adage Wolof qui dit que l'homme est le remède de l'homme.

Merci d'avoir été les remèdes qui ont soigné mes multiples et fréquents maux.

Mes remerciements vont aussi à tout le corps professoral du Département de géographie de l'Université Gaston Berger, à mes amis et à toute ma famille.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La protection de l'environnement est de plus en plus une des préoccupations prioritaires de notre époque. À l'échelle globale, des phénomènes comme la pollution, l'érosion des sols, la désertification, la déforestation ont favorisé une prise de conscience de la fragilité du milieu dans lequel nous vivons et de la nécessité de sa préservation.

L'action humaine sous ses diverses formes (défrichement, boisement, mise en culture, construction de barrages, de routes, d'usines, appropriation des lieux habités, etc.) a souvent des actions néfastes sur les composantes essentielles de l'environnement¹ que sont le climat, la géologie, la pédologie, l'hydrologie, la faune et la flore.

Les mécanismes sont complexes, évolutifs, interdépendants et de grande envergure pouvant concerner toute la planète (exemple des changements climatiques dus à l'effet de serre²), un continent (exemple des sécheresses africaines), ou une région spécifique.

C'est ainsi que pour le cas du continent africain on assiste à une désertification progressive des franges bordant le désert du Sahara (Sahel) dont l'explication a donné lieu à plusieurs hypothèses.

La forte croissance démographique notée dans le Sahel a en effet accru l'impact de l'homme sur les ressources naturelles en intensifiant l'utilisation du milieu naturel. L'abattage des arbres pour le bois de chauffe, la destruction du couvert végétal pour l'agriculture et l'élevage, ont entraîné une diminution de la quantité d'eau de pluies retenue par le sol et les végétaux. Il s'ensuit une diminution de l'évapotranspiration³ et une augmentation de l'albédo⁴. Ces deux phénomènes ont des effets extrêmement néfastes. La diminution des quantités d'eau évaporées réduit la formation des nuages donc des pluies, et l'augmentation de l'albédo est à l'origine de la baisse de l'activité convective car l'albédo rend l'air moins chaud et donc plus stable.

À l'échelle du continent africain, le Sahel⁵ est la région la plus touchée. Plusieurs sécheresses aux effets dévastateurs (famines) s'y sont succédées (1910-1915, 1925-1928, 1940-1944, 1947-1948, 1968-1973, 1977-1994...) faisant des milliers de victimes. À la péjoration climatique, il faut ajouter d'autres explications : le remplacement des jachères par des monocultures, la disparition de la forêt, la salinisation et l'érosion des sols etc.

À l'image du reste du Sahel, la période récente 1968-1993 a été pour le Sénégal une période de déficit pluviométrique généralisé, de diminution du nombre de jours de pluies caractérisées par une grande variabilité. Ceci s'est soldé par une péjoration générale du bilan hydrique matérialisée par une faible humectation des sols, une faible réalimentation des nappes superficielles et leur abaissement, une intensification de l'érosion... (NDONG, 1996)

L'agriculture, de plus en plus improductive, a rendu le pays presque totalement dépendant de l'extérieur pour son alimentation. L'État du Sénégal conscient des risques qui

¹ L'environnement peut être défini comme l'ensemble des éléments constitutifs du milieu d'un être vivant.

² Effet de serre: « processus d'échauffement des basses couches de l'atmosphère dû à l'absorption différentielle des rayonnements solaire et terrestre par les gaz atmosphériques » in Le dictionnaire du climat. LAROUSSE. 1995.

Ce phénomène est dû à l'action de l'atmosphère (comparée à celle de la vitre d'une serre) qui laisse passer certaines radiations solaires jusqu'à la Terre, tandis qu'elle en absorbe d'autres venues de cette dernière et qu'elle les lui renvoie.

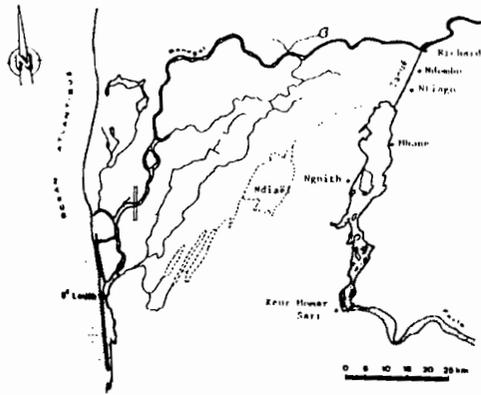
³ Quantité d'eau évaporée dans l'atmosphère, que ce soit par évaporation d'eau liquide (eau libre ou eau du sol) ou par transpiration de la biomasse. id.

⁴ Albédo : part du rayonnement solaire incident réfléchi par une surface ou par un corps par rapport au rayonnement incident. ibid.

⁵ Sahel : zone semi-désertique aux confins de la savane et du désert, étendu sur près de 5 millions de km², le Sahel (mot arabe qui signifie «lisière», «rivage») couvre les territoires de huit pays: le Tchad, le Niger, le Mali, le Burkina Faso, la Mauritanie, le Sénégal, la Gambie et les îles du Cap-Vert. Le Sahel est caractérisé par une courte saison des pluies de 3 mois (juillet à septembre) et par une longue saison sèche de 9 mois, par une forte chaleur et un cycle de sécheresse. Cette sécheresse fut maximale entre 1968 et 1974, puis en 1977.

peuvent découler d'une telle situation s'est associé avec d'autres pays que sont le Mali, la Guinée et la Mauritanie dans le cadre de l'OMVS ¹ pour poser les jalons d'une autosuffisance alimentaire avec une agriculture irriguée moins dépendante de la pluviométrie dans le bassin du fleuve Sénégal. Cet organisme a mis en place divers aménagements sur le bassin du fleuve Sénégal dont les plus importants sont les barrages de Diama et de Manantali. Ces barrages ont accru les potentialités de ce fleuve aux débits naguère faibles et irréguliers. Au Sénégal, ils ont permis l'adoption de nouvelles politiques de développement agricole. Le lac de Guiers est l'espace prioritaire de développement de ces politiques. Le lac est une partie intégrante du bassin versant du fleuve Sénégal. Ce bassin se situe entre les latitudes 10°20' et 17°30' Nord. Il est composé de 3 grandes zones hydro-géographiques qui sont le haut bassin, le bassin inférieur et la zone deltaïque qui contient le lac de Guiers (Figure 1).

¹ Organisme pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal



D'après COGELS, (1984)

Figure 1: Localisation de la zone d'étude (A. COLY, 96)

Le lac de Guiers, se situe en rive gauche dans la partie sénégalaise du bassin du fleuve, sur les bordures orientales du haut delta du fleuve entre 15°55' et 16°23' de latitude Nord et entre 16°04' et 16°16' de longitude Ouest. Le lac dépend pour son alimentation du fleuve et était donc soumis aux mêmes problèmes que lui (faible remplissage, pénétration périodique de l'eau de mer etc.

Principale réserve d'eau douce du Sénégal, c'est un écosystème complexe qui, à cause de son intérêt a subi d'intenses actions de la part de l'homme. Ces actions, conjuguées au déficit pluviométrique en particulier et à la péjoration climatique en général ont fait de cet écosystème lacustre un milieu fragile.

Bien avant les indépendances déjà, les autorités coloniales s'étaient rendu compte des immenses potentialités de la région du lac de Guiers et ont voulu l'aménager en conséquence. Plusieurs aménagements hydrauliques puis agricoles ont été mis en place avec plus ou moins de succès (barrages en terre, casiers rizicoles, casiers sucriers...) pour donner au lac le rôle d'outil de développement qui doit être le sien et régler les problèmes que sont : niveau trop faible du plan d'eau, salinisation, mauvaise qualité des eaux, faibles rendements agricoles, etc.

Cette politique d'aménagement s'est poursuivie après les indépendances et a atteint sa consécration avec la mise en fonction des barrages de Diama et Manantali.

La mise en place des barrages - en permettant un meilleur remplissage du fleuve et du lac et une nette amélioration de la qualité physico-chimique des eaux du lac - a rendu possible le développement progressif de l'agriculture sur son pourtour, mais a aussi été à l'origine d'un certain nombre de problèmes : environnementaux (développement des plantes aquatiques, bilharziose), sociaux (problèmes fonciers), économiques (disparition des cultures de décrue)...

Ces problèmes proviennent pour la plupart d'erreurs de gestion causées par un manque de concertation mais surtout par un manque de connaissance du milieu et de sa dynamique. La variable la moins maîtrisée, du fait de sa complexité sans doute, étant l'empreinte des activités humaines sur cet écosystème fragile.

La prise en charge des problèmes de cet écosystème ¹ passe nécessairement par une bonne connaissance, et la compréhension qui en découle, des mécanismes qui entrent en jeu.

La région du lac de Guiers a pourtant fait l'objet de beaucoup d'études car ayant suscité très tôt beaucoup d'espairs tant au plan du développement agricole que de la fourniture en eau potable de Dakar la capitale. Ces études dont les plus anciennes datent de la période coloniale (HENRY (1918), GROSMIRE (1957...))SF se sont poursuivies après les indépendances (REIZER (1972), MBENGUE (1981), COGELS (1983), ISE (1984))... D'autres encore ont été conduites plus récemment (KANE (1993), COLY (1996), NIANG (1999), SGPRE (1999))...

Elles permettent une bonne compréhension du milieu physique mais ne fournissent pas pour autant de données permettant un suivi efficace de l'évolution du milieu. Des données concernant les cultures comme le parcellaire sont par exemple presque inexistantes...

¹ Écosystème : ensemble écologique constitué par un milieu (sol, eau...) et des êtres vivants, entre lesquels existent des relations énergétiques, trophiques, etc. Un lac, une forêt, un aquarium en équilibre biologique constituent autant d'écosystèmes.

Ces lacunes peuvent être expliquées par la difficulté de recueillir certains types de données dans les pays sous-développés. L'activité de recherche scientifique, d'apparition récente dans la région, est handicapée par de nombreuses contraintes liées à la difficulté d'acquisition de données : manque de moyens financiers et matériels, d'infrastructures de communication, enclavement...

De telles conditions font que les méthodes traditionnelles de recherche sont peu efficaces, très coûteuses, délicates, et les résultats qui en découlent sont souvent déjà obsolètes à leur publication. Autant de problèmes faisant que beaucoup de données sont manquantes ou lorsqu'elles existent ne sont pas à jour.

L'avènement de la télédétection spatiale et des satellites à haute résolution fournissant des images de très grande qualité et couvrant une vaste région a rendu possible la collecte et le traitement de données traditionnellement difficiles à recueillir (contours de champs, évolution d'un couvert végétal, état des cultures, statistiques agricoles...)

La télédétection satellitaire a démontré qu'elle pouvait fournir de l'information utile dans de nombreux domaines (agronomie, urbanisme, géologie, hydrologie...) En général ce sont ses propriétés de vue synoptique, sa répétitivité¹ et le faible coût des données qui sont recherchés.

Elle procure en plus une information géographique complémentaire à celle obtenue par les moyens traditionnels. Elle est compatible avec d'autres données pouvant provenir de sources diverses: relevés de terrain, données administratives, statistiques démographiques, économiques, industrielles, agricoles, etc.

Le format numérique des images de satellites permet en outre la constitution d'un SIG (Système d'Information Géographique) pour rassembler, manipuler et gérer cette diversité d'informations.

Les images de satellites permettent par exemple :

- de faire une cartographie élémentaire actualisée (une spatiocarte SPOT récente accompagnée d'une légende est plus efficace que des cartes datant d'il y a plus de vingt ans) ;
- de dresser une carte d'utilisation du sol très utile pour tous les projets d'aménagement...

Nous pensons que l'utilisation de la télédétection comme outil de gestion serait très bénéfique à des pays pauvres comme le nôtre. Cette présente étude sera pour nous l'occasion de le prouver.

Deux objectifs majeurs ont été définis :

- Dresser un bilan des impacts de décennies d'aménagements dans la région du lac de Guiers.
- Préparer le suivi et la surveillance par satellite de la région par une actualisation des méthodes d'inventaire et de cartographie à moyenne échelle des ressources.

Diverses méthodologies ont été utilisées. Elles seront présentées au fur et à mesure. La démarche générale est cependant exposée dans la Figure 2.

¹ Exemple : le satellite SPOT est accessible à n'importe quel point du globe en trois jours maximum

La démarche adoptée a permis de diviser cette étude en deux étapes :

La première partie est une étude des composantes physiques et humaines du milieu. Elle devra nous permettre de comprendre les caractéristiques essentielles du milieu. Elle fournira surtout des informations utilisables dans le traitement des images.

Dans la seconde partie, l'évolution des composantes essentielles du milieu est abordée puis des méthodes de télédétection sont utilisées pour dresser un bilan de cette évolution. Les méthodologies traditionnelles sont utilisées dans cette partie quand celles de la télédétection sont impossibles à mettre en œuvre.

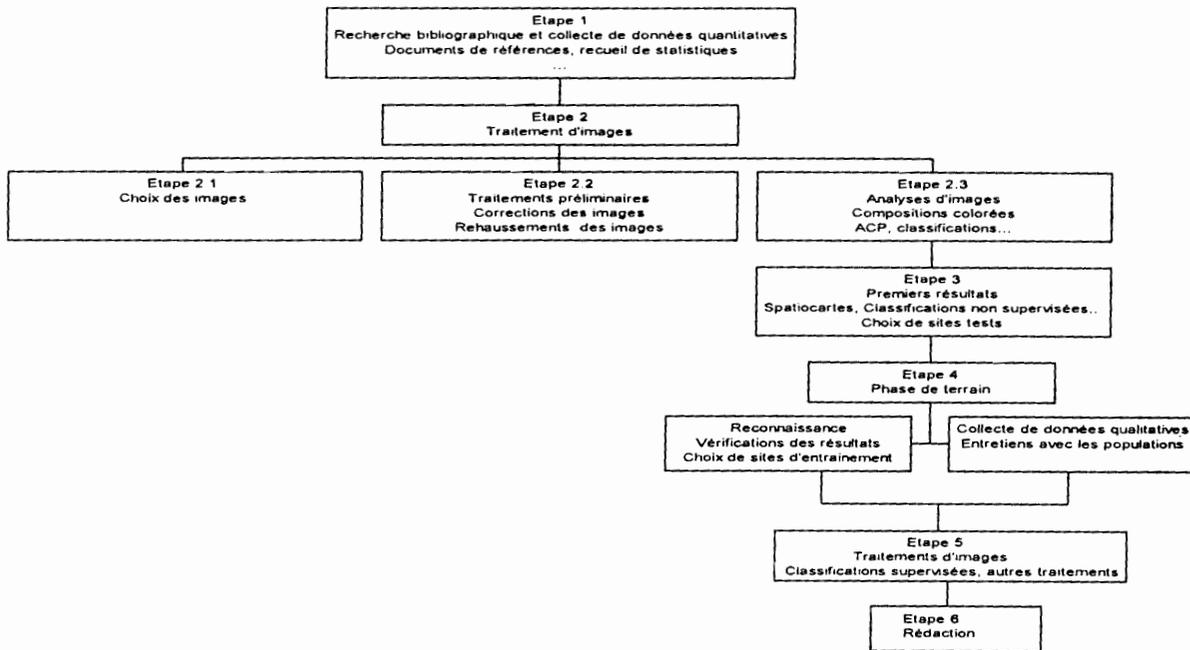


Figure 2: Démarche méthodologique générale

**PREMIÈRE PARTIE : LA RÉGION DU LAC DE
GUIERS, UN ÉCOSYSTÈME DIVERSIFIÉ**

Errata

Pages	Paragraphes	Lignes	Au lieu de	Lire
10	3	3	recupere	recupere
51	1	8	D'aucun la perçoive	D'aucuns la perçoivent
52	3	1	Apres	Après
53	2	4	a	à
54	3	5	est se fondre	A se fondre
54	2	5	a	à
55	1	3	a	à
	2	7	a	à
55				
55	2	7		à
			a	
55	2	8	a	à
55	3	4	a	à
56	2	4	a	à
57	2	4	a	à
57	3	2	a	à
58	1	5	a	à
58	3	2	a	à
59	1	1	a	à

CHAPITRE 1 / PRÉSENTATION DU MILIEU PHYSIQUE

Une bonne compréhension du milieu physique pose comme préalable l'examen des différents éléments qui composent le système et des relations qui les lient. Dans le cas de notre zone d'étude, les composantes essentielles sont : le fleuve Sénégal, le lac de Guiers et les êtres vivants qui évoluent dans ce milieu.

1.1- LE FLEUVE SÉNÉGAL ET LE LAC DE GUIERS

Le lac de Guiers s'étend au sud de la basse vallée du fleuve Sénégal. Le lac occupe une dépression allongée dans l'axe Nord-Sud d'environ 50 km de large, entre 15°55 et 16°16 de longitude Ouest. Il appartient à la zone aval du réseau hydrographique fossile du Ferlo, vaste bassin versant de 37 000 km², jouxtant celui du fleuve Sénégal et en communication avec lui, à hauteur de Richard-Toll, par l'intermédiaire de la Taoué.

La Taoué est un marigot au tracé sinueux qui parcourt environ 25 kilomètres pour atteindre le lac de Guiers - situé pourtant à seulement 17 kilomètres environ du fleuve - ce qui était à l'origine d'importantes pertes de charge. Pour résoudre ce problème, un canal d'une longueur de 17 km a été érigé aux abords de ce marigot en 1974. Il alimente depuis cette date le lac à partir du fleuve Sénégal.

L'alimentation du lac de Guiers dépendait en condition naturelle à la fois du fleuve Sénégal et du Ferlo selon un mécanisme original qui se basait sur le niveau de l'eau dans le fleuve, dans le lac et dans le Ferlo. Le lac recevait de l'eau du fleuve en période pluvieuse au Nord par la Taoué et au sud, le Ferlo qui se termine localement par la vallée du Bounoum y déversait ses eaux. A la décrue, la baisse progressive du niveau dans le fleuve et le Ferlo fait s'inverser le courant dans le lac ; il s'opère alors un reflux des eaux lacustres vers le fleuve et le Ferlo.

Le lac de Guiers peut être ainsi vu comme un réservoir recueillant en période propice (crue) le trop plein des eaux du fleuve et du Ferlo et les restituait pendant la période sèche.

Le fleuve Sénégal fournissait les apports les plus importants; le lac est en fait indissociable du fleuve Sénégal plus particulièrement de sa vallée dont elle est partie intégrante (Henry, 1918). En dehors du fleuve Sénégal, le Guiers se compose (Figure 3) au plan hydrologique du chenal de la Taoué, du Ndiaël, du Nieti Yone, du réseau hydrographique du Ferlo (aujourd'hui fossile) et du lac de Guiers.

La connaissance de la relation fleuve Sénégal/lac de Guiers/Ferlo est essentielle pour la compréhension de l'écosystème lacustre.

Nous allons essayer de décrire brièvement chacune des composantes de cette relation avant de nous pencher plus en détail sur les caractéristiques physiques de l'écosystème lacustre proprement dit.

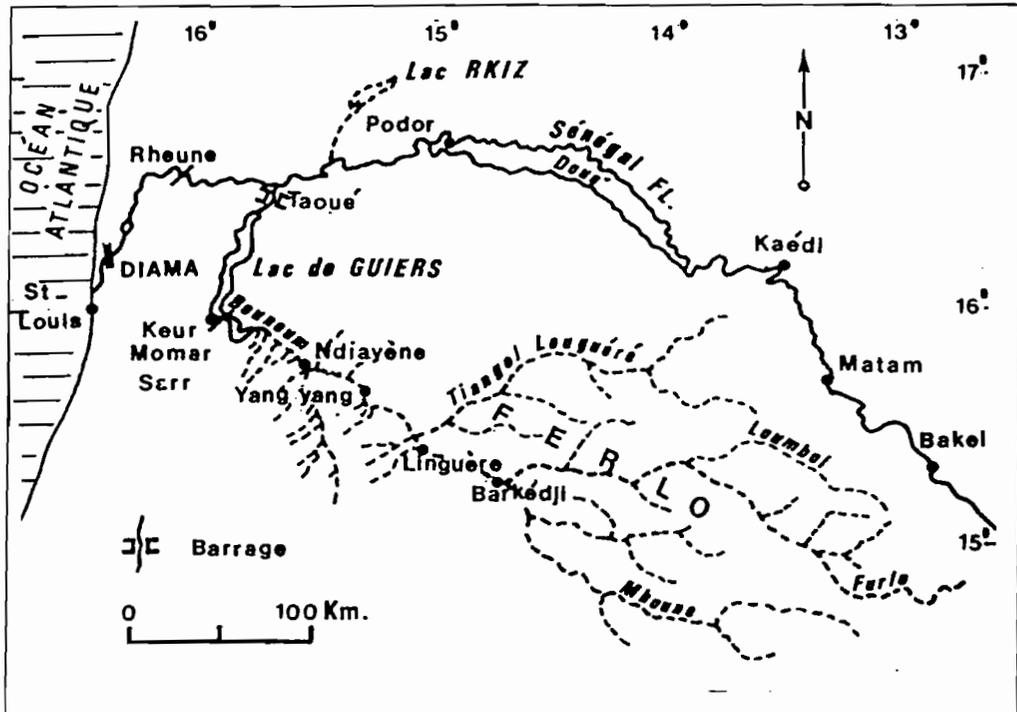


Figure 3 : le réseau Hydrographique de la région du lac de Guiers

1.1.1- LE FLEUVE SÉNÉGAL

Le fleuve Sénégal prend naissance à Bafoulabé au Mali (255 km en amont de Bakel), à la confluence du Bafing et du Bakoye ses deux principaux affluents ; le premier descend du Fouta Djallon, le second a collecté les eaux du Baoulé et des hauts plateaux bordant le Niger de Sigouri à Bamako.

Le bassin versant du Sénégal est estimé par l'OMVS à 300 000 km² environ dont 10 % en Guinée, 53% au Mali, 26% à la Mauritanie et 11% au Sénégal (Figure 4).

Ces principaux affluents sont de l'amont vers l'aval : le Bafing, le Bakoye, la Falémé (unique affluent de rive gauche). D'autres affluents (plus ou moins intermittents) sont situés dans la zone sahélienne au Nord-Ouest : Kolimbéné, Karakoro, Niorbé, Ghorfa, Gorgol etc.). A partir de Kaédi, les apports deviennent insignifiants et le fleuve s'écoule au contraire dans des défluent (Doué, Koundi ...) et remplit des dépressions (R`Kiz, Guiers).

Le bassin du fleuve Sénégal peut être divisé en 3 grandes zones hydro-géographiques distinctes au point de vue géologique, hydrographique et climatiques :

- le haut bassin ou bassin supérieur, fournit au fleuve l'essentiel des apports en eau ;
- le bassin inférieur, à partir de Kayes, le fleuve aborde la vallée alluviale qui atteint 15 km en période de crue. La vallée alluviale se subdivise en haute vallée, de Kayes à Matam, moyenne vallée, entre Matam et Podor et basse vallée de Podor à Dagana ;
- le delta, à hauteur de Richard-Toll / Rosso la vallée du Sénégal s'étrangle à nouveau, puis se réélargit considérablement. Il forme grossièrement un triangle isocèle

dont la base est constituée par la route Saint-Louis/Richard-Toll et les côtés par ce qu'on appelle " la boucle du Sénégal". Le Delta est plat et monotone et légèrement accidenté au sud-ouest par des massifs dunaires de l'Ogolien, il est fossile car tous les défluents sont recapturés avant l'embouchure; de ce fait, celle-ci est unique avec une position soumise à une grande variabilité spatio-temporelle car le fleuve longe l'océan Atlantique dont il n'est séparé que par une étroite bande de terre, la langue de Barbarie.

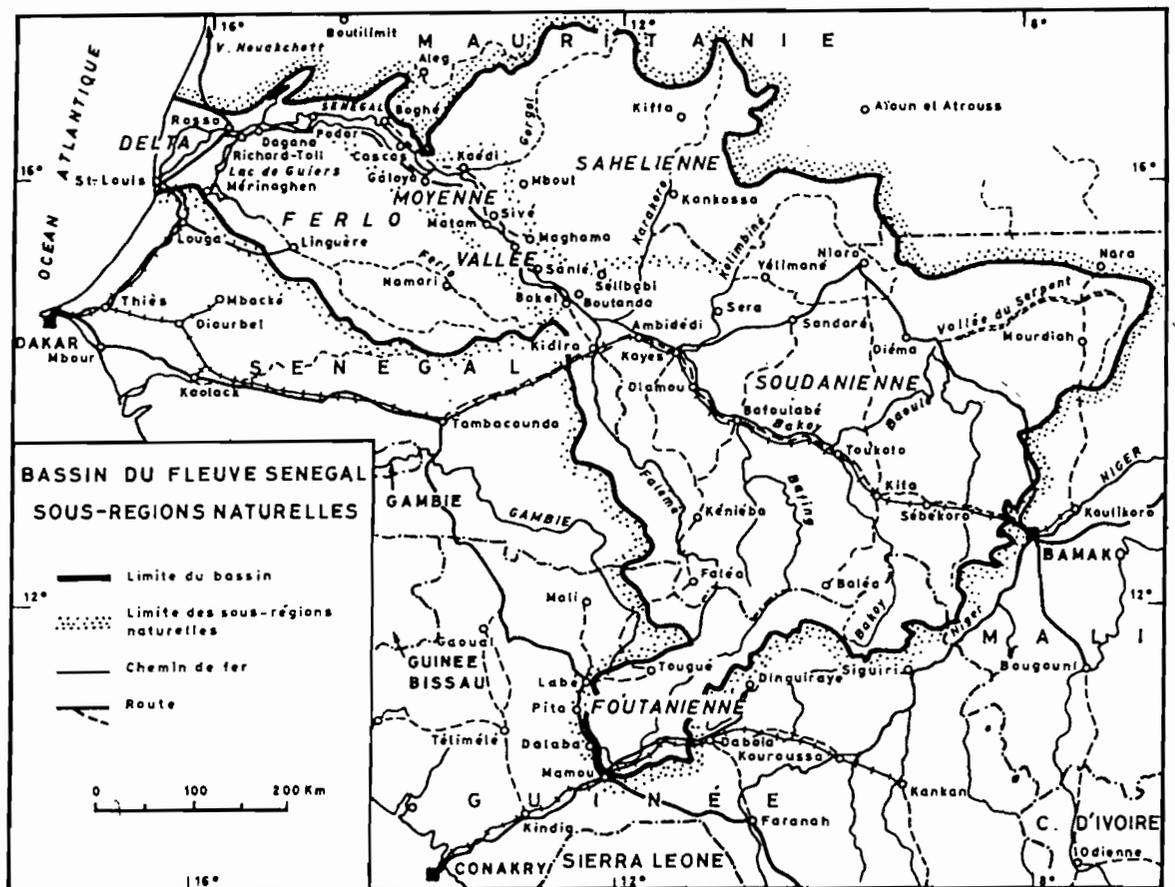


Figure 4 : Le bassin du fleuve Sénégal

1.1.2- LE LAC DE GUIERS

Le lac de Guiers (Figure 5) est une dépression allongée dont l'orientation générale de Bounthou Bath (extrémité nord) à Keur Momar Sarr (extrémité sud) est N-NE/S-SW. La vallée du Ferlo qui lui fait suite au-delà de la digue de Keur Momar Sarr prend une direction générale NW/SE.

A la côte + 1 m IGN, sa superficie est de 240 km² pour un volume moyen de 390 millions de m³. Sa longueur est d'environ 50 km et sa largeur varie de 2 à 7 km. Ses rives sont dentelées : des presqu'îles isolent des cuvettes (MICHEL, 1973). Le lac communiquait avec le fleuve par la Taoué, marigot sinueux d'une longueur de 26 km. Il s'étire selon une direction S/SW sur une trentaine de kilomètres jusqu'à Sier.

Après Sier, le Guiers s'élargit à nouveau et se prolonge vers le S/SW jusqu'à Keur Momar Sarr où il entre en contact avec le Ferlo. MICHEL (1973) le considère comme l'extrémité d'une ancienne vallée alluviale. Elle décrit un coude d'un angle de 90° vers Keur Momar Sarr avec une orientation W-NW/E-SE. Le lac occupait la portion la plus basse du cours du Ferlo et en est, en définitive, la dépression la plus profonde et la plus étendue.

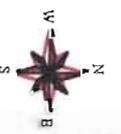
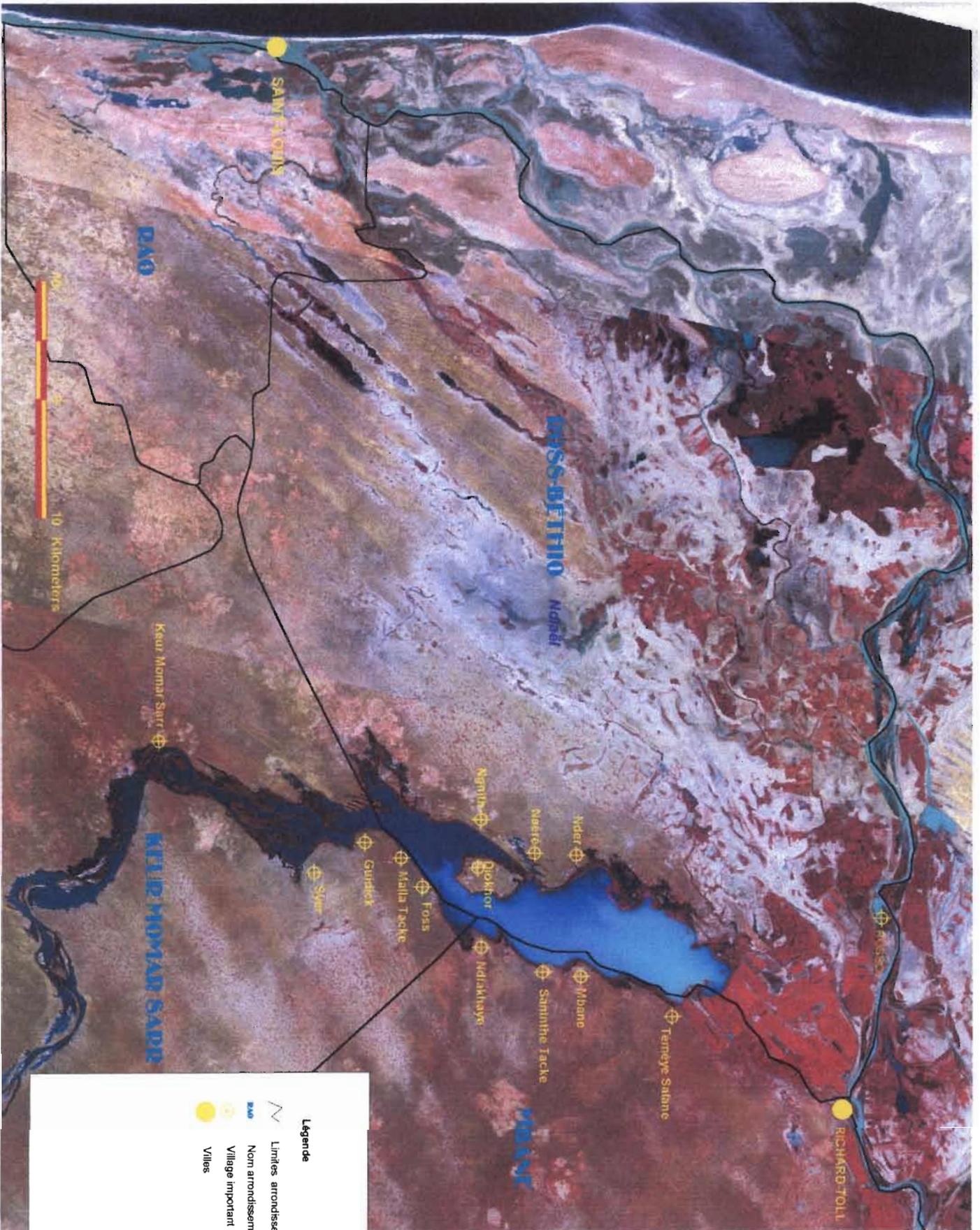
Le Ferlo est un fleuve au réseau hydrographique fossile qui traverse le centre du pays suivant une direction E-ES/W-WN (Figure 3). Les sources du fleuve se situaient au sud-ouest de Bakel sur la partie haute du plateau formé par les grès du Continental Terminal, à une altitude d'environ 80 mètres. Il est fossile depuis très longtemps car selon REIZER (1974) : « *de mémoire d'homme, aucun ruissellement n'y a été remarqué* ».

Les géologues s'accordent à dire que le lac a une origine tectonique (TRICART, 1954 ; MICHEL, 1973 ; TRENOUS, 1971). Il proviendrait d'une faille qui se prolonge vers le Nord par son pendant mauritanien le lac R'Kiz. Il apparaît comme un lac de barrage naturel, ce qui explique sa forme allongée, due aux dépôts d'alluvions de la période contemporaine.

Le lac dépend uniquement du fleuve pour son alimentation. En condition naturelle de fonctionnement, la Taoué amenait de l'eau du fleuve vers le lac durant la crue et vidait partiellement le lac dans le fleuve lors des étiages.

Du point de vue de l'hydrographie, la Taoué pouvait être considérée comme un marigot permanent, analogue à ceux qui mettent en communication la plaine inondée avec le lit mineur, lors des crues annuelles. Le lac de Guiers pouvant être vu comme une mare importante du lit majeur du fleuve Sénégal, une espèce d'immense *Walo* dont le centre serait sous eau en permanence (REIZER, 1974).

Depuis 1974, le remplissage du lac s'effectue à partir d'un canal rectiligne long de 17 km creusé afin d'éviter les pertes de charge importantes au remplissage du lac). Dés lors, la Taoué marigot sinueux et jalonné de seuils n'est plus qu'un collecteur des eaux d'irrigation et de drainage provenant des périmètres agricoles.



- Legende**
-  Limites arrondissements
 -  Nom arrondissement
 -  Village important
 -  Villes

S. GUÉYE (1999)

Mosaïque d'images composite par

- . 1. Lancet de 1972
- . 2. images Spot de 1993
- . 3. images Spot de 1998

Le lac de Guiers peut être divisé en 3 grandes régions naturelles (COGELS, 1984) :

- Une région Nord limitée par les endiguements de la CSS, le seuil de Foss et l'île de Nouk Pomo : elle contient 85% des eaux du lac et abrite les périmètres agricoles encadrés par la SAED¹ ;
- Une région centrale, directement soumise aux pompages de la SDE (Sénégalaise Des eaux) et qui s'étend jusqu'au seuil de Sier ;
- Une région Sud très peu profonde, limitée par la digue de Keur Momar Sarr et parsemée d'îlots inhabités plus ou moins apparents selon la côte du lac.

Toute la région située à l'ouest de la Taoué est occupée par les champs de canne à sucre de la CSS créée en 1968. Ces parcelles sont délimitées par un important réseau de digues. Ces endiguements prolongent ceux édifiés en 1951 au sud de Niéti Yone pour éviter les écoulements vers le Ndiaël.

Le Nord et le Nord-Ouest du lac sont caractérisés par un relief monotone, peu marqué avec une végétation clairsemée. En se dirigeant vers le sud, on atteint tout d'abord Nder ; le lac atteint alors sa largeur maximale (7 km).

Entre Nder et Naéré, apparaissent les premiers alignements de dunes rouges. Elles constituent le soubassement de l'île de Nouk Pomo. Plus au sud, le relief s'accroît encore au village de Ngnith où s'est installée depuis 1971, l'usine de la SONEES² destinée au traitement des eaux du lac pour l'alimentation en eau potable des populations urbaines et rurales. Puis, le lac se rétrécit en abordant la zone Sud. Au Nord de Mbrar, 5 vallonnements successifs constitués par les dunes très élevées (± 50 m) et parallèles sont occupés par des mares isolées lors du retrait des eaux du lac. Le relief s'abaisse ensuite progressivement vers Keur Momar Sarr. Les dunes riveraines sont semblables à celles observées sur la rive Ouest ; elles atteignent leur hauteur maximale à Guidick puis l'altitude diminue vers Mal et Foss, les dunes s'estompent à la hauteur de Ndiakhaye et de Saninthe. Témèye Salane est le village le plus septentrional de la rive est. Quelques kilomètres plus au nord, on retrouve la Taoué sur sa rive est, avec les villages de Thiago et Ndombo avant d'atteindre Richard-Toll.

¹ Société d'Aménagement et d'Exploitation des terres du Delta

² Société Nationale d'Exploitation des Eaux du Sénégal, actuelle SDE

1.2 - GÉOLOGIE, HYDROGÉOLOGIE ET GÉOMORPHOLOGIE

La dynamique morphogénétique du Delta et de la vallée du fleuve Sénégal a été fortement marquée par les variations climatiques, les fluctuations de la mer et des cycles d'érosion fluviale et de dépôts alluvionnaires.

1.2.1 - ORIGINE DU LAC DE GUIERS

TRICART (1954) attribue la formation du lac à un dépôt d'alluvions dunkerquiens tout en émettant la possibilité d'une origine tectonique. Selon lui, sa formation se situe vers 30 000 ans B.P. et résulte d'une cassure se situant dans une période de régression du quaternaire ancien suffisamment humide.

Selon plusieurs auteurs, le Guiers doit son origine à une faille qui se prolonge vers le nord par son pendant mauritanien, lac R'Kiz.

REIZER (1974), affirme que c'est un lac de barrage naturel dont la forme allongée peut être expliquée par les dépôts d'alluvions de la période contemporaine.

Les études ultérieures (AUDIBERT, 1957- MICHEL, 1973...) ont d'ailleurs permis de confirmer cette origine tectonique. Elles ont fait la lumière sur les failles de Ngnith et de Niéti Yone. Ces failles appartiennent à un réseau d'orientation S-SW/N-NE qui s'étend jusqu'au fleuve « *en prenant en écharpe toute la région nord du Guiers* » (COGELS, 1984).

Les failles principales sont orientées SW/NW. Elles sont recoupées par plusieurs petites failles orthogonales de direction NW/W-NE. L'ensemble présente « *une disposition tectonique en touches de piano* » (MICHEL, 1973).

Toujours sur la question de l'origine du Guiers, TRENOUS (1971) affirme que le lac de Guiers résulte d'un anticlinal formé dans le socle Maestrichtien qui sous l'effet de l'effondrement du socle faillé a abouti à la formation du lac au Quaternaire.

A l'Inchirien I (approximativement Wurmien) s'est produite une transgression importante (de + 12 mètres par rapport au niveau actuel), le Delta était alors un golfe. L'anticlinal du Guiers est probablement dû à l'enfoncement du Delta durant cette période humide (40 000 ans B.P.) qui a provoqué un relèvement du soubassement plus à l'est (COGELS, 1984).

A l'Inchirien II, à la suite d'une nouvelle transgression (+ 14 m), la région s'est de nouveau affaissée et le fleuve Sénégal a creusé son lit dans ce qui aujourd'hui constitue son delta.



Figure 6 : carte géologique du lac de Guiers (Cogels, 1984)

1.2.2 - LA STRUCTURE GÉOLOGIQUE

La structure géologique de la région est relativement simple (SAINTON, 1957) : on rencontre autour du lac sous un niveau de gravillons ferrugineux quaternaires des formations marines (marne, calcaire...) éocènes. Ces gravillons sont parfois recouverts de croûte calcaire ou supportent le système dunaire Ogoulien. D'autrefois, ils sont recouverts par des sables jaunes plus récents.

La région du lac de Guiers a un relief plat (Figure 6), peu accidenté pouvant être divisé en deux grands ensembles :

- La vallée du Bounoum et le bas plateau du Ferlo septentrional.
- Les cordons dunaires.

1.2.2.1 - La vallée du Bounoum et le bas plateau du Ferlo septentrional

Large dépression abritant le lac, la vallée du Bounoum (cf. Figure 3) a un fond relativement plat et peu profond entre -1,70 et -2 m (MBENGUE, 1981). C'est la partie aval du réseau de vallées mortes du Ferlo (MICHEL, 1973) qui prend ses origines vers le sud-ouest de

Bakel sur la partie haute du plateau formé par les grès du Continental Terminal ; à environ 80 kilomètres d'altitude. C'est un réseau très ramifié constitué de méandres bordés de levées. Les différentes branches de ce réseau forment après Linguère la vallée du Bounoum dont le lac de Guiers est la portion la plus basse. Vallée creusée dans le soubassement éocène (MICHEL, 1973) elle recoupe de manière perpendiculaire toute une succession de cordons dunaires.

1.2.2.2 - Les cordons dunaires

Les cordons dunaires sont des formations quaternaires situées sur la rive Ouest du lac. Elles ont une orientation NE-SW et se sont mises en place lors de l'épisode de régression marine de l'Ogolién. L'Ogolién (22 000 – 15 000 ans BP¹) est caractérisé par une extrême aridité et a donné naissance aux dunes *ogoliennes* rubéfiées au Tchadien (10 000 – 8 000 ans BP).

Ces cordons sont disposés en massifs de plusieurs kilomètres de long avec des hauteurs variant entre 10 et 30 mètres, ce qui donne à la partie sud du lac un relief plus accidenté que celle située au Nord.

1.2.3 - HYDROGÉOLOGIE ET FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DU LAC DE GUIERS

Elles aquifères sont très utiles dans la région où elles sont utilisées en complément aux eaux de surface et surtout parce qu'elles constituent parfois les seules sources d'eau disponibles. Les nappes de la région du lac de Guiers sont nombreuses et différenciées du point de vue de leur qualité et de leur dimension (Figure 7). Selon la classification de KANE² on distingue (Tableau 1) : les nappes alluviales, la nappe des sables quaternaires, la nappe du Continental Terminal et la nappe profonde du Maestrichtien.

▪ La nappe du Quaternaire

Elle est localisée sur les dépôts sableux quaternaires du littoral Nord entre Saint-Louis et Kayar. Elle souffre quelque fois de la salure provenant des eaux marines (NIANG, 1999). Du point de vue de son évolution, c'est une nappe qui connaît une baisse annuelle comprise entre 3 et 10 cm (KANE, 1998) du fait d'un certain nombre de problèmes qui sont : prélèvements pour usage anthropique importants, déficit pluviométrique, évapotranspiration, drainage en profondeur...

▪ La nappe du Continental Terminal

La nappe du Continental Terminal subaffleure sous le Quaternaire dans un réservoir constitué de sables plus ou moins argileux. La qualité de l'eau de cette nappe est généralement bonne.

▪ La nappe du Maestrichtien

Le Maestrichtien est l'aquifère le plus profond du pays et le plus important en termes d'étendue dans la région du lac de Guiers. Elle date du Crétacé et s'abrite dans des formations de sables gréseux et argileux avec une faible épaisseur variant entre 10 et 50 cm (NIANG,

¹ Before Present

² Kane, Cheikh Hamidou : « L'évolution des nappes phréatiques au Sénégal », in Actes du séminaire sur le projet d'intégration des images satellites aux modèles agro-hydrologiques (INTEO). IGUC. DHI. ISVA. CSE : Dakar. 5-6 octobre 1998

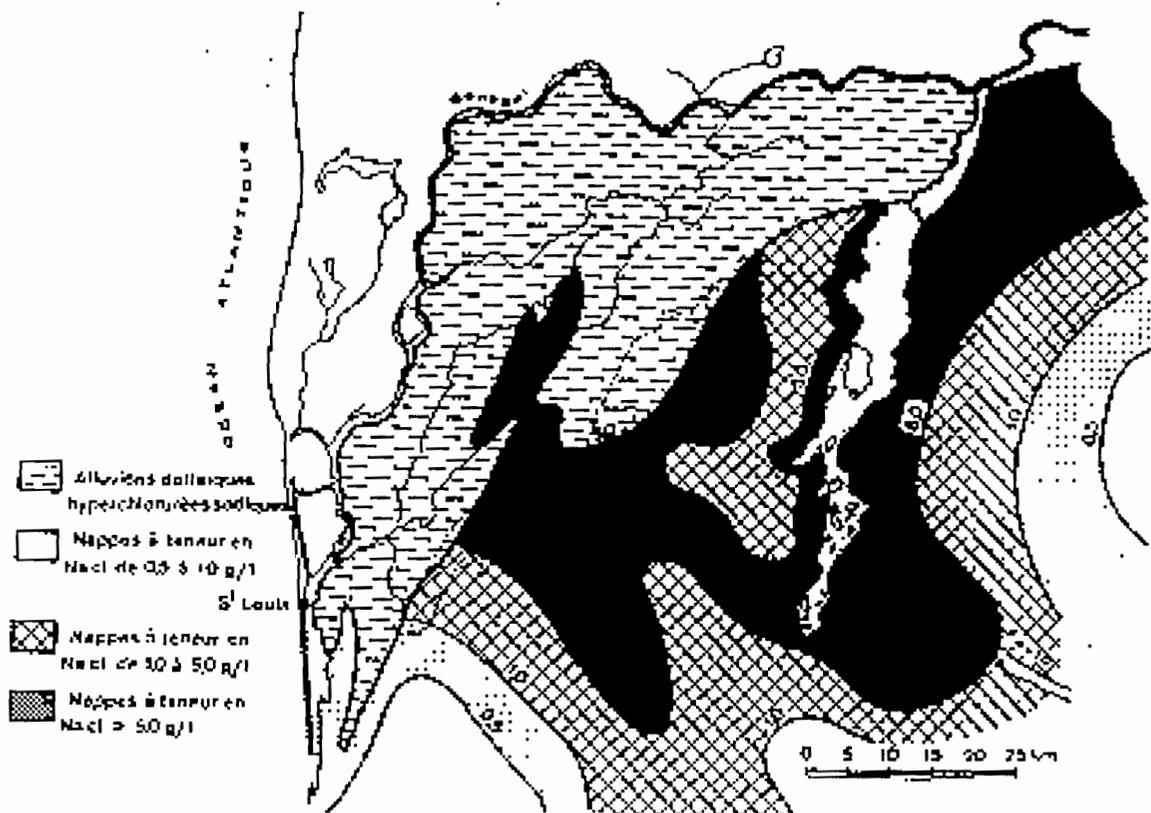
Présentation du milieu physique

1999). Son évolution est caractérisée par une baisse quasi linéaire qui semble présager de l'épuisement de ses ressources (KANE, 1998).

Les nappes phréatiques sont d'une grande importance pour un pays sahélien comme le Sénégal. Elles constituent le plus souvent le seul moyen d'accéder à l'eau et sont par conséquent parfois surexploitées. Cette surexploitation et la sécheresse persistante font qu'on assiste à un épuisement progressif et/ou à une salinisation croissante (du fait de l'évaporation) des aquifères.

Selon DIAGANA (1990) la relation lac/aquifère est faible. On note toutefois une amélioration dans le processus de recharge des nappes depuis la mise en place des barrages.

Les sécheresses cycliques récentes ont eu des effets négatifs sur les nappes (DA BOIT (1993) et SAOS et al. (1993) cités par COLY (1996)) qui sont exploitables dans des conditions difficiles dans la région du lac de Guiers.



Cogels, d'après BRGM (1963)

Figure 7 : Carte de la qualité hydrochimique des nappes phréatiques

Tableau 1: Caractéristiques de certaines nappes du Guiers

Aquifères	Réservoir	Épaisseur	Perméabilité	Débits spécifiques	Qualité des eaux
Nappe des sables Quaternaires	Sables littoraux, sables blancs	Quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres	Très bonne	Moyen à bon	Peu chargée – Présence de fer à quelques endroits
Nappe du Continental Terminal	Sables et grés plus ou moins argileux- Argiles avec lentilles de sables	30-40 m	Assez bonne à bonne	Moyen à bon	Douce à très bonne
Nappe profonde du Maestrichtien	Sables gréseux et argileux	—	Très bonne	Bon	Peu chargée – Eau saumâtre à quelques endroits

Source : Ch. H. Kane, 1998

1.2.3.1 - Historique du fonctionnement hydrologique du lac

Le lac de Guiers a fait l'objet de plusieurs aménagements et réaménagements qui ont fait que c'est un milieu qui a connu beaucoup de mutations dans le passé. L'étude de l'historique du fonctionnement du lac de Guiers permet la compréhension des mécanismes généraux qui ont présidé à la mise en place des conditions actuelles.

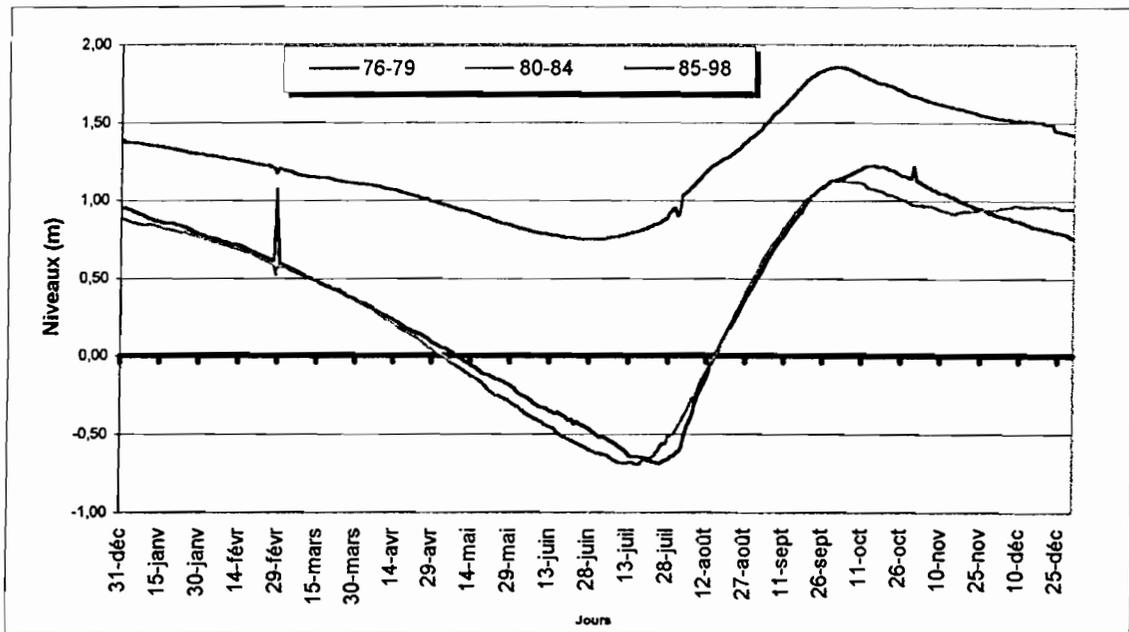


Figure 9: Hauteurs moyennes journalières du lac de Guiers à différentes périodes (Données SDE)

Le fonctionnement hydrologique du lac de Guiers a été étudié par COGELS (1984) ; EQUENSEN (1991) ; SGPRES (1999)... Dans toutes ces études, l'historique du fonctionnement hydrologique du lac de Guiers a été envisagé en trois grandes étapes: de 1976 à 1979 ; de 1980 à 1984 ; à partir de 1985 (Figure 9). Chacune de ces étapes est caractérisée par un mode de fonctionnement déterminé par les besoins en eau des acteurs en présence.

1.2.3.1.1 de 1976 à 1979

Le système de fonctionnement du lac est simple, le lac et le fleuve communiquaient pendant la crue fluviale soit en général entre mi juillet et la mi octobre. Le pont-barrage B1 est ouvert durant ces 3 mois et le lac se remplit jusqu'à l'amorce de la décrue du Sénégal. B1 est alors fermé pour éviter l'inversion du flux.

L'année hydrologique du Guiers comporte ainsi 2 phases : remplissage durant 3 mois et isolement les 9 mois restants.

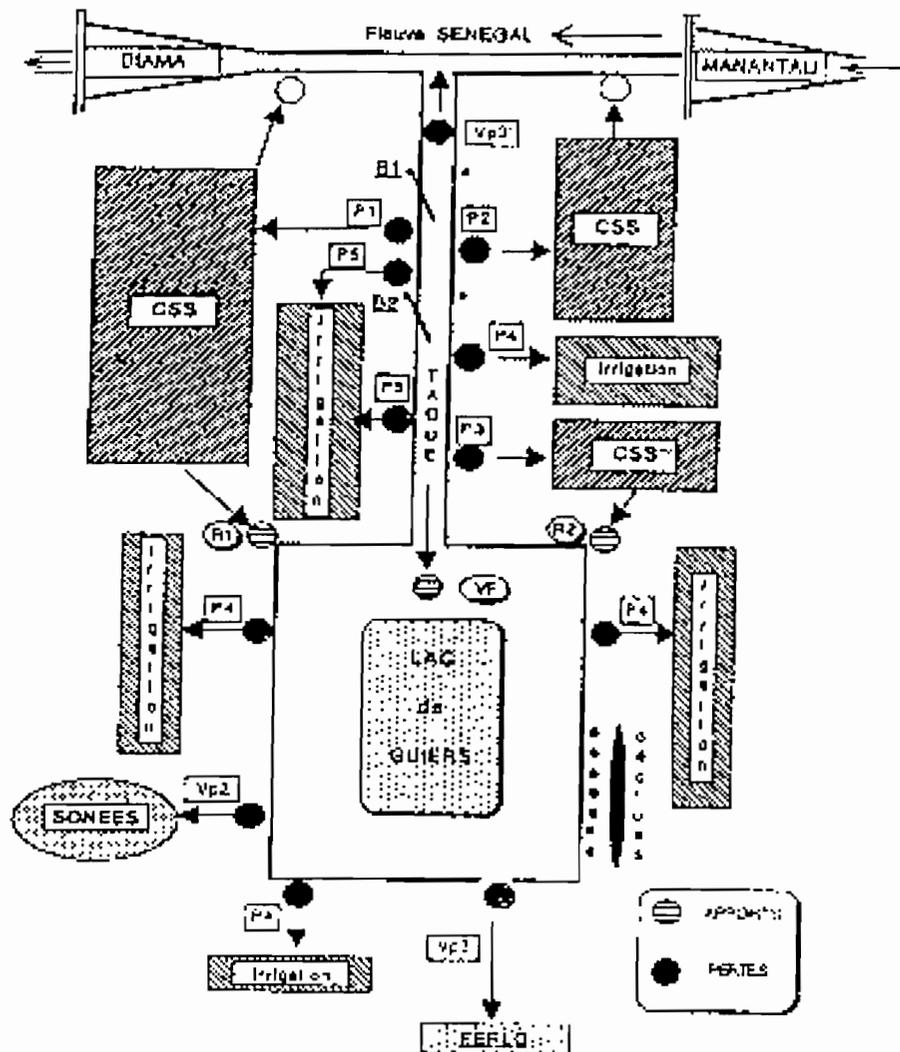


Figure 9: Les composantes du milieu (COGELS, 1993)

Comme on peut le remarquer à la Figure 10, le régime du lac est unimodal avec un maximum en octobre et un minimum en juillet. Les épisodes hydrologiques sont : crue et décrue. La crue coïncide avec la période de remplissage et la décrue fait suite à la fermeture du pont-barrage B2.

Les principaux utilisateurs des eaux sont alors la CSS et la SONEES.

La CSS qui pompe l'eau nécessaire à l'alimentation de ses parcelles de canne à sucre à la station P1 et rejette ses eaux de drainage usées à l'extrémité Nord-Ouest du lac dans la station de rejet R1.

La SONEES pompe les eaux lacustres à Ngnith quand le niveau du lac le permet (supérieur à $-0,85$ m IGN).

Les rives du lac sont cultivées en décrue par les populations riveraines, la riziculture est pratiquée en rive Ouest où la SAED dispose de stations de pompage.

Cette période est caractérisée par une demande en eau très forte que le lac ne peut satisfaire. Il est nécessaire de procéder à de nouveaux aménagements pour satisfaire les exigences des utilisateurs.

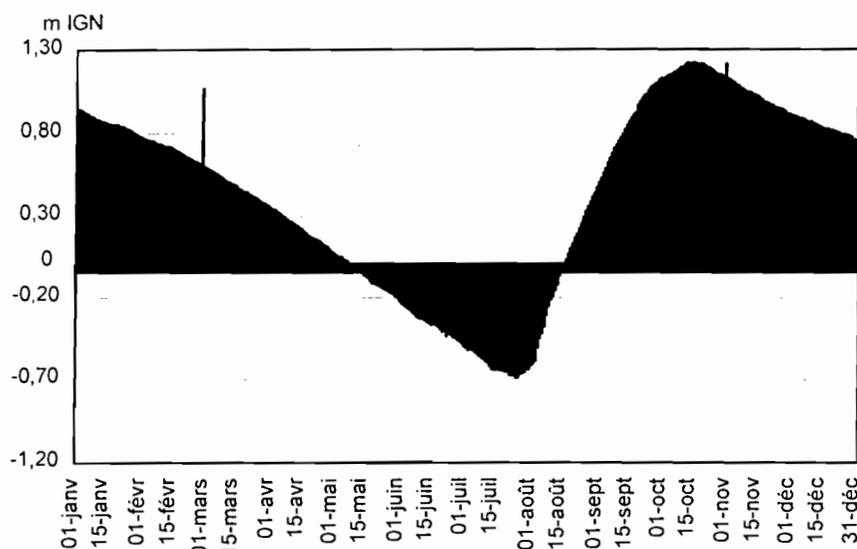


Figure 10 : Évolution journalière des niveaux du lac de Guiers de 1976 à 1979 (Données SDE)

1.2.3.1.2 de 1980 à 1984

Cette période s'individualise par la mise en place d'une seconde station de pompage (P2) par la CSS pour assurer l'irrigation de ses nouvelles terres. Les crues fluviales sont faibles et le Guiers est mal rempli (Figure 11) avec une valeur minimale record pour la période de -0,99 m en juillet 1983, année particulièrement sèche. Le déficit pluviométrique et la pénétration de la langue salée dans le Guiers en prolongeant la phase d'isolement du lac ont sur lui des effets extrêmement négatifs. Pour réduire, ces effets, la CSS construit un second pont-barrage (B2) qui lui permet de pomper directement dans le fleuve avant l'arrivée de la langue salée et d'épargner ainsi le lac sur une durée plus longue.

L'année hydrologique du Guiers se divise alors en 3 phases:

- La phase de remplissage : de mi juillet à la mi octobre, B1 et B2 sont ouverts pour permettre le remplissage du lac par les eaux du fleuve qui est en crue;
- La phase d'isolement partiel (deuxième moitié d'octobre jusqu'à mi-février) : B2 est fermé dès que le courant commence à s'inverser dans le lac B1 est maintenu ouvert car la CSS peut continuer à pomper l'eau du fleuve ;
- La phase d'isolement total (mi-février mi-juillet) : B1 est fermé pour empêcher la pénétration de l'eau de mer dans le lac. La CSS ne pouvant désormais pomper que dans le lac, B2 est ouvert le reste de l'année hydrologique.

Les utilisateurs des eaux du lac de Guiers sont quasiment les mêmes que lors de la période précédente. Le niveau extrêmement bas du lac à certaines périodes (malgré une moindre sollicitation de la CSS) fait que la SONEES doit régulièrement interrompre ses pompages. Cette période coïncide néanmoins avec le développement des projets agricoles.

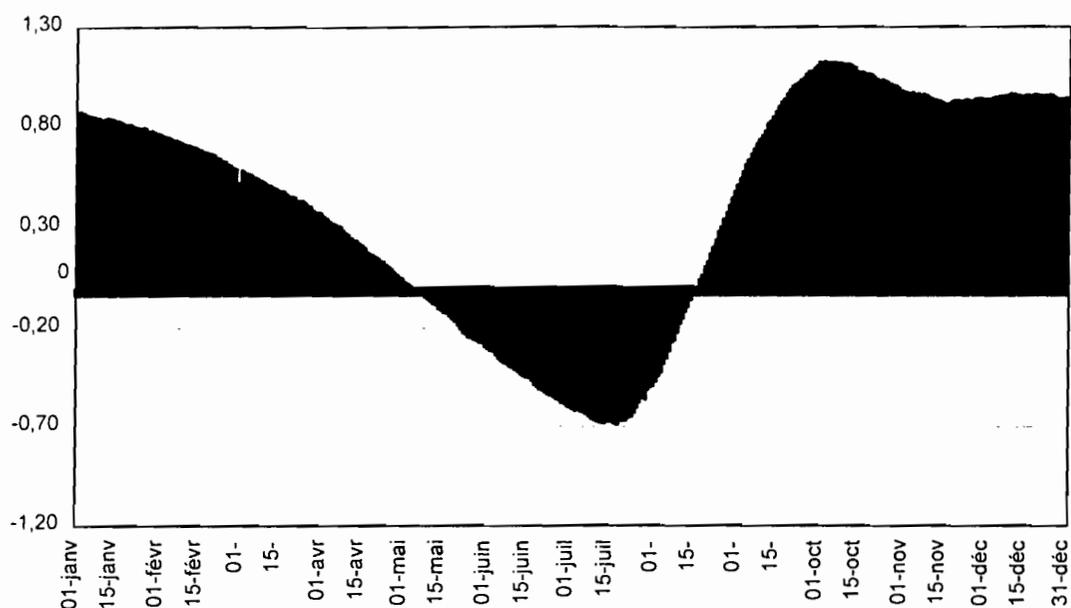


Figure 11: Évolution journalière des niveaux du lac de Guiers de 1980 à 1984

1.2.3.1.3 A partir de 1985

Cette période marque le début de changements essentiels pour le lac. C'est dans cet intervalle que le problème de la remontée de la langue salée a été réglé. La mise en fonction du barrage de Diama en novembre 1985 a en effet stoppé la remontée de l'eau de mer jusqu'à Richard-Toll. Le barrage de Manantali fonctionnel en 1989 va modifier le régime hydrologique du fleuve et bouleverser complètement celui du lac. Deux étapes successives peuvent être distinguées :

- De 1985 à 1987, le barrage de Diama est devenu fonctionnel au contraire de Manantali qui ne l'est pas encore. Cette situation rend difficile la maîtrise du fleuve dans sa partie amont. Le régime hydrologique annuel est très semblable à celui de la période 1980-1984 avec toutefois un niveau fluvial plus élevé et plus stable.

Les niveaux de remplissage du lac se sont beaucoup améliorés et la phase d'isolement est plus longue. La gestion de Diama, devenue difficile du fait du volume important d'eau retenue, le lac de Guiers est utilisé comme appoint.

- À partir de 1988, les débits fluviaux sont partiellement régularisés par l'entrée en fonction de Manantali. Le niveau de l'eau est suffisamment élevé toute l'année à la jonction fleuve-Taoué pour permettre à la CSS de pomper exclusivement à ses stations P1 et P2 de l'eau du fleuve. La nouvelle disponibilité de l'eau lui permet d'étendre ses cultures au sud-est du Canal de la Taoué en 1989. Elle installe dans ce secteur une nouvelle station de pompage (P3) et aménage une nouvelle station de rejet des eaux de drainage à l'extrémité nord du lac.

L'agriculture irriguée commence véritablement à se développer, on assiste à l'installation de privés qui bénéficient de soutien de la part d'ONG installées dans la région.

Présentation du milieu physique

Les années hydrologiques 1988-89, 1989-90 et 1990-91 présentent la même répartition des phases hydrologiques que celle des 2 années précédentes, avec une phase de remplissage suivie d'une phase d'isolement.

Pour lutter contre la minéralisation des eaux méridionales du lac qui a un impact néfaste sur la qualité des eaux prélevées par la station de la SONEES, les vannes de la digue de Keur Momar Sarr sont ouvertes dès le mois de septembre pour une période qui peut aller jusqu'à trois mois. Les eaux minéralisées sont ainsi chassées vers le Ferlo.

L'année hydrologique 1991-92 marque une nouvelle étape de l'histoire hydrologique du Guiers (Figure 12). L'année débute de manière normale, avec fermeture du barrage B2 en octobre 1991, suivie d'une baisse progressive du niveau du lac alors en phase d'isolement. En février 1992, fait inhabituel, la disponibilité d'eau dans le fleuve incite à la réouverture du pont-barrage B2. Cette mesure a des incidences catastrophiques car la remontée brutale des eaux qu'elle a causée noie les cultures de décrue alors en pleine activité. C'est le début du déclin de l'agriculture traditionnel de décrue.

À partir de 1992, la gestion du lac devient incertaine et caractérisée par l'ouverture permanente des vannes de la digue de Keur Momar Sarr avec pour conséquence une limnimétrie du Guiers de plus en plus soumise à celle du fleuve. Les variations de hauteur d'eau dans le fleuve Sénégal provoquent des mouvements d'eau ponctuels du lac vers le fleuve et même du Ferlo vers le lac.

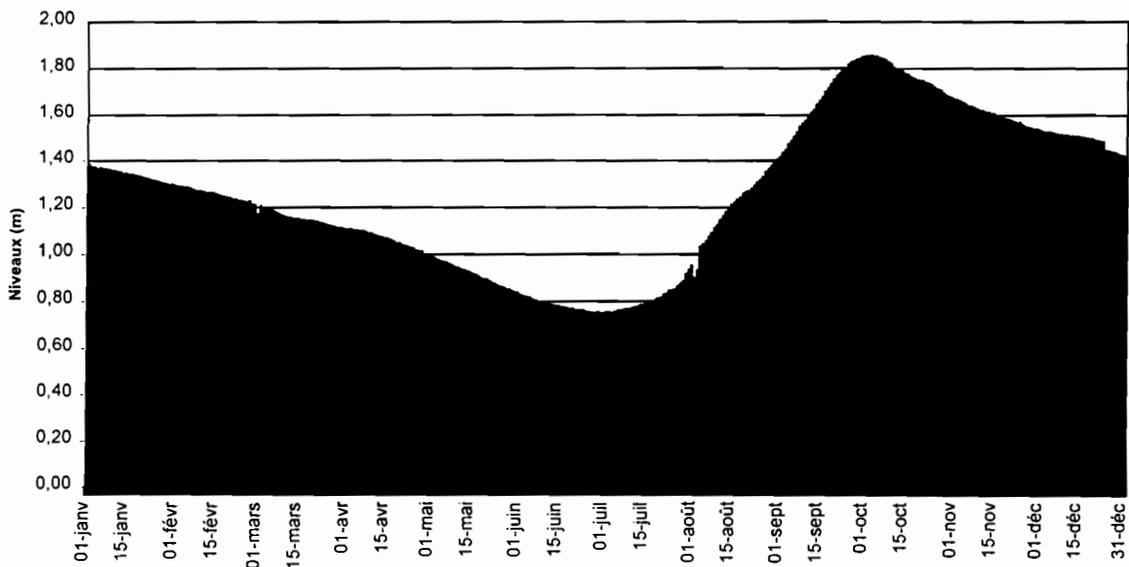


Figure 12 : Niveaux moyens journaliers du lac de Guiers de 1985 à 1997

La mise en place du projet "vallées fossiles" va par la suite conditionner le fonctionnement du lac. L'objectif "l'eau à Linguère" nécessite en effet le remplissage maximum du lac et le maintien de ce niveau par une adduction d'eau quasi constante à partir du fleuve. Les niveaux d'eau du fleuve et du lac continuent d'être de plus en plus similaires.

1.3 - LE CLIMAT

L'intérêt de l'étude du climat se justifie pour plusieurs raisons. La plus importante dans le cadre de cette étude tient à l'étroitesse des relations entre climat et hydrologie.

Le climat du Sénégal, chaud et sec est caractérisé par l'alternance d'une longue saison sèche d'octobre à juin et d'une période pluvieuse. Cette alternance est déterminée par les migrations de la zone de convergence intertropicale (ZCIT) perturbation majeure de l'atmosphère dans ces latitudes. La position septentrionale de la ZCIT en août place l'espace sénégalais sous l'influence de la mousson humide de sud-ouest. Dans cette masse d'air, des perturbations appelées "ligne de grain" se déplacent d'est en ouest et apportent la majeure partie de la pluie. La pluviométrie moyenne annuelle varie de 1500 à 300 mm du sud au nord. La position la plus au sud laisse la zone sous influence des alizés du Nord. Un froid relatif d'advection ou de rayonnement caractérise la période novembre à mars. La période avril à juin est marquée par de fortes températures dont les valeurs moyennes dépassent 40°C.

La région du lac de Guiers située dans le domaine tropical de l'hémisphère boréal, entre les régions tropicale et saharienne est donc entièrement balayée par le FIT¹.

1.3.1- LA PLUVIOMÉTRIE

La pluviométrie a été étudiée avec des données provenant de 4 stations : St-Louis, Podor, Linguère et Louga. Elle est caractérisée par une forte variabilité spatio-temporelle (Figure 13). On note une baisse de la pluviométrie selon un gradient Ouest-Est et Sud-Nord. Les stations de Linguère et Louga enregistrent les meilleures pluviométries suivies de Saint-Louis et enfin Podor.

Le même phénomène apparaît quand se sont les cumuls pluviométriques qui sont considérés (Figure 15). On obtient : 456 mm à Linguère, 382 mm à Louga, 330 mm à St-Louis et 247 mm à Podor. Cette variabilité interannuelle a emmené certains climatologues à étudier le climat en termes de période et non d'années. Dans le cadre de notre étude, nous étudierons la pluviométrie selon deux méthodes : la méthode centrée réduite et la méthode des moyennes mobiles.

¹ Front Inter Tropical

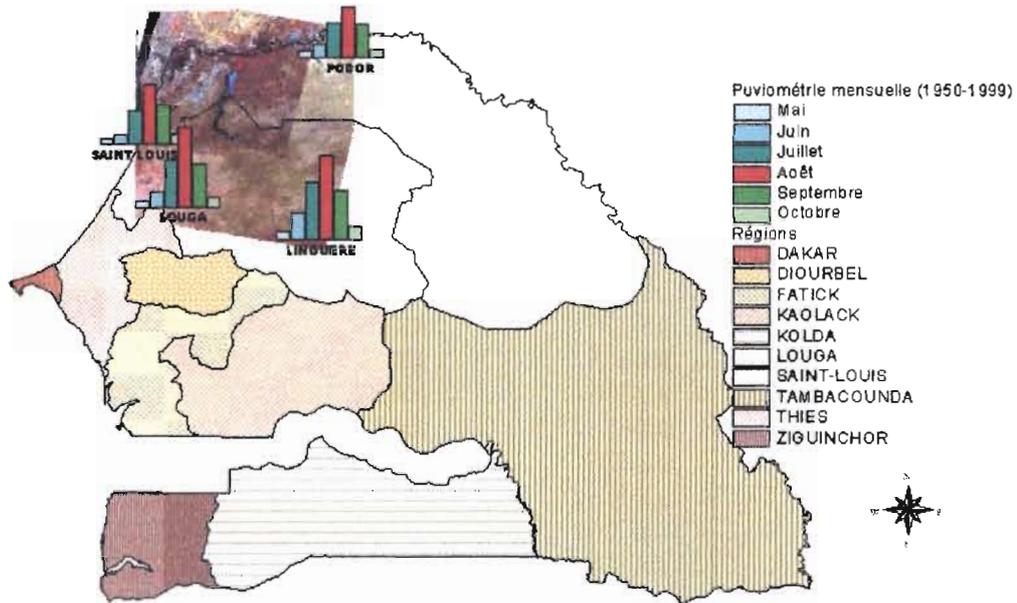


Figure 14: Moyenne mensuelle interannuelle de la pluviométrie de 1950 à 1999

Pour notre étude, la pluviométrie a été étudiée de manière globale avec l'ensemble des 4 stations. Une normalisation des données a été opérée avec la méthode centrée réduite (voir Annexes).

La Figure 15 donne le résultat de cette méthode sous la forme d'un histogramme de valeurs positives et négatives. Les valeurs positives représentent les années excédentaires par rapport à la moyenne (anomalie 0) et les valeurs négatives les années déficitaires (sèches).

L'examen de cette figure révèle que la série peut être décomposée en deux périodes :

- **De 1950 à 1969**

La caractéristique de cette période est une pluviométrie généralement excédentaire. Des valeurs extrêmes sont notées en 1955 (+2,31) et en 1969 (+1,84), années les plus pluvieuses de l'ensemble de la série. Les déficits ne sont pas très rudes et ne concernent que 3 années sur 19 avec des valeurs légèrement inférieures à la moyenne de la série. Ce sont 1956 : -0,37 ; 1962 : -0,27 et 1968 : - 0,7.

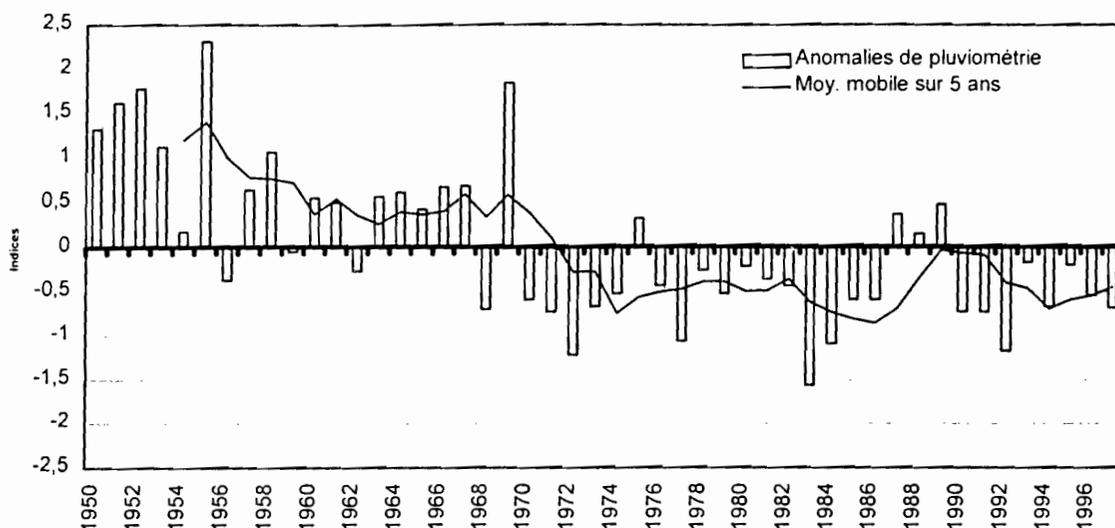


Figure 14: Indices de pluviométrie

▪ De 1970 à 1998

À la différence de la première période, la seconde est caractérisée par un déficit généralisé. Seulement 4 années sur 28 ont obtenu une pluviométrie supérieure à la moyenne. Encore faut-il relativiser cet excédent qui est très léger $< 0,5$. Les déficits par contre sont très marqués avec des valeurs extrêmes en 72 : $-1,22$, en 77 : $-1,06$ et en 1983 : $-1,56$ (année la plus sèche de la série).

La méthode des moyennes mobiles permet le lissage de la composante aléatoire. Elle permet de passer par exemple d'une courbe en dents de scie à une courbe représentant les grandes tendances du phénomène étudié. La courbe issue de cette méthode est la représentation de l'évolution de la moyenne sur un pas de temps déterminé. Pour le cas présent, la (Figure 15) est la représentation des moyennes mobiles sur une période de 5 ans.

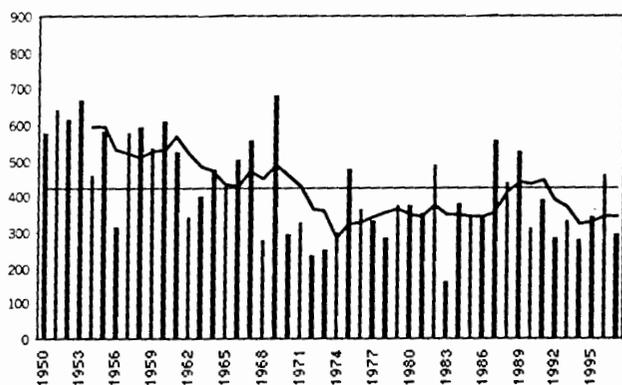
Cette figure montre que le déficit pluviométrique concerne l'ensemble des stations depuis les années 70, déficit qui a fait suite à l'année 69 célèbre par sa pluviométrie exceptionnelle.

De 1950 à 1997, on note en effet, pour toute la région une baisse progressive de la pluviométrie avec une forte irrégularité interannuelle et un petit intervalle humide. Cette série peut être globalement divisée en 2 périodes :

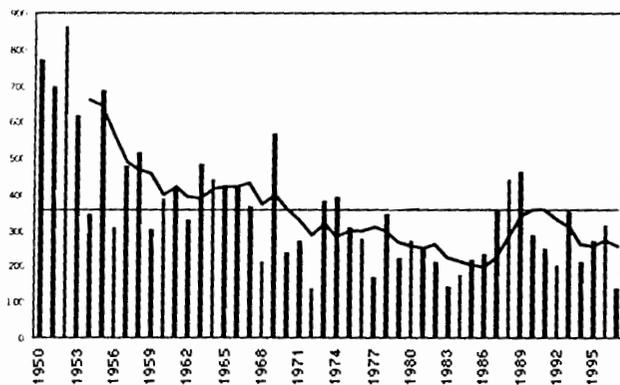
- **1950-1969** : humide avec un maximum en 1969 avec tout de même des intervalles déficitaires (1956, 1962 et 1968) et un minimum en 1968.
- **1970 à 1997** : période caractérisée par une sécheresse persistante qui connaît son maximum en 1983 suivi d'une accalmie et même d'une courte période excédentaire de 1987 à 1989. Depuis 1990, la région du lac de Guiers connaît un déficit pluviométrique continu.

Présentation du milieu physique

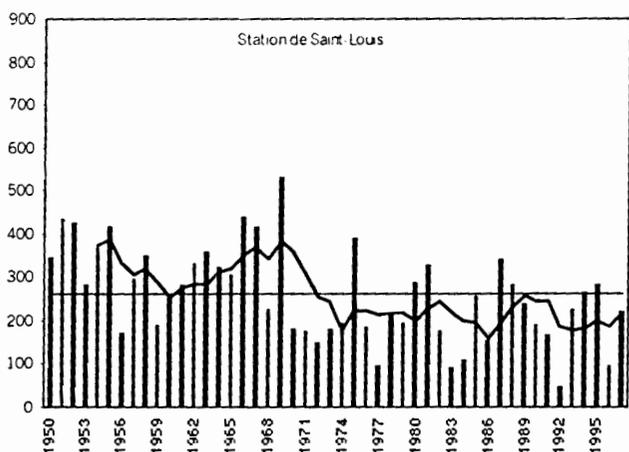
Station de Linguère



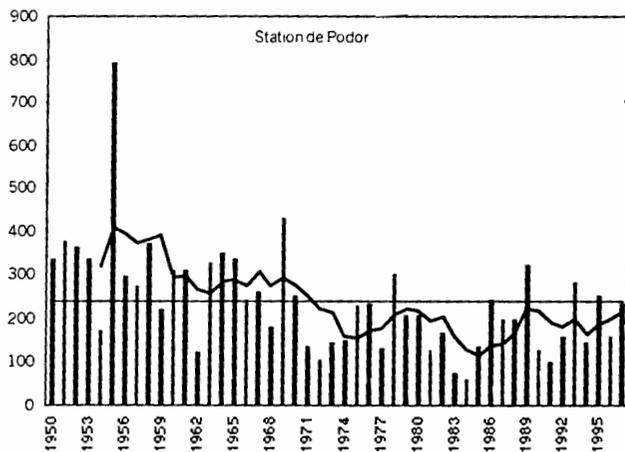
Station de Louga



Station de Saint-Louis



Station de Podor



Légende commune

 Pluviométries annuelles

 Moyennes mobiles sur 5 ans

 Moyennes interannuelles

Figure 15: Évolution de la pluviométrie annuelle sur les 4 stations de 1950 à 1999

1.3.1.1 - Température

La température d'un milieu est la manifestation du rayonnement et du bilan énergétique. La région du lac de Guiers est chaude à cause du rayonnement très fort pendant toute l'année; des modifications saisonnières se produisent cependant suite aux changements dans le régime pluviométrique et les conditions au voisinage du sol.

Les moyennes mensuelles des températures maximales et minimales de l'air relevées dans 4 stations ont été analysées. Ces données de longue série plus de 40 ans pour St-Louis, Podor et Linguère et de 14 ans pour Louga ont été fournies par l'ASECNA. En général, la température maximale moyenne est très élevée et varie de 29,7 °C en janvier à S^t-Louis à 41,2 °C à Podor dans le Nord-Ouest en mai. Pendant la période végétative de juillet à octobre, les températures maximales sont les plus basses à S^t-Louis (du fait de sa position littorale), soit de 31,1 °C en août à 32,9 °C en octobre. La température maximale augmente au fur et à mesure que l'on se dirige à l'intérieur du continent (Figure 17).

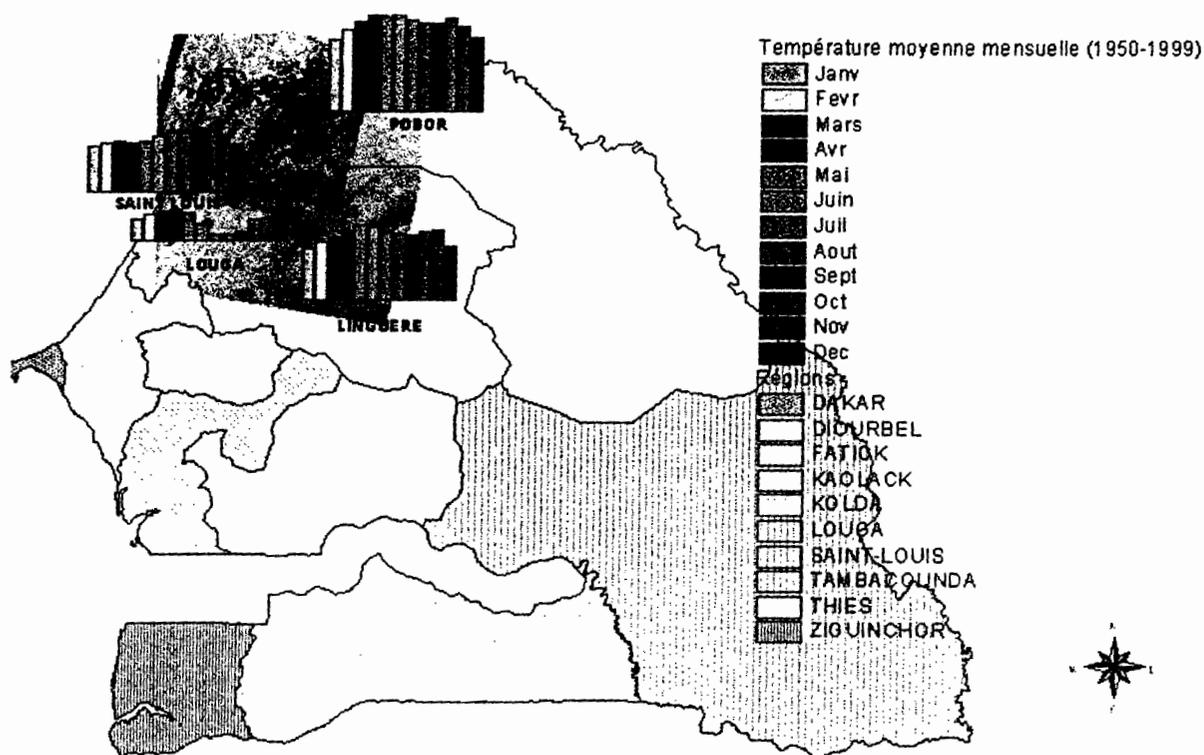


Figure 17: températures Moyennes mensuelles de 1950 à 1999

Les températures minimales sont enregistrées en janvier dans l'ensemble des stations avec un minimum à Podor de 15,4 °C. La température minimale la plus élevée est observée à St-Louis en septembre avec 25,1 °C.

L'amplitude diurne est maximale en saison sèche, baisse rapidement dès le début de la saison pluvieuse et est maximal en août.

Il apparaît de l'ensemble des paramètres, une nette opposition entre les domaines côtier et continental.

1.3.1.2 - Évapotranspiration potentielle

Les besoins en eau d'une culture peuvent varier d'une façon significative entre deux stations ayant une pluviométrie et une distribution des pluies identiques, s'il y a une différence de la demande atmosphérique entre ces deux localités. L'évapotranspiration potentielle (ETP) est une mesure de la demande potentielle en eau à un endroit donné. D'après PENMAN (cf. Annexes), l'évapotranspiration est définie comme la mesure du taux de transpiration d'une végétation suffisamment étendue, verte et courte, recouvrant bien le sol et convenablement approvisionnée en eau.

L'évapotranspiration potentielle dans la région du lac de Guiers a été étudiée par NIANG en 1999 avec des données des stations de Louga, Linguère et Saint-Louis pour la période 1951-1994 en utilisant la formule de TURC (cf. Annexes). Les résultats obtenus indiquent que de la même manière que la température, l'ETP augmente du littoral vers le continent. Par exemple, l'ETP annuelle est de 151,3 mm à S^t-Louis, 245,1 mm à Podor, 270,3 mm à Linguère et 2466 mm à Louga. La variation saisonnière de l'ETP moyenne au début de la saison est normalement élevée à cause de l'absence de nuages et d'un temps sec. L'humidité et la nébulosité augmentent avec l'installation de la saison des pluies entraînant une baisse de l'ETP. L'ETP est généralement très élevée pendant toute l'année.

1.3.1.3 - Classification climatique

La classification climatique est un indice utile des conditions écologiques, du potentiel agricole et de l'environnement en général d'un pays. La délimitation des différentes zones climatiques est indispensable au transfert des techniques adaptées de l'aménagement du sol, de l'eau et des cultures. Les systèmes de classification reposant sur les données relatives à la précipitation et l'ETP présentent un avantage puisque ces paramètres permettent d'évaluer le milieu hydrique. Cet aspect est d'autant plus important au Sénégal où le manque d'eau pose une contrainte fondamentale. La classification proposée dans cette étude s'inspire de l'approche de TROLL (1965)¹.

Celle-ci est fondée sur le nombre de mois humides dans l'année plutôt que la précipitation annuelle. Est considéré comme mois humide, un mois ayant une moyenne supérieure à l'ETP moyenne. Selon Troll, les zones ayant 2 à 4-5 mois humides dans l'année sont désignées savanes arbustives ou zones tropicales sèches et les zones à 4,5-7 mois humides sont désignées savanes sèches ou zones tropicales semi-arides à saisons sèche et humide. La zone semi-désertique ou aride est celle n'ayant que 1 à 2 mois humides. Les mois humides ont été déterminés d'après le système de Troll pour toutes les stations de notre secteur d'étude.

¹ Troll, C. 1965. Seasonal climates of the earth. Page 28 in *World Maps of Climatology*. (Ed. E. Rodenwalt and H. Juszatz). Berlin: Springer-Verlag.

Présentation du milieu physique

L'analyse du climat de la région du lac de Guiers révèle certaines caractéristiques typiques de la zone semi-aride : variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie, importante évaporation, déficit hydrique...

La péjoration climatique a ainsi des effets néfastes sur les activités anthropiques (agriculture, élevage...) car elle assèche les ressources en eau (aussi bien de surface que souterraines), d'eau dégrade la végétation et les sols.



1.4- LES SOLS

L'opposition intrinsèque entre *Walo* et *Diéri* est plus que jamais apparente dans l'étude des sols. Ceux-ci sont différents selon la topographie, la pente, l'hydrographie ...

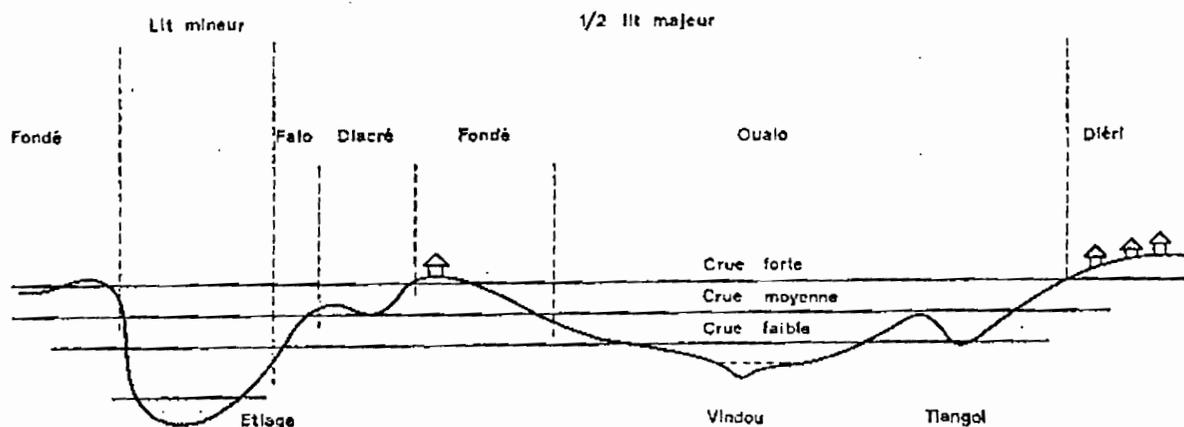


Figure 17: Disposition schématique des terrains dans la vallée du fleuve (Reizer, 1972 d'après Boutillier et al., 1968)

La Figure 17 illustre la disposition des principaux terrains. La terminologie qui leur est généralement attribuée est issue des Halpullars. On distingue :

- le fondé : bourrelets assez élevés enserrant le lit mineur
- le falo : levées dunaires submersibles aux hautes eaux.
- le vindou : mares permanentes ou semi-permanentes

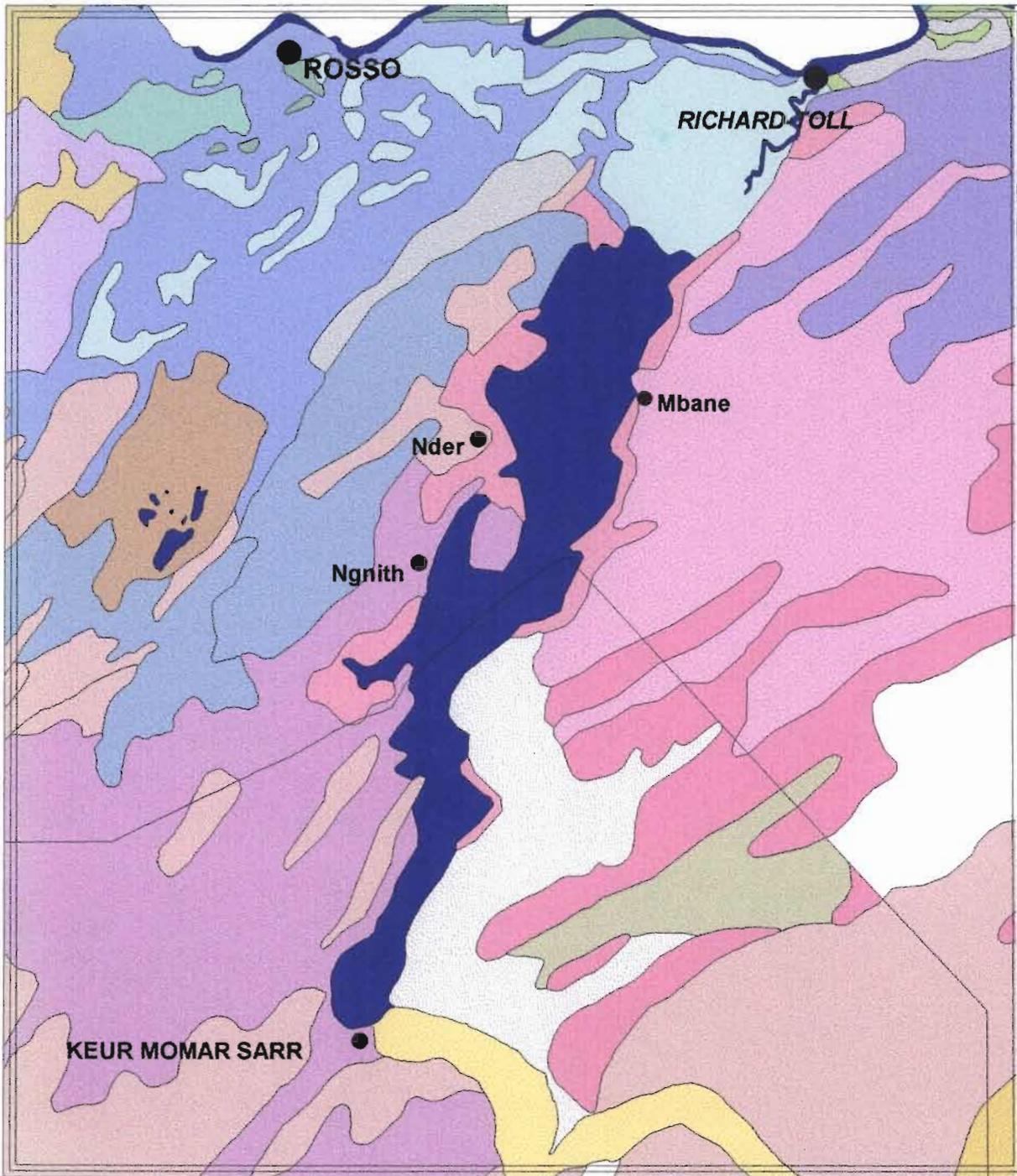
Le *Walo* est constitué de vastes cuvettes argileuses et sableuses en provenance du *Diéri*, domaine situé en bordure de la vallée.

1.4.1- LES SOLS DU *DIÉRI*

Ce sont des sols marqués par l'aridité¹ (zonaux) et l'influence des dunes. Ils sont caractérisés par une importante portion de sable variant selon les secteurs.

Selon la classification de Maignien (1965), ces formations pédologiques appartiennent soit à la sous classe des sols isohumiques tropicaux, soit à celle des sols ferrugineux tropicaux.

¹ L'aridité est la « situation où l'évaporation potentielle excède le climat » in Dictionnaire du climat. Larousse, 1995



Légende

-  Bas glacis inondable sols peu évolués d'apport hydromorphe; sols hydromorphes et halomorphes
-  Bas glacis sableux gravillonaire sols peu évolués d'apport hydromorphe
-  Eau
-  Falsceau de levées subactuelles : sols hydromorphes , sols halomorphes et sols peu évolués
-  Parties basses Inondables sols hydromorphes
-  Sols ferrugineux tropicaux non ou peu lessivés bien drainés et sols brun rouges subarides Intergradés
-  Sols brun rouge subaride dégradés et ferrugineux tropicaux peu lessivés, sur sable limoneux
-  Sols brun rouges subarides peu évolués dégradés
-  Sols ferrugineux tropicaux lessivés , sur matériau sableux
-  Sols ferrugineux tropicaux lessivés et sols brun rouge Intergradés
-  Sols ferrugineux tropicaux lessivés et sols brun rouge subarides
-  Sols ferrugineux tropicaux peu lessivés et sols intergradés sur matériau gravillonaire
-  Sols halomorphes salins acidifiés très acides
-  Sols halomorphes salins acidifiés peu acides à très acides
-  sols halomorphes salins avec sols hydromorphes à gley
-  Sols halomorphes salins avec sols salins très acides
-  Sols hydromorphes
-  Sols hydromorphes et sols ferrugineux tropicaux peu évolués
-  Sols hydromorphes, sols halomorphe salin acidifiés peu acides
-  sols peu évolués d'apport hydromorphes et sols hydromorphes
-  Sols peu évolués d'apport hydromorphes, sols hydromorphes, sols hydromorphes et vertiques
-  Sols vertiques avec sols hydromorphes
-  Sols halomorphes salins acidifiés, avec sols peu évolués hydromorphes
-  Sols ferrugineux tropicaux non ou peu lessivés



Le développement des sols isohumiques tropicaux est lié à des conditions de semi-aridité prononcée et sous l'action de peuplements herbacés de type steppique. Ils ont généralement des teneurs faibles en matière organique et couvrent presque tout le secteur situé à l'ouest du Guiers ; sur la rive orientale, ils couvrent une bande de terre allant de Fos à Guéou. Ils sont constitués de sols bruns rouge subarides et de sols bruns.

Les sols bruns rouge subarides forment la calotte des dunes. De texture très grossière, ils sont peu différenciés et profonds, leur pH est proche de la neutralité et ils ne sont pas salés.

Les sols bruns occupent le bas des pentes des dunes ou les axes alluviaux. Ils sont tantôt affectés par l'hydromorphie, et très rarement par la salure. Leur texture est grossière à très grossière et repose sur du matériau compact en profondeur. Ce groupe est représenté par des intergrades hydromorphes dont le développement est lié à une légère déficience du drainage qui permet une certaine accumulation de matière organique (notamment dans les interdunes).

Les populations de la vallée et du delta du fleuve Sénégal ont fait des types de sols présents dans le *Diéri* une classification intéressante. Cette classification exposée par Mbengue (1981) est très intéressante car plus hétérogène dans la mesure où elle se base sur des critères morphologiques et sur les aptitudes culturales des sols. La valeur du sol étant ici essentiellement agricole.

Les populations locales distinguent :

- les sols "dior" : caractérisés par une forte proportion de sables. Cet ensemble comprend les sols bruns subarides et les sols faiblement évolués du groupe des sols brun rouge subarides. Ce sont les sols qui se sont formés sur les sables dunaires fixés. Ils occupent la majeure partie de la région du lac de Guiers. Au plan de leur aptitude culturale, ces sols conviennent à la culture de : l'arachide, niébé, mil. Ce sont des sols fragiles exigeant des jachères longues.

- "dek dior" (littéralement argilo-sableux), mélange de sable et d'argiles à faible percolation. Ce sont les sols de la région qui conviennent le mieux à la culture de l'arachide, du mil, du niébé, du béréf mais ils exigent beaucoup d'eau. On rencontre ces terres sur de vastes superficies dans les régions intérieures de l'est (Sam-Sam, Médina Yélour, Saré Lamou etc., mais aussi en petites poches sur les abords du lac (sud de Mbane, Saninte, Gankette etc.)

- "dek" contenant une forte proportion d'argiles, se rencontrent dans les dépressions qui retiennent des mares. Les populations y cultivent du mil lorsqu'ils ne sont pas trop argileux, parfois de l'arachide.

- "bardial", ils se rencontrent sur l'ancien lit du Bounoum. Ce sont des terres argilo-siliceuses brunes, imperméables, retenant très longtemps l'eau des mares. Sols impropres à l'arachide, occupés parfois par le gros mil. Ces sols sont les plus fertiles de la région mais donnent de moins bons rendements du fait de la faiblesse et de l'irrégularité des pluies.

En conclusion, on peut retenir que les sols du *Diéri* sont généralement sableux et très fragiles, ils pauvres à très pauvres en matière organique et sont soumis à une pluviométrie ne permettant par leur évolution vers le climax¹.

¹ Climax : État d'équilibre entre les conditions pédologiques, climatiques et phytoécologique.

1.4.2 - LES SOLS DU *Walo*

Walo est pris ici dans le sens large de zone inondable par la crue en régime naturel. Il s'agit donc du "take"¹ et des terres bordant la Taoué. Ils peuvent être divisés en sols hydromorphes ceinturant le lac et en sols halomorphes entre lac et fleuve. Parmi les sols hydromorphes, on distingue :

Les sols hydromorphes de cuvette de décantation qui se situent entre le lac et Richard-Toll. Ce sont sur ces sols que sont établis certains casiers de la CSS à Ndombo et à Thiago.

Les sols hydromorphes à gley salés forment généralement des îlots au milieu des sols halomorphes dans la partie nord. Ce sont les sols qui abritent les exploitations de Thiagar et ne sont pas directement riverains du lac.

Les sols hydromorphes de basses terres, ceinturent le lac selon des largeurs variant selon les zones. D'inexistant à Mbane, Ganket et Keur Momar Sarr, ils apparaissent faiblement à Foss et Sier et sont assez importants à Ndombo, Thiago et vers Ngnith.

Les sols halomorphes sont des sols contenant une proportion de sels relativement élevée. Il s'agit des sols brun rouge, des vertisols et des sols salins intergrades à pseudo-gley sur alluvions argileuses.

Les sols brun-rouge d'origine fluviale sont peu évolués et constitués de limons et de sables fins. Ils sont généralement stériles quand ils sont ensoleillés du fait d'une absence d'une couverture par une végétale (THIAO et TIBESAR, ISE 1983).

Les vertisols, riches en argiles et en humus sont plus évolués que les sols brun-rouge. Ils ne sont pas très étendus (200 à 300 m) et sont très favorables à la riziculture lorsqu'ils sont drainés.

Les sols salins intergrades à pseudo-gley sur alluvions argileuses sont moyennement salés et conviennent bien à la riziculture.

Les sols halomorphes sont très intéressants au point de vue agronomique du fait de leur richesse en argiles et en montmorillonite. Leur mise en valeur doit quand même être précédé d'un dessalement et nécessite l'irrigation.

Les conditions pédologiques de la région du lac de Guiers sont difficiles du fait de l'aridité. Les principaux problèmes rencontrés sont faibles teneurs en humus et matières organiques, stérilisation progressive, salinisation... Une bonne mise en valeur agricole ne peut se faire dans la région sans apport d'engrais. Les sols que l'on retrouve dans la région du lac de Guiers ont subi du fait de l'homme et de facteurs naturels de profondes dégradations. Ce processus de dégradation se confirme avec l'artificialisation croissante de ce milieu (NDONG, 1996).

En guise de conclusion, on peut retenir que les sols de la région du lac de Guiers se dégradent du fait de la péjoration climatique, d'une intense mise en valeur et de la forte artificialisation du milieu. Les problèmes majeurs de ces sols sont : stérilisation, salinisation, acidification, érosion.

¹ Ensemble des terres de décrue

CHAPITRE 2 / LES HOMMES ET LEURS ACTIVITÉS TRADITIONNELLES

Le delta du fleuve Sénégal se situe depuis longtemps au cœur des enjeux de l'agriculture sénégalaise. Traditionnellement confronté à des problèmes limitants comme l'avancée de la langue salée et faiblesse de la crue, le delta et la région du lac de Guiers ont été progressivement aménagés depuis l'époque coloniale par le moyen de digues, pont-barrages, barrages... La région du lac de Guiers, faiblement peuplée à l'origine est devenue un pôle d'attraction pour des exploitants agricoles en quête de terres et d'eau.

2.1- SITUATION, COMPOSITION ÉTHNIQUE ET ÉVOLUTION DÉMOGRAPHIQUE

L'objectif de ce chapitre est d'identifier les facteurs démographiques et sociologiques qui déterminent les interrelations entre l'homme et son milieu.

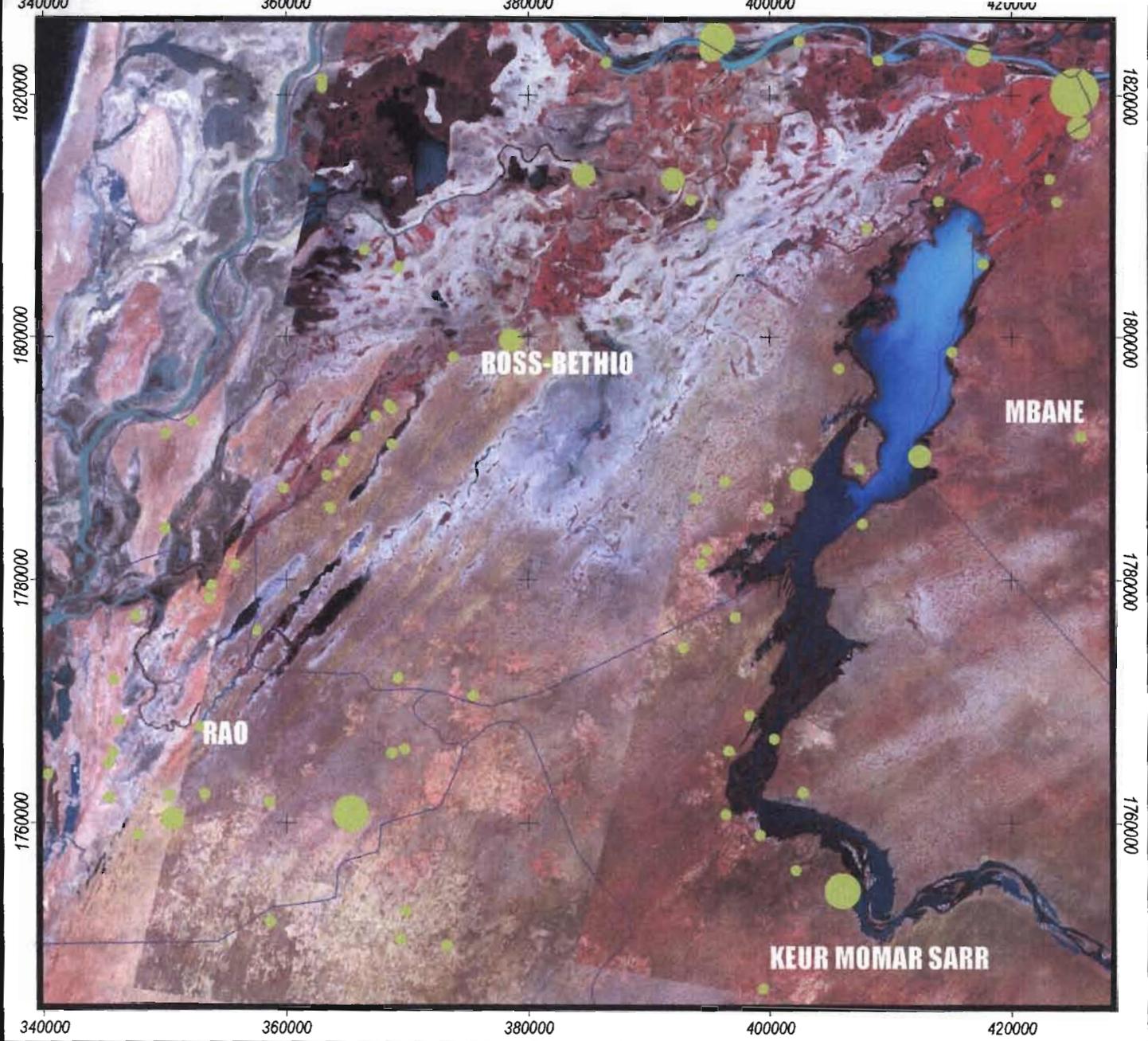
La région du lac de Guiers est comprise dans deux régions administratives (Saint-Louis et Louga). Elle regroupe 5 communautés rurales dont 4 dans le département de Dagana ; elle recoupe à la fois la commune de Richard-Toll, une partie de l'arrondissement de Ross-Béthio, l'arrondissement de Mbane et celui de Keur Momar Sarr.

Ce morcellement administratif fait qu'il est difficile de disposer de données démographiques fiables pour étudier sa population.

Aucun recensement précis de la population n'existe pour la région du lac de Guiers. Les données existantes sont essentiellement des estimations basées sur des données du RGPH¹ vieilles de plus d'une décennie.

Les données démographiques les plus récentes concernant la région sont : le RGPH (datant de 1988 : Figure 19). Malgré leurs limites, ces données fournissent une idée de l'évolution démographique au Delta et dans la région du lac de Guiers.

¹ Recensement Général de la Population et de l'Habitat



Légende

 Limites arrondissements

Nbre d'habitants en 1988 (> 500)

-  500 - 1 500
-  1 500 - 4 000
-  4 000 - 12 000
-  12 000 - 30 000
-  30 000 - 55 000
-  55 000 - > 100 000

Sources:
 Mosaïques d'images Landsat et Spot
 Données sur la population: RGPH de 1988
 Limites administratives: UTIS



Au manque d'une véritable politique de recensement s'ajoute dans la région le problème de la mobilité d'une partie de cette population (éleveurs transhumants, campements mobiles de pêcheurs, ouvriers agricoles saisonniers...). Tous ces facteurs contribuent à rendre très difficile le recueil de statistiques précises.

Les données disponibles bien que restreintes, révèlent l'existence d'importantes disparités spatiales (Figure 19). Les plus fortes concentrations sont notées dans le Nord du lac, beaucoup plus peuplé que la partie sud où les villages sont très éloignés les uns des autres.

La Figure 19 révèle l'existence d'un axe de densité autour des zones où la culture irriguée existe. Au delà, il faut noter les disparités entre Richard-Toll qui regroupe, sur 15 km², plus du quart de la population de la région du lac de Guiers, soit 627 à 687 habitants au km². Les trois quarts restants sont dispersés sur 2 785 km².

Disposer de données plus anciennes est encore plus difficile car les recensements de populations sont d'apparition récente au Sénégal. Les seules données dont nous disposons pour cette présente étude sont des estimations faites par MBENGUE (1988). D'après cet auteur, la population du lac de Guiers serait passée de 40 000 habitants en 1981 à 100 000 en 1987 et sa densité de 14 à 36 habitants au km².

La Figure 20 est la représentation de l'évolution probable de la population de la région. Ces estimations ont été faites sur la base des recensements précédents. Elles montrent une lente progression de 1988 à 2000.

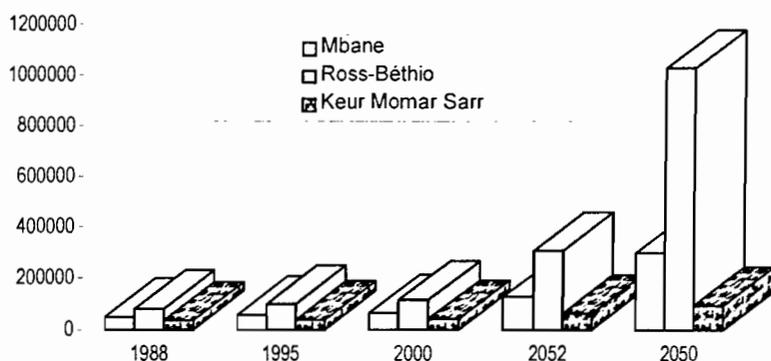


Figure 20: Évolution de la population de la région du lac de Guiers

Ces estimations font aussi ressortir la disparité qu'il y a par exemple entre l'arrondissement de Mbane et celle de Keur Momar Sarr. Ces disparités sont normales quand on sait que l'arrondissement de Mbane est peuplée essentiellement d'agriculteurs alors que Keur Momar Sarr compte parmi sa population une importante proportion d'éleveurs transhumants. Il faut aussi ajouter à cela la macrocéphalie relative de la ville de Richard-Toll qui comptait 79 734 habitants en 1988. L'importance de la population de Richard-Toll par rapport aux autres agglomérations est due à la présence de la CSS. L'agro-industrie pratiquée par cette compagnie emploie beaucoup de travailleurs surtout saisonniers. La présence cyclique et régulière d'ouvriers agricoles fait que Richard-Toll est la ville la plus dynamique de la région tant au point de vue démographique qu'économique.

Les barrages auguraient un accroissement et un retour de la population de la région du lac de Guiers qui est traditionnellement une terre d'émigration. En effet la mise en service du barrage de Diama en 1985, a marqué le retour à la terre. L'autre phénomène nouveau est la

concentration des peuls nomades autour du lac de Guiers et dans le Ferlo. La forte compétition entre élevage et agriculture irriguée ayant contribué à cette concentration suite à l'occupation des anciens parcours du bétail.

La dynamique démographique dans la région du lac de Guiers est caractérisée par une évolution relativement lente et régulière. Avec plus de 100 000 habitants aujourd'hui, la région du lac de Guiers est soupeuplée par rapport aux immenses possibilités offertes par le milieu.

2.2 - LE SYSTÈME PRODUCTIF TRADITIONNEL

Les systèmes de production de la région du lac de Guiers ont été étudiés par Mbengue (1981). En parlant de système productif, nous nous situons à un niveau plus global que celui de Mbengue qui parle d'une diversité de systèmes de production différenciés par la composante ethnique. Composante qui apparaît dans l'étude de Mbengue comme étant le déterminant principal. Notre objectif est d'identifier les relations qui lient les différents systèmes de production dont parle MBENGUE. Car comme le dit GOUROU (cité par PÉLISSIER) : « *L'efficacité des civilisations ne procède pas seulement de leurs techniques de production par lesquelles sont réglés les rapports des hommes avec le milieu mais surtout de leurs techniques d'organisation de l'espace qui déterminent les rapports des hommes entre eux* ¹ ».

Selon BAUDOIN², : « le système productif [est] l'ensemble des éléments qui concourent à la constitution des flux des produits agricoles ».

Le système productif est très sensible au changement et se caractérise par sa complexité, sa spécificité et sa plasticité. Il est soumis à une combinaison de pressions extérieures et d'une dynamique interne intenses. Les pressions extérieures proviennent de « *l'augmentation en volume des consommations alimentaires, comme de leurs changements de structure, [...], de l'incidence des différentes formes de progrès techniques, des effets des mesures de politique de crédit agricole adoptées par les responsables gouvernementaux.* ³ », la dynamique interne est la manifestation des aspects qui le composent à savoir système de culture, système de production et système d'exploitation.

Le système de culture désigne les combinaisons culturelles adoptées par les agriculteurs, l'ensemble plus ou moins structuré des productions végétales et animales retenues par eux.

Le système de production se rapporte aux combinaisons des ressources productives mises en œuvre, aux dosages opérés par les producteurs entre les principaux facteurs de production : ressources naturelles, travail, consommations intermédiaires et biens d'équipements.

Le système d'exploitation enfin est relatif au mode de fonctionnement des unités de production.

¹ Pelissier, P. 1966. Les paysans du Sénégal. Les civilisations du Cayor à la Casamance. Imprimeries Fabrègue. St Yrieix (Haute Vienne), France.

² Baudoïn, R.. le système productif en agriculture. Cahiers des Sciences Humaines, 23 (3-4) 1987 : 357-375. ORSTOM

³ id.

Chacun de ces trois aspects est indissociable du reste du système mais évolue séparément.

Analyser un système, c'est d'abord décrire son organisation dans l'espace (aspect structurel) et dans le temps (aspect fonctionnel). Les relations qui lient un système à son environnement font qu'il a besoin de variété pour s'équilibrer face à une inévitable évolution par un processus de désorganisation-réorganisation. Pour saisir cette dynamique, il est nécessaire d'intégrer la dimension diachronique dans l'analyse.

L'économie dans la région du lac de Guiers est principalement agricole. Dans ce type d'économie, la terre est l'un des principaux facteurs de production. C'est pourquoi, nous examinerons d'abord le régime foncier traditionnel puis les stratégies d'occupation de l'espace qu'il a favorisé.

2.2.1- RÉGIME FONCIER ET APPROPRIATION DE L'ESPACE

La région du lac de Guiers appartenait traditionnellement au royaume du *Walo*. Comme le note COLY (1996) : « Il était attaché à l'existence des cours d'eau que sont le fleuve et le lac de Guiers ». C'est autour de cette ressource (l'eau) que repose essentiellement le régime foncier traditionnel.

Dans le *Walo*, la terre était considérée comme bien collectif. Le roi (*Brack*) n'en était que le gestionnaire. De nos jours encore cette conception existe toujours selon MBENGUE (1981) qui note cependant qu'elle n'a pas la même portée selon qu'on se trouve sur le *Walo* ou sur le *Diéri*.

Dans le *Walo*, la fertilité et la petitesse des surfaces cultivables font entrer en jeu des considérations de caste et de rang social. Les terres de décrue étaient ainsi entre les mains des *Guêr*. Certains d'entre eux possédaient même plusieurs parcelles alors que les membres des castes considérés comme inférieurs n'y avaient pas accès du tout.

Dans les terres du *Diéri* plus étendues et moins peuplées par contre, c'est le droit de hache qui était en vigueur. Toute personne qui en éprouvait le besoin, pouvait défricher et exploiter la terre qu'elle voulait. Ces pratiques se faisaient sous l'autorité du *lamane*, maître de la terre et chef de village en même temps. Ce mode de tenure foncière existe toujours, aujourd'hui encore, il est loisible à tout paysan d'avoir des terres dans le *Diéri*.

La monarchie *Brack* instaurera par la suite le système des redevances. MBENGUE, (cité par COLY, 1996) distingue 3 modes de tenure :

- le droit de maître exercé par les familles descendant de l'oligarchie ;
- le droit de culture appartenant aux descendants de celui qui a défriché la terre. Il faut noter que dans le *Walo*, la femme avait le droit à la propriété foncière au même titre que l'homme ;
- le droit de jouissance accordé à celui qui emprunte ou loue la terre.

Ces modes de tenure foncière et la différenciation fondamentale entre *Walo* et *Diéri* vont faire que la perception et l'utilisation de l'espace varient selon que le village se trouve au bord du lac ou à l'intérieur des terres et selon l'appartenance ethnique.

Les limites du terroir villageois Wolof sont floues. Il ne couvre que quelques kilomètres carrés qui au delà de la zone effectivement mise en valeur, s'étendent sur toutes les terres que le village a tradition d'exploiter.

Le peul, éleveur, a une meilleure connaissance de son espace vécu du fait des exigences du pastoralisme (déplacements faits à pieds dans la recherche de meilleurs pâturages et points d'eau). Ce qui fait que l'espace peul est plus étendu que l'espace wolof. Mais, tout comme lui, est divisé en *Walo* et *Diéri*. Le peul vivait en saison sèche dans le *Diéri* où il trouvait pâturages (herbes asséchées et ressources de cueillette) et abreuvait son troupeau dans le *Walo* (lac). En hivernage, il pouvait se limiter au *Diéri* où il trouvait pâturages frais et points d'eau et pouvait en outre s'adonner à une agriculture pluviale de subsistance.

L'espace vécu Maure n'est différent de celui du Wolof que par la taille. Ceci s'explique par le fait que les Maures se sont installés après les Wolofs et les Peuls, avec leur autorisation. Le terroir maure ne couvre que quelques km² sur lesquels il pratique l'élevage de petits ruminants, la cueillette et une agriculture vivrière sur le *Walo* et le *Diéri*.

De ces perceptions de l'espace, il ressort que dans la zone, l'eau et surtout la terre ont une importance capitale. L'agriculture bien que dominée par les Wolofs n'en était pas moins pratiquée par les Maures, les peuls et les laobés.

2.2.2 - LES ACTIVITÉS TRADITIONNELLES

La région du lac de Guiers est peuplée par différentes ethnies qui s'adonnent de manière plus ou moins exclusive à différentes activités. Les activités principales sont : l'agriculture, l'élevage, et la pêche.

2.2.2.1 - L'agriculture

Elle se pratiquait sous forme de cultures pluviales sur le *Diéri* et de cultures de décrue sur le *Walo*.

2.2.2.1.1 Les cultures pluviales

Dans le passé, les cultures pluviales fournissaient selon MBENGUE (1981) l'essentiel des récoltes, ceci est corroboré par les populations locales qui affirment que les pluies étaient importantes autrefois. Les cultures pluviales ou cultures de *Diéri* étaient pratiquées sur des sols *dior* sableux. Ce sont des sols fragiles entretenus par une assez longue jachère. De ce fait, les cultures pluviales consommaient beaucoup d'espace, ce qui ne manquait cependant pas.

Les techniques et moyens de production étaient simples et reposaient sur le travail humain. Les animaux n'étaient pas utilisés pour les travaux champêtres. Le principal outil de travail était l'hilaire.

Du point de vue de leur organisation, les champs étaient regroupés et le travail s'organisait autour du chef de famille (*borom ndiël*). Les plantes cultivées étaient : le mil, le niébé, le béréf...

Le mil souna (*Pennisetum typhoides*) est une graminée au cycle de 80 jours environ. Il est bien adapté aux sols *dior* du *Diéri* à condition que la pluviométrie ne soit pas trop abondante, entraînant ainsi la percolation des éléments minéraux restant alors hors de portée des racines de la plante.

La culture du mil s'organisait ainsi :

- défrichage (*rudji*) dès le mois de juin ;
- semis à sec (juin) dans l'attente des pluies ;
- 3 opérations de sarclage lorsque le mil a poussé (*bakhao*, *bayat*, *balargni*) de juillet à septembre ;
- fin septembre, lutte contre les déprédateurs (mange-mil : *Quelea quelea*...)
- récolte : octobre.

Le mil avait une importance capitale dans l'économie rurale. Il était la base de l'alimentation, se conservait longtemps sans trop de difficultés, pouvait être consommé sous différentes natures... Ses nombreux avantages ont fait que le paysan lui accordait l'essentiel de son temps. Il était souvent cultivé en association avec le niébé (*Vigna ingulata*) et le béref (*Citrullus lanatus et colocynthis*).

Le niébé, riche en protéines est destiné à l'autoconsommation. Il n'exige pas beaucoup de travail et a un cycle court de 2 mois et mûrit généralement en premier bien avant l'arrêt des pluies. Il présente ainsi un grand intérêt aux yeux des populations car à cette période, la nourriture se fait rare.

Quant au *béref*, il s'adapte bien au déficit pluviométrique et nécessite peu de soins. Il existe deux variétés de *béref* dont l'une est destinée exclusivement aux animaux.

Les cultures pluviales sont donc des cultures vivrières. Les variétés cultivées sont celles qui composent la base de l'alimentation jusqu'à l'introduction des cultures de rente (arachide principalement).

La culture de l'arachide a appauvri les sols et a occasionné la migration d'une part importante de la population. En effet, le creusement de puits par l'administration coloniale (de 1920 à 1950) a permis l'implantation dans le *Diéri* de beaucoup de paysans qui semble t-il seule l'eau retenait sur le *Walo*.

Ces déplacements ont été la manifestation de la part des paysans de pratiquer une agriculture leur permettant d'améliorer leurs conditions économiques au lieu de se limiter à une production d'autosubsistance. Ils renoncent au « "*Bardial*", (sols sablo-argileux des rives du lac propices à la culture du mil) au profit du "*Dior*" (sols sablonneux, terrains de prédilection de l'arachide) » (NIASSE et VINCKE, ISE, 1983).

Les populations du lac de Guiers se sont limitées pendant longtemps à ces cultures pluviales jusqu'à ce qu'une baisse chronique de la pluviométrie rendent ces cultures improductives. Les cultures de décrue commencèrent alors à apparaître.

2.2.2.1.2 Les cultures de décrue

Les cultures de décrue venaient après les cultures pluviales en terme de rendements et de populations concernées. Elles se sont progressivement développées pour faire face aux besoins de diversification agricole à la suite du déclin des cultures pluviales du *Diéri* causé par la péjoration climatique.

Selon beaucoup d'auteurs, le lac libérait bon an mal an près de 17 000 hectares à la décrue. C'est toute cette surface aux sols riches qui étaient utilisés pour la culture de décrue.

L'importance de ces cultures de décrue était variable d'un village à l'autre. La partie Nord du lac était plus concernée. Ce sont des cultures pratiquées sur des sols riches en humus, d'abord occupés par une végétation abondante. Il fallait donc un important effort initial de préparation du terrain. Il est très difficile par exemple d'enlever les *Typhaies* qui poussent en touffes. Il faut aussi protéger les champs par des haies contre les troupeaux qui viennent s'abreuver au lac.

Les spéculations concernées sont : tomate (*Lycopersicum esculentum*), manioc hâtif, patate douce (*Ipomoea batatas*), niébé, courges, mil sorgho (*Sorghum sp.*)...

Les techniques de production simples reposent sur le recul de l'eau. Elles consistaient à semer sur les terres qui étaient recouvertes par l'eau dès le début de la décrue. Les espèces sont semées selon leurs exigences écologiques. Ainsi, les espèces rustiques telles que le gombo, le béref, le manioc... En dehors de l'eau laissée par le lac, aucun apport externe d'eau n'est par la suite effectuée.

Il est difficile d'évaluer les rendements de cette forme d'agriculture à cause de son caractère rudimentaire. MATHIEU (ISE, 1983) cite des productions maximales de 10 à 12 tonnes à l'hectare pour le manioc obtenu « par un travail assez réduit » le manioc ne demandant pas beaucoup d'entretiens. Cet auteur comparant le revenu généré par une exploitation de manioc de décrue au revenu vivrier net "*largement subventionné*" obtenu en double culture de riz irrigué conclue qu'il lui est égale ou légèrement supérieur.

Les chiffres manquent cependant pour déterminer l'impact de ces cultures sur l'économie rurale. L'ensemble des auteurs s'accorde à dire cependant que les cultures traditionnelles de décrue fournissaient des revenus non négligeables (COLY, 1996).

LERICOLLAIS (1980) affirme dans son étude portant sur toute la vallée que les cultures traditionnelles de décrue effectuées sur le *Walo* sont « *la seule régulièrement productive* » - malgré qu'elles demandent plus de travail - car les cultures pluviales soumises à la récession climatique et pratiquées sur des sols sablonneux sont aléatoires.

THIAO et TIBESAR (ISE, 1983) dans leur étude faite à Nder expliquent l'avènement de l'agriculture de décrue par les problèmes de l'agriculture pluviale que sont : la sécheresse, déprédations des oiseaux... Selon ces auteurs, les cultures traditionnelles de décrue résultent d'un effort diversification agricole.

Leur succès peut en effet être attribué à la volonté des paysans de réduire les risques qu'ils encourent face aux aléas climatiques et à une évolution économique incertaine. Car en fait, ce qu'on notait dans la région, ce n'était pas la pratique exclusive de l'agriculture de décrue mais seulement la juxtaposition de ce système de culture à d'autres. Le choix originel est motivé par une diversification de la production. Cette volonté apparaît d'ailleurs au sein même d'une exploitation de culture de décrue qui est une association et une succession de plusieurs productions. Le paysan pratiquant ainsi la culture de décrue accède à plusieurs avantages : il réduit sa dépendance à une pluviométrie incertaine donc sécurise sa production, la diversifie en cultivant des espèces qui ne peuvent être cultivées pas dans le *Diéri*, améliore son alimentation par l'autoconsommation (légumes par exemple), dispose de revenus intermédiaires...

Les cultures de décrue ont commencé à perdre de leur importance dès les premières années de la sécheresse actuelle. En effet, les crues étaient faibles et les cultures étaient l'objet de beaucoup de déprédations. Cette faiblesse de la crue rendit nécessaire la rectification de la Taoué. La nouvelle Taoué introduisit à son tour un nouveau problème : celui des crues brusques. Pour ne pas perdre leurs récoltes, les paysans étaient obligés de les anticiper. Ce qui occasionnait de lourdes pertes pour les cultures comme celles du manioc par exemple. Ces pertes étaient d'autant plus graves qu'elles se produisaient pendant les mois de soudure.

2.2.2.2 - La pêche

La pêche est une activité dont l'importance de la pratique ancienne au lac de Guiers divise les auteurs.

MBENGUE (1981) et THIAO (ISE, 1983) rapportant les propos d'anciens affirment que c'est la pêche qui est à l'origine de l'établissement de beaucoup de villages Wolofs sur les rives du lac.

D'autres auteurs relativisent par contre cette présence de la pêche dans le Guiers. Il en est ainsi de DIENG (ISE, 1983) qui affirme qu'avant 1957, « elle était presque inexistante » et pose comme arguments la prolifération de plantes aquatiques évoquée par GROSMIRE et ces corollaires qui avait poussé les populations à se déplacer. Selon lui, cette forte présence des plantes aquatiques dans le Guiers rendait l'exercice de la pêche difficile voir impossible. Son argument est somme toute léger, l'histoire l'a démontré car aujourd'hui encore, le lac est envahi par les plantes et pourtant les poissons prolifèrent et sont pêchés.

Certains auteurs (NIASSE et VINCKE, ISE, 1983) voient dans le déplacement de la population Wolof intervenue avec l'introduction de la culture arachidière dans la région une faible importance de la pêche pour ses populations. Car en se déplaçant vers le *Diéri*, ces populations renonçaient aux revenus de la pêche. N'étaient-ils pas assez conséquents au point de justifier le maintien des populations ? Ces déplacements qui avaient vidé les rives du lac et qui expliquent le fait que des villages différents portent le même nom.

Quoiqu'il en soit, les auteurs dans leur grande majorité s'accordent à dire que la pêche était une activité pratiquée au lac de Guiers, fournissant de bonnes productions et concernait de nombreuses espèces.

Les activités de pêche commencèrent à se développer à partir de la fin des années 50 (DIENG, 1983), car c'est en ce moment que se serait développée la prise de conscience des autorités de la richesse halieutique du Guiers. Le centre de Guidick est créé en 1957 pour que les populations puissent exploiter de manière active et bénéfique les énormes potentiels offerts par le lac. Dans cette même lancée, furent créées des coopératives de pêche à Mbane, Guidick, Sier, Diaminar et Mal.

La pêche fut redynamisée vers les années 60 durant lesquelles des campagnes de pêche furent organisées par les responsables administratifs. Elles dureront jusqu'en 1970, année à partir de laquelle elle n'a été autorisée qu'aux riverains (MBENGUE, 1981) pour risque de surexploitation.

En 1972, REIZER estimait le nombre de pêcheurs 300 dans le Guiers constitués pour la majorité de semi-professionnels (cultivateurs s'adonnant à cette activité lors de la saison morte pour l'autoconsommation).

Le matériel utilisé était simple et artisanal. On peut citer l'épervier, les filets maillants dormants (*sabel*) ou dérivant (*félé-félé*) en Toucouleur ; les filets maillants encerclants, les lignes, les sennes de rivage (*goubol* en wolof). Ce matériel pouvait être embarqué sur deux types de pirogues : la pirogue Saint-Louisienne (assemblage de pièces de caïlcédrat manufacturés d'une longueur de 8 à 10m) ; la pirogue Casamançaise (monoxyle fabriquée en fromager ou caïlcédrat longue de 6 à 12 m).

2.2.2.3 - L'élevage

Si des divergences existent quant à la reconnaissance de l'importance de l'exercice de la pêche au Guiers, il en est tout autre pour l'élevage.

En effet, l'élevage revêt du fait de la population Peule très présente dans le Guiers (même si les autres ethnies pratiquent un élevage de petit bétail non négligeable) une importance particulière.

Il convient de distinguer cependant l'élevage bovin de l'élevage des petits ruminants pratiqué par toutes les ethnies pour ne pas dire toutes les familles. « *Pour compléter les maigres ressources tirées de l'agriculture, [les Wolofs] entretiennent un troupeau essentiellement composé de petits ruminants [...] Ce cheptel dont chaque famille possède quelques têtes est confié à un berger peul ou maure de préférence.* »(MBENGUE, 1981)

Ce passage tiré de MBENGUE nous renseigne sur des caractéristiques intéressantes du système d'exploitation¹ de la région du Guiers. Il révèle en effet une organisation originale mêlant toutes les composantes humaines du système dans l'activité d'élevage.

Ainsi, l'élevage "véritable", l'élevage bovin est le domaine exclusif du Peul qui fournit le lait et les produits dérivés mais pas la viande du fait du caractère contemplatif. L'apport de viandes dans l'alimentation provient du petit élevage qui est le domaine de tous, mais dont la supervision incombe au maure qui en est le superviseur.

Les Peuls ont été dans le passé saisonnièrement attirés par le Guiers ou les pâturages et l'eau étaient disponibles comme l'affirme NIASSE et VINCKE (opcit) : « *Avec l'assèchement des mares du Diéri en saison sèche, les Peuls étaient contraints de revenir dans la région du lac en passant par le Bounoum où les "Wendou" (mares durables) et les "Bouli" (céanes²) permettaient l'abreuvement du bétail qui y trouvait en outre d'importantes quantités d'herbes encore vertes (pâturages de décrué)* ».

Les Peuls établissaient à l'occasion de petits campements ("gouré") de saison sèche près des rives du lac ou de la vallée du Bounoum.

La caractéristique générale de l'élevage Peul est qu'il est contemplatif. Le troupeau (propriété collective familiale) nourrit son propriétaire par le lait et ses dérivés (consommé, vendus ou échangés). Le troupeau est un instrument de prestige utilisé un petit peu pour la viande et le fumier, « *pour le travail qu'il pourrait fournir, il ne l'est pas du tout* » (LOMBARD, 1963 cité par MBENGUE). Mais, il assure surtout la reproduction sociale du fait de sa valeur monétaire par exemple dans les relations matrimoniales et religieuses.

Le cheptel était important si l'on se réfère à MBENGUE qui tient éleveurs que la plupart des campements totalisaient chacun avant 1972, de plus de 200 têtes de bovins. Les rapports

¹ « Le système d'exploitation est relatif au mode de fonctionnement des unités de production ». Baudoin, opcit

² les céanes sont des puits de faible profondeur (2 à 3 m) aux eaux boueuses consommées par les hommes et le troupeau

annuels des CERP¹ de Mbane. Keur Momar Sarr et Ross Béthio estiment le cheptel bovin de ces trois arrondissements à 80 000 têtes en 1979.

La grande "sécheresse" de 1972 a décimé une grande partie de ce troupeau et a causé la migration des éleveurs vers les régions moins touchées comme le Sine Saloum et le Cayor.

Après cette sécheresse, les pâturages sont redevenus verts en dehors des saisons sèches. Ils étaient de deux types : les pâturages de *Diéri* (en période d'hivernage) et les pâturages des rives inondables (pâturages de décrue). La transhumance de certains éleveurs (les *Walwalbe*) se limitait à ces deux sortes de pâturages, d'autres (*Dierdierbe*) se déplacent sur de grandes distances allant jusque vers Mbar Toubab, Labgar ou Linguère.

2.2.2.4 - Les autres activités

À côté des activités principales vu ci-dessus, il existait une foule d'autres activités dans la région du lac de Guiers. Ces activités étaient pratiquées par toutes les ethnies mais on remarquait une plus grande présence des Maures. Les populations, dans leurs recherches de revenus pour renforcer leurs maigres revenus ont essayé d'exploiter toutes les ressources (surtout végétales) offertes par le milieu.

Les femmes utilisent ainsi la végétation aquatique présente en abondance pour tisser des nattes. Elles utilisent aussi *Vetiveria nigriflora* (*diguite*) qui est une plante qui les terres abandonnées par la décrue et dont les racines servent comme encens.

La cueillette est aussi une des formes d'exploitation des ressources naturelles pratiquée dans la région du lac de Guiers. Elle concernait la recherche des fruits de *Balanites aegyptiaca*, *Boscia senegalensis*, *Zizyphus mauritiana* et de *Adansonia digitata* et aussi la cueillette de la gomme très pratiquée par les Maures.

¹ Centre d'Expansion Rural Polyvalent

CONCLUSION À LA PREMIÈRE PARTIE : LA NÉCESSITÉ D'UNE INTERVENTION SUR LE MILIEU PHYSIQUE

La région du lac de Guiers est très marquée par l'empreinte de l'homme qui a fortement modifié la dynamique du milieu. En régime hydrologique naturel, la crue était variable entraînant des différences considérables des superficies emblavées d'une année à l'autre. Ces surfaces sont à présent presque invariables du fait du maintien du plan d'eau à un niveau constant. Les rendements des cultures demeurent variables en fonction des sols, de la durée de submersion, des méthodes culturales, des dégâts dus aux déprédateurs... Sur les rives du lac sont pratiquées en saison sèche des cultures maraîchères (patates, tomates, melons, oignons, choux...). La pêche est pratiquée toute l'année et fournit une ressource alimentaire importante. Le *Walo* est exploité surtout en saison sèche pour ses terres fertiles et ses eaux. Les activités agro-pastorales dépendent par contre des pluies dans le *Diéri*. Les cultures sous pluie (mil, niébé...) sont aléatoires du fait du régime pluviométrique irrégulier.

Les ressources générées par les activités pratiquées sur le *Walo* sont complétées par les cultures pluviales sur le *Diéri* par l'élevage et par la cueillette.

Le système productif est complexe et fragile car essentiellement basé sur des ressources dont la maîtrise est difficile. D'autre part, il pose un certain nombre de problèmes environnementaux que nous verrons plus loin.

L'activité de production dans le Guiers se basait sur le lac et les possibilités qu'il offrait. C'est la disponibilité de l'eau qui a attiré les populations vers les rives du lac. Quand cette disponibilité a fait défaut ou quand l'eau a été disponible ailleurs (puits creusés sur le *Diéri*), une grande partie de la population a abandonné le lac.

Ce phénomène est révélateur des raisons qui liaient les hommes et le lac. Ceux-ci s'y étaient établis pour l'exploiter parce qu'ils n'avaient pas le choix mais ils ne tiraient pas de cette cohabitation (en un certain moment en tout cas) une grande satisfaction et cela pour plusieurs raisons :

- la sécheresse avait rendu les revenus des cultures pluviales insignifiants et aléatoires ;
- en éliminant la crue, elle avait causé le déclin des cultures de décrue, après l'amélioration des conditions de remplissage du lac, les cultures de décrue souffrirent des crues brusques et imprévisibles ;
- les revenus de la pêche que le lac permettait ne suffisaient pas à faire vivre les populations ;
- l'élevage souffrait tout comme l'agriculture de la sécheresse par le manque de pâturages qu'il a créé et l'assèchement des mares temporaires...

Les problèmes de la région du lac de Guiers étaient nombreux et variés et nécessitaient des réactions concrètes. Ces réactions se sont produites à travers les nombreux aménagements et réaménagements opérés et qui ont induit une nouvelle destinée pour la région.

**DEUXIÈME PARTIE : ÉTUDE DE L'ÉVOLUTION DE
L'ENVIRONNEMENT DU LAC DE GUIERS ET DE SES
CONSÉQUENCES**

INTRODUCTION

La région du lac de Guiers appartient au Delta qui était le point de rencontre entre l'eau de mer et l'eau du fleuve.

« L'eau de mer remonte le fleuve en période d'étiage, pendant deux à trois mois jusqu'à 200 km de l'embouchure, à l'amont de Dagana (...). Cette avancée salée atteint Richard-Toll le 22 avril, Dagana le 10 mai (...). L'invasion cesse lorsque surviennent les hautes eaux fluviales, en juillet. C'est à dire que la culture irriguée est impossible de mars à mi-juillet, durant la saison sèche chaude faute d'eau douce dans l'ensemble du delta »¹.

La lutte contre la pénétration des eaux océaniques dans le fleuve Sénégal et le lac de Guiers et celle pour le développement de l'agriculture ont conduit à la mise en place de nombreux aménagements qui ont fortement marqué le milieu et induit une nouvelle destinée pour la région.

¹ R. Bonnardel, Saint-Louis du Sénégal : mort ou renaissance, Harmattan, Paris 1992.

CHAPITRE 1/ L'ARTIFICIALISATION DU MILIEU

Les problèmes du Guiers dans le passé ont été l'avancée de la langue salée et la péjoration climatique, deux principaux facteurs qui ont contribué à la dégradation du milieu et à l'inefficacité du système productif et qui ont conduit à la mise en place d'aménagements.

1.1 - ÉTUDE DES AMÉNAGEMENTS DU MILIEU

Si le processus de péjoration et sa mise en place dans la région sont bien connus, il n'en est pas de même en ce qui concerne la pénétration de la langue salée dans le lac. Il est difficile de déterminer à partir de quelle période les eaux du lac ont commencé à être salées. Les témoignages à ce sujet sont nombreux et contradictoires comme le fait noter GROSMAIRE qui a étudié en détail ces points de vue contradictoires pour conclure à la fin que: *« du faisceau d'arguments pour et contre une salure récente, paraît se dégager la conclusion suivante : c'est depuis 1890-1900 que le lac recevait régulièrement chaque année, des apports d'eau salée. Avant cette date, ces apports étaient exceptionnels mais existaient... »*.

Toujours est-il que c'est la lutte contre la salure qui a occasionné les premiers aménagements hydrauliques sur le lac. Ces aménagements sont nombreux et différents par leur taille, leur nature et leurs fonctions. Ils peuvent cependant être regroupés en aménagements concernant directement le lac de Guiers et en aménagements réalisés sur le fleuve Sénégal et touchant indirectement le lac.

1.1.1 - LES AMÉNAGEMENTS AUTOUR DU LAC DE GUIERS

A l'état naturel, le Lac de Guiers fonctionnait sous l'influence de :

- Deux courants positifs : l'eau de la crue et un flot salé en provenance de l'océan en saison sèche ;
- Deux courants négatifs : l'intense évaporation et le reflux de l'eau douce vers le fleuve en fin de crue.

L'arrivée de la crue refoulait l'eau salée au fond du lac ou elle se stockait de plus en plus. Pour lutter contre cette accumulation de sel dans le lac est entrepris en 1915, la construction d'un barrage en ciment armé sur la Taoué. Cet ouvrage qui peut être considéré comme la première réalisation dans la région ne durât que 4 jours du fait d'un défaut d'ancrage et fut arrachée par une crue subite.

Des années 1925 à 1949, toujours dans le cadre de cette lutte contre la salinité, la construction de ces barrages en terre fut maintenue tous les ans dès que le courant commençait à s'inverser sur le lac.

En 1949, fut construit le premier pont-barrage de Richard-Toll sur la Taoué. Son système de fonctionnement était simple: dès que la cote de l'eau vers le Sénégal devient, au pont-barrage de Richard-Toll supérieure à la cote vers le lac, le barrage est enlevé et l'eau

commence le remplissage du lac. Quand le maximum de la crue est atteint, c'est à dire quand la crue commence à s'inverser dans la Taoué, l'eau quittant le lac, le barrage est fermé pour retenir l'eau captive dans le lac. Son niveau baisse alors dans la Taoué selon une durée de 10 à 15 jours pour une hauteur totale de plus de 1 mètre. Cette baisse s'explique par la diffusion de l'eau dans le bassin.

Ce pont-barrage a été d'un important apport à l'écosystème lacustre. Il permet de soustraire le plan d'eau à la remontée de la langue salée et d'alimenter les rizières le long de la Taoué. Il a aussi changé les facteurs internes du lac, permis à la végétation aquatique et aux poissons de proliférer (GROSMAIRE, 1957).

Les nouvelles conditions introduites par le pont-barrage de Richard-Toll ont permis un certain développement agricole. Ainsi, au Nord-Ouest du lac, la SDRS¹ aménage des casiers rizicoles de 1945 à 1955. L'administration coloniale, par l'intermédiaire de la MAS² aménage plus de 6000 hectares de riziculture irriguée mécaniquement.

Cette mise en valeur coloniale s'est poursuivie jusqu'en 1964 dans les cuvettes inondables de la moyenne vallée. A la mise en valeur agricole, fut ajoutée la production d'eau potable avec la construction de la digue de Niéti Yone en 1951 puis celle de Keur Momar Sarr en 1956. Ces digues en asséchant le Ndiaël et le Ferlo permirent la disponibilité permanente d'eau douce dans le lac.

Toujours dans cette même lancée de développement agricole permis par la possibilité de l'irrigation, la SAED (Société d'Aménagement et d'exploitation du Delta) fut créée en 1965 pour encadrer les paysans regroupés en coopératives. La SAED a joué un rôle très important dans tout le delta dès sa création. Elle conduisit une politique de colonisation pionnière et la construction de la route du *Diéri* de Saint-Louis à Matam. Cette politique a eu pour conséquence la fixation de la population autour des zones rizicultivables et a attiré beaucoup d'immigrants.

Le développement de l'agriculture s'est accompagnée d'une activité agro-industrielle relativement conséquente qui a drainé d'importantes populations qui viennent surtout pour travailler saisonnièrement à la coupe de la canne à sucre de la CSS.

Les fortes exigences en eau douce de la CSS la conduisent à mettre en place le canal de la Taoué en 1974 qui permet désormais d'alimenter le lac.

La Taoué, était à l'origine un marigot sinueux de 28 km de long se tortillant en multiples méandres avant de rejoindre le lac situé à 12 km au Sud, ce qui occasionnait des pertes de charges importantes (Figure 21). Afin de corriger ce problème, plusieurs études furent menées. À la suite de ces études, un canal d'une longueur de 17 km fut construit en 1974 par la SOSETER³. Il se présente sous la forme d'un grand arc depuis sa confluence avec le fleuve jusqu'au lac. Son profil en travers type présente une largeur de 45 m au plafond (COLY, 1996). Deux paliers sont reliés par des talus 3/1 de pentes. Le 1^{er} niveau correspond aux digues de protection situées à la cote +4,5 m IGN en rive est et à 3,5m IGN en rive ouest. Le 2^{ème} niveau appelé Risberme se situe à la cote +1,7m IGN. Enfin, son plafond fut abaissé à 2m IGN. Sa pente en long est quasi nulle.

Le dispositif hydraulique de la Taoué fut complété en 1980 par la construction d'un second pont-barrage (B2), 500 m en aval du premier. Le jeu des 2 ponts-barrages permettra

¹ Société de Développement Rizicole du Sénégal

² Mission d'Aménagement du Sénégal

³ Société Sénégalaise de Terrassement

ainsi à la CSS de prélever ses eaux d'irrigation soit à partir du fleuve soit au départ du lac en fonction de la période de l'année et de la qualité des eaux fluviales.

Les types d'ouvrages cités précédemment ont été mis en place pour améliorer l'alimentation du lac de Guiers et le préserver de la langue salée. Le lac désormais préservé de l'eau salée et pouvant être alimenté par le nouveau canal de la Taoué, il fallait le rendre apte à contenir la plus grande quantité d'eau possible. Ce stock alimenterait les besoins en eau des cultures et la production d'eau potable pendant toute l'année. Il fallait donc accompagner la lutte contre la salure et le mauvais remplissage d'une politique d'endiguement.

Plusieurs kilomètres de digues ont été aménagés pour améliorer la cote de remplissage du lac en fermant ses exutoires naturels (Figure 22).

Parmi les plus importantes, on peut citer : la digue de Niéti Yone (NW du lac) construite en 1951, longue de 10 km environ ;

- la digue de protection du casier sucrier de la CSS au NE ;
- la digue de Naéré (Centre Ouest) qui isole une cuvette de 800 ha ;
- la digue de Mbane-Saninthe édifiée par les populations elles mêmes puis renforcée par la SAED pour protéger les périmètres rizicoles ;
- la digue reliant Dialang aux berges du lac réalisé en 1988 ;
- la digue de Keur Momar Sarr, érigée en 1956, composée d'une digue de protection et d'une digue de barrage ;
- l'ouvrage de Ndieng, réalisé sur la brèche du Niéti Yone.

En plus de ces actions concrètes d'aménagement de son espace, le lac a été au centre de plusieurs projets d'aménagement et de réaménagements de plus grande envergure.

1.1.2 - LES GRANDS AMÉNAGEMENTS DU FLEUVE SÉNÉGAL

Les premières études d'aménagement de la vallée du fleuve Sénégal datent de la période coloniale. Elles furent entreprises par diverses entités : la mission de l'ingénieur Émile BELIME, l'Organisation Autonome de la Vallée (OAS), la MAS, l'Union Hydroélectrique etc.

C'est avec la création en 1963 du Comité Inter États (CIE) pour l'Aménagement du fleuve Sénégal regroupant la Guinée, le Mali, la Mauritanie et le Sénégal que l'idée d'un aménagement intégré à l'échelle du bassin, prend corps. Grâce surtout aux études de base menées par le PNUD (Programme des Nations Unies pour le Développement) en collaboration avec SÉNÉGAL-CONSULT.

La nécessité de la régularisation du débit du fleuve à 300 m³/s et le statut international du fleuve furent mis en évidence par le CIE. Le CIE fut érigé en Organisation des États Riverains du fleuve Sénégal en 1968 puis cette dernière devint OMVS par la convention du 11 mars 1972 de Nouakchott. L'OMVS regroupe le Mali, la Mauritanie et le Sénégal et a aujourd'hui à son actif la réalisation de 2 ouvrages : le barrage anti-sel de Diama (construit de 1981 à 1986) et le barrage réservoir de Manantali (construit de 1982 à 1988).



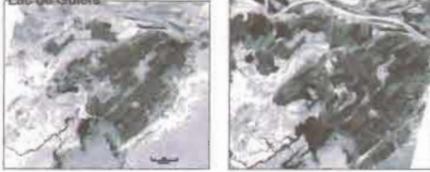
Composition colorée RGB 321
Image Spot XS, 01/02/89
Lac de Guiers



NORTH

Composition colorée RGB 321
Image Spot XS, 11/11/93
Lac de Guiers

Bande XS 1 de l'image Spot 2 du 01/02/89 (gauche) et
Bande XS 1 de l'image Spot 2 du 11/11/93 (droite)
Lac de Guiers



Corrections géométriques
Corrections atmosphériques



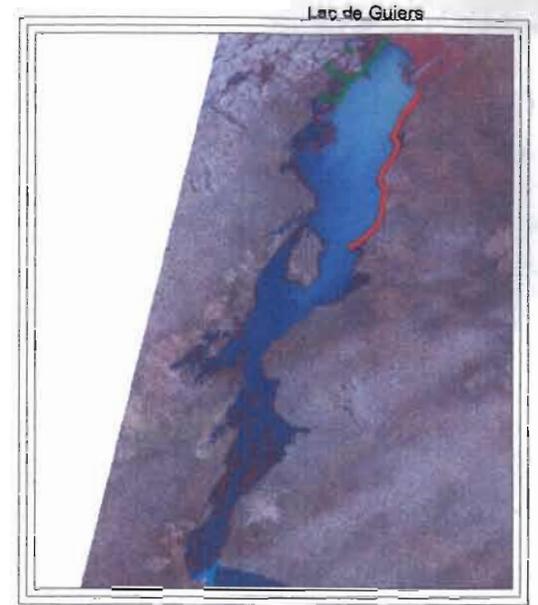
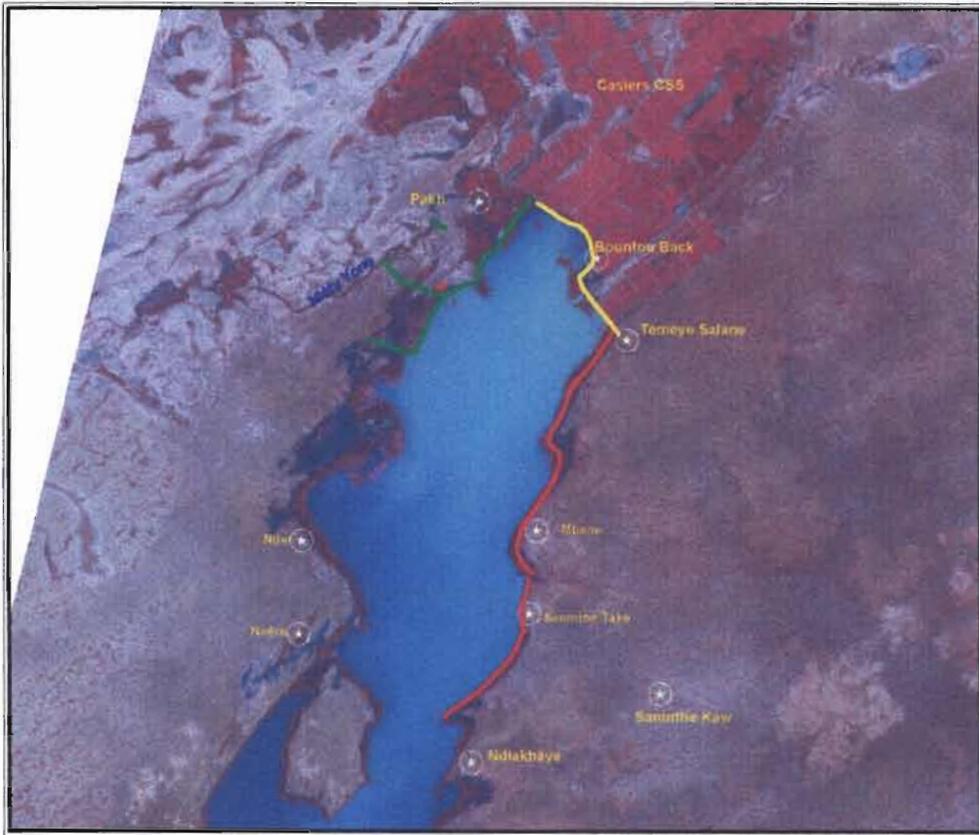
Résultat de la composition colorée multidate



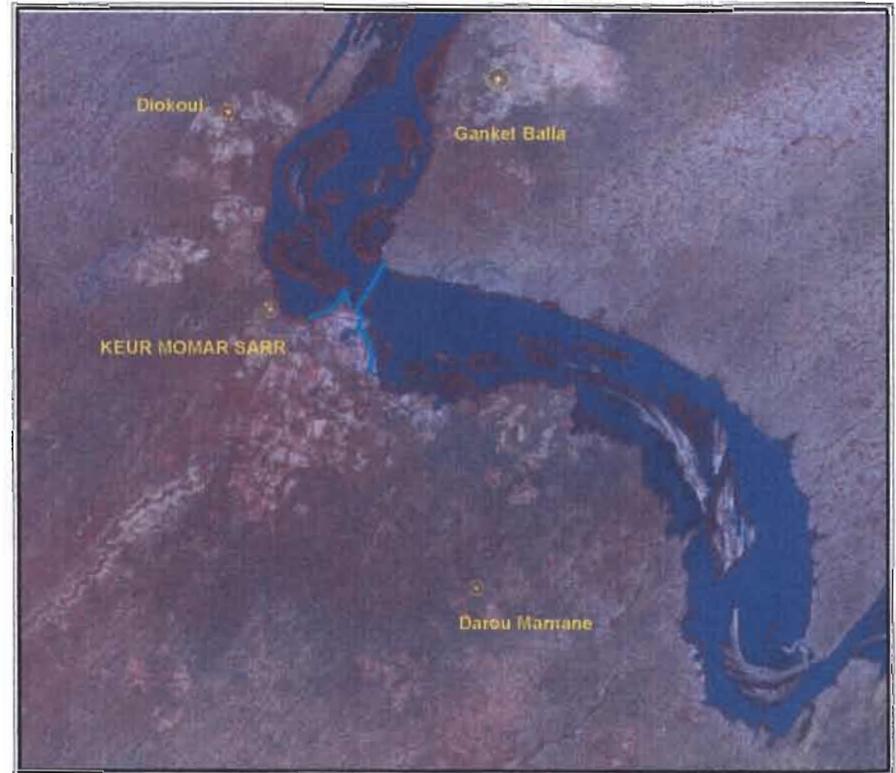
Les digues dans la région du lac de Guiers

55

Partie Nord du Lac de Guiers



Partie Sud



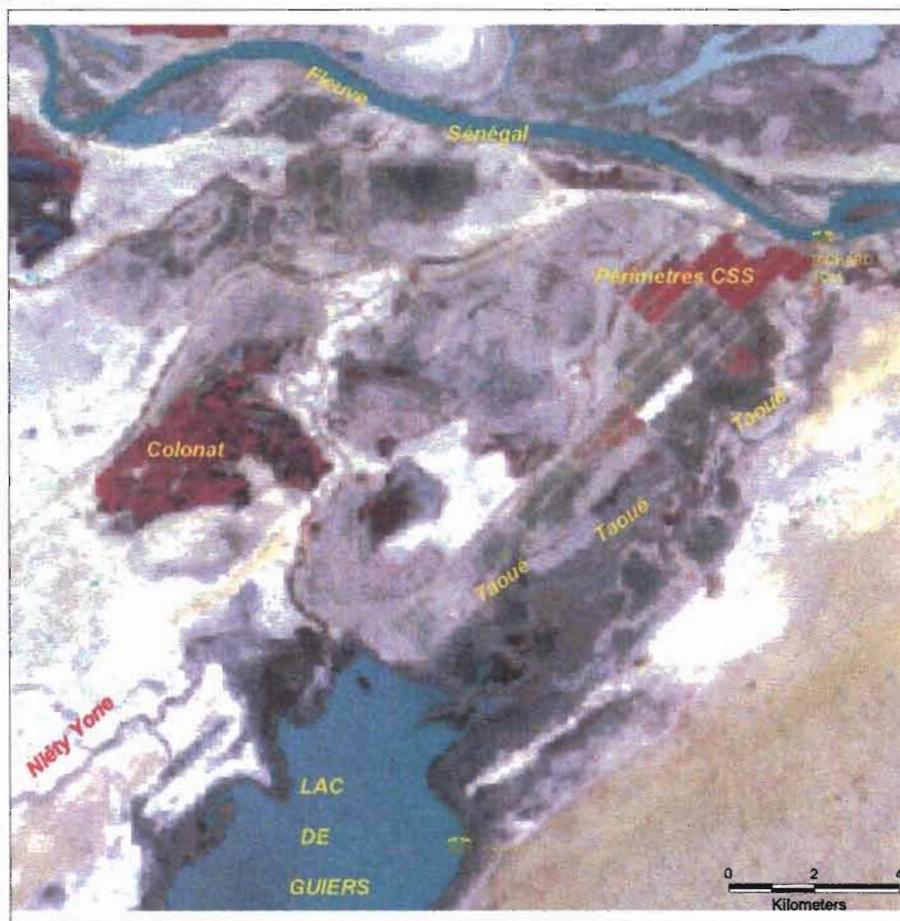
Composition colorée RGB 321
Données: image Spot
Lac de Guiers, 8 octobre 1998

Légende

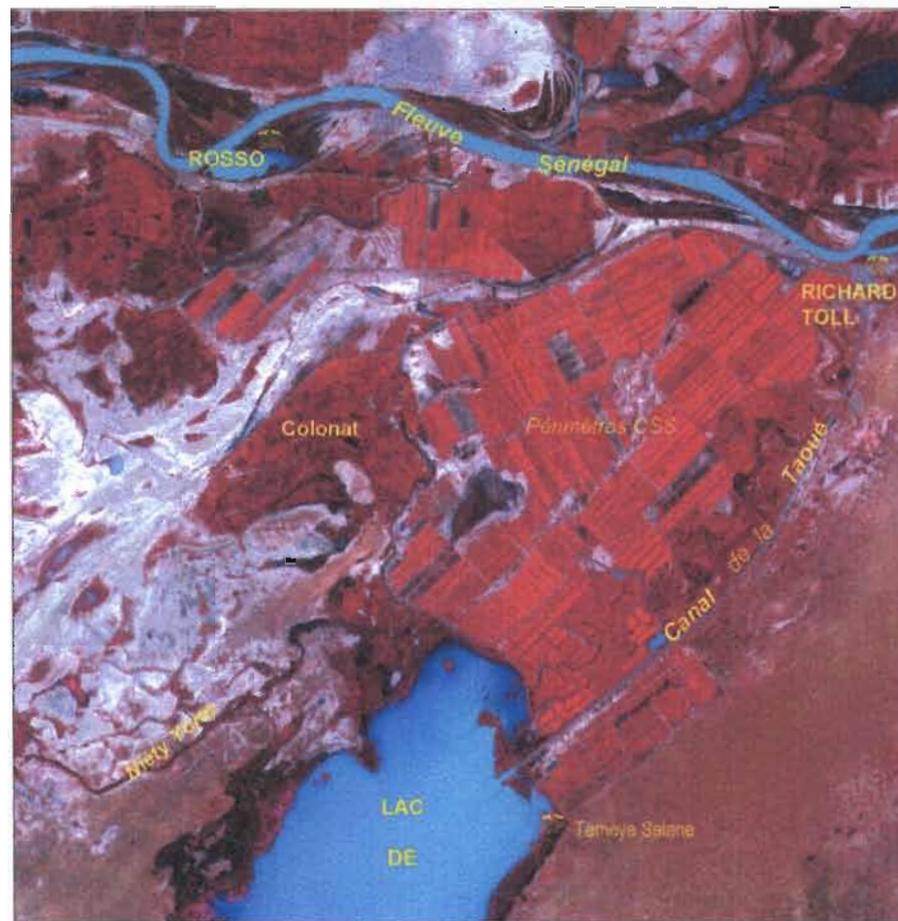
-  Dignes dans le Secteur de Keur momar
-  Dignes dans le Secteur de Pakh
-  Dignes dans le Secteur de Témeye
-  Quelques villages

Données sur le tracé des digues:
Awa Niang (Projet Sectoriel Eau, 1999)

Figure 3: La Taoué et le nord du lac de Guiers en 1972 et en 1998



Composition colorée RGB 321
Extrait de l'image Landsat MSS1
Lac de Guiers, 30 septembre 1972



Composition colorée RGB 342
Extrait de l'image Spot XS 4
Lac de Guiers, 8 octobre 1998

NORTH

Le barrage de Diama a été opérationnel à partir du 14 novembre 1985. Mais, il ne fut achevé qu'en 1986. Il a été mis en place afin de stopper la pénétration de l'eau marine dans le fleuve en saison sèche. Il a remplacé les barrages de Khcune I et II qui ont successivement joué le même rôle. Outre l'arrêt de l'avancée de la langue salée provenant de l'océan, le barrage de Diama permet aussi la constitution d'une réserve d'eau en amont pour permettre l'irrigation.

Il se compose d'un ouvrage principal (évacuateur de crue avec 7 passes et 1 écluse) et de digues contiguës aménagées pour rehausser le plan d'eau et permettre la navigation.

Le barrage de Manantali se trouve sur la confluence du Bafing et du Bakoye à 80 km à vol d'oiseau de Bafoulabé au Mali. Il est destiné à la régularisation des débits à Bakel autour de 300 m³/s et à la création d'un lac artificiel dont le bassin couvre 30 000 ha et qui peut contenir 11,3 milliards de m³. Ce réservoir devra permettre en phase finale de fournir l'eau nécessaire à l'irrigation de 300 000 à 375 000 hectares de terre ; la production de 800 GWH (gigawats/heure) en moyenne d'énergie pour l'alimentation des capitales des États membres et des régions traversées par le fleuve et la navigation pérenne sur le fleuve de Saint-Louis à Ambédébé.

Il a permis la disponibilité permanente d'eau douce dans le delta. Ces conséquences sur le lac se sont rapidement fait sentir. La CSS pompe désormais 90 % de ses besoins directement dans le fleuve, la digue de Keur Momar Sarr a été réouverte en 1988 sur demande de la SONEES pour permettre l'adoucissement des eaux méridionales du lac de Guiers et la remise en eau du Ferlo a pu être entamée.

La réouverture des vannes de la digue de Keur Momar Sarr en 1988 permit ainsi la réalimentation en eau de la vallée du Ferlo à sec depuis plus de 30 ans. Cette mise en eau devait permettre la mise en valeur des terres de la vallée fossile et l'adoucissement des eaux méridionales du Guiers.

Les remplissages très conséquents des années 1991 et surtout 1992 ont eu raison des digues de l'extrémité Nord-Ouest et de la rive Est du Guiers qui furent réfectionnées à la hâte. Au Sud, la digue de Keur Momar Sarr, délabrée et sur le point de céder, fut entièrement restaurée durant l'année 1993.

La remise en eau de la dépression du Ndiaël fut tentée en 1994 grâce à la réouverture du marigot de Nieti Yone, fermé 30 ans plus tôt. Développement agricole et création d'une réserve ornithologique étaient les principales raisons de cet aménagement. L'envahissement du marigot par la végétation aquatique empêchera par la suite l'alimentation du Ndiaël par le lac.

Les aménagements se poursuivent encore de nos jours et le lac demeure au centre de beaucoup de projets de développement parmi lesquels une deuxième prise d'eau prévue à Keur Momar Sarr afin d'améliorer les conditions de ravitaillement en eau de Dakar. Au nombre des projets figure aussi le projet Canal du Cayor (abandonné ?) et la revitalisation des vallées fossiles (suspendu à cause de divergences entre le Sénégal et la Mauritanie au sein de l'OMVS).

Le nombre et la diversité des aménagements apportés au lac et les efforts fournis pour la conservation de ces aménagements montrent s'il est encore besoin toute l'importance que revêt la région du lac de Guiers. Ces aménagements ont induit de nouvelles conditions dans le milieu qui ont affecté les hommes et la nature.

La gestion de cet écosystème demeure au centre des enjeux du delta et le sera sans doute encore pour longtemps à cause de la croissance des activités agricoles et de celle des besoins en eau potable des villes et surtout du fait de nouveaux aménagements qui doivent être entrepris : émissaire delta, canal du Cayor, Vallées fossiles...

1.2 - LES CONSÉQUENCES DES AMÉNAGEMENTS SUR LE LAC ET LES ACTIVITÉS HUMAINES

Les aménagements apportés à l'écosystème lacustre du lac de Guiers ont eu plusieurs conséquences. Parmi celles-ci certaines sont directes et concernent le lac, d'autres indirectes et moins facilement perceptibles influencent les hommes et leurs activités.

1.2.1 - CONSÉQUENCES DES AMÉNAGEMENTS SUR LE LAC

Les conséquences des aménagements sur le lac concernent principalement l'amélioration du remplissage et celle de la qualité des eaux.

1.2.1.1 - Évolution du plan d'eau

L'historique du fonctionnement hydrologique du Lac de Guiers a été vu précédemment. Il ne s'agit ici que de retracer la tendance générale du niveau du plan d'eau.

Le lac de Guiers a pendant longtemps souffert de l'aridité climatique et de l'avancée des eaux marines. La Figure 23 montre l'évolution des conditions de remplissage du lac de 1976 à 1998 et les anomalies de pluviométrie de la même période. Elle montre une bonne adéquation d'une part entre la pluviométrie et le niveau du plan d'eau et d'autre part entre les aménagements et le remplissage du lac.

De manière globale, on peut dire que l'évolution du remplissage du Guiers s'est faite depuis 1976 en 3 grandes étapes :

- *de 1976 à 1983*

Les conditions de remplissage du lac sont médiocres, avec une moyenne de 0,41 m. Elle correspond sur le plan climatique à une période sèche. Le lac se remplit très mal et certaines années (1983), la moyenne est même négative (-0,03), ce qui correspond au maximum d'anomalie négative de pluviométrie de la période (-1,56). Les deux valeurs sont en effet les minima de la période tant au point de vue de la pluviométrie que du niveau du plan d'eau. On note de manière générale, une bonne corrélation entre les tendances de la pluviométrie et de niveau du lac..

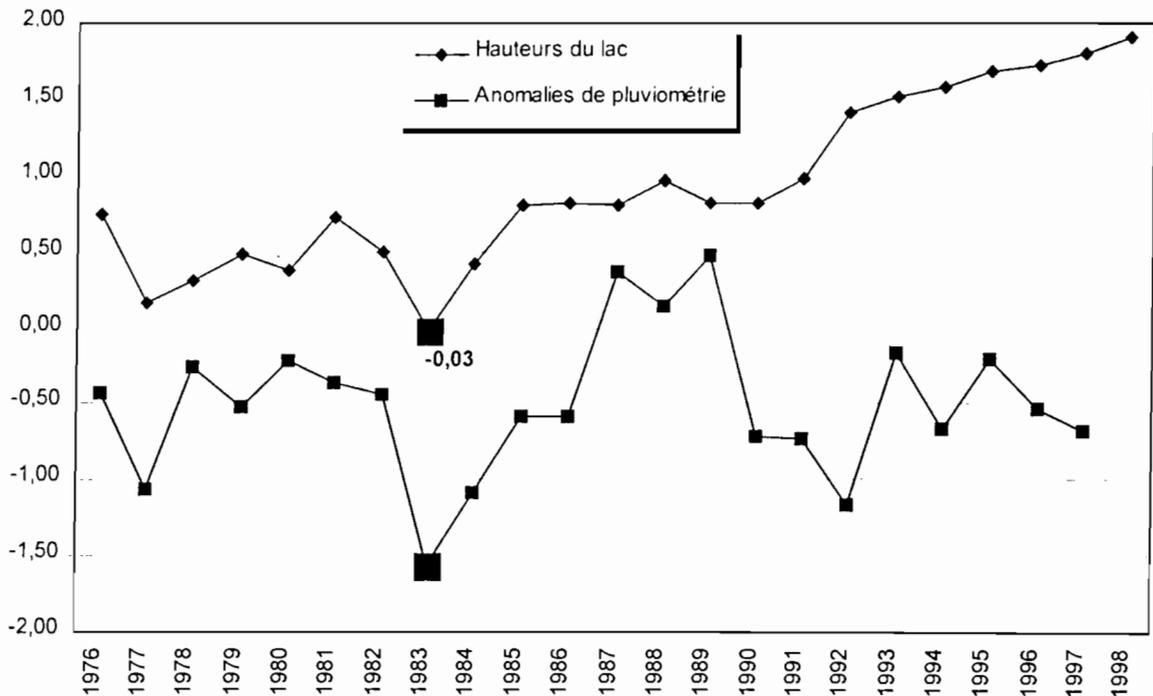


Figure 23 : Niveau moyen annuel du lac Guiers et anomalies de pluviométrie de 1976 à 1998

▪ de 1983 à 1991

Cette période coïncide avec la mise en fonction d'abord du barrage de Kheune (25 novembre 1983), puis du barrage de Diama (14 novembre 1985). Ces deux barrages, il faut le rappeler outre le fait d'arrêter l'avancée de la langue salée dans l'océan, constituaient des réserves d'eau en amont. Leurs effets sont très visibles sur la courbe puisque dès 1983, on constate une hausse progressive du niveau moyen du lac et une timide remontée de la pluviométrie. Cette tendance à la progression va se maintenir avec l'entrée en fonction en 1987 du barrage de Manantali.

▪ de 1991 à 1998

De 1991 à 1998, on note une forte progression du niveau du plan d'eau du lac surtout à partir de 1993 qui correspond à l'opération l'eau à Linguère.

Cette période de hausse du niveau du plan d'eau qui passe enfin la barre de 1 mètre, est le reflet de nouveaux choix d'aménagements et de leur mise en œuvre (Vallées Fossiles, Eau à Linguère...). Bien que ne coïncidant pas à une période humide au plan climatique, les barrages ont permis grâce à la réserve d'eau qu'ils ont constitué de bons remplissages du lac. Nous sommes désormais dans une phase de maîtrise de l'eau. Le lac est rempli selon les besoins des utilisateurs (SDE, CSS, Vallées Fossiles...)

1.2.1.2 - Bilan général de la qualité des eaux

La qualité des eaux du lac de Guiers a fait l'objet de nombreuses études, (COGELS et al., GAC et al...; et plus récemment NIANG (A) et SGPRE¹ dans le cadre de l'étude bathymétrique et

¹ Service de Gestion et de Planification des Ressources en Eau (Ministère de l'hydraulique

limnologique du lac de Guiers (Projet Sectoriel Eau, 1999) ont effectué plusieurs séries de mesures de certains paramètres de la qualité des eaux et ont observé :

- la baisse de la salinité du lac avec des taux moyens de 146 mg/l en décembre 98, 134 mg/l en février 99 et 131 mg/l en mai 99.
- Des teneurs en chlorures et sodium (environ 10 et 15 mg/l) conformes aux normes en vigueur (200 mg/l pour la production d'eau potable).
- Un pH moyen élevé surtout dans la partie centrale (9,27 en mai 1999, pH moyen 8,6 pour la même période)...

L'étude du SGPRE a confirmé l'amélioration de la qualité des eaux du lac de Guiers. Celles-ci concernent surtout la baisse de la salinité, des chlorures et sodium... Il existe cependant quelques problèmes dus à l'abondance des planctons (pH élevé), des risques d'eutrophisation (teneurs élevées en azote et en nitrates)...

Les aménagements apportés sur le lac et le fleuve Sénégal ont amélioré la qualité des eaux du lac de Guiers. Les améliorations notées sont : baisse de la salure.

1.2.2 - LES CONSÉQUENCES DES AMÉNAGEMENTS SUR LES ACTIVITÉS HUMAINES

Les conséquences des aménagements les plus remarquables dans la région du lac de Guiers sont sans doute celles qui sont intervenues dans le domaine de l'agriculture. C'est d'ailleurs elle qui a été et qui demeure au centre des préoccupations des efforts de planification. Les enjeux et le potentiel énormes que revêt cette activité ont en effet motivé la quasi-totalité des aménagements. Elles ont été au centre de toutes les études portant sur le milieu et sont donc bien connues. Il s'agit principalement de mutations intervenues dans les cultures traditionnelles de décrue et l'apparition de nouvelles formes d'agriculture basées sur l'irrigation.

1.2.2.1 - Déclin des cultures traditionnelles de décrue

L'agriculture de décrue est une pratique très ancienne dans la région. C'est un système de culture traditionnel modelé sur le régime naturel des eaux et qui consiste à suivre le retrait des eaux en semant sur les terres ainsi libérées par la décrue (le *Walo*). Les plantes cultivées dépendent exclusivement de l'eau retenue dans le sol pour leur croissance. C'est une agriculture dépendant de la crue et non de la pluviométrie (qui est un facteur limitant dans la région) et s'est d'ailleurs progressivement développée face à l'insuffisance des revenus générés par les cultures pluviales dévalorisées par la péjoration climatique.

Elle comporte une dimension sécurisatrice très importante qui explique en partie, le recul de cette activité fortement remise en cause par les nouvelles conditions du milieu qui ont accru l'imprévisibilité de la crue. Des arrivées inopinées d'eau ont dans le passé détruit les cultures.

Les problèmes majeurs actuels de cette agriculture sont la constance du niveau du plan d'eau et la prolifération de la végétation aquatique.

En effet, depuis 1988, l'extension du plan d'eau s'est faite au détriment des cultures de décrue. Les terres sur lesquelles elles étaient pratiquées sont désormais occupées par les eaux qui sont maintenues à une hauteur élevée. C'est la constance du niveau principalement qui remet en cause les cultures traditionnelles de décrue. Les paysans que nous avons rencontrés ne voient pas d'inconvénient à ce que le niveau de l'eau soit élevé pourvu que la décrue aussi soit importante. L'importance de la crue leur est en effet bénéfique au plan des superficies emblavées et aussi au

plan de la diversification des cultures. Plus la décrue est importante, plus les espèces pouvant être semées sont nombreuses, des plus rustiques jusqu'à celles nécessitant beaucoup d'humidité comme le piment.

L'intérêt des cultures de décrue dans la région est avéré depuis longtemps. De nombreuses études l'ont démontré. Depuis GROSMIRE (1957) jusqu'à NIANG (1999) en passant par MATHIEU (1983)... toutes les études effectuées sur le milieu ont recommandé la prise en compte de l'agriculture de décrue dans les choix d'aménagement et les politiques à mettre en œuvre.

GROSMIRE recommandait dès la fin des années 50, une baisse partielle ponctuelle du niveau du LAC afin d'éliminer la végétation aquatique et permettre ainsi l'exploitation des terres libérées. Il voyait en l'agriculture de décrue un facteur pouvant relancer l'économie de la région.

COGELS et al.¹ déconseillent dans les choix possibles de gestion de « *laisser la jonction fleuve-lac ouverte en continu* » car cela *interdirait « la valorisation agricole des terres de décrue autour du lac »* et recommandaient de maintenir des variations de niveau qui « *favoriseraient la mise en valeur des terres potentielles de décrue* ».

Il semble aujourd'hui que ces conseils n'aient pas été respectés car les problèmes contre lesquels les auteurs mettaient en garde sont devenus des réalités dans la région : prolifération des plantes aquatiques, déclin des cultures de décrue...

Les paysans partout dans le monde sont connus pour leur grande et rapide capacité d'adaptation aux contraintes naturelles. Cette adaptation a donné dans certaines régions du monde des formes spectaculaires d'agriculture (cultures en escaliers pratiquées par les mayas sur les flancs des montagnes, jardins flottant dans l'eau en Asie...). Cette adaptabilité s'explique aussi par la tendance à minimiser le risque encouru et est un indicateur pertinent de la pérennité d'un système de culture.

Les paysans de la vallée (sahéliens) habitués à se confronter à de multiples aléas ont dû fréquemment réadapter leurs activités agricoles et leurs techniques culturelles aux caprices du climat et des cours d'eau. Ainsi les nouvelles caractéristiques hydrologiques du lac de Guiers ont-elles été suivies d'une adaptation aux nouvelles conditions. Cette réadaptation consiste essentiellement en une plus grande utilisation de l'eau désormais abondante et de bonne qualité dans le cadre de l'irrigation.

1.2.2.2 - La prolifération des plantes aquatiques

Les aspects quantitatifs de la prolifération des plantes aquatique sont analysés plus loin. On a noté le développement des plantes aquatiques dans le lac de Guiers de manière récurrente dans le passé (GROSMIRE...). Les plantes aquatiques ont trouvé dans l'adoucissement de l'eau et la stabilité de son niveau des conditions favorables à leur développement.

Cette prolifération est à la source de nombreux problèmes parmi lesquels (ils seront abordés plus en détail à la section 2.3.2.2 -).

- réduction des surfaces cultivables en décrue
- réduction des voies d'accès au lac
- difficultés de navigation
- bilharziose...

¹ Cogels, F.X., Niang A., Coly A., Gac J.Y., Le lac de Guiers Étude générale du système lacustre et problématique de gestion, 1994

1.2.2.3 - La nouvelle place de l'irrigation

Les possibilités offertes par le lac de Guiers pour l'agriculture se résument à la disponibilité d'une eau de bonne qualité. Pour tirer profit de cet atout non négligeable, toute activité agricole doit donc utiliser de manière efficiente cette eau.

La disponibilité d'une eau abondante et de bonne qualité permet au paysan de ne plus attendre l'arrivée de la crue ou de la pluie pour pouvoir utiliser l'eau dans ces activités agricoles.

Cette utilisation pouvant se faire de toute façon soit par arrosage manuel soit par irrigation. Ce sont ces techniques culturales qui aujourd'hui sont pratiquées dans la zone de décrue ou pour parler précisément sur les rives du lac dans le cadre du maraîchage irrigué qui prend progressivement la place des cultures traditionnelles de décrue. Les systèmes de culture sont désormais centrés autour de l'irrigation. Il s'agit principalement de la riziculture et du maraîchage. Si le maraîchage irrigué est d'apparition récente au lac de Guiers, il n'en est pas de même de la riziculture pratiquée depuis avant les indépendances.

En effet, avec Guédé, la région du lac de Guiers constitue l'un des premiers centres d'implantation de la culture irriguée dans la vallée du fleuve Sénégal.

La première expérience a été tentée en 1944 à Richard-Toll avec un périmètre occupant 630 ha en 1948. Cette expérience ayant été un succès fut élargie en un grand casier rizicole de 6000 ha. Ce casier devait être le point de départ pour l'aménagement de tout le delta mais se terminât par un échec et fut récupéré en 1970 par la C.S.S. qui y cultivera de la canne à sucre.

Les aménagements réalisés pour le compte de la riziculture ont été :

- Casier de Colonat (360 ha) à l'ouest de Richard-Toll en 1957 alimenté par le canal principal du casier de Richard-Toll
- Thiago et Nder (Naéré), culture de riz en submersion contrôlée (1959-1962)
- Construction d'une digue en terre de 2 km de long à Mbane et culture de 70 ha de riz de 1964 à 1966.

La riziculture a donc été tentée très tôt et encouragée dans le Guiers. En 1957 déjà, apparaissait la notion "*d'encadrement rapproché*". Elle consistait à faire des prestations de service (planage, labours, fourniture d'engrais et d'herbicides) au profit des paysans préalablement regroupés en coopératives de production. Les paysans remboursaient en nature s'ils préféraient après les récoltes. Ainsi fut créé le principe du colonat en 1957. Des paysans provenant de différents villages furent regroupés pour exploiter un casier de 330 ha. Le succès de cette expérience ne fut cependant que partielle à cause de problèmes d'aménagement. Ce demi-échec motivât en 1960 l'extension de la riziculture par submersion contrôlée dans les villages de Ndombo, NThiago, Mbane, Nder mais se soldèrent par des échecs.

Les résultats de la riziculture ont été décevants malgré les efforts consentis et les énormes investissements. Malgré ces échecs, la riziculture est encore pratiquée dans la plupart de ces villages et semble intéresser beaucoup de paysans à cause sans doute hormis les revenus conséquents qu'elle génère. la grande quantité de riz autoconsommée par le paysan.

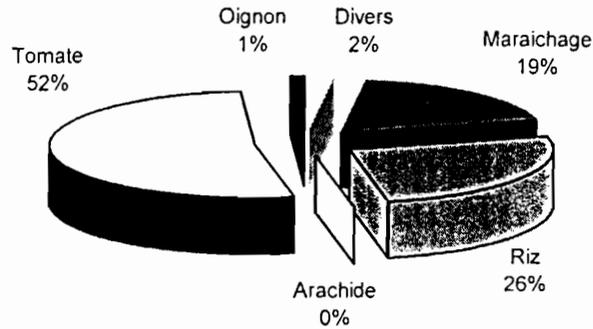


Figure 24: Différents types de production agricoles dans le Guiers (Coly, 1996)

Le riz étant la base de l'alimentation locale, il serait de toute façon obligé de l'acheter.

La Figure 24 montre quelques productions de certains systèmes de culture dans la région du lac de Guiers. La domination de la tomate et du riz est très nette et par delà, elle révèle la place occupée par le maraîchage dans l'activité agricole.

La culture de la tomate est pratiquée depuis longtemps dans la région. Elle fut réintroduite au début des années 80 par la SOCAS¹. Elle est essentiellement cultivée en contre saison froide.

Parmi les systèmes de culture apparus dans le Guiers, le maraîchage irrigué est celui dont l'apparition est la plus récente. En effet, le maraîchage irrigué a commencé à être pratiqué dans le Guiers au début des années 80. Dès le départ, cette activité a donné de bons rendements. À Nder ou il a été introduit par la Maison Familiale Rurale (THIAO, ISE 1983), les profits avaient été très élevés de même qu'à Saninthe.

Le maraîchage irrigué s'est affirmé dès le début comme un concurrent sérieux de la riziculture irriguée. Les cultures maraîchères ont fourni des résultats en valeur monétaire beaucoup plus élevé que le riz avec un coût de l'irrigation moins élevé.

Signalons enfin l'apparition et le développement de la culture irriguée de la patate. Elle ne s'est développée que très récemment mais jouit cependant d'une considération croissante de la part des paysans car elle pourvoyeuse de revenus consistants (un périmètre d'un hectare rapporte selon les paysans en moyenne 650 000 francs). Son développement risque pourtant de poser des problèmes car c'est une plante qui appauvrit le sol. Les paysans en sont conscients qui pratiquent des jachères de 2 à 3 ans après une saison de culture.

Ainsi la culture de la patate non seulement contribue à la dégradation des sols mais aussi consomme beaucoup d'espace. D'ailleurs, les exploitations sont déjà pour la plupart localisées très loin des limites traditionnelles du terroir. Les exploitants quittent le village pour s'établir à côté de leurs exploitations dans des cases construites pour la circonstance. Il n'est pas rare de trouver ainsi une famille entière à côté de ses périmètres.

Le développement de l'agriculture irriguée a drainé d'importantes populations et a introduit un phénomène sans précédent dans le milieu. Il s'agit d'une recomposition de l'espace marquée par un dynamisme très fort dans le peuplement de la zone de contact *Walo* et *Diéri*. Ce dynamisme est à l'origine de problèmes fonciers vivaces.

¹ Société des Conserves Alimentaires du Sénégal

1.2.2.4 - Les conflits d'utilisation de l'espace

La région du lac de Guiers est une région défavorisée par la pluviométrie. Une agriculture doit pour y fournir des rendements appréciables, se baser nécessairement sur l'eau du lac. Les populations l'ont compris qui ne voient leur salut que sur les rives du lac dans les cultures de décrue ou dans l'agriculture irriguée. Les cultures de décrue du fait de la constance du plan d'eau ne peuvent faire l'objet d'une planification rigoureuse. La seule alternative dès lors demeure l'agriculture irriguée et les profits conséquents qu'elle laisse miroiter. Les populations à l'image des sociétés de plus en plus nombreuses à s'installer dans la région, sont de plus en plus attirées par l'irrigation. Cette agriculture demande cependant beaucoup de moyens financiers que les paysans locaux n'ont pas, ils s'approprient ainsi la terre en attendant que les moyens suivent.

Les aménagements hydroagricoles en permettant de mettre en valeur le *Diéri* ont renforcé cet enjeu. Les terres du *Diéri* traditionnellement sans grande valeur du fait de la sécheresse et surtout de la faible pression démographique acquièrent désormais une plus grande importance.

Les nouveaux enjeux suscités par l'irrigation ont favorisé le retour à la terre de beaucoup de fils du terroir et d'autres étrangers disposant de capitaux. Ce qui fait qu'il y a une forte demande que le Conseil Rural qui attribue les terres a beaucoup de mal à gérer.

Tous ces facteurs ont causé l'apparition de problèmes fonciers qui n'existaient pas avant dans la région et qui sont venus se greffer aux traditionnels conflits entre pasteurs et éleveurs.

« L'attribution des terres est objet de conflits entre particuliers et entre communautés rurales par la carence des actions réglementaires au plan foncier telles les conditions d'attribution et de sélection des attributaires. Cette carence favorise l'émergence de mécanismes "flous" au service d'intérêts individuels électoralistes, ethniques ou économiques. Les tares des enjeux politiques et économiques s'impriment sur le foncier. Les conflits partisans du politique et les rapports de force ethniques teintent les rapports à la terre et les pratiques au niveau foncier. » (COLY, 1996)

Les textes qui se sont succédés pour régler le foncier sont en effet flous et sujets à différentes interprétations. Ils stipulent par exemple que l'affectation des terres est un attribut du Conseil Rural qui doit les octroyer aux membres de la communauté mais ne définissent pas qui sont ses membres de la communauté.

Toujours est-il qu'on observe un développement de l'entrepreneuriat agricole qui fait que les paysans sont de plus en plus dépossédés de leurs terres au profit de "projets" qui font d'eux des ouvriers agricoles.

La région du lac de Guiers appartient à une région quelque peu défavorable à l'agriculture. Sa superficie est constituée dans une large mesure de dunes, de sols acides et salins dans le *Diéri*. Les terres du *Walo* plus fertiles ne sont pas très étendues.

L'intervention de l'homme a été nécessaire pour améliorer les conditions de productivité de ce milieu. Les régimes hydrologiques du lac et du fleuve dont il dépend ont été progressivement modifiés par la mise en place d'aménagements.

Beaucoup d'aménagements ont été réalisés dont les plus importants demeurent :

- Le barrage de Diama dont la fermeture en 1986 a permis la protection de la majeure partie des terres basses contre l'eau salée de la mer. Il permet en outre la retenue en amont de 250 à 500 millions de m³ d'eau douce selon la côte de gestion.

- Le barrage de Manantali au Mali a rendu possible la régulation de la crue et le stockage de plusieurs millions de m³ d'eau douce.

L'artificialisation du milieu a permis un développement agricole remarquable qui a attiré d'importantes population. Le développement de la riziculture irriguée et des agro-industries en particulier ont causé des mouvements de population.

Cette croissance démographique a densifié le peuplement rural mais n'a pas modifié l'opposition fondamentale *Walo/Diéri*. Les groupements humains les plus importants sont toujours localisés dans la zone de contact *Walo/Diéri*, zone dans laquelle on observe des conflits fonciers. L'accès aux bonnes terres du *Walo* et celles irrigables sont au cœur du problème. Les paysans de la région craignent l'invasion de leurs terres par des agriculteurs venant d'autres régions du pays.

Le développement de l'agriculture permis par la mise en place des barrages n'est pas suivi par l'exécution d'ouvrages structurants ce qui risque d'exacerber la concurrence pour l'eau malgré que la ressource soit suffisante. Il pourrait aussi se poser un problème d'accès à l'eau et aux collecteurs de drain de petits périmètres irrigués souvent éloignés.

L'artificialisation du milieu a également créé des risques environnementaux dont les plus importants sont liés au développement de l'agriculture et à la croissance des plantes aquatiques.

CHAPITRE 2 / APPLICATION DE LA TÉLÉDÉTECTION À L'ÉTUDE DES CHANGEMENTS DU MILIEU

L'action de l'homme sur la terre atteint maintenant le niveau global des grands processus régissant l'équilibre de la biosphère (HOBBS, 1990)¹. Par exemple la déforestation qui touche les forêts intertropicales se traduit par des changements à l'échelle locale et régionale (modification du bilan énergétique, du cycle de l'eau et des éléments du sol, érosion hydrique...) et globale (augmentation de la concentration du gaz carbonique dans l'atmosphère, effet de serre) (FONTAIN, 1994)².

Il est dès lors nécessaire de détecter et de comprendre les variations des processus physiques et biologiques régulant le système terrestre. La compréhension de phénomènes dynamiques comme la désertification, la déforestation ou l'évolution de l'utilisation des sols est d'une grande importance pour saisir et apprécier les effets des activités humaines sur les processus fondamentaux qui sont à la base du système géosphère-biosphère.

L'apparition de la télédétection et des satellites à haute résolution comme LANDSAT puis SPOT ont ouvert de nouvelles voies d'investigation en matière de gestion des ressources naturelles. Depuis, beaucoup de techniques ont été développées et testées. Certaines d'entre elles si leur fiabilité est avérée, rendraient des services considérables aux efforts de recherche, de gestion et de planification des écosystèmes.

Les actions de l'homme, souvent incordonnées ou inconsidérées marquent - parfois de manière irréversible - son environnement. Il s'ajoute à ses actions d'autres phénomènes naturels qui font que toute surface terrestre évolue nécessairement. Il est donc nécessaire que toute action sur un milieu quelconque soit accompagnée d'une évaluation périodique.

Le lac de Guiers, principale pour ne pas dire unique réserve d'eau douce du Sénégal, pays sahélien confronté à un déficit pluviométrique tenace, a subi beaucoup de transformations de la part de l'homme. Milieu fortement anthropisé, certaines caractéristiques de ces mutations font l'objet de beaucoup d'attentions de la part des chercheurs et des planificateurs qui tentent de suivre l'évolution du lac et de sa région.

Les techniques de télédétection peuvent constituer un outil rapide et efficace à mettre en œuvre dans la perspective d'une gestion rapprochée du lac et de sa région. Nous essaierons dans le cadre de cette étude de démontrer l'efficacité de certaines de ces techniques.

Comme toute discipline scientifique, la télédétection comporte son langage technique et ses concepts qu'il est important de maîtriser. Elle repose en outre sur un certain nombre de principes fondamentaux qui régissent les applications possibles de la télédétection.

¹ Hobbs, R., 1990. Remote Sensing of Spatial and Temporal Dynamics of Vegetation. in Remote sensing of Biosphere functioning, Hobbs & Mooney eds., Springer Verlag, New York, pp 203-219.

² Fontain J., 1994. Changements globaux et développement. *Nature-Sciences-Société*. Vol. 2, n°2, pp. 143-152.

2.1- NOTIONS DE TÉLÉDÉTECTION

D'après le COMITAS¹, la télédétection est « la discipline scientifique qui regroupe l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour l'observation, l'analyse, l'interprétation et la gestion de l'environnement à partir de mesures et d'images obtenues à l'aide de plates-formes aéroportées, spatiales, terrestres ou maritimes. Comme son nom l'indique, elle suppose l'acquisition d'information à distance, sans contact direct avec l'objet étudié. Sa définition officielle est « l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci » (BONN et ROCHON, 1992)».

En résumé, la télédétection (dont le terme anglais *remote sensing* révèle mieux le sens) est l'acquisition de données sur un objet ou "scène" par un capteur éloigné. Ainsi, les photographies aériennes, les images de satellites et radars sont des données de télédétection.

Pour cette présente étude, seules les données de satellites ont été utilisées (LANDSAT et SPOT en l'occurrence).

Les données collectées sur l'objet cible par les capteurs embarqués à bord des plates-formes satellitaires sont la réponse électromagnétique de ce corps à une énergie émise par une source, le soleil dans le cas de la télédétection satellitaire. Ce rayonnement électromagnétique est reçu par le satellite et traduit en valeurs numériques. La télédétection repose donc sur les propriétés physiques des objets et sur la notion de rayonnement électromagnétique.

Le rayonnement électromagnétique est l'énergie transmise dans l'espace par les corps sous la forme d'ondes électriques et magnétiques. Les satellites sont équipés de détecteurs qui enregistrent les différentes longueurs d'onde du spectre électromagnétique.

Le spectre électromagnétique est la répartition des fréquences du rayonnement électromagnétique qui va des ondes cosmiques (rayons gamma) aux ondes radio (hertziennes).

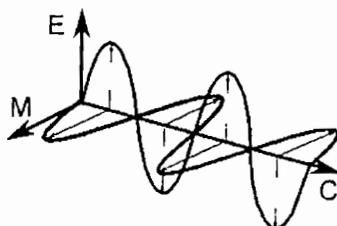


Figure 25: Le rayonnement électromagnétique

Le rayonnement électromagnétique est composé par la superposition d'ondes sinusoïdales simples caractérisées chacune par une amplitude et une fréquence différente. Donc, tout rayonnement électromagnétique peut être décomposé en ondes sinusoïdales élémentaires qu'on peut appeler composantes spectrales du rayonnement considéré. Le spectre étant la dispersion résultante quand la lumière blanche traverse un prisme. Il est étendu à toutes les ondes électromagnétiques dont la partie visible correspond à des longueurs d'onde comprises entre 0,4 et 0,7 μm (micron = millionième de mètre).

¹ Bonn F., Rochon G. Précis de télédétection. Volume I Principes et méthodes. 1992

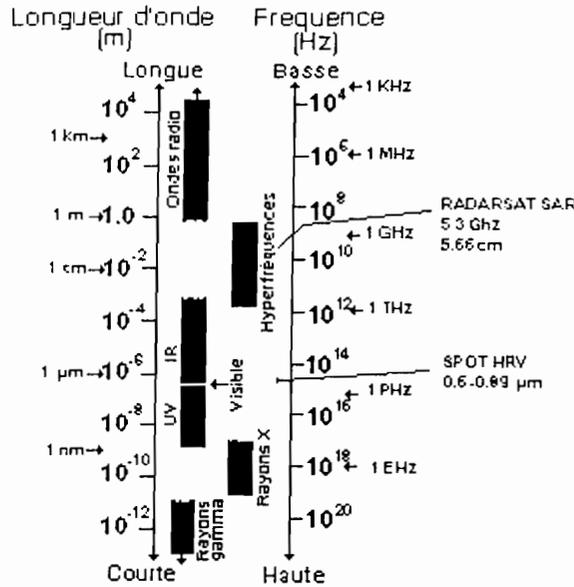


Figure 26: le spectre électromagnétique

Quand la radiation interagit avec la matière, certaines ondes sont absorbées et d'autres réfléchies. Pour exploiter des données de télédétection, il est donc nécessaire de comprendre comment la végétation, les sols, l'eau etc. réfléchissent et absorbent la radiation.

Le soleil est la source de radiation en télédétection. Cependant, il n'émet pas la même quantité d'énergie à toutes les longueurs d'onde et cette radiation traverse l'atmosphère avant d'atteindre la surface de la terre. Elle est au cours de cette traversée affectée par certains phénomènes comme l'absorption qui désigne la quantité de radiation absorbée par l'atmosphère. L'absorption s'explique par le fait que tout corps dont la surface reçoit un rayonnement électromagnétique peut en absorber une partie. Cette partie absorbée modifie l'énergie interne de ce corps (augmente sa température), ce qui se traduit par une nouvelle émission dans une autre longueur d'onde.

Tous les objets terrestres (eau, rocher, sol etc.) absorbent une portion du spectre électromagnétique, fournissant ainsi une signature électromagnétique distincte. C'est la connaissance de ces différentes signatures (quelle longueur d'onde est absorbée par quel objet et quelle est l'intensité de la réflectance de cet objet en réponse) qui permet à l'interprète d'analyser et de classifier les données de télédétection en vue de nombreuses utilisations allant de la prospection minière à la prévision de pluviométrie et de rendements agricoles en passant par le suivi de la qualité des eaux et de la biomasse.

Lorsqu'une onde électromagnétique atteint une cible, ces interactions sont possibles : réflexion, transmission ; diffusion.

C'est la radiation réfléchie qu'on mesure en télédétection. Les données de télédétection sont en effet basées sur les valeurs de réflectance. Ce sont ces valeurs qui sont traduites en nombres et enregistrées par les capteurs à bord du satellite. Chaque capteur est conçu de manière à n'enregistrer qu'une certaine portion du spectre électromagnétique. Par exemple, la bande 1 de SPOT XS (multispectral) enregistre entre 0,5μm à 0,59μm, ce qui correspond à la réflectance dans le vert d'une végétation saine ; tandis que la bande 1 de LANDSAT TM (Thematic Mapper) travaille entre 0,45μm et 0.52 μm et est surtout utilisé pour discriminer sols et végétation.

Les caractéristiques de chaque capteur doivent donc être connues pour pouvoir extraire l'information qu'il fournit.

Le traitement d'images de satellites se fait en général en plusieurs étapes qui vont de l'acquisition des images à la production de cartes imprimées.

Dans une étude par télédétection, le choix des images à traiter est déterminant. C'est à cette étape que doivent être définies les spécifications auxquelles doit répondre l'image à acquérir. Ces spécificités sont à rechercher dans la nature et les objectifs de l'étude. Pour chaque type d'étude, en effet, doit correspondre un type d'image bien déterminé. À une étude sur le climat ou sur l'estimation de la biomasse par exemple, conviennent des images des satellites METEOSAT ou NOAA tandis que pour étudier l'évolution d'une ville, il est préférable de travailler avec des images SPOT, LANDSAT...

Hormis l'origine de l'image, un autre élément important est la date de prise de vue. Ce paramètre est très important pour la correction des effets atmosphériques par exemple ou pour une étude diachronique.

En ce qui concerne cette étude, bien que les images utilisées satisfassent à la première condition qui est l'adéquation entre les objectifs et l'origine de l'image, les dates de prise de vue n'ont malheureusement pas été choisies au départ. Il s'est plutôt agi de traiter les images disponibles.

Cette étude a ainsi été menée avec :

- une image LANDSAT 1 MSS de septembre 1972 couvrant tout le delta du fleuve Sénégal
- Et une série de 6 images SPOT de 3 années différentes. Il faut deux scènes SPOT pour couvrir le lac de Guiers. Ainsi pour chaque année, l'une des images couvre la partie nord du lac et l'autre la partie sud.
- 2 scènes SPOT 2 de 1989
- 2 scènes SPOT 2 de 1993
- 2 scènes SPOT 4 de 1998

Avant d'examiner les caractéristiques propres aux satellites dont nous avons utilisé les données, il serait utile de passer en revue quelques termes essentiels car comme toute discipline scientifique et technique, la télédétection comporte son langage et ses termes qu'il n'est pas toujours facile de maîtriser. Nous livrons ici quelques définitions de termes dont la connaissance nous semble importante.

▪ Qu'est ce qu'une image satellitaire ?

Une image est une représentation d'un objet. Une image satellitaire est une représentation numérique d'une partie de la terre. Ce sont des images pouvant être stockées sur différents supports (bandes magnétiques, disques durs, CD-ROM etc.) et constituées par des nombres d'où le qualificatif numérique. Ces données lues par l'ordinateur forment une image quand elles sont affichées à l'écran ou imprimées.

Chaque nombre dans une image constitue un pixel. Le terme pixel est la concentration de l'anglais *picture element*. C'est l'unité élémentaire d'une image. En d'autres termes, c'est la plus petite partie d'une image. A chaque pixel est associée une valeur unique de la zone scannée par le satellite. La valeur de ce pixel est la mesure de la brillance d'un point de la terre à une longueur d'onde donnée. A un pixel peut être associée différentes valeurs correspondant à différentes longueurs d'ondes ou bandes.

Une image satellitaire est dite **raster** car c'est une représentation sous forme de mailles semblables à ceux d'un damier. Chaque case de la grille constituant un pixel avec des coordonnées qui permettent de le localiser de manière unique.

Une image satellitaire peut comporter plusieurs **bandes**. Chaque bande étant la mesure de la réponse spectrale de l'objet scannée dans un intervalle spectral donné (vert, bleu, rouge, proche infrarouge, infrarouge thermique... L'utilisateur peut faire un certain nombre de calculs statistiques sur ces bandes (corrélation, moyenne, variance...) Ces bandes peuvent être fusionnées pour créer de nouvelles bandes, superposées...

Chaque pixel dans une image est localisable par des **coordonnées**. Dans un système de coordonnées à 2 dimensions, les pixels sont organisés en grilles de lignes et de colonnes. Chaque position dans la grille est localisée par des coordonnées X et Y, X se référant au numéro de la ligne dans cette grille et Y au numéro de colonne.

▪ Qu'est ce que la résolution ?

La résolution est un terme large utilisé pour exprimer : le nombre de pixels pouvant être visualisé dans une image ; la surface représentée sur le terrain par un pixel...

En télédétection, on distingue quatre sortes de résolution :

- Résolution spectrale : la longueur d'onde spécifique qu'un capteur peut enregistrer ;
- Résolution spatiale : la surface couverte sur le terrain par chaque pixel ;
- Résolution radiométrique : le nombre de valeurs possibles d'un pixel sur chaque bande ;
- Résolution temporelle : l'intervalle de temps nécessaire à un satellite pour couvrir un même point du globe.

La résolution spectrale indique l'intervalle du spectre électromagnétique pouvant être enregistré par le capteur. Par exemple, la bande 1 de LANDSAT TM couvre de 0,45 à 0,52 μm dans la partie visible du spectre. Quand cet intervalle est large, on parle de résolution spectrale grossière et quand il est petit, de résolution fine. Ainsi, on dira que la bande panchromatique de SPOT a une résolution spectrale grossière (0,51 à 0,73 μm) alors que la bande 3 de LANDSAT TM a une résolution fine (0,63 à 0,69 μm).

La résolution spatiale est la mesure du plus petit objet pouvant être distingué par le capteur ou la surface correspondant à chaque pixel dans l'image. Plus la résolution est fine, plus le nombre est petit. Une résolution spatiale de 10 mètres est plus fine qu'une résolution de 79 mètres par exemple.

La résolution radiométrique est le nombre de valeurs que peut avoir un pixel dans une bande donnée. Ce nombre est en rapport avec le nombre de bits auquel chaque réponse enregistrée est divisée.

Par exemple, dans une image 8 bits, les valeurs possibles sont comprises entre 0 et 255 pour chaque pixel alors que dans une image 7 bits, les valeurs possibles sont comprises entre 0 et 128. Chaque valeur dans cet intervalle est reportée à une couleur pour visualiser ce pixel. Dans une image 8 bits, la totalité de l'énergie entre 0 et 255 est divisée en 256 niveaux de couleurs (gris, rouge, vert, bleu etc.) et en 128 niveaux dans une image 7 bits.

La résolution temporelle correspond à la fréquence à laquelle un satellite couvre un même point du globe. Par exemple LANDSAT peut avoir une image d'un même point du globe tous les 16 jours, quant à SPOT, 3 jours lui suffisent.

Résolution spatiale :

1 pixel= 79m à 79m

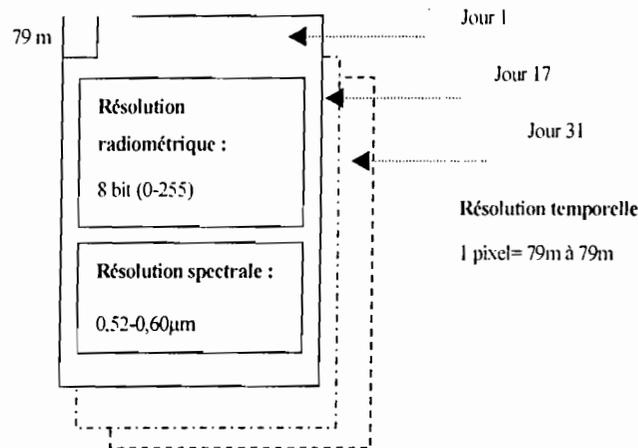


Figure 27 : Illustration de quelques types de résolution spatiale : exemple de la bande 2 de LANDSAT TM

L'utilisation de l'imagerie satellitaire pour l'étude d'une cible quelconque (minéral, végétation, constructions etc.) doit être basée sur les caractéristiques de l'objet à étudier. Chaque matériel ayant des caractéristiques spectrales basées sur sa composition. Quand les rayons solaires frappent une cible, certaines longueurs d'ondes sont absorbées, d'autres réfléchies vers le capteur. Ce sont en fait les longueurs d'ondes qui ne sont pas réexpédiées au capteur qui fournissent de l'information sur la cible. Certaines longueurs d'ondes sont aussi absorbées par les gaz de l'atmosphère (CO₂, H₂O, O₂, vapeur d'eau etc.). Si le pourcentage de la radiation absorbée par le satellite est grand, il devient difficile voir impossible d'utiliser ces longueurs d'ondes pour étudier la terre. Les capteurs des satellites LANDSAT et SPOT ont été conçus de manière à ce que les longueurs d'ondes fortement absorbées par l'atmosphère sont exclues.

▪ Les satellites SPOT et LANDSAT

L'ère de la télédétection satellitaire civile a véritablement commencé avec le lancement du 1^{er} satellite LANDSAT en juillet 1972 par la NASA. Ce satellite, le premier d'une longue série emportait à son bord deux instruments : le RBV (Return Beam Videcon) et le MSS (Multispectral Scanner). Ces deux instruments avaient une résolution voisine (80 m) malgré leurs modes d'acquisition différents.

Les satellites SPOT ont été réalisés par le CNES (Centre National d'Études Spatiales). L'aventure Spot a commencé avec le lancement en 1986 de Spot 1, le système comporte maintenant 3 satellites (après la perte de Spot 3 lancé en 1994 et perdu en 1996) qui sont outre Spot 1, Spot 2 (lancé en 1990) et Spot 4 (lancé en 1998).

Les caractéristiques des satellites LANDSAT et SPOT sont livrés dans le tableau suivant :

Tableau 2: Caractéristiques de LANDSAT 1 et de SPOT

Satellite/instruments	Résolution spatiale	Fauchée	Bandes spectrales
Landsat MSS	80 m	185 km	4 bandes MSS 4 = vert (0,5-0,60 μm) MSS 5 = rouge (0,60-0,70 μm) MSS 6 = infrarouge (0,70-0,80 μm) MSS 7 = infrarouge XS 1= vert (0,50-0,59 μm) XS 2= rouge (0,61-0,68 μm) XS 3 = infrarouge (0,79-0,89 μm)
Spot HRV ¹ 1,2,3	Mode XS= 20 m	20 m	3 bandes XS 1= vert (0,50-0,59 μm) XS 2= rouge (0,61-0,68 μm) XS 3 = infrarouge (0,79-0,89 μm)
	Mode Panchro= 10 m	10 m	1 bande Panchro (0,51-0,73 μm)
Spot 4 HRVIR	Mode Xi	10 m	Panchro rouge (0,61-0,68)
	Mode XS	20 m	XS 1= vert (0,50-0,59 μm) XS 2= rouge (0,61-0,68 μm) XS 3 = proche infrarouge (0,79-0,89 μm) XS 4 = moyen Infrarouge (1,58-1,75)

Dans ce tableau ne figurent que les informations concernant les images que nous avons utilisées. Les instruments comme le Thematic Mapper sur les LANDSAT et l'instrument VEGETATION de SPOT 4 n'y sont pas documentés.

La télédétection satellitaire a été largement utilisée pour inventorier les ressources disponibles sur notre planète. La répétitivité des données qu'elle fournit en permettant l'analyse d'images multidates - c'est à dire des images d'une même scène prises à des dates différentes - a enrichi son domaine d'application déjà très vaste. Elle permet le suivi du changement de la surface terrestre et l'étude des phénomènes dynamiques qui affectent les écosystèmes. Les recherches dans ce domaine ont donné naissance à une nouvelle discipline : la télédétection du changement.

¹ HRV = Haute Résolution Visible. HRVIR = Haute Résolution Visible Infrarouge

2.2 - LA TÉLÉDÉTECTION DU CHANGEMENT

La télédétection du changement est la procédure d'identification des différences d'état d'un objet ou d'un phénomène en l'observant à des moments différents (SINGH, 1989¹).

Ses domaines d'applications sont nombreux : étude du développement de la végétation, détection du stress ou du changement phénologique de la végétation ou bien encore suivi de phénomènes dynamiques comme la déforestation, la désertification, le dépérissement forestier, la croissance urbaine ou la modification de la ligne de rivage.

Notre objectif dans le cadre de ce travail, c'est d'appliquer quelques-unes de ces méthodes à l'étude des changements intervenus dans la région du lac de Guiers.

Il existe plusieurs méthodes de télédétection du changement. Chacune comporte des avantages et est limitée par un certain nombre d'insuffisances. Le choix d'une de ces méthodes se fait en fonction des objectifs fixés et surtout des données dont on dispose.

Toutes les méthodes de télédétection du changement se basent sur l'hypothèse selon laquelle les changements dans les couvertures du sol se traduisent en variations de la radiance² et que ces variations sont importantes par rapport à celles qui ont d'autres causes (conditions atmosphériques, inclinaison solaire, humidité du sol, stade phénologique...).

Ces facteurs qui influencent les valeurs de radiance doivent être pris en compte dans toute méthode de détection de changement. On essaye de les minimiser en travaillant sur des images provenant d'un même capteur et prises aux mêmes périodes.

Les méthodes de télédétection du changement peuvent être divisées en trois grands groupes (Tableau 3) :

- a) Les méthodes préclassificatoires (encore appelées accentuation d'images). Elles regroupent la majorité des méthodes de télédétection du changement et consistent à mettre en valeur les changements radiométriques entre deux images prises à différentes dates par des accentuations d'images conduisant à la création d'une nouvelle image (non classée) représentant les changements intervenus entre les deux dates.
- b) Les méthodes de classifications multidates consistent à combiner deux images prises à des périodes différentes et à leur appliquer des techniques de classification. Les méthodes appartenant à ce groupe se basent sur le principe que les pixels dont les valeurs ont changé et les pixels invariants ont des signatures spectrales multidates qui permettent de les différencier. La classification (numérique ou visuelle) vise à regrouper des entités ayant une évolution radiométrique similaire.
- c) Les méthodes postclassificatoires. Elles consistent à comparer des classifications indépendantes d'images de dates différentes. Elles sont très utilisées dans les études diachroniques des changements de l'occupation des sols et contrairement aux autres techniques, elles rendent compte de la nature des changements.

¹ Singh, A., 1989, Digital Change Detection Techniques Using Remotely-sensed Data, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 10, n° 6, pp. 989-1003.

² La radiance ou luminance énergétique est l'intensité émise par unité de surface. Elle est mesurée en watts par mètre carré par stéradian ($W \cdot m^{-2} \cdot Sr^{-1}$).

D'autres méthodes dites synthétiques car mises en œuvre grâce à la combinaison de plusieurs techniques existent aussi.

Tableau 3 : Récapitulatif des principales techniques de télédétection du changement

Catégorie	Sous-catégorie	Technique
Préclassification (accentuation d'images)	Opération ponctuelle	Différence d'images Différence d'indices de végétation Division d'images
	Opération globale + ponctuelle	Analyse par vecteur de changement Régression d'images
	Opération globale	Transformation "Tasseled Cap" Analyse en Composantes Principales
Classification multidate	Classification multidate directe	Classification non dirigée Classification dirigée Classification visuelle
Postclassification	Comparaison d'images classifiées indépendamment	Classification non dirigée Classification hiérarchique
	Image classée/ autres sources	Classification dirigée Comparaison avec cartes thématiques

Source : J-F Mas¹

¹ J-F. Mas. Une revue des méthodes et des techniques de télédétection du changement. EPOMEX, Mexico

2.2.1- APPLICATION DE TECHNIQUES DE TÉLÉDÉTECTION DU CHANGEMENT À L'ÉTUDE DE L'ÉVOLUTION DE LA RÉGION DU LAC DE GUIERS

Les caractéristiques et les pré-traitements reçus par les images sont des éléments essentiels dans la procédure de détection du changement.

Selon JENSEN (1996) ¹, l'idéal serait de travailler avec des images provenant du même capteur, prises à la même date, à la même heure, selon le même angle, et dans des conditions atmosphériques, d'humidité du sol et d'état phénologique de la végétation similaires.

Il est évident que de telles conditions sont rarement réunies en particulier dans les Tropiques où la couverture nuageuse limite le nombre de scènes utilisables. À cela s'ajoute que le capteur lui-même peut connaître des variations de performance radiométrique dans le temps et selon les conditions atmosphériques, ce qui peut se traduire par une grande différence entre deux images prises à la même heure.

Toutes ces raisons font que les données utilisées en télédétection du changement doivent être normalisées. Une attention particulière doit aussi être réservée aux corrections géométriques effectuées sur l'image. Les images à traiter doivent très bien se superposer, sinon des variations pourraient apparaître alors qu'elles ne seraient liées qu'à des défauts de superposition des images.

Pour notre présente étude, notre ambition est d'identifier l'évolution globale de la région du Guiers grâce aux méthodes de la télédétection du changement. Nous disposons pour cela d'images provenant de capteurs variés et/ou prises à des dates différentes. Deux images seulement proviennent du même capteur (SPOT 2) mais n'ont malheureusement pas été prises aux mêmes dates ni aux mêmes périodes.

2.2.1.1 - Outils et méthodes

Le traitement d'images de satellites se fait en général en plusieurs étapes qui vont de l'acquisition des images à la production de cartes imprimées.

Dans une étude par télédétection, le choix des images à traiter est déterminant. C'est à cette étape que doivent être définies les spécifications auxquelles doit répondre l'image à acquérir. Ces spécificités sont à rechercher dans la nature et les objectifs de l'étude. Pour chaque type d'étude, en effet, doit correspondre un type d'image bien déterminé. À une étude sur le climat ou sur l'estimation de la biomasse par exemple, conviennent des images des satellites METEOSAT ou NOAA tandis que pour étudier l'évolution d'une ville, il est préférable de travailler avec des images SPOT, LANDSAT...

Hormis l'origine de l'image, un autre élément important est la date de prise de vue. Ce paramètre est très important pour la correction des effets atmosphériques par exemple ou pour une étude diachronique.

En ce qui concerne cette étude, bien que les images utilisées satisfassent à la première condition qui est l'adéquation entre les objectifs et l'origine de l'image, les dates de prise de vue n'ont malheureusement pas été choisies au départ. Il s'est plutôt agi de traiter les images disponibles.

¹ Jensen J.R., 1996, *Introductory Digital Image Processing, A Remote Sensing Perspective*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2nd édition, 316 p.

Cette étude a ainsi été menée avec :

- une image LANDSAT 1 MSS de septembre 1972 couvrant tout le delta du fleuve Sénégal
- Et une série de 6 images SPOT de 3 années différentes. Il faut deux scènes SPOT pour couvrir le lac de Guiers. Ainsi pour chaque année, l'une des images couvre la partie nord du lac et l'autre la partie sud.
 - ◆ 2 scènes SPOT 2 de 1989
 - ◆ 2 scènes SPOT 2 de 1993
 - ◆ 2 scènes SPOT 4 de 1998

Nous avons utilisé la technique des compositions colorées multidates avec les images SPOT de 1989 et 1993 et la technique de l'ACP avec l'image LANDSAT et les images SPOT 4. Le choix des images à traiter par chaque technique se base sur les caractéristiques des techniques exposées ci-dessus. L'analyse en composantes principales effectuant des corrections radiométriques relatives, elle tolère mieux les différences entre les capteurs à l'origine des images.

2.2.1.1 Interprétation visuelle de compositions colorées diachroniques (multidates)

Cette méthode consiste à réaliser des compositions colorées à partir d'images prises à des dates différentes dans la même bande spectrale. La détection du changement s'opère par utilisation des mêmes techniques que celles mises en œuvre dans l'interprétation des compositions colorées monodates.

L'image résultante ne renseigne malheureusement pas sur la composition spectrale du pixel mais seulement sur son évolution radiométrique (SADER et WINNE, 1992¹). Une variante simple de cette technique est la différenciation rouge-vert d'images. C'est une technique très utilisée car permettant de voir rapidement tous les pixels ayant changé entre les deux dates.

Elle est réalisée en affichant simultanément la même bande spectrale de deux images l'une en vert et l'autre en rouge. L'image combinée résultante contiendra différents tons de jaune (indiquant les mêmes réponses spectrales entre les dates), les pixels dont la réflectance aura changé apparaîtront par contre soit en vert soit en rouge. La couleur rouge a plus de tonalités que le vert c'est pourquoi, il est préférable que l'image la plus récente soit affichée en rouge si de manière générale, l'augmentation des valeurs de réflectance est importante et vice versa.

Dans le cas de notre étude, nous avons choisi de ne travailler qu'avec deux bandes du même capteur afin de minimiser les influences des autres paramètres et surtout afin de conserver un intervalle de valeurs similaire dans les réponses. Une comparaison entre les différentes images dont nous disposons a en effet montré des différences dans les réponses spectrales trop importantes. Différences dues à la qualité des capteurs (différence de résolution radiométrique, spectrale, spatiale....).

Ce choix ne règle tout de même pas les problèmes des variations dues aux conditions de prise de vue. Les images ayant été prises à des périodes différentes, nous avons donc procédé à une normalisation des données par des corrections radiométriques.

¹ Sader, S.A., Winne, J.C., 1992. RGB-NDVI Colour Composites for Visualizing Forest Change Dynamics. International Journal of Remote Sensing, Vol. 13, no 16, pp. 3055-3067.

La principale limite des compositions colorées diachroniques réside dans le fait que cette technique ne renseigne pas sur la nature du changement et l'interprétation des tonalités et des couleurs est difficile. Elle a quand même l'avantage de permettre l'utilisation de caractéristiques de l'image comme la texture, la taille, la forme, le voisinage des objets et les connaissances de l'interprète. Ces éléments sont difficilement utilisables par des procédures automatiques de traitement d'images et peuvent permettre d'augmenter significativement la qualité des classifications.

2.2.1.1.2 Analyse en composantes principales (ACP)

La corrélation entre les bandes d'une image multispectrale est souvent très élevée et elles contiennent donc une part importante d'information similaire. Les bandes 4 (vert) et 5 (rouge) de LANDSAT MSS produisent des images d'apparence visuelle très semblable étant donné que la réflectance pour le même type de surface est presque identique. Il est possible grâce à des traitements statistiques de réduire la redondance des informations et la corrélation entre les bandes d'une image. L'analyse des composantes principales est un de ces traitements. Le but de cette transformation est de réduire le nombre de dimensions (nombre de bandes) et de produire une compression de l'information de plusieurs bandes dans un nombre plus restreint de bandes. Les "nouvelles" bandes qui résultent de cette compression statistique sont appelées composantes. Ce procédé vise à maximiser (statistiquement) la quantité d'information (ou variance) des données originales dans un nombre restreint de composantes. On peut par exemple, transformer une image LANDSAT TM contenant sept bandes en trois principales composantes contenant plus de 90% de l'information contenue dans les sept bandes initiales. L'interprétation et l'analyse de ces trois composantes, en les combinant visuellement ou numériquement, est plus simple et plus efficace que l'utilisation des sept bandes initiales.

L'analyse en composantes principales (ou transformation de KARHUNEN-LOÈVE) est une technique d'analyse multivariable qui sert, en télédétection, à réduire le nombre de composantes spectrales jusqu'à obtenir un petit nombre de composantes principales rendant compte au mieux de la variance des images multispectrales originelles. En télédétection du changement, l'analyse en composantes principales est en général appliquée à une image de dimension $2b$, résultat de la fusion des deux images de b dimensions. Cette technique comporte l'avantage d'isoler les différences entre images dues aux capteurs et aux conditions atmosphériques qui affectent globalement tous les pixels de l'image dans les premières composantes et celles correspondant aux changements d'occupation du sol dans les dernières (BYRNE *et al.*, 1980¹).

Pour mieux comprendre le fonctionnement de l'ACP en télédétection du changement, on peut prendre l'exemple d'une ACP appliquée à deux images présentant des valeurs similaires pour les deux dates sauf pour quelques pixels ayant subi un changement. Sur le diagramme de dispersion où sont rapportées les valeurs des pixels pour chacune des deux dates, le nuage de points est extrêmement étiré selon une ligne inclinée à 45 degrés (Figure 28). Lors de l'analyse en composantes principales, un nouveau système d'axes est créé; il a pour origine le centre de gravité du nuage de point et est orienté de manière que la variance sur les nouveaux axes soit maximale, c'est-à-dire à 45 degrés dans le cas présent. Les projections des valeurs radiométriques sur les nouveaux axes (CP_1 et CP_2) sont les valeurs des pixels dans les composantes principales. On peut constater que, sur la deuxième composante (CP_2), les pixels inchangés prennent des valeurs proches de zéro tandis que les pixels ayant subi un changement présentent des valeurs plus importantes. L'information sur les changements est donc accentuée sur la deuxième composante (CP_2).

¹ Byrne, G.F., Crapper, P.F., Mayo, K.K., 1980. Monitoring Land-Cover by Principal Component Analysis of Multitemporal LANDSAT Data. *Remote Sensing of Environment*, n°10 pp. 175-184.

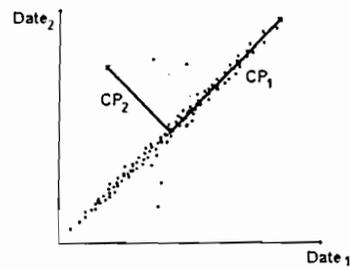


Figure 28 - Analyse en composantes principales (J.F. Mas)

L'ACP sélective est réalisée à partir de deux bandes au lieu de toutes. En analyse multodate, elle met en œuvre la même bande spectrale pour deux dates différentes (CHAVEZ et KWARTENG, 1989¹; CHAVEZ, 1989²). L'information commune aux deux dates se retrouve dans la première composante tandis que l'information unique est isolée dans la seconde comme illustré dans la Figure 28. L'avantage de l'utilisation de l'analyse en composantes principales est qu'elle effectue une correction radiométrique relative de premier ordre image à image. Par ailleurs, cette technique est peu sensible aux déficiences de la superposition des images, sauf pour ses variantes où sont mises en œuvre des opérations ponctuelles comme la soustraction de composantes principales développée par SINGH (1986).

2.2.1.2 - Résultats de l'ACP

Les Figure 29 montre le résultat de l'application de la technique de la composition colorée diachronique. Les images proviennent du satellite SPOT 2, la date de prise de vue de la première est le 1^{er} février 1989 et celle de la seconde, le 11 novembre 1993. Les images ont donc été prises à des dates qui correspondent à des saisons différentes. La première a été prise en pleine saison froide et la deuxième au début de la saison sèche. Les conditions atmosphériques de prise de vue ne sont donc pas semblables et peuvent influencer les réponses des pixels. Nous avons donc appliqué à chacune des images en plus des corrections géométriques, des corrections radiométriques.

La partie Nord du lac a été choisie comme illustration car elle a le plus évolué entre les dates. Cette évolution concerne essentiellement la végétation du fait de l'extension des zones cultivées dans cette partie du lac. La bande 1 (XS 1) qui correspond au vert (0,50-0,69 μm) a été choisie car elle enregistre la réflectance dans le vert de la végétation saine.

L'image de 1989 a été affichée en rouge et celle de 1993 en vert. Le résultat est une image comportant plusieurs tonalités de vert, de rouge et de jaune. Comme indiqué plus haut, les pixels n'ayant pas connu de changement apparaissent en jaune alors que les pixels ayant changé apparaissent en rouge ou en vert.

Ce que révèle l'interprétation visuelle de l'image résultante c'est que les tonalités dans le rouge correspondent à des objets qui n'étaient pas encore présents en 1989 et les différentes tonalités dans le vert correspondent à des objets qui étaient présents en 1989 et qui ont disparu en 1993. Pour être exact, il serait préférable de dire que les pixels dont les réponses spectrales ont augmenté de manière quantitative (augmentation due à l'apparition de la végétation) apparaissent en une couleur rouge ou vert dont la saturation dépend de la valeur de cet accroissement.

¹ Chavez, P.S., Kwarteng, A.Y., 1989. Extracting Spectral Contrast in LANDSAT Thematic Mapper Image Data Using Selective Principal Components Analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 55, n° 3, pp. 339-348.

² Chavez, P.S.Jr., 1989. Radiometric Calibration of LANDSAT Thematic Mapper Multispectral Images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 55, n° 9, pp. 1285-1294.

Ces changements ne peuvent malheureusement pas être interprétés de manière stricte. Tout ce que nous pouvons dire, c'est que le résultat obtenu est conforme aux changements constatés quand on compare les compositions colorées des deux images (haut de la Figure 29). Ces changements correspondent pour l'essentiel à :

- une extension des zones cultivées (périmètres CSS, casier Colonat...)
- une différence dans les stades phénologiques de la végétation.
- une présence sur les rives du lac d'une végétation aquatique plus abondante en 93 qu'en 1989.

Cette technique malgré les limitations qu'elle impose dans l'interprétation des résultats constitue une méthode rapide et facile à mettre en œuvre afin d'identifier des zones ayant connu un changement. Les informations tirées de cette technique pourront par la suite être utilisées pour améliorer d'autres techniques de traitement d'images comme les classifications.

Nous avons aussi testé cette technique sur des images provenant de capteurs différents (LANDSAT 1 et SPOT 4). Le résultat est comparable à celui obtenu avec les images SPOT uniquement. La Figure 30 montre en effet, les changements que sont la présence d'eau dans le Ferlo (en vert) et l'apparition d'une abondante végétation aquatique (du rouge vif au rouge très sombre). On remarque aussi sur cette figure la coloration jaune des zones habitées qui indique une absence ou une faiblesse du changement des pixels. Nous verrons par la suite plus en détail ses aspects.

L'analyse en composantes principales appliquée à l'image multitemporelle LANDSAT +SPOT 4 a donné de meilleurs résultats (Figure 31). Sur cette image en effet, les types de changements apparaissent mieux. Chaque type de changement intervenu apparaît sous une couleur distincte. Notons que cette figure (deuxième composante principale) représente uniquement les changements. Les pixels qui n'ont pas changé sont isolés dans la première composante. Le vide laissé par ces pixels dans la deuxième composante se manifeste sous une couleur blanche.

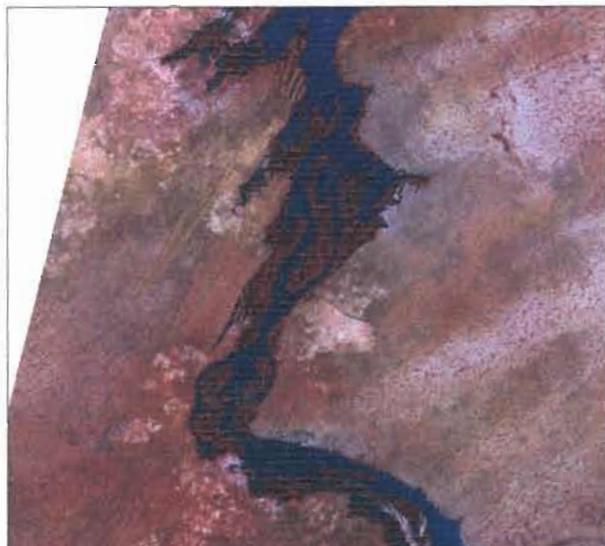
La région du lac de Guiers apparaît donc à travers ce traitement comme ayant beaucoup évolué, à la date de prise de vue de l'image de 1972, on notait une faible activité chlorophyllienne et surtout une faible mise en valeur agricole. Les casiers de la CSS qui étaient au début de leur implantation occupaient une faible partie de la rive ouest de la Taoué uniquement (longueur d'environ 3 km, largeur maximale 1,65 km) alors qu'en 1998, ces périmètres occupaient tout l'espace qui longe le nouveau canal de la Taoué compris entre le fleuve et le lac et se sont étendus sur la rive est du canal. Les casiers rizicoles de Colonat n'ont pas connu par contre une grande extension spatiale. Des changements dans les réponses des pixels sont cependant notés et peuvent être attribués aux différences de performance des capteurs. Les résultats obtenus par l'application des techniques de télédétection de changement malgré qu'ils ne soient pas très explicites démontrent que ces techniques peuvent permettre de faire un suivi rapide et efficace de l'évolution d'un milieu. Malgré que nous n'ayons pas utilisé des images adéquates pour réaliser notre étude, nous sommes quand même parvenus à identifier les aspects généraux de l'évolution de la région du Guiers. L'utilisation d'images provenant d'un même capteur et prises à la même date devrait donner de meilleurs résultats.

Nous verrons dans la section suivante plus en détail quelques aspects des changements intervenus dans la région du lac de Guiers.

Mise en oeuvre et résultats de la technique de la composition colorée diachronique sur les images de 197



Composition colorée RGB457
Image Landsat MSS1 du 30 septembre 1972



Composition colorée RGB 321
Image Spot XS 4 du 10 octobre 1998

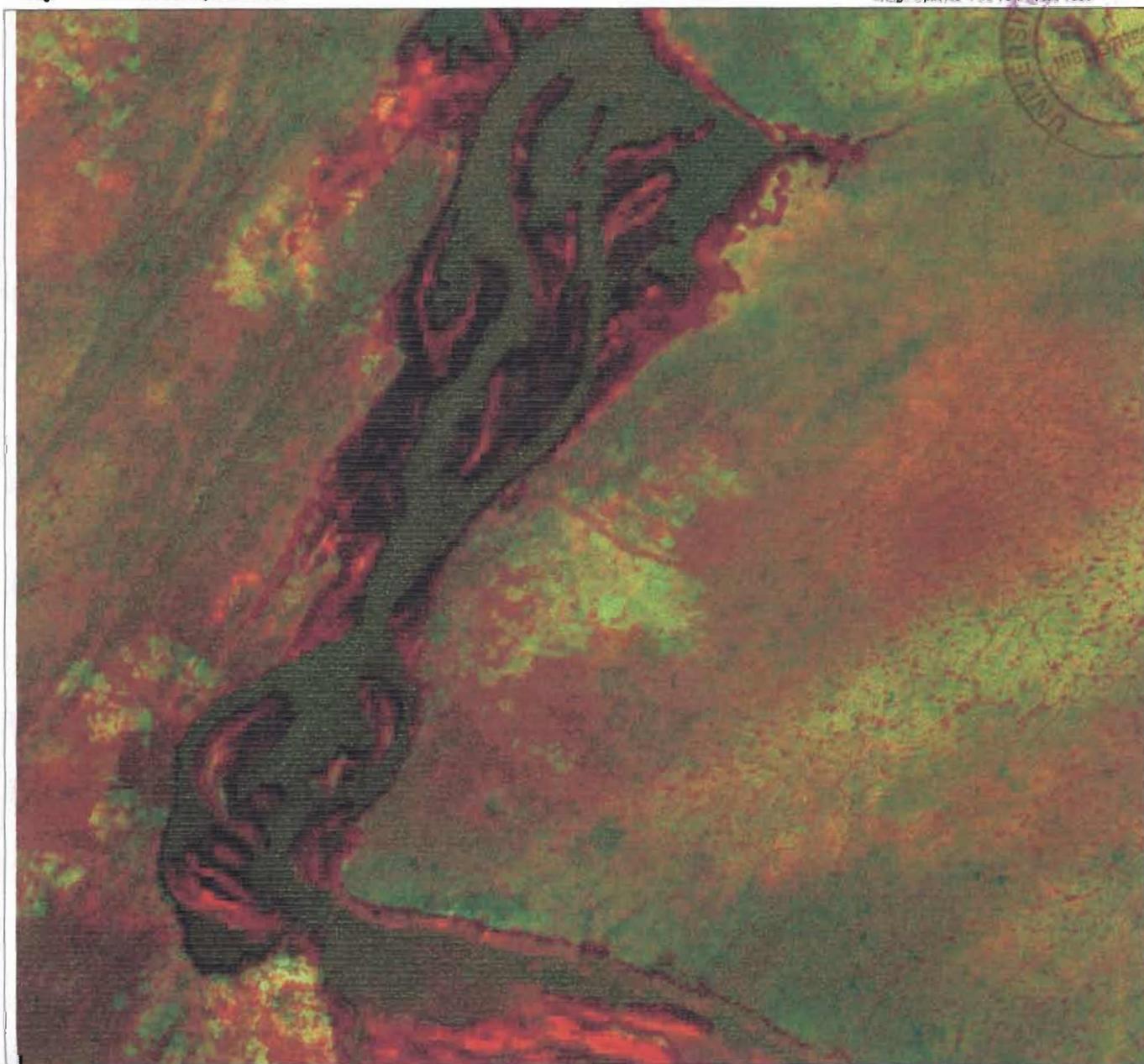
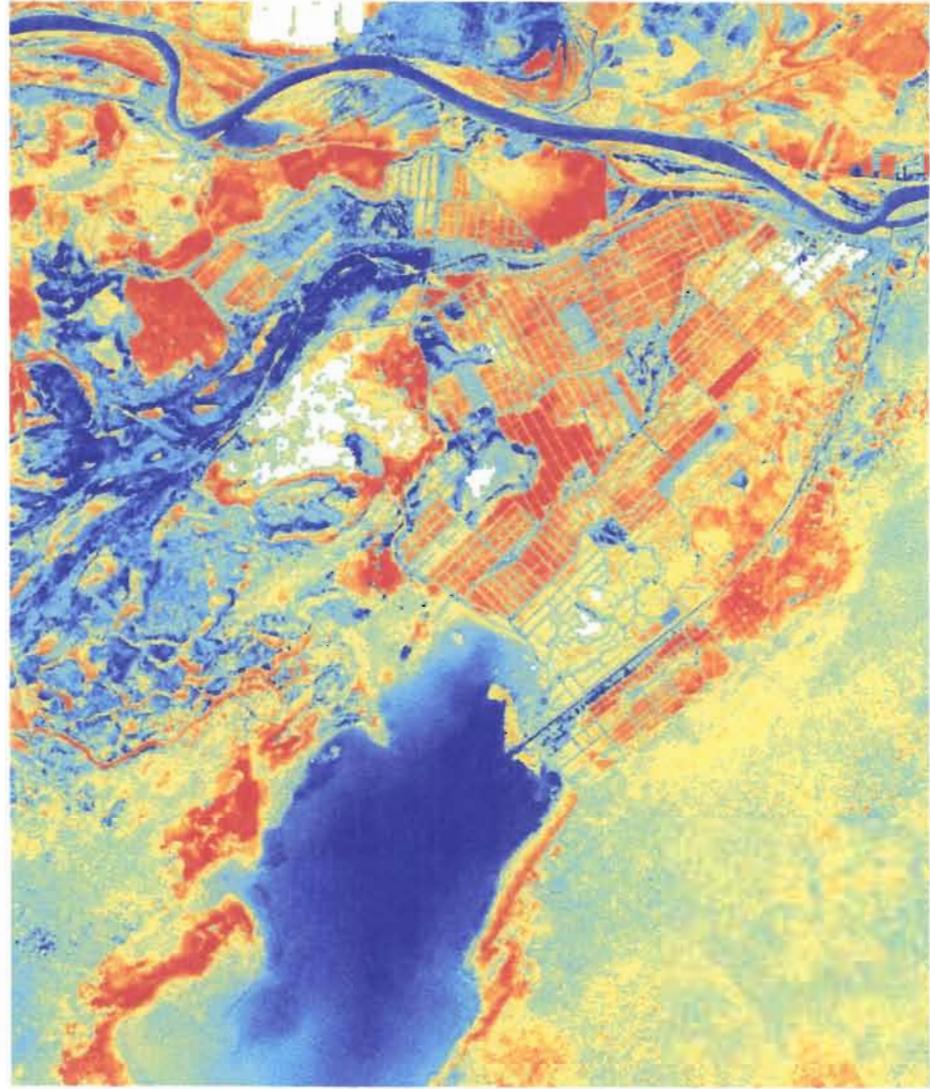


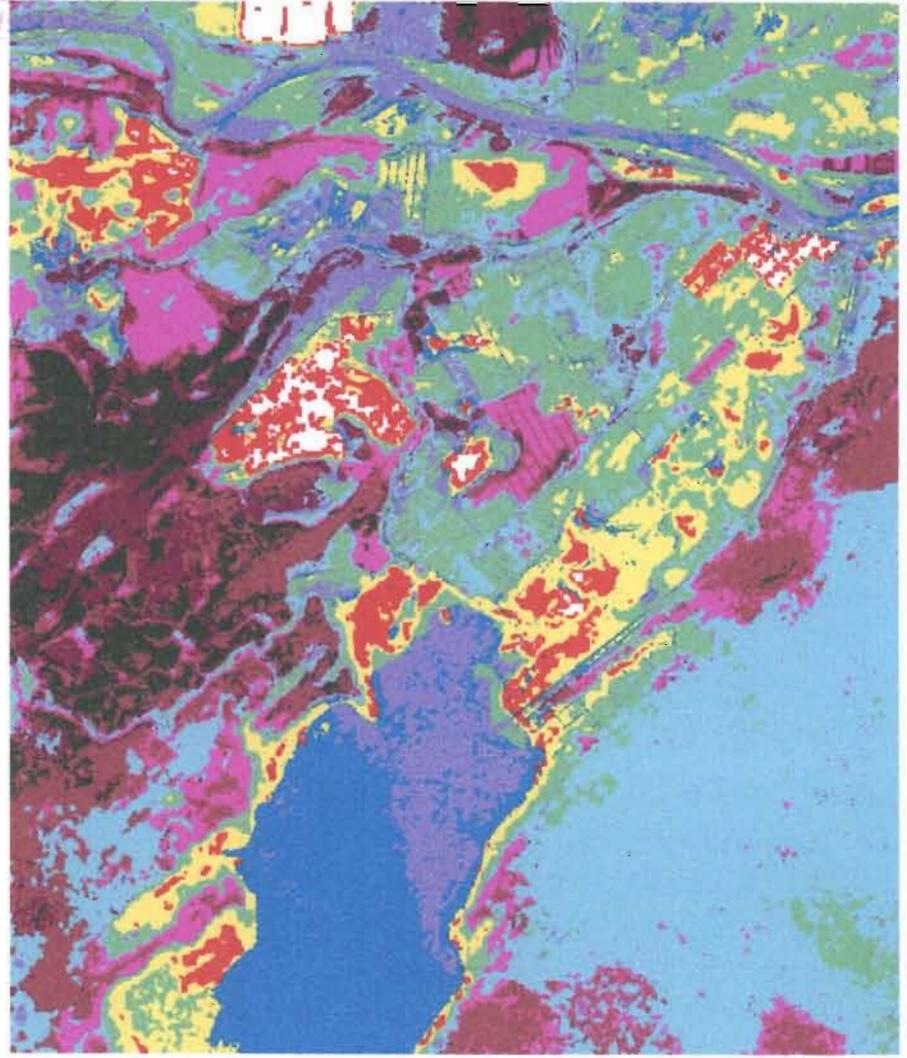
Image multibande obtenue par la superposition de deux bandes de deux images différentes
Bande 4 de l'image Landsat et Bande 1 de l'image Spot (images en haut de la page)

87
Analyse en composantes principales d'une image multidate et classification du résultat

Deuxième composante principale
Les changements intervenus entre 1972 et 1998



Classification du résultat de l'ACP



2.3 - LE DEVELOPPEMENT DES PLANTES AQUATIQUES AU LAC DE GUIERS ET SES CONSÉQUENCES

Le développement des plantes aquatiques au Lac de Guiers n'est pas un phénomène nouveau. En effet, les auteurs anciens le mentionnent depuis la fin du 19^{ème} siècle. LEUDELLOT et LELIÈVRE (1928); PERROTET (1833); TROCHAIN (1956); HENRY (1918); GROSMOIRE (1957); ADAM (1964)...affirment la présence de *Typha Latifolia* dans le lac. Elle a été longtemps accusée de tous les maux.

GROSMOIRE attribue à cette végétation la cause du déclin de la région du Guiers et plus particulièrement du recul de la célèbre capitale du *Walo*, Nder (située sur la rive ouest du lac), qui est devenu " *un misérable hameau*". Selon cet auteur, les conséquences de cette végétation qu'il qualifie de « *facteur de mort* » que sont : développement des moustiques, de la faune aviaire (redoutable déprédatrice de récoltes) ont causé le dépeuplement des rives du lac.

Elle n'a cependant pas été présente de manière permanente dans le lac. Sa présence est caractérisée par des cycles de croissance et de récession voire de disparition et n'a commencé à poser des problèmes qu'à partir de 1947 avec la construction du pont-barrage de Richard-Toll. En effet, à partir de ce moment fut stoppée l'introduction des eaux salées venant du fleuve. L'eau dans le lac étant devenue douce toute l'année, la végétation aquatique y a ainsi trouvé les conditions optimales pour son bon développement.

Elle est constituée par de nombreuses espèces qui peuvent être regroupées en deux grands groupes : les fougères et les plantes à fleur. Ce dernier groupe est plus observé dans le Guiers. Elles ne dépendent pour leur survie que des conditions hydrologiques et physico-chimiques, faisant fi des types de sols.

Les principales espèces présentes sont : *Typha australis*, *Pistia stratiotes*, *Potamogeton sp.*, *Ceratophyllum demersum*, *Nymphaea lotus*, *Æchynomene elaphroxylon*, *Echinocloa stagnina*... Parmi toutes ces espèces, les plus célèbres et les plus présentes demeurent *Typha australis* et *Pistia stratiotes*. La première forme des radeaux flottant librement sur l'eau. Elle se développe sur des sols exondés une partie de l'année. *Pistia stratiotes* aussi appelée laitue d'eau est une plante de petite taille à croissance très rapide.

Des études plus récentes ont été entreprises dans les années 1980 pour évaluer les conséquences qu'auraient les barrages (Diama et Manantali) sur le lac.

THIAM (1983) nous révèle un phénomène intéressant à noter : à le recul de cette végétation dans cette période : « *vingt cinq ans après l'étude de GROSMOIRE [la végétation aquatique] a régressé avec la sécheresse et l'intensification des activités humaines dans le milieu* ». l'auteur finissait par prédire le développement de cette végétation avec l'entrée en fonction des barrages.

La situation actuelle et des études ultérieures (NIANG, 1999) lui ont donné raison car malgré qu'il n'existe pas de documents représentant l'emprise spatiale de la végétation aquatique pour les périodes anciennes, le développement noté dans les années 90 peut être qualifié de sans précédent.

Avec l'entrée en fonction des barrages de Diama et de Manantali, l'eau a commencé à être douce toute l'année durant et les conditions de remplissage du lac furent grandement améliorées et le niveau de l'eau maintenu constant favorisant ainsi le développement de la végétation aquatique.

Notre propos ici est de faire un suivi cartographique de l'évolution quantitative de cette végétation de 1972 à 1998.

2.3.1- MÉTHODOLOGIE

Pour faire le suivi du développement de la végétation aquatique, nous allons utiliser une série d'images satellitaires d'années différentes : 1972, 1989, 1993 et 1998. L'image de 1972 est une image LANDSAT, les autres sont des images SPOT.

La végétation aquatique est directement visible sur une composition colorée des images dont nous disposons ou elle apparaît sous différentes tonalités de rouge (du sombre au clair) à cause de sa forte réflectance dans le rouge. La composition colorée, qui n'est qu'une technique d'amélioration d'image, ne permet pas de quantifier (estimation de surface par exemple) et de suivre de manière diachronique le développement de la végétation aquatique. Pour cela, il nous faut appliquer d'autres traitements aux images.

Parmi ces traitements qu'il est possible d'appliquer à nos images pour atteindre nos objectifs, les plus célèbres et les plus utilisés sont les classifications (supervisée ou non supervisée). Ce sont des méthodes réputées que nous avons testées sur l'image de 1998 qui est la meilleure image de la série (au point de vue de la résolution). Les résultats nous ont fait envisager la généralisation de cette méthode au traitement de chaque image.

Mais, des insuffisances (les résultats de cette classification sont discutés plus loin) apparues, nous ont emmené à envisager une solution de recours. C'est ainsi que nous avons opté d'appliquer d'abord aux images une méthode plus rapide et plus facile à mettre en œuvre : la binarisation d'image, la classification (non supervisée) n'étant appliquée qu'au cas où la binarisation d'image ne réussit pas.

Les images binaires sont souvent utilisées en télédétection appliquée pour masquer ou isoler une couverture du sol d'une autre. Les images binaires eau/sol sont par exemple beaucoup utilisées car la plupart du temps, l'analyste n'a l'intention de travailler que sur une de ces couvertures et veut masquer l'autre.

Cette technique se déroule en plusieurs étapes :

En premier lieu, il s'agit d'identifier les comptes numériques de l'objet à étudier (ici la végétation aquatique) c'est à dire recueillir les réponses (numériques) de cet objet sur une ou plusieurs bandes de l'image. La valeur (forte ou faible) de cette réponse n'est pas ici le plus important. Il s'agit seulement d'identifier une valeur constante (ou des intervalles de valeur constants) dans la réponse des différentes unités de végétation aquatique présentes dans l'ensemble de l'image.

Ceci peut être fait en réalisant l'histogramme de l'image. L'histogramme d'une image est la représentation graphique des valeurs numériques d'intensité qui composent une image. Ces valeurs, de 0 à 255 pour des données 8 bits (comme c'est le cas de nos images) apparaissent le long de l'axe des x et la fréquence de l'occurrence de ces valeurs est représentée le long de

l'axe des y .

Les logiciels de traitement d'image utilisés dans le cadre de ce travail (ER Mapper™ et ERDAS IMAGINE™) rendent ce procédé très simple notamment ER Mapper™ qui permet d'extraire automatiquement les comptes numériques le long d'une ligne tracée sur l'image. Le logiciel extrait pour chaque point de cette ligne la valeur du pixel sur chaque bande.

Une fois les comptes numériques de l'objet d'intérêt identifiés, on passe à la seconde étape qui consiste à identifier une ou des valeurs seuils des réponses des pixels. C'est à dire en ce qui nous concerne, trouver une valeur ou un intervalle de valeur dans lequel sont contenues les réponses de la végétation aquatique. A partir de cette information, on définit un seuil en dessous et au dessus duquel l'ordinateur réassigne une valeur au pixel.

Par exemple si cette valeur est égale à 20 pour l'eau, la formule à appliquer à l'image aura cette forme : Si $X_i = 20$ alors 1 sinon 2. L'ordinateur interprétera cette formule ainsi : il va vérifier pour chaque pixel de la bande spécifiée (X_i) si sa valeur est égale à 20 (si donc ce pixel correspond à de l'eau) auquel cas il lui donne une nouvelle valeur égale à 1, si le pixel se révèle avoir une valeur inférieure ou supérieure à 20 (auquel cas ce pixel n'est donc pas de l'eau) il aura une nouvelle valeur égale à 2. Les pixels dans l'image résultante ne pourront prendre donc que deux valeurs 1 ou 2 (d'où le qualificatif binaire).

2.3.2 - SUIVI DE LA VÉGÉTATION AQUATIQUE DU LAC DE GUIERS

Nous allons dans cette partie examiner l'emprise spatiale de la végétation aquatique d'après les images dont nous disposons. Il s'agira au terme de cette analyse de retracer la manière dont s'est développée la végétation aquatique durant ces deux dernières décennies.

2.3.2.1 - Problématique de l'existence de la végétation aquatique au Lac de Guiers en 1972

Essayer d'isoler la végétation aquatique sur l'image LANDSAT s'est avérée difficile. Cette difficulté vient de plusieurs raisons dont la principale est la faiblesse de la résolution spatiale¹ de LANDSAT MSS (80 mètres). La grossièreté de cette résolution fait en effet que certains caractères des objets sont indiscernables. Il faut ajouter à cela des conditions atmosphériques non optimales, on remarque d'ailleurs un nuage au nord-est de l'image.

La technique de la binarisation d'image a été impossible à appliquer à l'image LANDSAT. La raison principale en est que la détermination de manière certaine de la réponse de la végétation aquatique sur la composition colorée de cette image est extrêmement difficile voir impossible, sa signature spectrale ne peut donc être isolée.

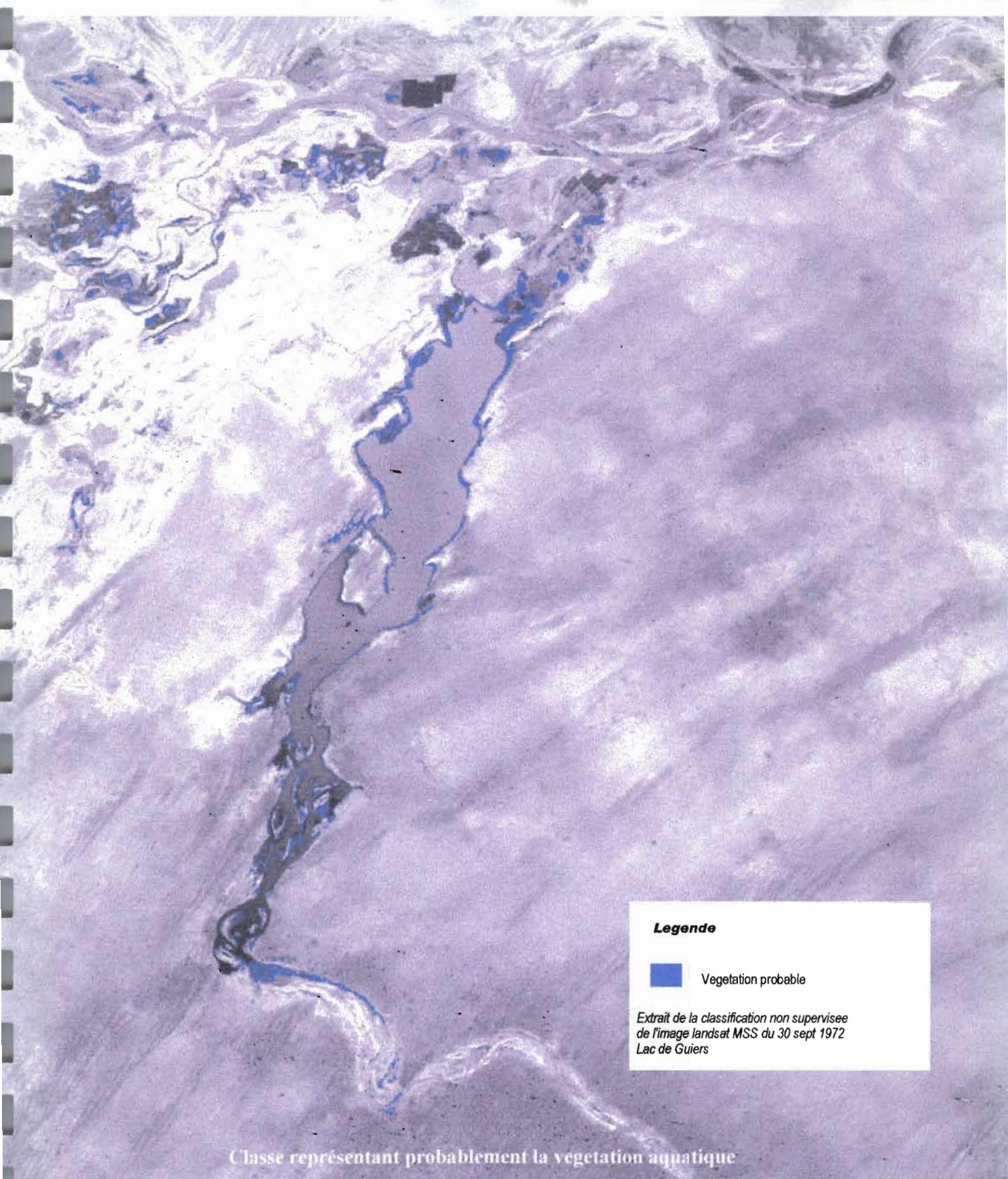
Une comparaison avec les autres images ayant permis de localiser les aires réputées de prédilection de cette végétation (pourtours du lac ; îlots du sud...), une classification non supervisée fut appliquée à l'image.

La classification non supervisée est utilisée quand on n'a pas suffisamment d'éléments permettant de séparer les classes d'information. C'est une technique qui procède d'une façon contraire à celle de la classification supervisée. Les classes spectrales sont formées en premier, basées sur l'information numérique des données seulement. Ces classes sont ensuite

¹ La résolution spatiale est la mesure du plus petit objet pouvant être distingué par le capteur ou la surface correspondant à chaque pixel dans l'image.

associées si possible, par l'analyste, à des classes d'information utiles. Des programmes appelés algorithmes de classification sont utilisés pour déterminer les groupes statistiques naturels ou les structures des données. Habituellement, l'analyste spécifie le nombre de groupes ou classes qui seront formés avec les données mais il peut aussi laisser l'ordinateur gérer ce paramètre. De plus, l'analyste peut spécifier certains paramètres relatifs à la distance entre les classes et la variance à l'intérieur même d'une classe. Le résultat final de ce processus de classification itératif peut créer des classes que l'analyste voudra combiner, ou des classes qui devraient être séparées de nouveau. Chacune de ces étapes nécessite une nouvelle application de l'algorithme. L'intervention humaine n'est donc pas totalement exempte de la classification non supervisée. Cependant, cette méthode ne commence pas avec un ensemble prédéterminé de classes comme pour la classification supervisée.

La classification non supervisée a donné de bons résultats concernant la division de l'image en classes. La Figure 32 montre le résultat de cette classification non supervisée. Elle se compose de 20 classes spectrales. L'assignation de la plupart de ces classes à des couvertures réelles n'est pas très difficile. Les unités se distinguent bien et pour ce qui nous intéresse, elle a fait ressortir une classe qui pourrait correspondre à la végétation aquatique car se localisant sur les terrains habituellement recouverts par elle : berges du lac, îlots de la partie sud, mais aussi autour des dépressions et cultures.



Classe représentant probablement la vegetation aquatique

Tableau 4 : Superficie de la classe probable de végétation aquatique

	Hectares	Km ²	Hectares %	Km ² %
Classe 5	6689,92	66,899	1,75	1,75

Il faut noter qu'il est tout possible que cette classe ne représente pas de la végétation aquatique ou si c'est le cas qu'elle soit de la végétation en état de dégénérescence avancée.

Cette dernière possibilité est très envisageable car il existe certains arguments qui militent en la faveur de l'absence de végétation aquatique dans le Guiers à cette époque.

Le premier de ces arguments est que l'année 1972 est au point de vue climatique, une année très défavorable à la croissance de la végétation aquatique. Elle est en plein dans la grande période de sécheresse que connaît le pays depuis 1969. C'est une année particulièrement sèche (deuxième maximum d'anomalie négative de -1,22 après l'année réputée particulièrement sèche : 1983 (-1,56). D'après REIZER (1974) : « 1972 est le record absolu du siècle. D'ailleurs en cette année, le déficit des précipitations a affecté toute l'Afrique occidentale »¹.

Le remplissage du lac dépendant du fleuve, lui-même dépendant de la quantité de pluviométrie reçue sur son bassin, une pluviométrie déficitaire fait donc reculer les eaux du lac. Or le domaine de prédilection des plantes aquatiques étant les limites des eaux, un recul des eaux entraîne donc leur mort ou à défaut un stress² très marqué ce qui fait que les réponses captées par le capteur sont très faibles.

En 1972, la crue du fleuve a été particulièrement faible et le lac s'est rempli de manière très lente, le pont-barrage est ainsi resté ouvert jusqu'au 26 janvier 1973, car la cote atteinte ce jour (0,01) a été rarement atteinte (COGELS, 1984). Le sud du lac est complètement asséché et les zones Centre et Nord se résument à une mare de 43 km². Un bon indicateur du niveau du Guiers est Nouk Pomo qui est une presque île sur cette image alors que quand le lac est bien rempli, c'est une île entièrement entourée par les eaux lacustres (cf. image de 1998).

Le deuxième argument et sans doute le plus important, c'est qu'en 1972, les eaux du lac étaient salées. Le pont barrage de Richard-Toll construit en 1947 (pour faire jouer au lac une fonction de réservoir d'eau douce) permettait en période de déficit de crue l'isolement des eaux lacustres qui étaient alors confronté à une très forte évaporation. Le lac fonctionnait ainsi en véritable « *bassin évaporant fermé* » (REIZER, 1974) ses eaux évoluant indépendamment des eaux du fleuve étaient barrées par la digue de Keur Momar Sarr au sud, par la digue de Niéti Yone au Nord en rive est. Le fleuve apportait une quantité importante de sels au lac car en déversant quelles que soient les conditions de pluviométrie de 300 à 500 millions de tonnes d'eau de crue, dont 180 millions de m³ sont perdus par évaporation, c'est 3600 tonnes de sels qui restent chaque année dans le lac (sur la base d'une concentration saline de 2 gr/litre).

En plus de cette quantité importante de sels emmenée par les eaux fluviales, il faut ajouter celle déposée par les casiers de la CSS (6000 hectares) qui déversait ses eaux de

¹ Les soulignés sont de l'auteur cité

² la végétation aquatique peut vivre pendant un temps déterminé hors de l'eau

drainage dans le lac que les pompages - de la CSS, de la SAED, de la SENDA¹ et ceux particulièrement importants effectués par la SONEES à Ngnith - asséchaient.

Les effets combinés de tous ces facteurs font que les conditions de croissance et de santé pour la végétation aquatique étaient dérisoires pour ne pas dire inexistantes. Ce qui nous ramène à formuler deux hypothèses :

- 1) qu'en 1972, il y avait peu de végétation aquatique dans le Guiers ;
- 2) que la végétation aquatique présente dans le Guiers en 1972 était en dégénérescence.

Pour vérifier nos hypothèses, nous utiliserons les indices de végétation.

L'indice de végétation par la différence normalisée est une technique très utilisée pour surveiller l'état de la végétation à l'échelle continentale et à l'échelle du globe (NDVI²). Cette transformation est le plus souvent utilisée avec les données des radiomètres avancés à haute résolution (AVHRR³) à bord des satellites NOAA⁴ mais elle peut aussi être utilisée pour reconnaître la végétation sur des images provenant des satellites LANDSAT et SPOT. Au Sénégal, cet indice est surtout connu par l'utilisation qu'en fait le CSE⁵ pour l'estimation des récoltes et de la biomasse végétale. Elle est basée sur les propriétés spectrales de la végétation.

La végétation a un comportement spectral complexe qui dépend de plusieurs facteurs intervenant à l'échelle de la feuille (structure anatomique des nimbos, teneur en eau, âge, croissance); celle de la plante et celle du couvert (saison, phases de croissance, densité...).

Les organes de la plante absorbent de manière importante les ondes électromagnétiques dans le domaine du visible et le moyen infrarouge et réfléchissent fortement dans les longueurs d'ondes correspondant au proche infrarouge. Ceci est principalement dû aux pigments foliaires comme la chlorophylle qui absorbent dans le rouge et le bleu et ont une réflectance maximum dans le vert (vers 550 nm⁶). Cette forte réflectance de la feuille vivante dans la longueur d'onde du vert fait qu'elle nous apparaît en vert.

Deux conséquences découlent des propriétés optiques des feuilles et ont des retombées dans la pratique: la réflectance dans le proche infrarouge est liée positivement à la biomasse végétale, la réflectance dans le rouge l'est négativement. Ces propriétés sont en effet le fondement de la notion d'indice foliaire (LAI⁷) qui permet de déterminer radiométriquement les phytomasses.

Le LAI est utilisé pour le suivi de la croissance des cultures et pour la prévision des récoltes.

Plusieurs indices basés sur l'absorption du rayonnement du rouge et la réflexion du rayonnement proche-infrarouge par les plantes ont été développés pour mesurer la biomasse végétale sur un territoire. Le plus simple est l'indice de végétation (rapport infrarouge/rouge)

¹ Implantée en 1970 à Temeye Salane. la SENDA qui se destinant à l'origine à l'embouche bovine, pratiquait la culture du maïs par aspersion

² Normalized Difference Vegetation Index

³ Advanced Very High Resolution Radiometer

⁴ National Oceanographic Atmospheric Administration (Météo Nationale Américaine)

⁵ Centre de Suivi Ecologique

⁶ nm = nanomètre (milliardième de mètre)

⁷ de l'anglais Leaf Area Index : rapport entre la surface des feuilles et la surface de terrain occupée par la végétation.

aussi appelé indice de biomasse. Cet indice étant limité par sa grande sensibilité aux conditions du terrain (couleur du sol par exemple), on a essayé de réduire l'effet du sol à l'aide d'une différence normalisée : $PIR - R / PIR + R$ (NDVI). Cet indice normalisé est un bon indicateur de l'état de la végétation d'un territoire.

La Figure 33 montre le résultat de l'indice de végétation par la différence normalisée appliquée à l'image LANDSAT. Elle révèle une faible présence de la végétation aquatique au lac de Guiers en 1972. Les unités de végétation apparaissent en blanc et ont été délimitées. Elles couvrent seulement 1,1 % de l'image, ce qu'on peut qualifier de dérisoire. Ces unités de végétation sont essentiellement constituées par les casiers sucriers de la CSS et les casiers rizicoles de Colonat, le Djoudj. En dehors de ces unités dominantes, il existe de petits groupements disposés sur les rives de la Taoué et en rive ouest du nord de Ndiakhaye jusqu'au sud de Guidick, nord de Mbanar, sur la presqu'île de Nouk Pomo. Leur disposition autour des villages et leurs formes rectangulaires révèlent qu'il s'agit de zones de cultures.

Trois unités localisées dans le lac représentent la végétation aquatique : l'une dans l'extrémité nord, l'un au nord-ouest de Foss et l'autre au nord-ouest de Guidick. Seule cette dernière apparaît comme étant de la végétation aquatique, les deux autres sont des reliques.

En conclusion, nous pouvons dire que la végétation aquatique était absente du lac de Guiers en 1972. Ce qui apparaît sur la composition colorée et constitue deux classes dans la classification non supervisée ce sont les reliques d'une végétation aquatique anciennement dense et qui à cause de la péjoration climatique s'est retirée laissant la place à un tapis végétal constitué d'une végétation de berge qui pousse sur les vastes surfaces abandonnées par la décrue (*Cyperus sp.*, *diguitye* en wolof par exemple).

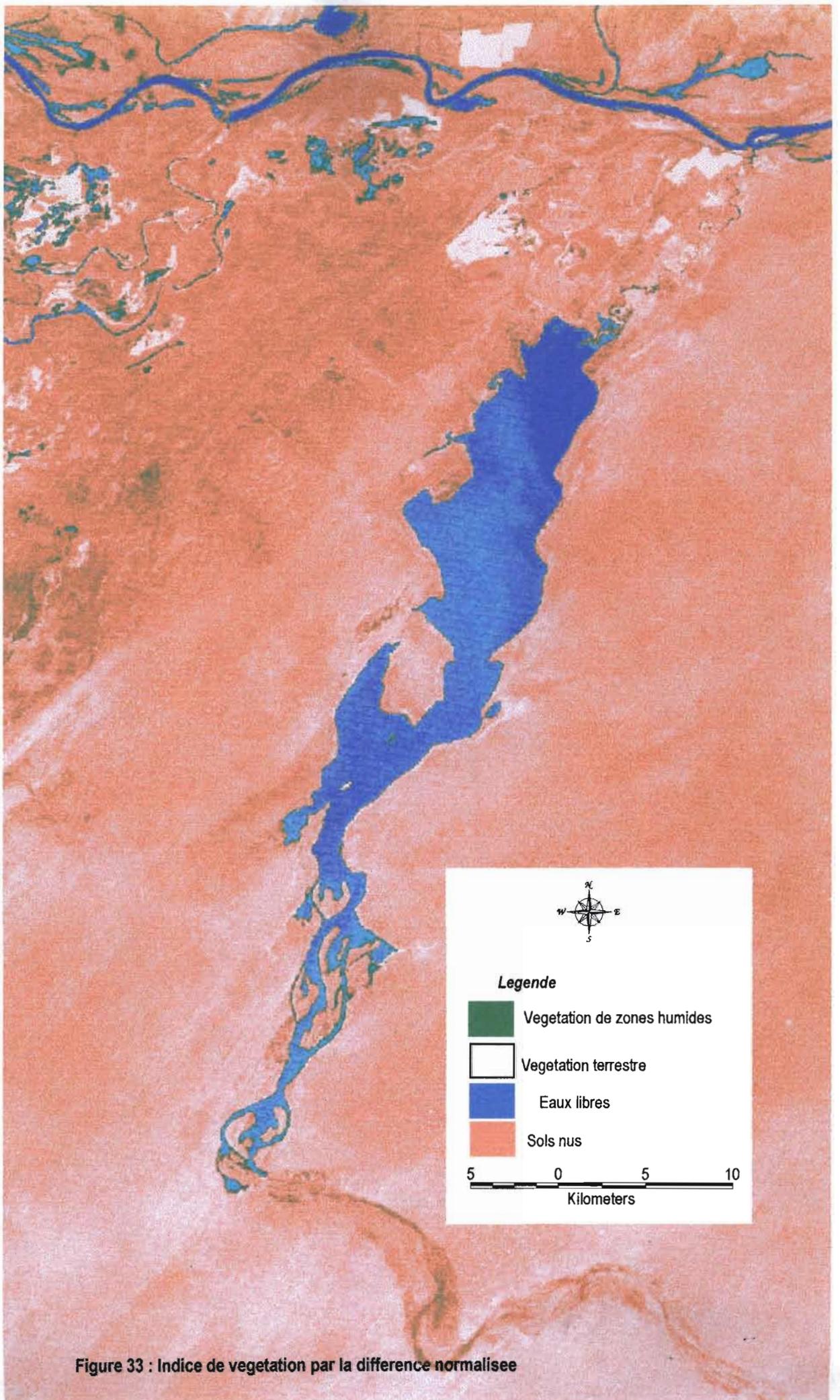


Figure 33 : Indice de vegetation par la difference normalisee

2.3.2.2 - La situation actuelle de la végétation aquatique

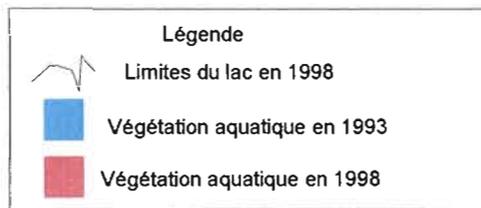
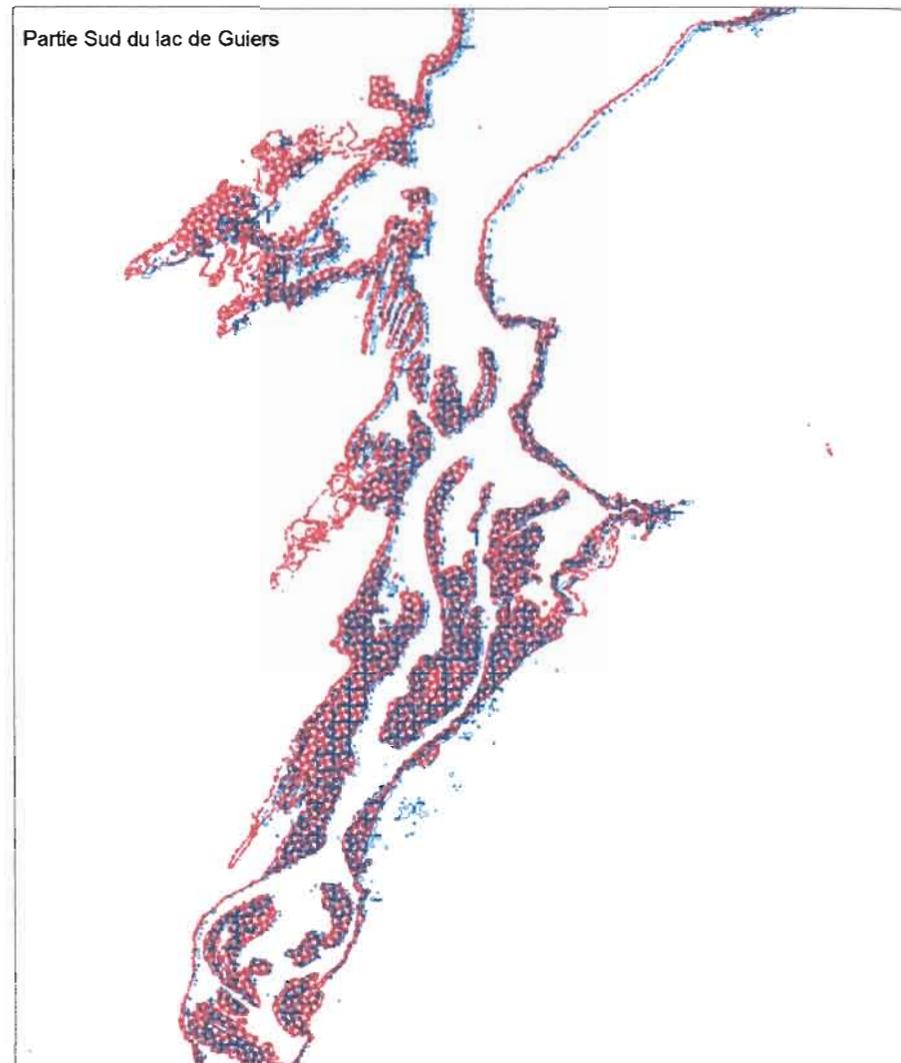
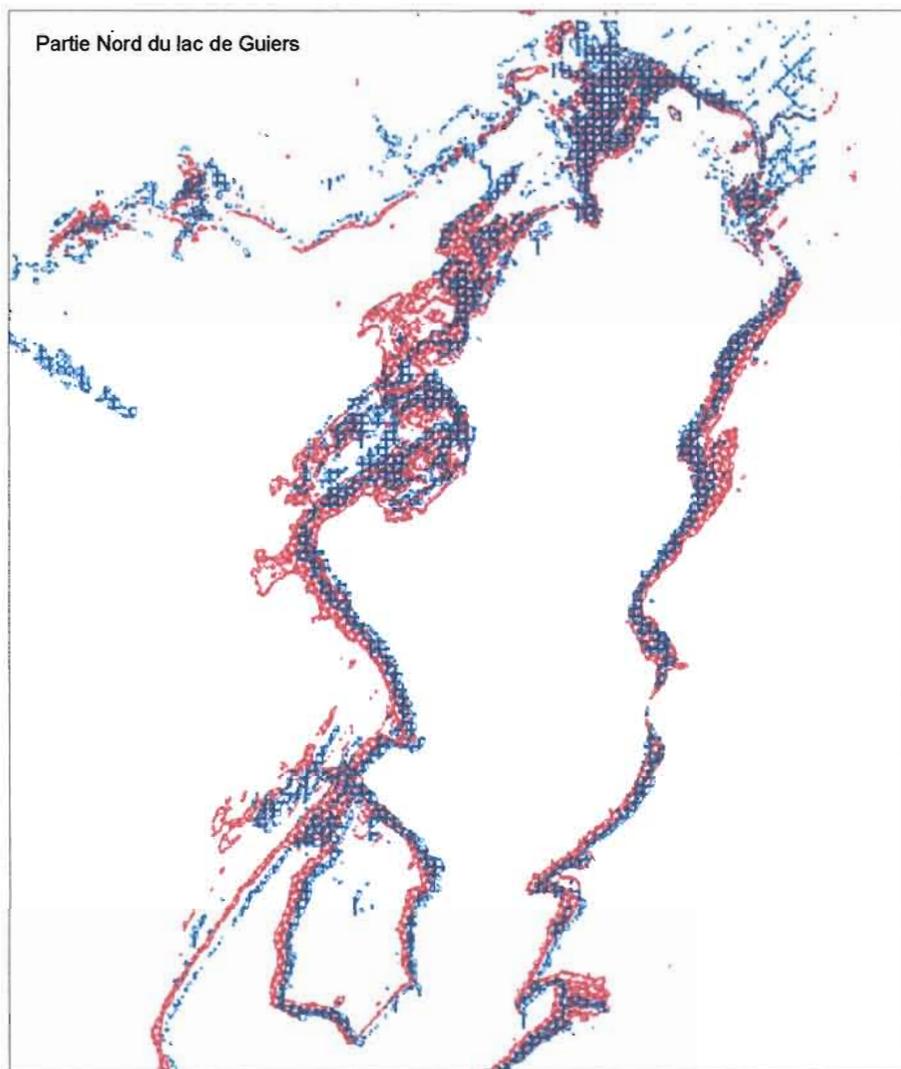
La végétation aquatique est apparue en force dans les années 80 au lac de Guiers. Les barrages en permettant au lac de disposer d'eau douce toute l'année ont favorisé le développement rapide de la végétation. Elle avait colonisé les rives du lac jusqu'à revêtir des proportions inquiétantes au début des années 90. En 1993 elle avait été abondante au point de colmater la digue de Keur Momar Sarr. Sa superficie atteignait selon nos calculs 50 km².

Elle est encore plus importante en 1998, elle est toujours présente et couvre une superficie de 66,857 km². La végétation aquatique a donc encore beaucoup proliféré (Figure 34).

Cette prolifération a des conséquences importantes dans la région. Elle réduit l'espace cultivable en décrue, rend les voies d'accès des villageois au lac très réduits, gêne les activités de pêche et de navigation (par pirogues) difficiles et abrite une faune aviaire et malacologique nocive. La faune malacologique est un vecteur potentiel de la bilharziose tandis que la faune aviaire est destructrice de récolte.

La végétation aquatique ne cesse de croître malgré les sonnettes d'alarme tirées par nombre de chercheurs. Leur développement introduit maladies et difficultés de tous genre. Il est aujourd'hui plus que jamais nécessaire de l'éliminer sinon de la réduire.

Etendue spatiale de la végétation aquatique en 1993 et en 1998



2.4 - ÉTUDE PAR TÉLÉDÉTECTION DE L'OCCUPATION ET DE L'UTILISATION DES SOLS A KEUR MOMAR SARR ET SES ENVIRONS

L'étude de l'occupation et de l'utilisation du sol et sa cartographie est à la base des efforts de planification et d'aménagement du territoire. L'aménagement du territoire est à la fois un outil de pouvoir politique et le reflet d'une conscience publique de la fragilité de l'environnement et de la finitude de l'espace dans lequel une population est amenée à se développer. Du point de vue économique et social, la connaissance de l'occupation et de l'utilisation du sol est importante pour plusieurs acteurs : agriculteurs, urbanistes, agences de protection de l'environnement, militaires, planificateurs, météorologues... Pour l'ensemble de ces acteurs, les exigences sont les mêmes, à savoir documents exacts et à jour.

En ce qui concerne notre zone d'étude (Keur Momar Sarr), une étude de l'occupation et de l'utilisation du sol hormis l'intérêt scientifique que cela comporte, se justifie par plusieurs raisons. C'est un milieu qui à cause des aménagements apportés au lac de Guiers et au fleuve Sénégal, a vu son environnement se modifier rapidement ainsi que les activités économiques auxquelles se livre sa population. En outre c'est une zone qui est concernée par un nombre de projets d'aménagement extrêmement importants pour la région et pour tout le Sénégal (deuxième prise d'eau de la SDE, implantation de fermes par les Israéliens...). L'ensemble de ces projets nécessite des cartes d'occupation et d'utilisation du sol.

La réalisation d'une carte d'utilisation du sol a pour préalable la collecte d'informations précises : données de terrain, photographies aériennes, données de satellites...

Les deux premiers types de données ont un coût par unité de surface très élevé et des délais d'acquisition très longs. Les données satellitaires ont par contre un temps d'acquisition très réduit et surtout améliorent grandement la quantité et la qualité de l'information présentée à l'analyste.

Le développement de la télédétection, très étroitement liée à celui de l'informatique, se base sur le traitement numérique des images. La cartographie de l'utilisation du sol par télédétection fait appel massivement au traitement d'images car ce dernier permet la génération automatique de données statistiques et leur sauvegarde en vue d'utilisations futures.

2.4.1- ASPECTS CONCEPTUELS ET MÉTHODES

Une étude sur l'utilisation du sol manipule certains concepts qu'il est nécessaire de clarifier. La méthodologie adoptée s'appuie aussi sur ces concepts.

2.4.1.1 - Utilisation du sol et couverture du sol

L'utilisation du sol est l'usage anthropique du terrain ou encore le rôle fonctionnel de l'espace géographique. Elle est reliée à l'activité économique et humaine et ne se définit que par rapport à elle (F. Bonn et al., 1989).

Ainsi, on peut dire d'un espace qu'il est agricole, urbain, pastoral, industriel... L'utilisation du sol n'est pas directement visible sur le terrain et nécessite un effort

d'abstraction pour son interprétation.

La couverture du sol est par contre l'aspect physique du terrain : sa couverture végétale, anthropique, son hydrographie etc. sans indication de la fonction de ces espaces. La couverture du sol se définit par les formes et la nature de la surface, elle est observable directement sur le terrain ou sur une image de satellite.

L'une des principales difficultés dans l'étude de l'utilisation du sol est qu'il existe une dichotomie nette forme/fonction ou couverture/utilisation. La même couverture peut avoir plusieurs utilisations : la forêt peut être utilisée pour son bois, peut être une réserve faunique et/ou forestière... La même utilisation peut aussi apparaître sous différentes couvertures – un espace agricole peut apparaître sous la forme de sol nu, recouvert de végétation ou d'eau d'irrigation.

La télédétection ne peut reconnaître que la couverture du sol car elle est la seule variable, comme nous l'avons vu, qui se manifeste sur une image satellitaire. L'utilisation du sol doit être déduite par une analyse des couvertures du sol.

Ainsi, notre étude se déroulera en deux étapes. En premier lieu, nous essaierons d'identifier les couvertures du sol et en une deuxième étape, nous tenterons de regrouper ces différentes couvertures en classes d'utilisation du sol.

2.4.1.2 - Outils et Méthodes

Nous allons utiliser pour cartographier l'utilisation des sols une image satellite SPOT 4 datant du 8 octobre 1998. Les classifications seront améliorées grâce à des données recueillies sur le terrain.

La première étape de notre travail consistera à identifier les différentes couvertures du sol. Nous essayerons d'y parvenir en combinant deux approches : l'analyse visuelle et la classification supervisée.

2.4.1.2.1 Analyse visuelle des images

L'analyse visuelle des images constitue généralement la première phase d'une étude de télédétection sur l'utilisation du sol. C'est une approche qui permet non seulement de visualiser et de spatialiser l'information contenue sur une image mais aussi de trouver la façon dont s'organise cette information. L'analyse visuelle représente ainsi un excellent moyen pour extraire de l'image des informations qui seront ensuite utilisées lors de traitements numériques (classifications).

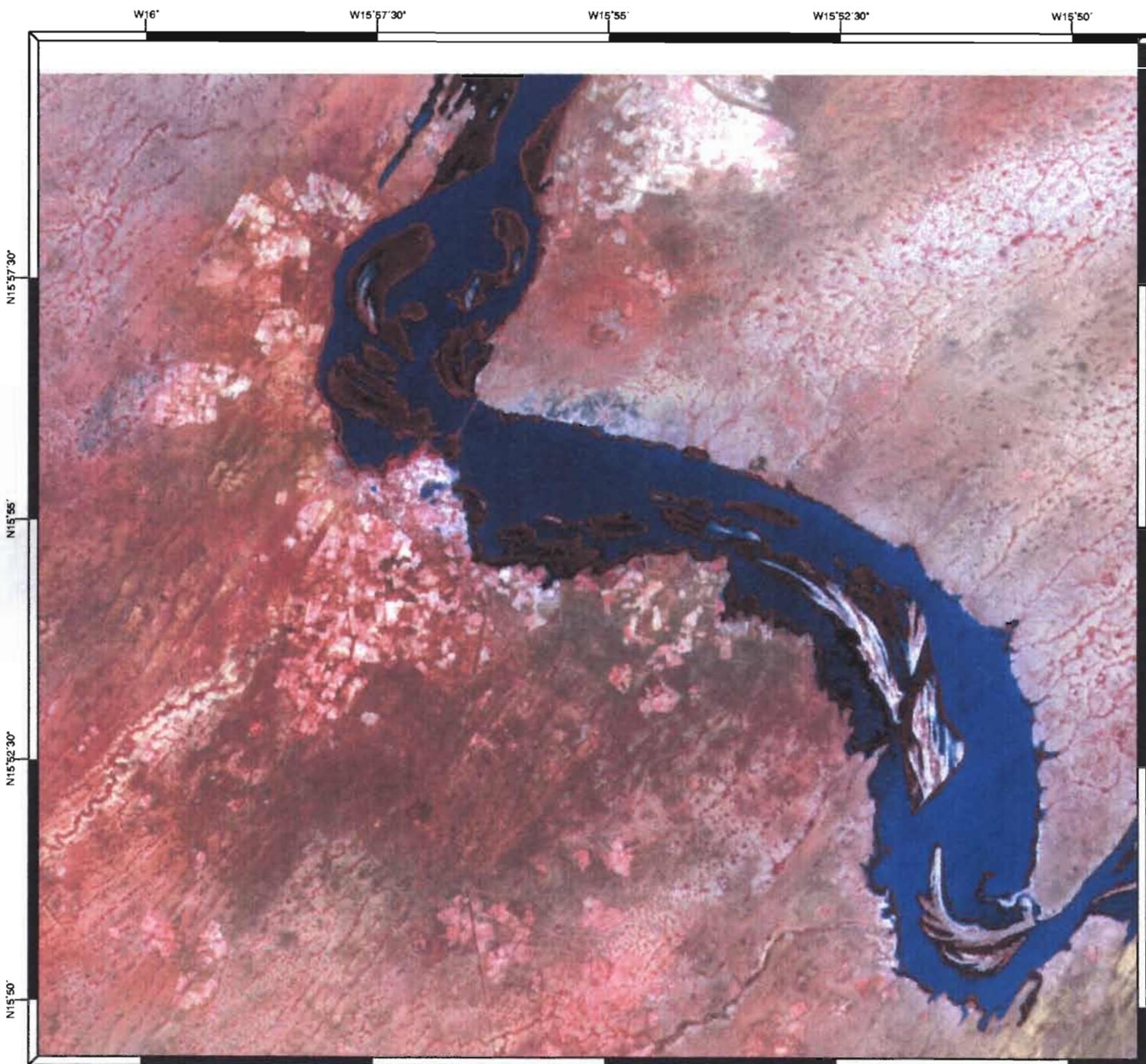
Dans cette étude, elle consiste à examiner les compositions colorées de l'image (Figure 35). Composition colorée selon le procédé classique qui est une synthèse de l'information et doit nous permettre de dresser une typologie des paysages, d'en distinguer les limites et d'extraire leur contenu informationnel.

Il s'agit essentiellement d'identifier les zones d'égale apparence. Pour ce faire, notre analyse se basera sur les variables visuelles que sont la couleur (ou ton), la forme, la texture et l'association.

- **La couleur** réfère à la teinte ou à la clarté relative (ton) des objets dans une image. Généralement, la nuance de ton est l'élément fondamental pour différencier les cibles et les structures. Les variations de ton permettent aussi la différenciation des formes, textures

et patrons des objets. La couleur obtenue sur la composition colorée est la résultante de la synthèse des différentes couleurs correspondant aux réponses spectrales des objets dans chaque bande. Faire une analyse visuelle revient à établir une relation entre la couleur et la signification thématique. Ce qui est difficile car un certain nombre de facteurs peuvent influencer la coloration. Par exemple, la couleur sous laquelle apparaît la végétation dépend de sa santé, de sa densité... Il faut ajouter à cela que dans une combinaison de canaux, la même couleur peut représenter des objets différents ou inversement. Pour pallier ces insuffisances, l'analyste doit prendre en compte les autres variables ci dessous :

- **La forme** qui réfère à l'allure générale, la structure ou le contour des objets pris individuellement. La forme peut être un indice très important pour l'interprétation. Les formes aux bordures rectilignes se retrouvent généralement dans les régions urbaines ou sont des champs, alors que les structures naturelles, telles que les bordures des forêts, sont généralement plus irrégulières, sauf dans les endroits où l'homme a construit une route ou effectué une coupe à blanc. Les fermes où les champs de culture irrigués par des systèmes d'arrosage automatiques présentent souvent des formes circulaires.
- **La texture** est la variation des niveaux de gris sur une image. Elle est liée à la notion de périodicité c'est à dire à la répétition plus ou moins régulière des motifs de base. Elle réfère ainsi à l'arrangement et à la fréquence des variations de teintes dans des régions particulières d'une image. Des textures rugueuses consisteraient en des tons en rayures où les niveaux de gris changent brusquement dans une petite région, alors que les textures lisses auraient peu ou pas de variations de tons. Les textures lisses sont souvent le résultat de surfaces uniformes telles que des champs, du pavement ou des terrains gazonnés. Une cible avec une structure irrégulière, telle qu'une forêt, apparaît avec une texture d'apparence rugueuse. La texture est l'un des éléments les plus importants pour différencier les structures sur une image radar.
- **L'association** (environnement) tient compte de la relation entre la cible d'intérêt et d'autres objets ou structures reconnaissables qui sont à proximité. L'identification d'éléments qu'on s'attend normalement à retrouver à proximité d'autres structures peut donner de l'information facilitant l'identification. Par exemple, une parcelle de culture de décrue peut être associée à sa proximité au lac et à un village. Une parcelle de culture irriguée à sa localisation près d'un canal d'irrigation.



2 0 2 4
Kilometers

Composition colorée 321
Extrait d'images Spot 4 d'octobre 1998

Figure 35: Vue Spot de Keur Momar Sarr en 1998

2.4.1.2.2 La classification supervisée

La méthode de classification que nous avons choisie pour cette étude est la classification supervisée. Lors de ce type de classification, l'analyste tente de classer les caractéristiques de l'image en utilisant les éléments de l'analyse visuelle pour identifier des groupes homogènes de pixels qui représentent des classes intéressantes de surfaces.

La classification numérique des images utilise l'information spectrale contenue dans les valeurs d'une ou de plusieurs bandes spectrales pour classer chaque pixel individuellement. Ce type de classification est appelé reconnaissance de regroupements spectraux et a pour but d'assigner une classe particulière ou thème (par exemple : eau, forêt, maïs, blé, etc.) à chacun des pixels d'une image. Le résultat est une "*nouvelle*" image qui représente la classification et qui est composée d'une mosaïque de pixels qui appartiennent chacun à un thème particulier. Cette image est essentiellement une représentation thématique de l'image originelle.

Lorsqu'on parle de classes, il faut faire la distinction entre classes d'information et classes spectrales. Les classes d'information sont des catégories d'intérêt que l'analyste tente d'identifier sur une image, comme différents types de cultures, de forêts ou d'espèces d'arbres, différents types de caractéristiques géologiques ou de roches, etc. Les classes spectrales sont des groupes de pixels qui ont les mêmes caractéristiques (ou presque) en ce qui a trait à leurs valeurs d'intensité dans les différentes bandes spectrales des données. L'objectif ultime de la classification est de faire la correspondance entre les classes spectrales et les classes d'information. Il est rare qu'une correspondance directe soit possible entre ces deux types de classes. Des classes spectrales bien définies peuvent apparaître parfois sans qu'elles correspondent nécessairement à des classes d'information intéressantes pour l'analyse. D'un autre côté, une classe d'information très large (par exemple la forêt) peut contenir plusieurs sous-classes spectrales avec des variations spectrales définies. En utilisant l'exemple de la forêt, les sous-classes spectrales peuvent être causées par des variations dans l'âge, l'espèce, la densité des arbres ou simplement par les effets d'ombrage ou des variations dans l'illumination. L'analyste a le rôle de déterminer de l'utilité des différentes classes spectrales et de valider leur correspondance à des classes d'informations utiles.

Lors de l'utilisation d'une méthode de classification supervisée, l'analyste identifie des échantillons assez homogènes de l'image qui sont représentatifs de différents types de surfaces (classes d'information). Ces échantillons forment un ensemble de données-tests. La sélection de ces données-tests est basée sur les connaissances de l'analyste, sa familiarité avec les régions géographiques et les types de surfaces présents dans l'image. L'analyste supervise donc la classification d'un ensemble spécifique de classes. Les informations numériques pour chacune des bandes et pour chaque pixel de ces ensembles sont utilisées pour que l'ordinateur puisse définir les classes et ensuite reconnaître des régions aux propriétés similaires à chaque classe. L'ordinateur utilise un programme spécial ou algorithme afin de déterminer la "*signature*" numérique de chacune des classes. Plusieurs algorithmes sont possibles : Maximum de vraisemblance, Minimum de distance, Mahalanobis...). Une fois que l'ordinateur a établi la signature spectrale de chaque classe, il l'affecte à la classe avec laquelle il a le plus d'affinités. Une classification supervisée commence donc par l'identification des classes d'information qui sont ensuite utilisées pour définir les classes spectrales qui les représentent.

2.4.2 - LES DIFFÉRENTES FORMES D'UTILISATION DU SOL À KEUR MOMAR SARR

Nous examinons à cette section les résultats de la méthodologie mise en œuvre.

2.4.2.1 - Les caractéristiques du milieu physique : les couvertures du sol

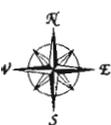
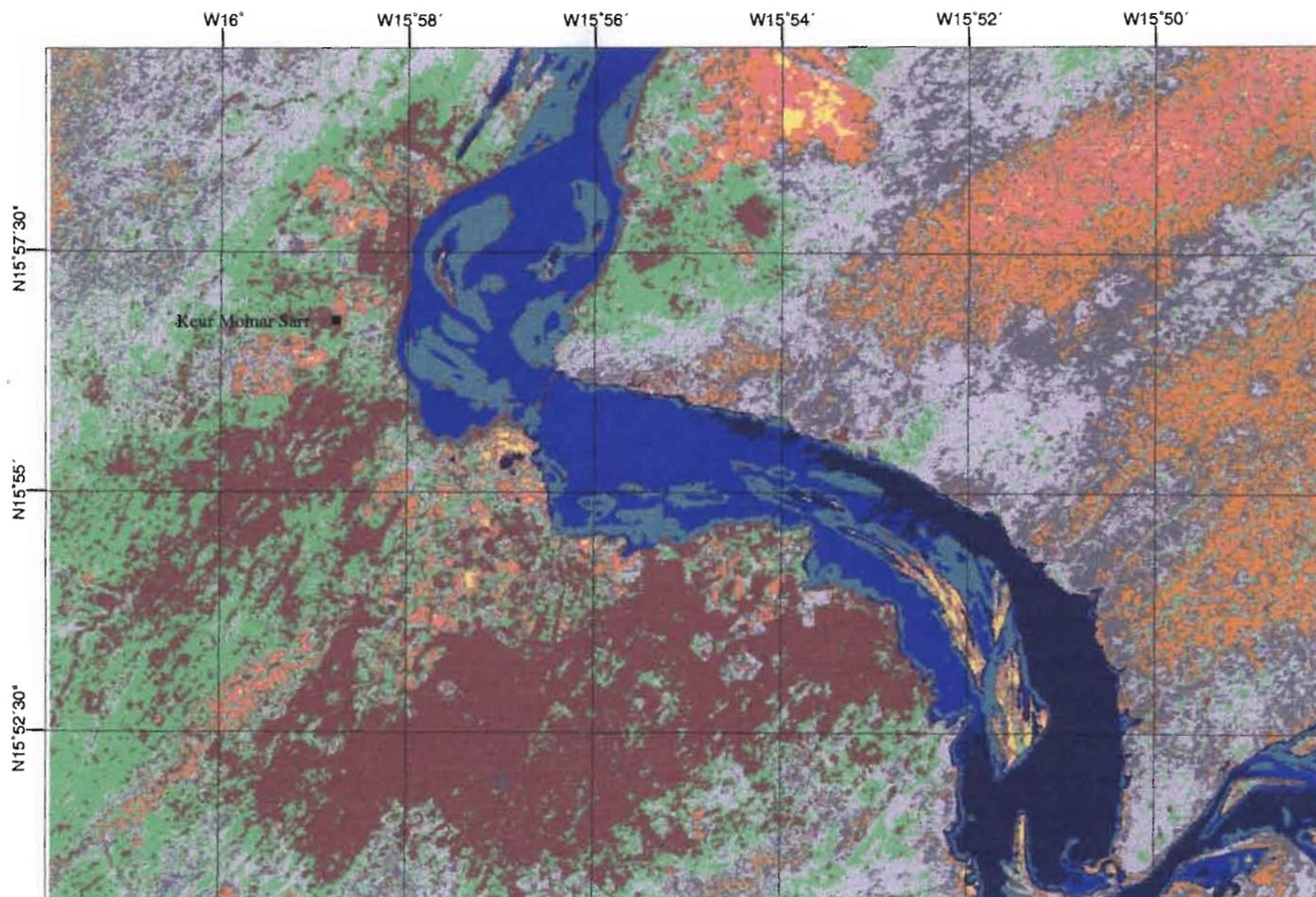
Les classes d'information définies pour notre étude sont (Figure 36) au nombre de 10. Ces classes ont été regroupées selon les critères énumérés ci-dessus (cf. analyse visuelle). Elles correspondent respectivement à :

- *Classe 1* : elle apparaît sous une couleur bleu clair qui est la résultante d'une forte réflectance. Elle correspond à une eau turbide et la réflectance notée est due aux matières en suspension qui la constituent.
- *Classe 2* : unité de paysage se localisant sur le lit mineur du lac. Elle correspond à l'eau claire. Sa couleur bleu très sombre est due au fait que l'eau claire absorbe la quasi-totalité de la radiation et a ainsi une réponse spectrale très faible ;
- *Classe 3* : elle apparaît sous une couleur rouge foncée. Elle est localisée sur les rives du lac en unités homogènes très denses. Sa couleur est la caractéristique d'une végétation saine car celle-ci absorbe fortement le rayonnement dans la portion du spectre électromagnétique du rouge visible et réfléchit fortement dans le proche infrarouge lorsqu'elle est en santé. Dans la composition colorée, c'est cette bande (proche infrarouge qui est affichée en rouge).
- *Classe 4* : elle apparaît à l'ouest de Diokoul (rive ouest au sud de Keur Momar Sarr) et est très étendue au sud-est de Keur Momar Sarr vers Keur Mody Yoro. Elle représente des sols isohumiques tropicaux lessivés.
- *Classe 5 et Classe 6* : elles sont imbriquées. Elles apparaissent sur la composition colorée en tons blancs assez proche mais de textures différentes. La classe 5 représente les habitations et la classe 6, l'espace cultivé. Celle-ci est plus étendue et entoure la première.
- *Classe 7* : c'est un ensemble dispersé de points ayant une couleur rouge plus claire que celle de la végétation aquatique. Elle est surtout dense vers le sud-est de l'image et autour du village de Keur Momar Sarr et de Diokoul. Elle correspond à de la végétation terrestre de type steppique clairsemée.
- *Classe 8* : elle apparaît sur les îlots de la basse vallée du Ferlo entre les unités de végétation aquatique et est très étendue en rive est ou elle se présente sous forme de bandes allongées. Son orientation trahit sa nature : ce sont des dunes constituées de sols sableux avec une végétation dégradée. C'est une classe très réfléchante qui apparaît en blanc dans la composition colorée.
- *Classe 9 et 10* : elles sont constituées de sols brun rouge hydromorphes et de sols isohumiques tropicaux.

2.4.2.2 - Les activités anthropiques : l'utilisation des sols

L'homme exploite son environnement pour la satisfaction de ses besoins économiques. Il utilise directement les ressources que la nature met à sa disposition ou les transforme de manière à pouvoir tirer profit de ces produits dérivés. Il utilisera ainsi les poissons dans un fleuve, transformera le bois d'une forêt, cultivera les sols fertiles d'un terrain. Il utilisera en somme son environnement physique dans le cadre de ses activités. Cette utilisation du sol dépend donc des possibilités offertes par le milieu, de ses caractéristiques physiques c'est à dire des couvertures du sol et du niveau de développement technologique et économique.

Ainsi, l'utilisation que fera l'homme d'un espace en fera un espace agricole, urbain, pastoral, industriel...

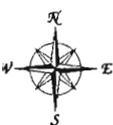
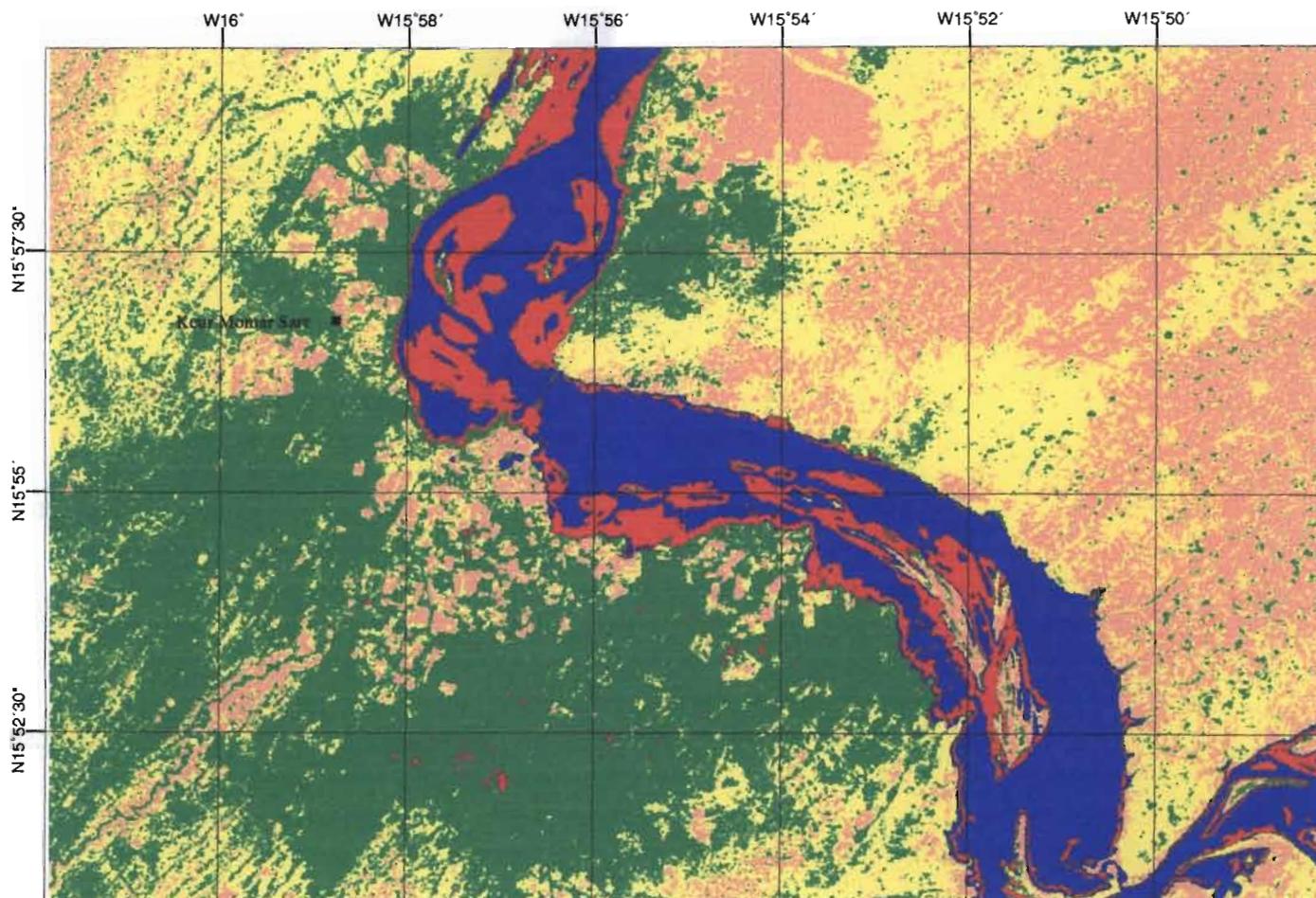


couvertures du sol dans les environs de Keur Momar Sarr

Classification d'images
Image Spot 4 d'octobre 98 - Sud du lac de Guiers

Legende

-  Eaux turbides
-  Eaux claires
-  Vegetation aquatique
-  Sols humides
-  Sols hydromorphes
-  Sols brun rouge
-  Sols ferrugineux
-  Vegetation terrestre
-  Sols sableux
-  Sols brun rouge hydromorphe



Legende

-  Vegetation
-  Eaux lacustres
-  Espaces culturaux
-  Espaces pastoraux
-  Sols sableux

Utilisation du sol dans les environs de Keur Momar Sarr

Classification d'images
Image Spot 4 d'octobre 98

Les couvertures du sol rencontrées à Keur Momar Sarr et ses environs vues à la section précédente, complétées par des informations recueillies sur le terrain peuvent nous permettre de déduire les différentes utilisations que font les populations de Keur Momar Sarr de leur terroir. La trilogie agriculture-élevage-conservation notée par COLY (1996) apparaît à travers les différentes formes d'utilisation de l'espace que nous avons déduit de notre étude : pêche, agriculture, élevage. Utilisations que nous avons regroupées sous trois rubriques : utilisations des surfaces couvertes d'eau, utilisations des espaces non protégés, utilisations des espaces protégés.

2.4.2.2.1 Les formes d'utilisation de l'eau

Le lac est utilisé pour irriguer les cultures, satisfaire les besoins domestiques, abreuver les animaux domestiques, et pour la pêche.

Cette dernière forme d'utilisation serait à l'origine de l'implantation de beaucoup de villages wolofs et maures sur les rives du lac (BALDÉ, 1983). En tous les cas, aujourd'hui encore elle toujours très présente dans la vie des populations. Elle est pratiquée sous forme artisanale par des pêcheurs qui sont en même temps agriculteurs pour l'autoconsommation. On remarque cependant de plus en plus des campements de pêcheurs qui se livrent de manière exclusive à cette activité et commercialisent leurs produits vers les principaux centres de la région. En d'autre terme, on assiste à une professionnalisation de cette activité redynamisée par l'abondance de poissons favorisée par les nouvelles conditions du milieu. La pêche a effectivement de bonnes productions selon la sous préfecture qui ne dispose cependant pas de chiffres. L'espèce la plus présente dans les prises est le *Tylapia* (*wass* en wolof).

La végétation aquatique est exploitée (bien que faiblement) par les populations féminines (maures en général) qui l'utilisent pour la fabrication de nattes et de quelques autres objets artisanaux.

Le lac de Guiers sert surtout à la satisfaction directe des besoins en eau de populations qui n'ont accès à l'eau potable que depuis septembre 1999. Auparavant, la seule alternative pour disposer d'eau potable était de s'approvisionner à Ndimbou situé à plusieurs kilomètres au nord en allant vers Ngnith. Dans ces conditions, on comprend que les populations qui traditionnellement d'ailleurs satisfont leurs besoins en eau dans le lac continuent d'encourir des risques de bilharziose en buvant l'eau du lac, en s'y baignant, en y lavant le linge... Elles affirment ne pas avoir d'autre alternative et font remarquer que cette eau aujourd'hui qualifiée de tous les dangers, leurs anciens et leurs aïeux avant eux la buvaient et l'utilisaient. C'est un problème culturel très ancré et encouragé par l'indisponibilité de réseau d'adduction d'eau. Les populations que nous avons rencontrées et à qui nous avons fait remarquer que ce problème était désormais réglé, nous ont objecté que les prix pratiqués étaient hors de leur portée. Elles ont la conviction que la SDE devait pratiquer des prix préférentiels en leur égard et trouvent anormal de devoir payer le même prix que les dakarois une eau « *qui ne parcourt que quelques mètres pour parvenir à nos foyers* » comme disent les habitants de Ngnith et qu'il leur suffit de puiser directement sans avoir rien à payer.

2.4.2.2.2 Utilisations des espaces non protégés : les espaces cultureux

Ils sont formés par les zones aménagées. Traditionnellement zone de transition entre le vieux bassin arachidier et la vallée du fleuve, Keur Momar Sarr se caractérisait par des rendements dérisoires qui ont finalement emmenés les populations à se tourner vers les cultures vivrières pour assurer leur sécurité alimentaire (BALDÉ, ISE, 1983). C'est sous l'effet des aménagements apportés au lac et au fleuve et sous l'impulsion de structures formelles et

de financement comme l'A.S.R.E.A.D., la C.N.C.A., les caisses d'épargnes populaires... que l'agriculture a commencé à se développer. Cette nouvelle place de l'agriculture dans la communauté rurale achève de faire de Keur Momar Sarr un pôle régional de développement.

Aux différentes formes d'agriculture qui se pratiquaient (pluviale et décrue) s'est ajoutée la culture irriguée désormais permise par la disponibilité de l'eau.

Les cultures pluviales sont pratiquées par toutes les ethnies à des degrés divers toutefois. Les principales spéculations sont : le niébé, le mil et l'arachide avec une nette prédominance du niébé (selon la sous-préfecture). Les résultats sont décevants à l'image du pays à cause de la pauvreté des sols qui sont très dégradés et de la mauvaise pluviométrie. Une part importante du mil et du niébé est destinée à l'autoconsommation.

Les cultures traditionnelles de décrue (manioc, tomates, piments ...) sont destinées à la commercialisation. Elles constituent une bonne alternative aux mauvaises conditions de pluviométrie mais sont très gênées par la végétation aquatique. Les paysans se plaignent surtout d'une espèce qu'ils appellent "sonkh" qui favoriserait la salinisation des sols. C'est une espèce rhizomateuse qui se développe en limite des eaux et avance de manière souterraine grâce à ses racines. Une fois établie sur une zone, on note une rapide remontée des sels en surface. Cette forme de culture est très prisée par les paysans car elle ne demande pas beaucoup d'efforts et fournit des revenus intermédiaires.

La culture irriguée (patate surtout) est d'apparition plus récente. Cette dernière jouit cependant d'une considération croissante de la part des paysans car elle est pourvoyeuse de revenus consistants (un périmètre d'un hectare rapporte selon les paysans en moyenne 650 000 francs). Elle se pratique soit sur les zones de décrue grâce à des motopompes ou dans des périmètres éloignés des rives du lac mais desservis par un système de canaux d'irrigation.

2.4.2.2.3 Utilisations des espaces protégés et l'élevage

Keur Momar Sarr partie intégrante de la réserve sylvo-pastorale de Mpal-Mérinaghène vaste zone de 65 000 hectares protégés depuis le 16/08/1946. C'est une communauté rurale avec une vocation traditionnelle d'élevage établie. C'est un élevage de bovins et d'ovins pratiqué surtout par les peuls, les wolofs et maures s'occupent surtout de celui des petits ruminants. Il est soumis à quelques mutations perceptibles. Le bétail commence à avoir en plus de la valeur sociale, une valeur économique aux yeux du peul. En effet, le peul se limitait traditionnellement à la commercialisation des sous produits dérivés de l'élevage (lait...). Mais ce caractère contemplatif traditionnel de l'élevage peul tend à reculer à la faveur d'une valeur économique de plus en plus certaine. La fructification du capital est désormais l'objectif des éleveurs qui se contentaient de sa conservation.

L'élevage de petits ruminants sert essentiellement à la satisfaction de besoins ponctuels imprévus et aux fêtes familiales et religieuses pour l'ensemble des ethnies.

Les limites de cet espace sont floues. Elle est souvent imbriquée à l'espace agricole au profit duquel on note une certaine régression avec la complicité de la volonté affichée par les gouvernants de limiter le nomadisme et de développer l'agriculture.

La carte de l'utilisation du sol qui découle de notre étude montre une nette prédominance de l'activité d'élevage dans la région. On note cependant un déclin de cette activité au profit de l'agriculture qui acquiert de plus en plus d'importance dans la vie de la communauté rurale dont le marché hebdomadaire sert à écouler les productions. Signalons

aussi parmi les formes d'utilisation du sol, la cucillette qui bien que marginale n'en constitue pas moins une activité génératrice de revenus.

La communauté rurale de Keur Momar Sarr est une région où les impacts des aménagements sont très perceptibles. L'élevage et l'agriculture pratiqués de manière traditionnelle se développent à la faveur des nouvelles conditions offertes par le milieu. À l'image de la région du lac de Guiers, elle souffre également de certains maux parmi lesquels on peut citer : bilharziose (Keur Momar Sarr n'est pas pris en compte par Espoir 2000¹), manque de structures d'encadrement et de financement.



¹ Organisation installée à Richard-Toll et qui lutte contre la bilharziose

CONCLUSION

Il ressort de cette étude que la région du lac de Guiers a fortement évolué du fait des phénomènes naturels comme la péjoration climatique mais aussi du fait des nombreux aménagements introduits par l'homme dans le milieu.

De région à économie essentiellement rurale fondée sur l'agriculture et l'élevage, elle s'est peu à peu ouverte à l'agro-industrie. L'agriculture utilisait harmonieusement les ressources et les conditions offertes par le milieu. Les populations locales se livraient en saison pluvieuse aux cultures pluviales et retournaient exploiter les rives du lac à la saison sèche. L'étendue spatiale et l'importance de ces dernières dépendaient de la submersion des rives par la crue et variaient donc d'une année à l'autre. Les avantages qu'en tiraient les paysans étaient importants et ce système de culture était adapté aux conditions du milieu.

L'aridification progressive ayant rendu précaire ce mode d'exploitation, il a fallu procéder à des aménagements et réaménagements pour pallier les déficits pluviométriques aux effets catastrophiques.

Le nouveau système mis en place a modifié de manière très profonde les conditions hydrologiques du milieu. L'eau maintenant disponible en quantité suffisante toute l'année a favorisé le développement de l'irrigation en même temps qu'elle causait la disparition des cultures traditionnelles de décrue. On note aussi un certain nombre de problèmes environnementaux comme la croissance des plantes aquatiques.

L'écosystème du lac de Guiers apparaît comme étant un milieu sensible aux modifications de son environnement. Son intérêt et les perspectives importantes pour le Sénégal qu'il suscite, pose la nécessité d'une compréhension totale de l'évolution du milieu et de son fonctionnement par une démarche systématique de suivi.

La télédétection spatiale, offre des outils efficaces et faciles à mettre en œuvre, outils qui peuvent aider à l'amélioration de la connaissance du milieu et surtout au suivi de son évolution.

Les produits issus en effet des satellites à haute résolution comme Landsat et Spot fournissent une information riche et variée utilisable dans des banques de données ou dans des systèmes d'information géographique.

BIBLIOGRAPHIE

- Adam, (J.G.) 1964 Contribution à la végétation du lac de Guiers (Sénégal) Bull. IFAN. T XXII, série A, n°2, pp. 361-384
- Albrecht, A. 1986 Influence du système de culture sur l'agrégation d'un vertisol et d'un sol ferrallitique, Cah ORSTOM, série Pédologique, Vol XXII n°4.
- Audibert, (M) 1970 Delta du fleuve Sénégal : étude hydrochimique. Rapport OERS, PNUD-FAO, Saint-Louis (Sénégal), 1-2
- Baudoin, (R.) 1987 Le système productif en agriculture, Cahiers des Sciences Humaines, 23 (3-4) 1987 : 357-375, ORSTOM
- Bonn (F.), 1992 Précis de télédétection, Vol. 1 : Principes et méthodes, AUPELF, 485 p.
- Rochon (G.) 1992 Saint-Louis du Sénégal : mort ou renaissance, Harmattan, Paris
- Bonnardel,(B) 1992
- Bonnefond,Ph 1981 Systèmes de culture et unités de production paysannes sur la rive gauche du fleuve Sénégal, Et. Scient. Déc. 81 : 15-36
- . et al.
- Byrne, (G.F.), 1980 Monitoring Land-Cover by Principal Component Analysis of Multitemporal LANDSAT Data, *Remote Sensing of Environment*, n°10 pp. 175-184
- Crapper,(P.F),
- Mayo, (K.K.)
- Caneill, J. 1977 Etude des systèmes de production et des systèmes de culture. R^d Toll, ISRA-CRA, 11p.
- Chavez, (P.S.) 1989 Extracting Spectral Contrast in LANDSAT Thematic Mapper Image Data Using Selective Principal Components Analysis, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 55, n° 3, pp. 339-348
- Kwarteng,(A)
- Chavez, (P.S.Jr.) 1989 Radiometric Calibration of LANDSAT Thematic Mapper Multispectral Images, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 55, n° 9, pp. 1285-1294.
- Cogels (F.X.) 1981 « Le lac de Guiers : fonctionnement et bilans hydriques - évaporation d'une nappe d'eau libre en zone sahéenne (Sénégal) ». *Cahiers orstom, série géologie (FRA)*, 1981-1982, vol.12 n°1, pp.41-60.
- GAC (J.Y.),
- Cogels (F.X.), 1983 « Circulation et salinité des eaux du lac de Guiers. Problème de développement et modèle de gestion ». in I.S.E pp. 25-40.
- GAC (J.Y.),
- Cogels (F.X.), 1993 Le lac de Guiers : bilan actuel et gestion future; *EQUESEN*.
- NIANG (A.),
- COLY (A.),
- Cogels, (F.X.) 1994 ., Niang A., Coly A., Gac J.Y., Le lac de Guiers Étude générale du système lacustre et problématique de gestion
- Cogels, F.X. 1981 Le Lac de Guiers : fonctionnement, bilans hydriques.
- Gac (J.Y.) Evolution d'une nappe d'eau libre en zone sahéenne (Sénégal), Cahiers ORSTOM, série Géol. XII, 1, pp 41-60
- Cogels,(F.X.), 1990 Fonctionnement et bilans hydrologiques du lac de Guiers de 1976 à 1989-ORSTOM, DK, 1990, 77p.
- Gac, (J.Y.),
- Appay, (J.L.)
- Evora, (N.),
- Labrousse,(B)

- Coly, (A.) 1991 Le lac de Guiers : modalités de gestion hydrologique et approche quantitative en 1991 : rapport de stage, DEA géog-ORSTOM, UCAD, 43 p.
- Couty, (Ph.), 1984 Un cadre élargi pour l'étude des systèmes de production en Afrique, cahiers de la Recherche-Développement, n°3-4, jan-avril : 10-14
- Lericollais, (A.)
Marchal, (J.Y.)
Raynaut
DA BOIT (M.), 1993 Impacts des aménagements hydro-agricoles sur la nappe superficielle de la basse vallée du fleuve Sénégal : Thiagar, Richard-Toll, Dagana. Mém. D.E.A. de Géol. appliquée (hydrogéologie), Fac. Sc. et Tech., UCAD, ORSTOM/EQUESEN, Dakar, 94 p
- Dabin, (B.), 1979 Les principaux sols d'Afrique de l'ouest et leurs potentialités agricoles. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol XVII n°4 : 235-257
- Maignien, (R.)
Diagana (A) 1990 Étude des paramètres hydrodynamiques des aquifères de la basse vallée du fleuve Sénégal entre Saint-Louis et Podor. Mém. D.E.A, dép. Géol., fac. Sciences, UCAD
- Diagana, (BT) 1990 Articulation des deux systèmes de culture (agriculture irriguée et culture de décrue) dans l'aménagement du Koundi III. Sud Moyenne Vallée du Sénégal, rive droite, Mem DEA, ISE UCAD.
- Diémé, (CMF) 1995 Modifications écologiques et de la qualité de l'eau en rapport avec l'épidémiologie de la bilharziose au lac de Guiers. Mem, Géog Université de St-Louis
- Feller, (C.) 1988 Effets des différents systèmes de culture sur les stocks organiques des sols argileux Cah. ORSTOM sér. Péd. Vol XXIV, n°4
- Fontain (J.), 1994 Changements globaux et développement, *Nature-Sciences-Société*, Vol. 2, n°2, pp. 143-152.
- Grosmaire, (P) 1957 Elements de politique sylvo-pastorale au Sahel sénégalais. II Les conditions du milieu, Fascicule 10 : Le milieu Physique. Bull. Service des Eaux et Forêts, Dakar (Sénégal) 56 p
- ✓ Gueye, (M.) 1991 Aspects socio-économiques de la dégradation des ressources naturelles du lac de Guiers, Mémoire DEA, ISE UCAD,
- Guinard, (A.) 1988 Les activités agricoles dans la basse et la moyenne vallée du fleuve Sénégal : problèmes et proposition de solutions, Binghamton, NY Institute for Development Anthropology.
- ✓ Henry, (Y.) 1918 Irrigation et cultures irriguées en Afrique Tropicale. Larose, Paris, 296 p.
- Hobbs, (R.) 1990 Remote Sensing of Spatial and Temporal Dynamics of Vegetation, in Remote sensing of Biosphere functioning, Hobbs & Mooney eds., Spring Verlag, New York, pp 203-219
- Hubert, (H.) 1921 Eaux superficielles et souterraines au Sénégal. 30 p.
- I.S.E. 1983 Le lac de Guiers : problématique d'environnement et de développement. Actes du colloque I.S.E, 9-11 mai 1983, A.G.C.D., 506 p.
- Jensen (J.R.) 1996 .) *Introductory Digital Image Processing, A Remote Sensing Perspective*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2nd edition, 316 p
- Mas (J-F.) Une revue des méthodes et des techniques de télédétection du changement, EPOMEX, Mexico

- Kane. (O.) 1993 Contribution à l'étude des systèmes irrigués dans la zone du lac de Guiers, Mem DEA, ISE, UCAD, 77 p.
- Kane.(C.H.) 1998 "L'évolution des nappes phréatiques au Sénégal », in Actes du séminaire sur le projet d'intégration des images satellites aux modèles agro-hydrologiques (INTEO), IGUC, DHI, ISVA, CSE ; Dakar, 5-6 octobre 1998
- Larousse 1995 Dictionnaire du climat
- Lericollais.(A) 1975 Peuplement et migrations dans la vallée du Sénégal. ORSTOM, Cah.Sci. Hum. 20(3-4) :427-452
- Lericollais.(A) 1989 Risques anciens et risques nouveaux en agriculture paysanne dans la vallée du Sénégal, ORSTOM , Paris, 1989
- Lericollais.(A) 1980 Peuplement et migrations dans la vallée du fleuve Sénégal, Paris, France, ORSTOM-OMVS
- Diallo, (Y.)
- Lericollais.(A) 1984 La calebasse et la houe : technique et outils des cultures de décrue dans la vallée du fleuve Sénégal, Cah. Sci. Hum. 20(3-4) : 427-452, ORSTOM
- Schmitz (J.)
- Lericollais.(A) 1986 Aménagements hydro-agricoles et systèmes de production dans la vallée du fleuve Sénégal, Cahiers de la Recherche-Développement n°12 :3-11.
- Seck, (S.M.)
- Leudelot (M.) 1928 Journal d'un voyage au lac de N'ghier ou Paniéfole.
- Lelièvre (M.) Manuscrit original. Archives nationales du Sénégal. Ref. P273. 14 p.
- Maignien, (R.) 1965 Notice explicative de la carte pédologique du Sénégal au 1/100 000^e, ORSTOM , 63 p.
- Mbengue, (A.) 1987 Aménagements hydro-agricoles et agro-industries dans la région du lac de Guiers : évolution depuis 1945 et impacts socio-économiques, Thèse Doctorat ISE, UCAD, 315 p.
- Michel, (P.) 1973 Les bassins du fleuve Sénégal et de la Gambie. Etude Géomorphologique
- Muller, (J.P.) 1976 Conception et réalisation d'une carte d'aptitudes culturelles, à propos de la cartographie des sols de la vallée de la Bénoué au Cameroun. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. Vol XIV n°2 : 131-159
- Gavaud, (M.)
- Ndong, (J.B.) 1996 L'évolution du climat au Sénégal et les conséquences de la sécheresse récente sur l'environnement, Laboratoire de Géographie Physique, Université Lyon 3 Jean Moulin
- Niang, (A.) 1999 Suivi de l'environnement et gestion qualitative des eaux du lac de Guiers, Département de géographie, UCAD
- Niang, (C. I.) 1984 Environnement et sociétés dans la zone du Lac de Guiers. Essai sur l'environnement et les systèmes socio-économiques, Thèse Doctorat, ISE, UCAD, 324 p.
- Niassé, (A.) 1987 L'aménagement du Lac de Guiers : prélude à l'après-barrage. In revue ASPHG, n°2 :37-48
- OMVS 1980 Etude socio-économique du bassin du fleuve Sénégal, Dakar, Sénégal : OMVS.
- Pélissier, (P.) 1966 Les paysans du Sénégal. Les civilisations du Cayor à la Casamance. Imprimeries Fabrègue, St Yrieix (Haute Vienne), France
- Plaud, (M.) 1966 Pose de piézomètres et étude de la nappe phréatique autour du Lac de Guiers (Sénégal). Rapport du Ministère de l'Energie et de l'Hydraulique de Sénégal, 22 p.
- Reboul (C.) 1975 Systèmes de cultures et calmités " naturelles ". INRA Paris →

- Reizer, (C.) 1974 Définition d'une politique d'aménagement des ressources halieutiques d'un écosystème aquatique complexe par l'étude de son environnement abiotique, biotique et anthropique : le Sénégal moyen et inférieur. Thèse Doctorat, FUL, Arlon (Belgique)
- Sader, (S.A.), 1992 RGB-NDVI Colour Composites for Visualizing Forest Change Dynamics, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 13, no 16, pp. 3055-3067
- Winne, (J.C.)
- Sainton 1957 Etude géologique de la région du lac de Guiers. Service de géologie et de prospection minière du Sénégal- Dakar 1957
- SGPRE 1999 Etude bathymétrique et limnologique du lac de Guiers, Projet Sectoriel Eau, Ministère de l'Hydraulique
- Singh, (A.) 1989 Digital Change Detection Techniques Using Remotely-sensed Data, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 10, n° 6, pp. 989-1003
- Thiam, (A.) 1984 Contribution à l'étude phyto-écologique de la zone de décrue du lac de Guiers, Thèse Doctorat, ISE, UCAD 105 p.
- Trenous,(J.Y.) 1971 Rapport de mission dans la région du lac de Guiers (Sénégal Nord-Occidental. Bull. Soc. Géol. De France, 7, XIII, n°1-2, pp.133-139
- Michel (P)
- Tricart, (J.) 1954 Notice explicative de la carte géomorphologique du delta du Sénégal, Bull. de la MAS
- Troll, (C.) 1965 Seasonal climates of the earth. Page 28 in *World Maps of Climatology*. (Ed. E. Rodenwalt and H. Jusatz). Berlin: Springer-Verlag

INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

TABLEAUX

Tableau 1: Caractéristiques de certaines nappes du Guiers	21
Tableau 2: Caractéristiques de LANDSAT 1 et de SPOT	72
Tableau 3 : Récapitulatif des principales techniques de télédétection du changement.....	74
Tableau 4 : Superficie de la classe probable de végétation aquatique	88

FIGURES

Figure 1: Localisation de la zone d'étude (A. COLY, 96).....	6
Figure 2: Démarche méthodologique générale	9
Figure 3 : le réseau Hydrographique de la région du lac de Guiers.....	12
Figure 4 : Le bassin du fleuve Sénégal	13
Figure 5: Le lac de Guiers vu par LANDSAT	15
Figure 6 : carte géologique du lac de Guiers (Cogels, 1984).....	18
Figure 7 : Carte de la qualité hydrochimique des nappes phréatiques.....	21
Figure 8: Hauteurs moyennes journalières du lac de Guiers à différentes périodes (Données SDE)22	
Figure 9: Les composantes du milieu (COGELS, 1993).....	23
Figure 10 : Évolution journalière des niveaux du lac de Guiers de 1976 à 1979 (Données SDE) 24	
Figure 11: Évolution journalière des niveaux du lac de Guiers de 1980 à 1984	25
Figure 12 : Niveaux moyens journaliers du lac de Guiers de 1985 à 1997	26
Figure 13: Moyenne mensuelle interannuelle de la pluviométrie de 1950 à 1999	28
Figure 14: Indices de pluviométrie	29
Figure 15: Évolution de la pluviométrie annuelle sur les 4 stations de 1950 à 1999.....	30
Figure 16: températures Moyennes mensuelles de 1950 à 1999	31
Figure 17: Disposition schématique des terrains dans la vallée du fleuve (Reizer, 1972 d'après Boutillier et al., 1968).....	34
Figure 18: Les sols dans la région du lac de Guiers.....	35
Figure 19: Localités de la région du lac de Guiers comptant plus de 500 hbts en 1988.....	39
Figure 20: Évolution de la population de la région du lac de Guiers.....	40
Figure 21 : La Taoué et le Nord du lac de Guiers en 1972 et en 1998	55
Figure 22: Les digues dans la région du lac de Guiers	56
Figure 23 : Niveau moyen annuel du lac Guiers et anomalies de pluviométrie de 1976 à 1998... 59	
Figure 24: Différents types de production agricoles dans le Guiers (Coly, 1996).....	63
Figure 25: Le rayonnement électromagnétique	67
Figure 26: le spectre électromagnétique	68
Figure 27 ; Illustration de quelques types de résolution spatiale : exemple de la bande 2 de LANDSAT TM	71
Figure 28 - Analyse en composantes principales (J.F. Mas).....	78

Figure 29: Mise en oeuvre et résultats de la technique de la composition colorée diachronique sur les images SPOT de 1989 et 1993	80
Figure 30 : Mise en oeuvre et résultats de la technique de la composition colorée diachronique sur les images LANDSAT MSS et SPOT 4	81
Figure 31 : Analyse en composantes principales de l'image multitemporelle	82
Figure 32 : Classe représentant probablement la végétation.....	87
Figure 33: Indice de végétation par la différence normalisée	91
Figure 34: Évolution quantitative de la végétation aquatique de 1993 à 1998	93
Figure 35: Vue SPOT de Keur Momar Sarr en 1998	97
Figure 36: les couvertures du sol dans les environs de KMS	100

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	4
PREMIÈRE PARTIE : LA RÉGION DU LAC DE GUIERS, UN ÉCOSYSTÈME	
DIVERSIFIÉ.....	10
Chapitre 1 / Présentation du milieu physique.....	11
1.1 - Le fleuve Sénégal et le lac de Guiers.....	11
1.1.1 - Le fleuve Sénégal.....	12
1.1.2 - Le lac de Guiers.....	13
1.2 - Géologie, hydrogéologie et géomorphologie.....	17
1.2.1 - Origine du lac de Guiers.....	17
1.2.2 - La structure géologique.....	18
1.2.2.1 - La vallée du Bounoum et le bas plateau du Ferlo septentrional.....	18
1.2.2.2 - Les cordons dunaires.....	19
1.2.3 - Hydrogéologie et fonctionnement hydrologique du lac de Guiers.....	19
1.2.3.1 - Historique du fonctionnement hydrologique du lac.....	22
1.2.3.1.1 de 1976 à 1979.....	22
1.2.3.1.2 de 1980 à 1984.....	24
1.2.3.1.3 A partir de 1985.....	25
1.3 - Le Climat.....	27
1.3.1 - La pluviométrie.....	27
1.3.1.1 - Température.....	31
1.3.1.2 - Évapotranspiration potentielle.....	32
1.3.1.3 - Classification climatique.....	32
1.4 - Les sols.....	34
1.4.1 - Les sols du <i>Diéri</i>	34
1.4.2 - Les sols du <i>Walo</i>	37
Chapitre 2 / Les hommes et leurs activités traditionnelles.....	38
2.1 - Situation, Composition ethnique et évolution démographique.....	38
2.2 - Le système productif traditionnel.....	41
2.2.1 - Régime foncier et appropriation de l'espace.....	42
2.2.2 - Les activités traditionnelles.....	43
2.2.2.1 - L'agriculture.....	43
2.2.2.1.1 Les cultures pluviales.....	43
2.2.2.1.2 Les cultures de décrue.....	44
2.2.2.2 - La pêche.....	46
2.2.2.3 - L'élevage.....	47
2.2.2.4 - Les autres activités.....	48
CONCLUSION À LA PREMIÈRE PARTIE : LA NÉCESSITÉ D'UNE INTERVENTION SUR LE MILIEU PHYSIQUE.....	49
DEUXIÈME PARTIE : ÉTUDE DE L'ÉVOLUTION DE L'ENVIRONNEMENT	
DU LAC DE GUIERS ET DE SES CONSÉQUENCES.....	50
INTRODUCTION.....	51
Chapitre 1 / L'artificialisation du milieu.....	52
1.1 - Étude des aménagements du milieu.....	52
1.1.1 - Les aménagements autour du lac de Guiers.....	52
1.1.2 - Les grands aménagements du fleuve Sénégal.....	54
1.2 - Les conséquences des aménagements sur le lac et les activités humaines.....	58
1.2.1 - Conséquences des aménagements sur le lac.....	58
1.2.1.1 - Évolution du plan d'eau.....	58
1.2.1.2 - Bilan général de la qualité des eaux.....	59
1.2.2 - Les conséquences des aménagements sur les activités humaines.....	60
1.2.2.1 - Déclin des cultures traditionnelles de décrue.....	60
1.2.2.2 - La prolifération des plantes aquatiques.....	61

1.2.2.3 - La nouvelle place de l'irrigation	62
1.2.2.4 - Les conflits d'utilisation de l'espace	64
Chapitre 2 / Application de la télédétection à l'étude des changements du milieu	66
2.1 - Notions de télédétection	67
2.2 - La télédétection du changement	73
2.2.1 - Application de techniques de télédétection du changement à l'étude de l'évolution de la région du lac de Guiers	75
2.2.1.1 - Outils et méthodes	75
2.2.1.1.1 Interprétation visuelle de compositions colorées diachroniques (multidates).....	76
2.2.1.1.2 Analyse en composantes principales (ACP)	77
2.2.1.2 - Résultats de l'ACP	78
2.3 - Le développement des plantes aquatiques au Lac de Guiers et ses conséquences	83
2.3.1 - Méthodologie	84
2.3.2 - Suivi de la végétation aquatique du lac de Guiers	85
2.3.2.1 - Problématique de l'existence de la végétation aquatique au Lac de Guiers en 1972 ..	85
2.3.2.2 - La situation actuelle de la végétation aquatique	92
2.4 - Étude par télédétection de l'occupation et de l'utilisation des sols à Keur Momar Sarr et ses environs	94
2.4.1 - Aspects conceptuels et méthodes	94
2.4.1.1 - Utilisation du sol et couverture du sol	94
2.4.1.2 - Outils et Méthodes	95
2.4.1.2.1 Analyse visuelle des images	95
2.4.1.2.2 La classification supervisée	98
2.4.2 - Les différentes formes d'utilisation du sol à Keur Momar Sarr	99
2.4.2.1 - Les caractéristiques du milieu physique : les couvertures du sol	99
2.4.2.2 - Les activités anthropiques : l'utilisation des sols	99
2.4.2.2.1 Les formes d'utilisation de l'eau	101
2.4.2.2.2 Utilisations des espaces non protégés : les espaces cultureux	101
2.4.2.2.3 Utilisations des espaces protégés et l'élevage	102
CONCLUSION	104
BIBLIOGRAPHIE	105
INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES	109

