



DEA de Géomorphologie de l'Université Paris 7 – Denis Diderot

# ENSABLEMENT DES BAS FONDS SAHELIENS : ETUDE DES TRANSFERTS SEDIMENTAIRES AU FLEUVE NIGER DANS LE SECTEUR MOYEN NIGER – MALI, NIGER, BENIN



Le fleuve Niger dans la région de Tossaye - Mali

Eric LE-BRETON

Sous la co-direction de :

Emmanuèle COSTARD-GAUTIER (Maître de Conférences,  
Université Paris 8, Laboratoire de Géographie Physique CNRS  
UMR 8591, Meudon)

Luc DESCROIX (Chargé de recherche IRD Grenoble,  
Laboratoire d'Hydrologie IRD, Niamey)

28 Juin 2005



# **SOMMAIRE**

Table des acronymes.....p. IV

## **INTRODUCTION-PROBLEMATIQUE**

I- INTRODUCTION.....p.1  
II- OBJECTIFS / PROBLEMATIQUE .....p.6

## **PREMIERE PARTIE : CADRE GENERAL**

I-CADRE SCIENTIFIQUE .....p.9  
1. Le programme AMMA .....p.9  
2. Insertion de ce travail dans le programme AMMA .....p.11

II- LE BASSIN DU NIGER : REPOSE DES SYSTEMES HYDROLOGIQUES ET  
EROSIFS AUX CHANGEMENTS ENVIRONNEMENTAUX.....p.12  
1. Le Sahel, définition et climatologie.....p.12  
2. La sécheresse au Sahel, baisse des précipitations et désertification.....p.14  
3. La pression démographique et ses conséquences.....p.18  
4. La réponse hydrologique à la sécheresse et à l'accentuation de la pression  
démographique.....p.21  
5. L'accélération de l'érosion en réponse à la sécheresse et à la pression  
démographique.....p.23  
6. Les substrats géologiques de ces processus .....p.26  
7. Conclusion.....p.30

## **DEUXIEME PARTIE : L'ETUDE DU SITE**

I-OBJECTIFS IMMEDIATS ET METHODOLOGIE.....p.31  
1. Détermination à moyenne échelle des zones potentielles d'apports  
sédimentaires au fleuve Niger.....p.31  
1.1 Objectif.....p.31  
1.2 Outils et méthode.....p.31

2. Répartition spatiale du couvert végétal et des zones en érosion .....	p.39
2.1 Objectif.....	p.39
2.2 Outils et méthode.....	p.39
II-ANALYSE ET RESULTATS, SECTORISATION DU MOYEN-NIGER.....	p.40
1. Secteur 1 : de Tossaye à Gao, les apports éoliens.....	p.40
2. Secteur 2 : de Gao à Tillabéry, l'importance des affluents ; le Gorouol.....	p.46
3. Secteur 3 : de Tillabéry à Say, les apports directs depuis les versants.....	p.50
4. Secteur 4 : de Say au Parc du W, le Goroubi et le Diamangou.....	p.54
5. Secteur 5 : de la limite Nord-Est du Parc du W à Malanville, l'opposition des deux rives.....	p.57
6. Conclusion – Synthèse.....	p.62
<b>CONCLUSION ET PROSPECTIVE : LE PROJET DE THESE</b>	
Problématique générale.....	p.64
Les acquis du DEA.....	p.64
I- Quantification des apports en sédiments.....	p.65
1. Les affluents et leur cône de déjection.....	p.65
2. Les apports directs de versant : les ravines.....	p.68
3. Suivi de l'évolution des formes et des zones en érosion par télédétection.....	p.68
II- Les données pluviométriques et hydrologiques existantes et les compléments à acquérir.....	p.69
Table des figures .....	p.71
Tables des photos et tableaux.....	p.73
Bibliographie.....	p.74



# Table des acronymes

ABN	Autorité du Bassin du Niger
AFDB	African Development Bank Group
AMMA	Analyse Multidisplinaire de la Mousson Africaine
BRGM	Bureau des Recherches Géologiques et Minières
CILSS	Comité inter-états de lutte contre la sécheresse au Sahel
FAO	Food and Agriculture Organization
FIT	Front InterTropical
IRD	Institut de Recherche pour le Développement
NIGELEC	Société nigérienne d'électricité
ORSTOM	Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ex-IRD)
ZITC	Zone InterTropicale de Convergence

# INTRODUCTION - PROBLEMATIQUE

## I. INTRODUCTION



Fig. 1 : Bassin du Niger – Afrique de l’Ouest (Atlas Encarta, 2005)

L’environnement du bassin du Niger est marqué par trois décennies de sécheresse et une forte croissance démographique. Cette baisse des précipitations tout d’abord assez douce, a suivi une forte accélération depuis la fin des années 1960. En effet, sur la période 1961-1990, la sécheresse se traduit par un déficit de la moyenne annuelle des précipitations de 90mm par rapport à la période 1943-1972 pour une moyenne de trois pays (Niger, Mali, Burkina Faso) (Agnew et Chappell, 1999). On peut donc quantifier cette perte de précipitations à 15,8% en une vingtaine d’années.

Le fleuve Niger, centre de notre étude, est le troisième des grands fleuves africains, tant par sa longueur (4 200 km) que par son bassin de drainage (2 000 000 km<sup>2</sup>) (Fig.1) (ABN, 2003). Le bassin du fleuve Niger se situe entre 28°N et 4°N de latitude et de 11,5°W à 15°E de longitude. Le bassin actif du fleuve Niger est réparti dans neuf pays comme suit : le Mali (30,3%), le Nigeria (28,3%), le Niger (23,8%), la Guinée (4,6%), le Cameroun (4,4%), le Burkina Faso (3,9%), le Bénin (2,5%), la Côte d’Ivoire (1,2%), et le Tchad (1%).

Du point de vue de la dynamique du fleuve, le bassin du Niger est subdivisé en quatre sous-bassins (ABN, 2003):

- le Haut Niger (de la source à Ké-Macina) correspondant principalement au Fouta Djalon et à son piémont,
- le Delta Intérieur (de Ké-Macina à Tossaye),
- le Moyen Niger (de Tossaye à Malanville) correspondant à la traversée des sables désertiques et du secteur sahélien (hors delta intérieur),
- le Bas Niger (de Malanville au Delta maritime).



Fig. 2: Sectorisation du fleuve Niger selon l'ABN ; 1 : Source Fouta Djalon, 2 : Ké-Macina, 3 : Tossaye ; 4 : Malanville ; 5 : Delta maritime (Atlas Encarta, 2005)

Notre zone d'étude s'intéresse à l'intégralité du secteur Moyen Niger (de Tossaye-Mali à Malanville-Bénin), soit 825 km linéaires (Fig.2).

La démographie est sûrement l'un des facteurs les plus alarmants de la statistique nigérienne. En effet, l'indice synthétique de fécondité est de loin le plus fort indice de toute l'Afrique. Les femmes nigériennes ont en moyenne 2,3 enfants en plus, comparativement à la moyenne de l'Afrique de l'Ouest. Le taux d'accroissement en milieu rural est important, environ 14% en 5 ans, mais est complètement effacé par le taux d'accroissement en milieu urbain qui atteint 44,6% entre les années 1970 et 1975.

Outre la poussée démographique impressionnante de ce pays, qui ne laisse de surcroît entrevoir l'ombre d'une transition démographique, la croissance urbaine de l'ordre de 35% tout les 5 ans est un facteur tout aussi important. Celui-ci nous intéresse tout particulièrement par son rôle d'accélérateur du défrichage des secteurs en périphérie de ces zones. C'est en effet l'importance de la demande en bois des centres urbains (principalement Niamey dans notre étude) qui engendre un défrichage de la brousse tigrée occupant les plateaux.

Le défrichage à proximité des zones urbaines pour fournir le bois nécessaire à la cuisine conduit aujourd'hui à une mise à nu quasi-totale des plateaux. Lors d'une précédente étude (Le-Breton, 2004), nous avons conclu à une diminution de 65% des surfaces végétalisées sur une fenêtre d'étude d'environ 30 000 m<sup>2</sup> d'un plateau représentatif entre 1950 et 2003 avec une accélération de ces phénomènes entre 1992 et 2003. De plus, cette forte pression démographique a induit une augmentation des surfaces cultivées. Selon Loireau (1998), la proportion des terres cultivées en 1950 sur un terroir représentatif de 25 km<sup>2</sup> à 60 km à l'est de Niamey était de 30% contre plus de 95% en 1992. De plus, la durée moyenne des jachères, qui était de 15 à 20 ans en 1950, est passée à 3 ou 4 ans en 1995, cela ayant pour conséquence un encroûtement accéléré des sols (Casenave et Valentin, 1989).

De la variation de ces facteurs résulte une augmentation du volume des écoulements de surface sur le plateau (Mahé et al., 2003). Cela a pour conséquence une augmentation du pouvoir érosif lié aux précipitations, qui génèrent des flux plus importants en termes de volume et de vitesse en aval sur les versants mis en culture.

Cela se traduit par un ensablement du lit des cours d'eau : des drains élémentaires où l'on observe l'exhaussement et l'élargissement des koris (noms Germa désignant les ravines et les oueds) ; les bas fonds se colmatent, modifiant le système hydrologique des mares et une migration de celles-ci (par l'exhaussement de leur fond) et enfin, au niveau du fleuve Niger où l'accumulation sédimentaire accrue met en péril à la fois la ressource en eau, la pêche et la navigation.

En effet, les répercussions de ces modifications géomorphologiques sont à la fois économiques, sociales et environnementales. L'ABN en 2003 estimait la production électrique actuelle à 20,6% de la capacité totale de l'ensemble du bassin du Niger avec un fort déséquilibre, puisque le Nigeria produit à lui seul 91% de cette production. On comprend alors l'importance de la réalisation concertée d'ouvrages hydroélectriques pour l'ensemble des pays riverains du fleuve. Malheureusement, l'expérience montre une forte baisse de l'espérance de vie de tels ouvrages sans un important travail en amont permettant de limiter l'érosion des versants et l'ensablement du lit du fleuve et de ces infrastructures hydro-électriques.

Outre la production électrique, des secteurs d'activités tels l'élevage et la pêche sont aujourd'hui atteints par les conséquences de ces modifications. Pour ne citer que le secteur de la pêche

au Niger, la production, dont le potentiel était de 20 000 T/an en 1969, est aujourd'hui estimée annuellement à 4 000 T/an. Cette chute est imputée à la baisse des débits en amont (ABN, 2003).

Il apparaît alors évident que la navigation subit elle aussi ces contraintes. En effet, celle-ci est en principe soutenue par les grands barrages, dont celui de Sélingué au sud du Mali. Outre des problèmes de gestion des lâchés d'eau, l'abaissement du niveau moyen de la ligne d'eau et l'ensablement de nombreux tronçons ont largement perturbé le trafic fluvial. Les débits du fleuve à Niamey ont une très grande variabilité interannuelle (Fig.3) avec toutefois des débits annuels maximaux moins hauts aujourd'hui qu'il y a 50 ans et des débits annuels minimaux bien plus bas notamment dans les années 1980. Cela a pour conséquence, d'une part une baisse de la capacité du fleuve (avec tout de même quelques années de crues exceptionnelles) et d'autre part, l'allongement de la période d'étiage.

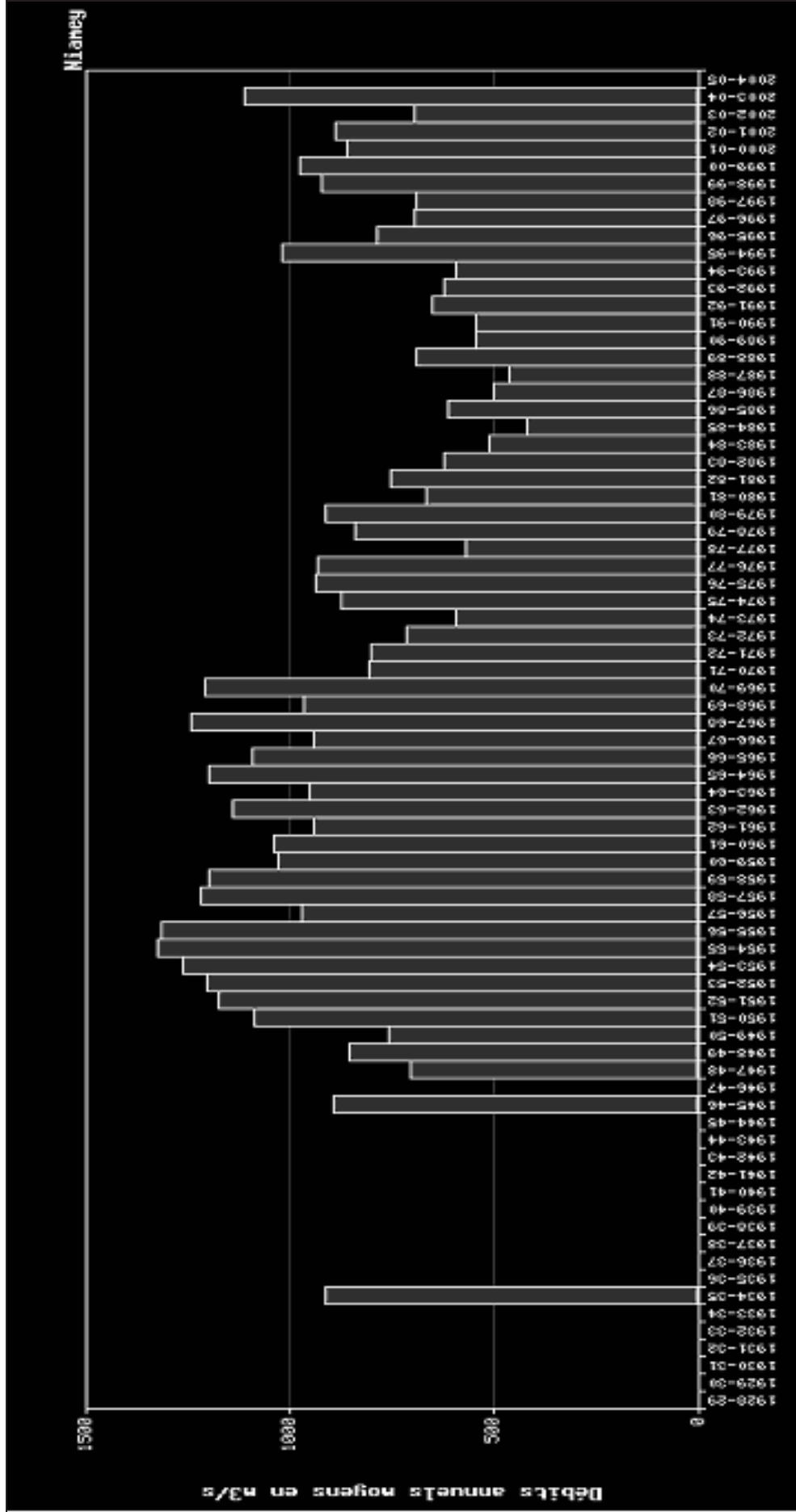


Fig.3 : Histogramme des débits annuels du fleuve Niger à Niamey (IRD, 2005)

Nous avons déterminé lors de précédents travaux (Le-Breton, 2004) que l'érosion est très vive dans les secteurs proches du fleuve et de ses affluents. Les bassins de rive droite au Niger qui sont les seuls à alimenter le fleuve -les régions situées en rive gauche étant endoréiques- apportent de grandes quantités de matériaux, de même que les secteurs déversant directement dans le fleuve sous forme de ravines s'établissant sur les versants des plateaux. Aujourd'hui nous remarquons que dans ces secteurs, les sols se dégradent très vite, les écoulements et les transports solides sont bien plus violents qu'avant, alors qu'à l'inverse, les totaux de précipitations et le débit moyen du fleuve diminuent.

Il est donc de première importance de **s'intéresser au cours du fleuve lui-même et à l'évaluation des transferts sédimentaires au niveau des zones d'érosion, des zones de relais au sein des affluents et des cônes de déjection** afin de mieux déterminer l'ensemble des conditions du transport de ces sédiments.

## **II. OBJECTIFS/PROBLEMATIQUE**

A l'instar de tout autre travail de recherche, l'objectif général de cette étude est de répondre à bon nombre de questions. Ces questions sont diverses ; elles sont interconnectées les unes aux autres, mais la recherche de chacune des réponses à ces questions induit une méthodologie propre. Ainsi, à chaque question que nous nous poserons, nous nous efforcerons de mettre en avant la méthodologie la plus adaptée. Ce travail, prévu pour une durée de trois ans à partir du mois de septembre 2005, en est aujourd'hui à ses débuts. Ici, nous n'aborderons donc que les questions les plus générales tandis que bien d'autres qui nous sont encore inconnues, se dévoileront dans les mois à venir. Ce sujet d'étude est géographique et sera traité comme tel. Les processus étudiés sont associés à la fois à des facteurs climatiques et anthropiques. L'axe de cette recherche est donc l'étude de **la réponse du milieu aux changements environnementaux récents** : accroissement de la pression démographique et déficit pluviométrique au Sahel. L'étude des modifications du milieu sera donc abordée à différentes échelles spatiales emboîtées, c'est-à-dire un passage successif d'études de petite échelle à échelles de plus en plus grandes.

Le premier problème posé par cette étude concerne la localisation des zones pourvoyeuses en sédiments et l'identification des processus d'érosion/sédimentation. En effet, le secteur concerné par notre étude correspond à 825 km linéaires du fleuve Niger de Tossaye-Mali (16°58'N ; 0°33'E) à Malanville-Bénin (11°52'N ; 3°22'E), avec des apports sédimentaires issus de processus érosifs et de lieux divers. La détermination des origines sédimentaires et des « points d'entrée » de sédiments dans



le fleuve doit ainsi être analysée à différentes échelles spatiales ; à l'échelle de l'ensemble du secteur d'étude afin de localiser les lieux d'apports majeurs en sédiments puis, à des échelles de plus en plus grandes afin de quantifier à l'échelle locale les transferts de sédiments en direction du fleuve et d'en déterminer les mécanismes. Cette première approche nous permettra de sélectionner les sites qui nous sembleront les plus intéressants pour notre étude. En effet, notre secteur d'étude est important et couvre trois pays, il est donc essentiel de bien cibler ces zones afin de ne pas nous disperser intellectuellement et physiquement. Le choix des sites étant capital pour la faisabilité et la représentativité de l'étude, il est nécessaire que ce travail de repérage précède l'étude proprement dite.

Toutefois, cette connaissance des trajets sédimentaires n'est que le premier aspect de la compréhension des phénomènes liés à cette surcharge sédimentaire du fleuve. Les phénomènes d'érosion/sédimentation sont des phénomènes actifs avec des dynamiques très différenciées. En effet, les facteurs d'érodibilité du substrat, de variations des pentes et des couverts végétaux induisent de multiples dynamiques d'écoulement des fluides et ainsi des matériaux. Le facteur temps prend alors ici toute son importance. En effet, l'apport de matériaux solides au fleuve n'a de sens qu'exprimé par unité de temps. C'est ainsi la vitesse des processus d'érosion/sédimentation qui détermine leur importance dans le bilan sédimentaire du fleuve. Pour simplifier, la question qui se pose alors est la suivante : « Combien de temps une particule de sable met-elle pour parcourir une distance donnée ? ».

Les deux premiers objectifs étant la connaissance des trajets sédimentaires et l'évaluation de la vitesse de progression des sédiments vers le fleuve, il nous faut maintenant nous interroger sur les modalités de ces trajets sédimentaires. Cette question s'intéresse aux phénomènes de relais liés aux processus de transport des particules. En effet, le parcours des particules sédimentaires dans les cours d'eau n'est pas uniforme. Les particules sont, au gré des crues, mobilisées, déposées, remobilisées et cela jusqu'au débouché du fleuve sur la mer. Les zones de stockage des sédiments avant leur remobilisation sont appelées « zones de relais ». La connaissance de ces zones est donc cruciale pour comprendre et estimer le débit solide des affluents du fleuve.

Enfin, après avoir décrit les différents phénomènes mis en cause dans les apports sédimentaires accrus au fleuve Niger, il faudra nous interroger sur les causes de ces modifications. Cette question, à la vue de précédents travaux (Desconnets, 1994 ; Loireau, 1998 ; Le-Breton, 2004) trouve sa réponse dans les dynamiques de défrichage et de « désertification ». Nous savons en effet aujourd'hui que le changement d'état de surface des sols dû à la résorption des domaines de brousse tigrée et à la mise en culture corrélative des terres a diminué l'infiltration des eaux de pluie le long des versants et ainsi accentué les coefficients de ruissellement. L'augmentation de ces coefficients a bien entendu induit une augmentation de l'érosion des terres et un accroissement de la charge solide des cours d'eau. Nous détaillerons l'ensemble de ces conditions lors de la présentation du cadre d'étude.



Toutefois il est important de préciser dans cette partie consacrée aux objectifs, que ce travail s'intéresse à l'ensemble du secteur Moyen Niger. Il nous faudra, une fois encore, modifier le cadre d'observation de ces modifications de pression climatiques et anthropiques sur le milieu et nous intéresser plus précisément aux modifications à échelles locales qui ont permis aux vecteurs majeurs d'apports sédimentaires au fleuve d'être ce qu'ils sont aujourd'hui.

Ce questionnement des différents aspects de cette problématique nous a permis d'ouvrir un large éventail d'idées liées à notre sujet. Toutefois, c'est dans une connaissance accrue du terrain, venant compléter ce travail de repérage important, que les questions s'affineront.

# PREMIERE PARTIE : CADRE GENERAL

## I. CADRE SCIENTIFIQUE

### 1. Le programme AMMA

Ce projet que nous vous présentons a tout d'abord été rendu possible grâce à l'accueil et au soutien logistique proposés par le laboratoire d'hydrologie de l'IRD de Niamey. En France, ce travail est supervisé par le département de géographie de l'Université Paris 7 et par le laboratoire de géographie physique (UMR 8591) du CNRS de Meudon.

Ce projet de recherche s'inscrit dans le programme **AMMA (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine)**. Ce programme, implanté dans toute l'Afrique de l'Ouest est financé par la France et par l'Union européenne. Ce programme de recherche poursuit deux buts depuis 2001 pour une période de dix ans :

- améliorer la compréhension de la mousson africaine et de son influence sur l'environnement physique, chimique et de la biosphère aux échelles régionale et globale ;
- produire les connaissances qui permettront de relier la variabilité du climat aux problèmes de santé, de ressource en eau et de sécurité alimentaire pour les nations d'Afrique de l'Ouest et définir les stratégies de surveillance appropriées (ammanet).

Les partenaires du programmes AMMA au Niger sont (*source : IRD Niger*) :

- Université Abdou Moumouni (UAM) Départements de Géographie, de Géologie et de Physique, Niamey, Niger,
- INRAN (Institut National de Recherches Agronomiques du Niger),
- DRE (Direction des Ressources en Eau du Ministère de l'Environnement),
- AGRHYMET (Centre Régional en Agro-Hydrologie et Météorologie du CILSS),
- DMN (Direction de la Météorologie Nationale du Niger),
- CERMES (Centre d'Etudes et de Recherches pour les Méningocoques Et les Schistomosiasés),
- CRESA (Centre de Recherche et d'Enseignement Spécialisé en Agronomie),
- ICRISAT (International Crops Research Institute on Semi Arid Tropics),
- ABN (Autorité du Bassin du Niger).

Comme l'indique son nom, le programme AMMA regroupe une multitude de disciplines afin de parfaire les connaissances sur la mousson africaine, que ce soit en amont (facteurs météorologiques globaux) ou en aval (conséquence du changement de régime pluviométrique et des pratiques humaines). AMMA constitue un défi humain puisque toutes les disciplines sont représentées : océanographes, spécialistes de l'atmosphère, de la végétation, hydrologues, agronomes, ou encore médecins .... AMMA comporte différents types d'observation. Les observations «longues», qui révéleront les variabilités interannuelles sur une dizaine d'années. Des stations au sol mesurent la pluviométrie, les paramètres hydrologiques, les aérosols, les émissions de gaz et la végétation. D'autres observations viendront d'ici 2007 avec des ballons-sondes qui mesureront notamment la température, l'humidité de l'atmosphère et le vent, ceci afin d'étudier la variabilité saisonnière. Ces recherches sont effectuées à trois échelles différentes (Fig.4). Tout d'abord, à l'échelle de l'Afrique de l'Ouest (6 millions de km<sup>2</sup>) puis, parallèlement, à l'échelle sous-régionale (fenêtre AMMA-CATCH) et enfin à des sites de méso-échelle.

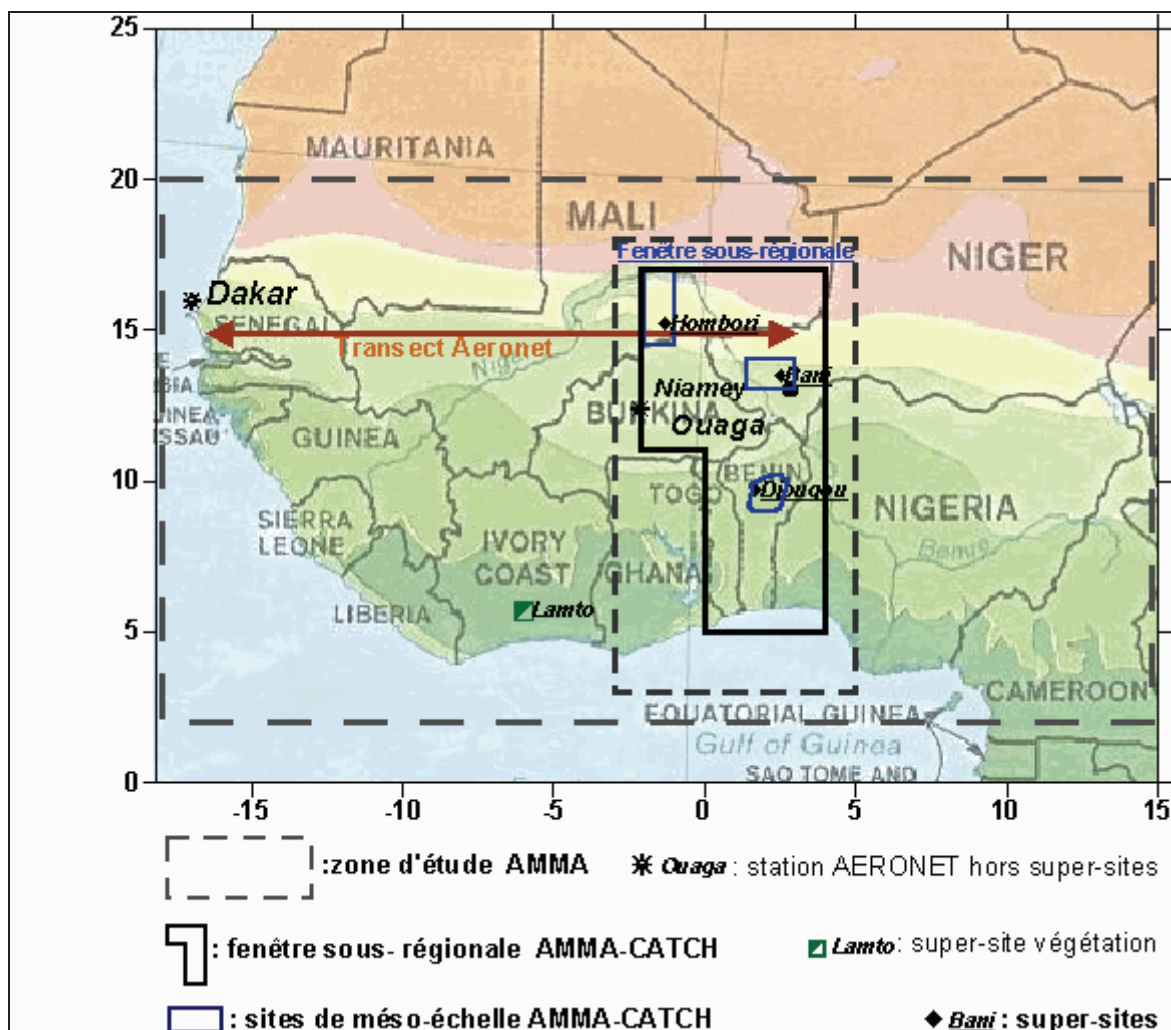


Fig.4 : Positionnement du programme AMMA en Afrique de l'Ouest (AMMANet)

Le premier espace décrit, à petite échelle, est donc celui concerné par la mousson africaine dans son ensemble. Le second est celui qui nous intéresse plus spécifiquement, puisque c'est dans

cette fenêtre géographique que s'inscrit notre étude. Il s'agit de la fenêtre sous-régionale AMMA-CATCH (Fig.4). Enfin, le programme AMMA se concentre sur trois sites de méso-échelle précis qui sont, le haut bassin de l'Ouémé au centre du Bénin, le degré carré de Niamey au Niger et le Gourma malien. Ainsi, notre étude pourra s'appuyer sur les données recueillies sur ces sites expérimentaux.

Pour conclure sur le cadre expérimental, nous voulons préciser que notre souhait est d'étendre la coopération sur ce sujet avec l'Autorité du Bassin du Niger (ABN) afin d'unifier nos efforts dans un but de recherche et de développement maîtrisé.

## **2. Insertion de ce travail dans le programme AMMA**

Par rapport à la mousson, centre d'intérêt du programme AMMA, l'étude présentée ici ne se situe pas en amont du phénomène mais en aval. En d'autres termes, nous ne nous intéresserons pas à décrire les facteurs de l'évolution de la mousson d'un point de vue climatique, mais nous observerons les conséquences directes et indirectes de celle-ci : en particulier ses conséquences sur le système érosif et hydrologique des ravines de versants au fleuve lui-même.

Dans le cadre de l'accueil proposé par le laboratoire d'hydrologie de l'IRD de Niamey, nous nous sommes fixés plusieurs buts en relation avec ces processus d'apports sédimentaires accrues au fleuve Niger :

- établir un premier travail sur la reconnaissance des lieux d'apports sédimentaires accrues,
- estimer les quantités de matériaux mis en jeu au niveau de différents points d'apports,
- tracer les origines des matériaux mis en jeu,
- quantifier les vitesses de progression des matériaux,
- établir un bilan général sur cette zone illustrant les disparités et les forts volumes de sédiments mis en jeu dans le secteur moyen-Niger.

Cette étude participera donc activement au questionnement du programme AMMA. De plus, ce travail sera réalisé en contact permanent sur le terrain avec l'équipe AMMA de l'IRD de Niamey et avec le personnel du Centre Régional AGRHYMET de Niamey, institution spécialisée en agro-hydrologie et météorologie du CILSS (Comité Permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel).

## II. LE BASSIN DU NIGER : REPOSE DES SYSTEMES HYDROLOGIQUES ET EROSIFS AUX CHANGEMENTS ENVIRONNEMENTAUX

### **1. Le Sahel, définition et climatologie**

Qu'est-ce que le Sahel ? C'est à cette question que beaucoup d'auteurs ont auparavant, et encore aujourd'hui, essayé de répondre. Autant dire qu'il y a autant de réponses que d'auteurs. Dans leur article « Drought in the Sahel », Agnew & Chappell (1999) s'attardent à décrire les différentes définitions déjà établies. Bien entendu aucune ne s'accorde réellement. Monod (in Bernus, 1979) fait remarquer que certains ont pu se demander si le Sahel formait une zone originale, bien individualisée, où s'il était seulement « *le territoire où un Sahara enrichi et un Soudan appauvri se rencontrent dans un no man's land hybride, sans autonomie réelle, sans caractères propres* ». Certains s'attachent à une description du paysage alors que d'autres préfèrent s'en tenir aux isohyètes. Il est important de noter ici qu'il n'y a pas non plus d'unité dans chacun de ces deux camps. Agnew et Chappell (1999) proposent deux Sahels ; à l'Ouest, un Sahel océanique bénéficiant d'influences atlantiques plus humides, bien que parfois limitées. A l'Est de la longitude 5° Ouest, un Sahel continental plus soumis aux effets de la sécheresse. Toutefois cela semble tout à fait arbitraire à la vue des isohyètes (Fig.5). En effet, on n'observe pas de modification de la latitude des isohyètes entre le Sahel dit « océanique » et le Sahel dit « continental ». Ne désirant pas dans ce travail chercher à déterminer des limites autour desquelles d'autres, plus expérimentés, n'ont pu s'accorder, voici sous leurs formes brutes les limites pluviométriques du Sahel telles qu'énoncées aujourd'hui (en mm de précipitation par an):

Selon F.A.O. : <300 mm (Copans, 1983)

Selon Agnew (1982) : 200 à 700 mm

Selon Hulme (1992) 100 à 600 mm

Selon W.M.O. : 300 à 750 mm (à partir de la végétation) (Davy & al., 1976)

Selon W.M.O. : 100 à 700 mm (à partir de l'aspect des territoires) (Davy & al., 1976)

Afin de conclure sur cette définition du Sahel, nous pouvons ainsi mettre en relief sa principale spécificité, celle de la variabilité de ses limites, qui dérivent au gré de la mobilité des isohyètes.

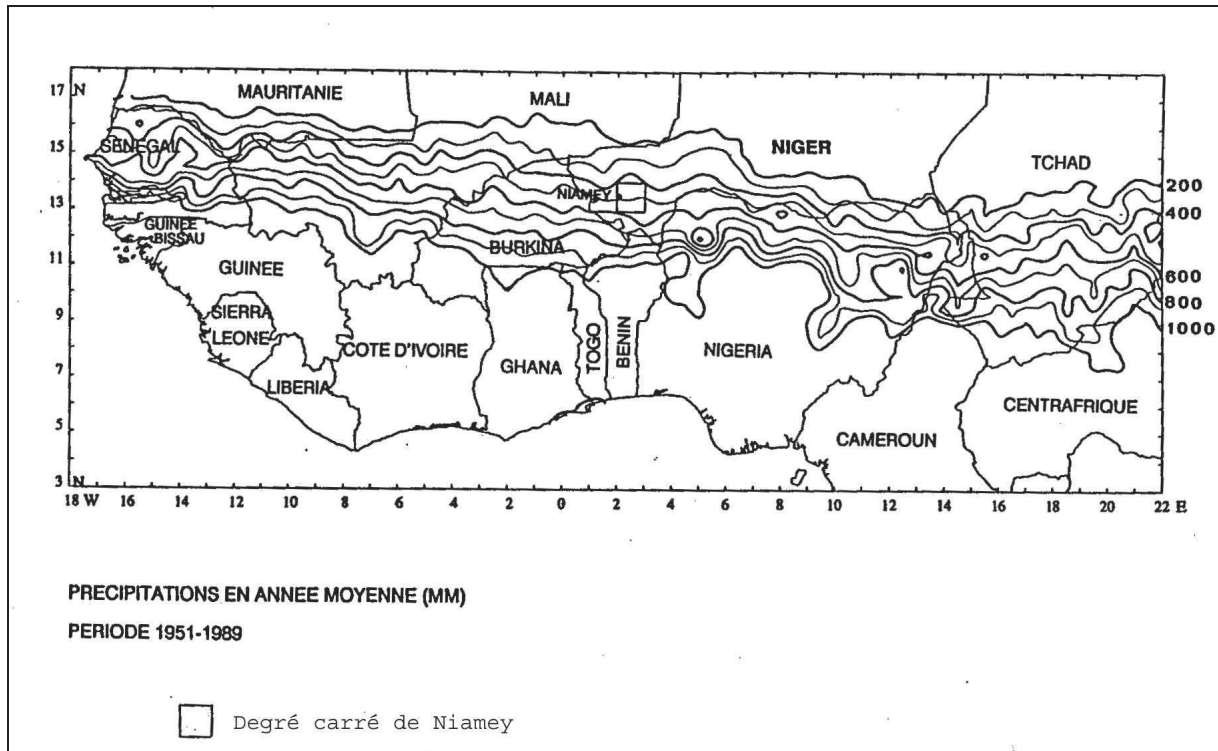


Fig.5 : Isohyètes en zone sahélienne (Descomnets, 1994)

Comme nous venons de la voir, définir le Sahel, c'est définir ses caractéristiques climatologiques et surtout pluviométriques. Ainsi, dans cette zone sahélienne, au niveau atmosphérique, on observe dans cette région le balancement Nord/Sud de la zone intertropicale de convergence (Z.I.T.C.). Au Nord de cette zone, la présence de l'anticyclone du Sahara empêche pratiquement toute précipitation. La frange Nord de la ZITC est délimitée au sol par le front intertropical (F.I.T.) qui sépare les masses d'air sec sahariennes, des masses d'air humides alimentées par le flux de mousson. On observe généralement une remontée du FIT à la latitude 20° Nord lors de l'été boréal. C'est par ce système oscillant qu'est défini le régime saisonnier dans cette région du globe. Ainsi, on observe l'alternance au cours d'une année d'une saison des pluies et d'une saison sèche. De par sa position centrale (sur un axe Sud/Nord) dans la région sahélienne, l'observation à partir de Niamey de la progression du FIT est un bon indicateur. En effet, le FIT, comme tout phénomène climatique est soumis à des perturbations qui lui font anticiper, ou retarder, son déplacement, mais aussi remonter plus ou moins loin vers le Nord suivant les années.

D'une manière générale, dans la région de Niamey, la saison des pluies s'étend d'Avril à Octobre, mais on considèrera plutôt les mois de Juillet, Août et Septembre qui à eux trois représentent la majeure partie des pluies (Fig.6).

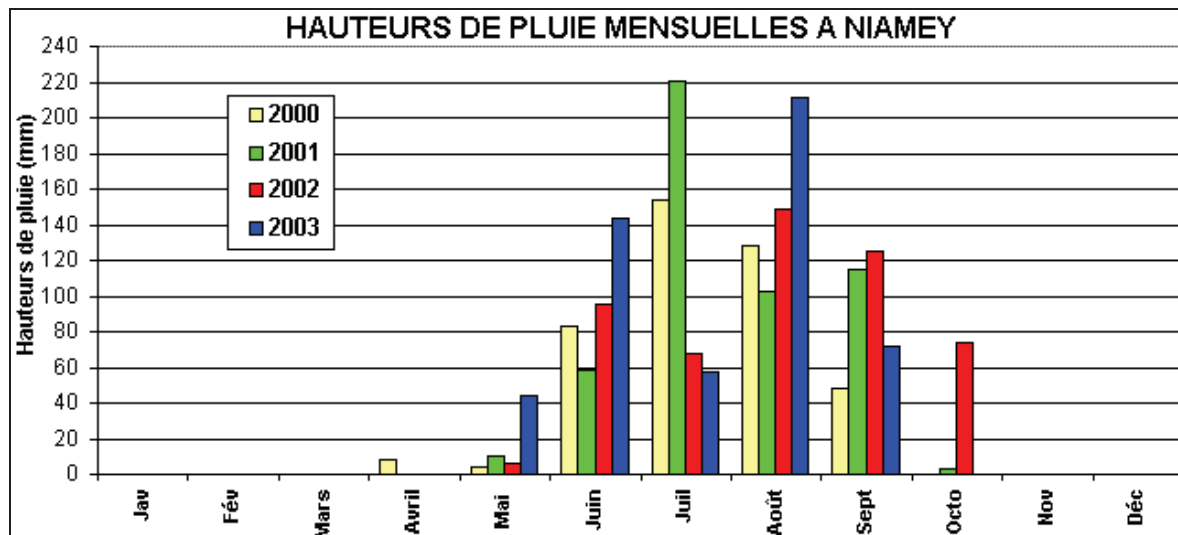


Fig.6 : Hauteurs de pluie mensuelles à Niamey (AOC-HYCOS, 2005)

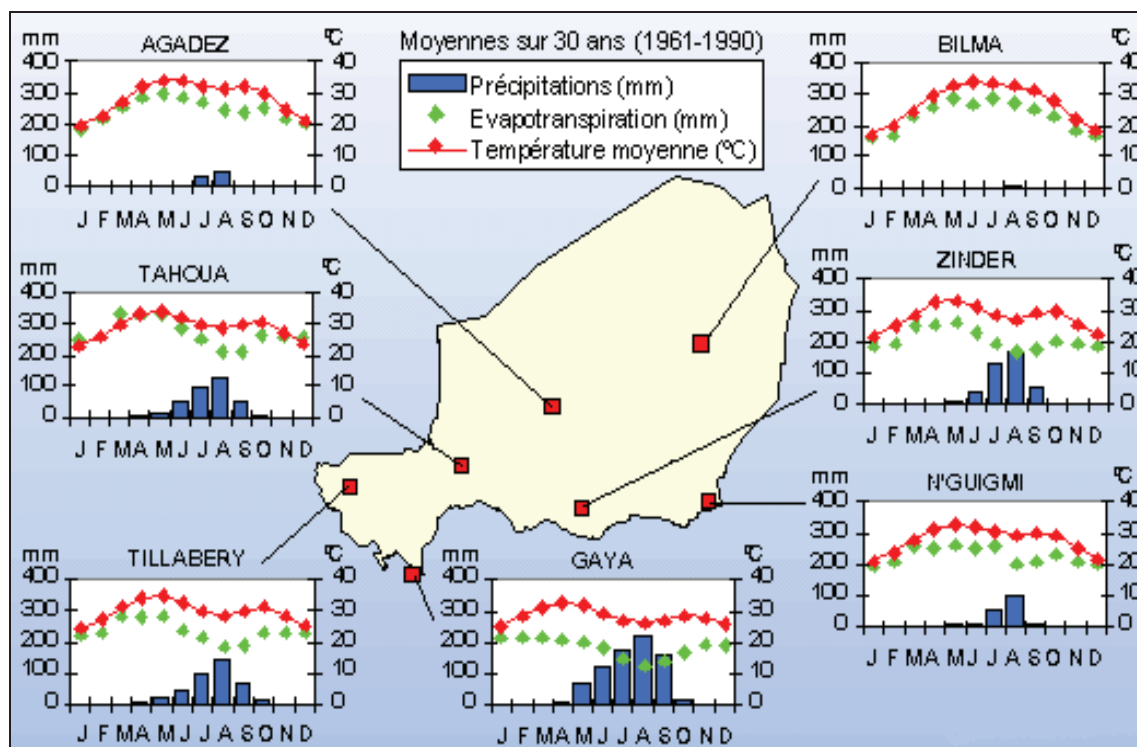


Fig.7 : Profil météorologique du Niger (FAOclim, 2005)

## 2. La sécheresse au Sahel : baisse des précipitations et désertification

Depuis environ 35 ans, on observe une très importante diminution pluviométrique en Afrique de l'Ouest. C'est au Sahel que les effets de cette sécheresse se font le plus ressentir. En effet, plus au Sud, où les conditions climatiques sont plus favorables, cette sécheresse n'a pas de conséquences aussi cruellement visibles qu'au Sahel.



Le manque d'eau provoque au Sahel une diminution des ressources alimentaires alors que les populations augmentent. Le surpâturage, le défrichage excessif, en particulier pour le bois de chauffe, et la diminution du potentiel agronomique des sols accélèrent la dégradation du milieu, c'est la désertification.

Afin de quantifier la baisse du régime pluviométrique, nous nous appuyons sur l'analyse des figures 8 et 9 fournies par Agnew et Chappell (1999).

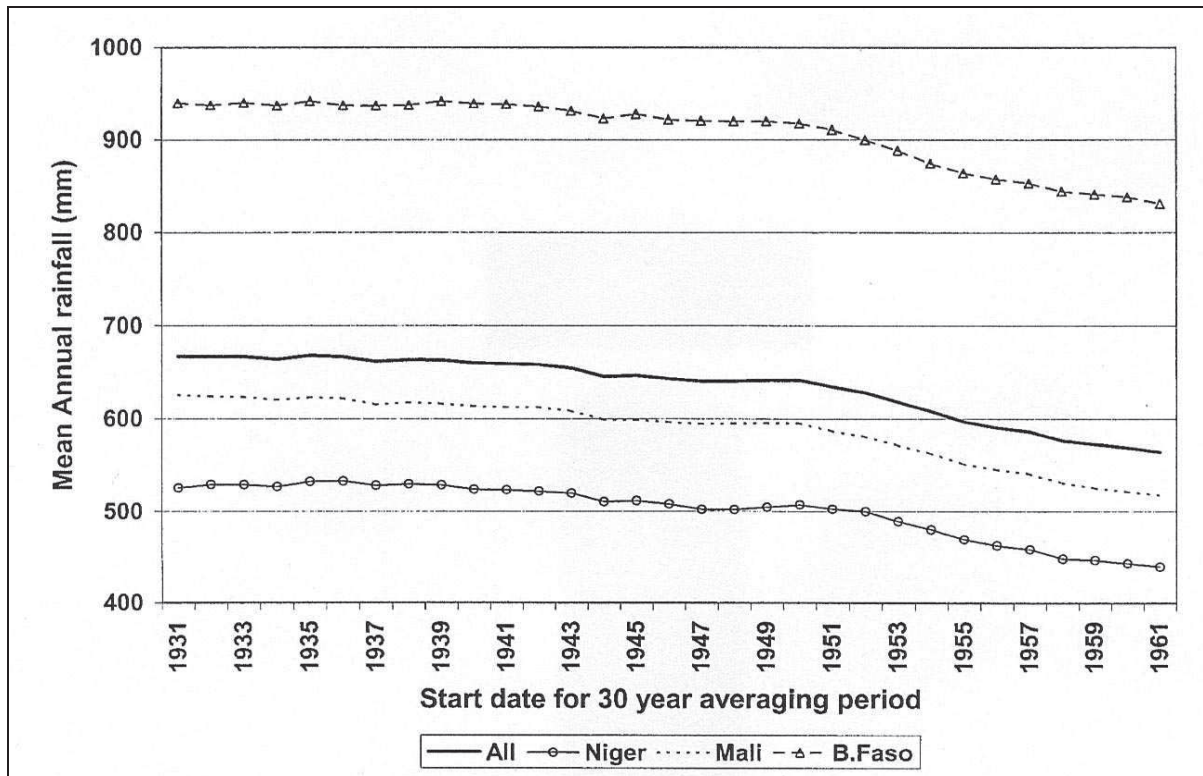


Fig.8 : Moyennes annuelles des pluies en mm au Sahel continental depuis 1931 sur des périodes de 30 ans, les dates correspondent aux dates de départ pour les périodes de 30 ans (Agnew & Chappell, 1999)



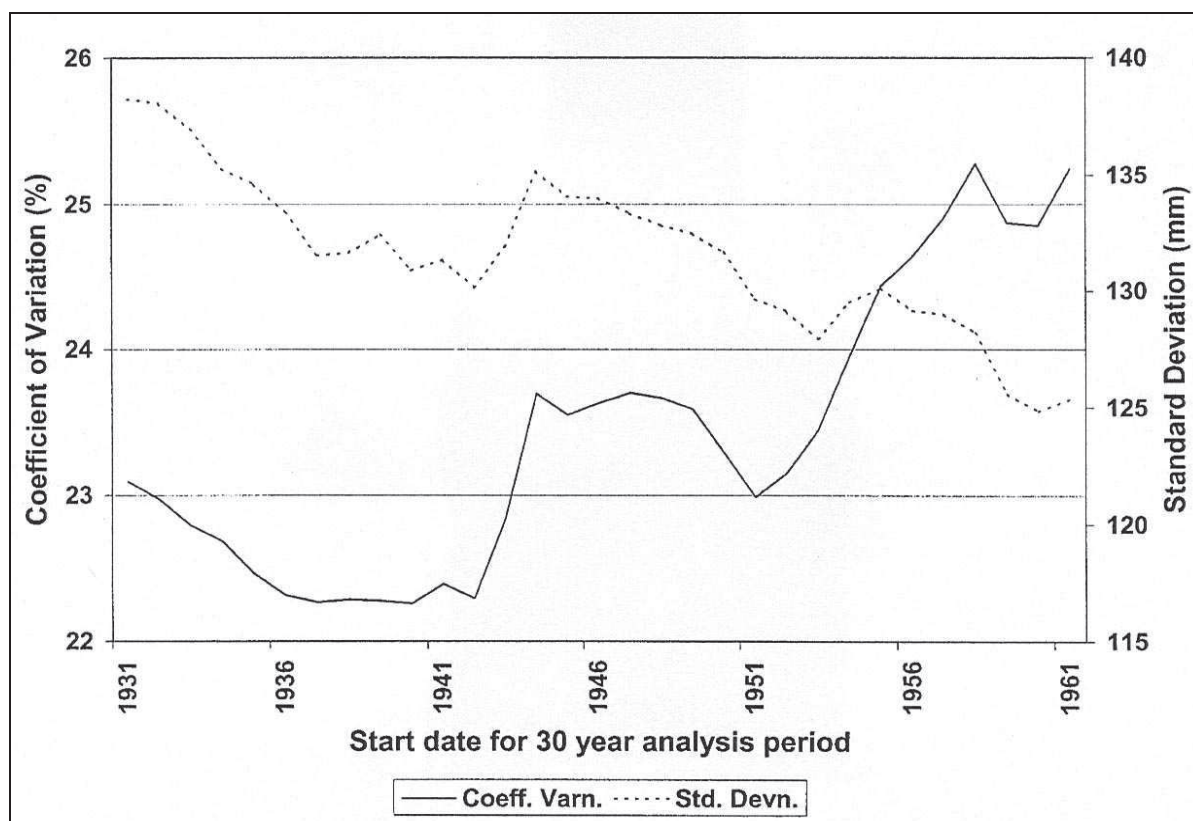


Fig.9 : Variation de la pluviométrie annuelle au Sahel continental depuis 1931 sur des périodes de 30 ans, même système de dates que pour la fig.8 (Agnew & Chappell, 1999)

Sur la figure 8, on observe les mêmes inflexions de courbes, les mêmes pentes, en ce qui concerne les 3 pays présentés (Niger, Mali et Burkina Faso). C'est sur la période 1943-1972 que l'on commence à observer une baisse des précipitations en zone sahélienne. En ce qui concerne l'ensemble de cette région, on passe d'une pluviométrie annuelle moyenne d'environ 660 mm sur la période 1943-72 à une pluviométrie d'environ 570 mm/an sur la période 1961-90. D'une part cela nous permet de quantifier la perte de précipitations à 15,8% en une vingtaine d'années, d'autre part l'observation de la figure 8 nous informe sur le caractère quasi-continu de cette variation. De plus l'observation, de la dernière partie du graphique nous informe sur une accélération de cette baisse de précipitations depuis la période 50-79. En effet cette baisse de la moyenne des précipitations annuelles entre la période 43-72 et la période 50-79 est de 3,1% alors que celle-ci est de 12,3% entre la période 50-79 et la période 61-90.

En ce qui concerne le Niger, l'analyse que nous pouvons faire de ce graphique est en tous points la même que celle faite sur l'ensemble de la zone sahélienne décrite. Seules les valeurs des moyennes annuelles des précipitations sont d'un ordre de grandeur plus faible, mais leur évolution est identique. Ainsi entre les périodes 43-72 et 61-90 on observe une baisse des apports pluviométriques de 19,5% cela comprenant une accélération dès la période 50-79. Cela se traduit donc dans le cas du Niger par une baisse moyenne des apports pluviométriques de 2% entre les périodes 43-72 et 50-79, puis de 17,2% entre les périodes 50-79 et 61-90.

Il est à noter que dans ces fluctuations principales peuvent s'insérer de courts épisodes dont le profil diffère de la pente principale. Ainsi, sur l'ensemble de la zone étudiée ainsi qu'en chacun des trois pays définissant cette zone, on observe, entre les périodes 47-77 et 50-80, une légère hausse des moyennes pluviométriques annuelles. Cet épisode est, de par le volume d'eau représenté (une dizaine de mm) et sa durée dans le temps, malheureusement bien épisodique et ne contredit en rien l'analyse générale de la figure 8.

Sur la figure 9, l'étude du coefficient de variation met bien en relief l'accélération de la baisse de la pluviométrie depuis 1951. Là aussi malgré quelques épisodes de ralentissement, notamment celui cité précédemment, on observe aisément une forte accélération du phénomène de baisse des apports pluviométriques.

De plus, l'observation de la déviation standard, nous laisse supposer une diminution d'événements pluviométriques de type anomalies. En effet, la baisse de cette valeur indique une diminution des épisodes pluvieux dont les valeurs sont éloignées de la moyenne. Ces anomalies bien qu'étouffées dans un calcul de moyennes ont beaucoup d'importance pour les populations sahéliennes que ce soit en termes d'apports hydriques soudains ou bien, à l'inverse, de déficits momentanés.

Enfin, l'observation de la figure 10 (Le Barbé et Lebel, 1997) confirme l'observation des figures 8 et 9. On y observe en effet aisément une forte chute de la pluviométrie au Niger depuis la fin des années 1960. En 1990, la situation n'était encore pas une seule fois redevenue « normale ». Toutefois depuis 1990, la pluviométrie a augmenté sans tout de même atteindre les niveaux d'avant 1968.

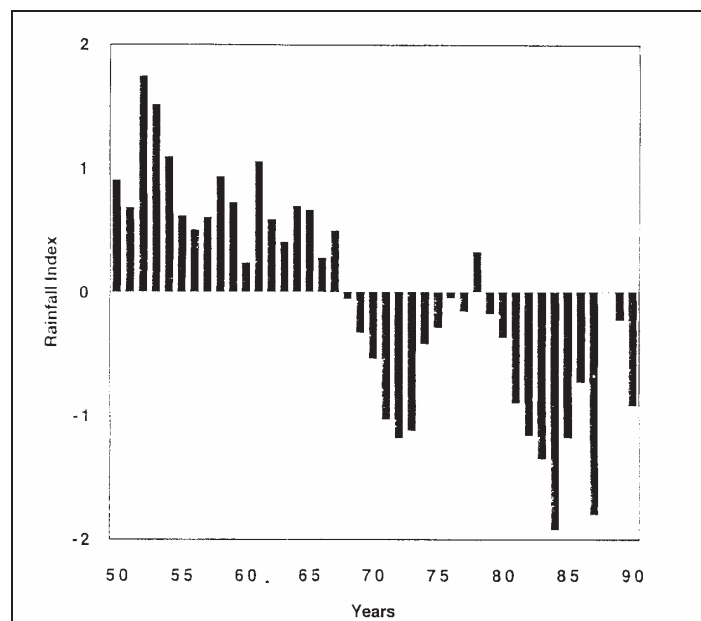


Fig.10 : Variation de l'indice pluviométrique au Niger entre 1950 et 1990 (Le Barbé et Lebel, 1997)

En ce qui concerne le caractère exceptionnel de cette sécheresse, les études paléo-climatiques et l'analyse des données pluviométriques, depuis maintenant plus d'un siècle, nous confortent dans l'idée d'une succession de périodes déficitaires puis excédentaires en pluie, mais nous remarquons que la sécheresse actuelle se traduit par une diminution des précipitations moyennes de 24% après 1970 (Seguis et al., 2003), mettant ainsi en relief différents facteurs inquiétants :

-elle est la sécheresse la plus longue depuis les premiers relevés pluviométriques ;

-elle correspond à une période de mutation socio-économique sans précédent qui a pour effet d'accentuer le phénomène de désertification ;

-elle correspond à une période de réchauffement global, très certainement de nature anthropique qui, avec ses conséquences climatiques, on le suppose, pourrait la pérenniser.

### **3. La pression démographique et ses conséquences**

La croissance démographique nigérienne est très importante. En effet, le tableau situé en annexe I indique clairement que l'indice synthétique de fécondité se stabilise au Niger à environ 8 enfants par femme ; les femmes nigériennes ont en moyenne 2,3 enfants en plus comparativement à la moyenne de l'Afrique de l'Ouest ; et quand, entre 1970 et 2000, le nombre d'enfant par femme baisse de 18,7% dans cette région, il ne baisse que de 0,7% au Niger (AFDB, 2001). De plus, ces dernières années, le nombre d'enfants par femme a augmenté de 7,4 en 1990 à 8,2 en 2000 ; il faudra attendre d'avoir un peu plus de recul et des chiffres précis pour confirmer cela.

Outre la poussée démographique exponentielle de ce pays, qui ne laisse malheureusement pas entrevoir l'ombre d'une transition démographique, la croissance urbaine est un facteur tout aussi important. Celui-ci nous intéresse tout particulièrement par son rôle d'accélérateur du défrichage des secteurs en périphérie des zones urbaines. C'est en effet l'importance de la demande en bois des centres urbains, Niamey dans notre étude, qui engendre un défrichage de la brousse tigrée occupant les plateaux. L'observation des figures 11 et 12 indique, outre l'expansion phénoménale de la démographie nigérienne, l'extraordinaire croissance urbaine qu'est en train de vivre ce pays.

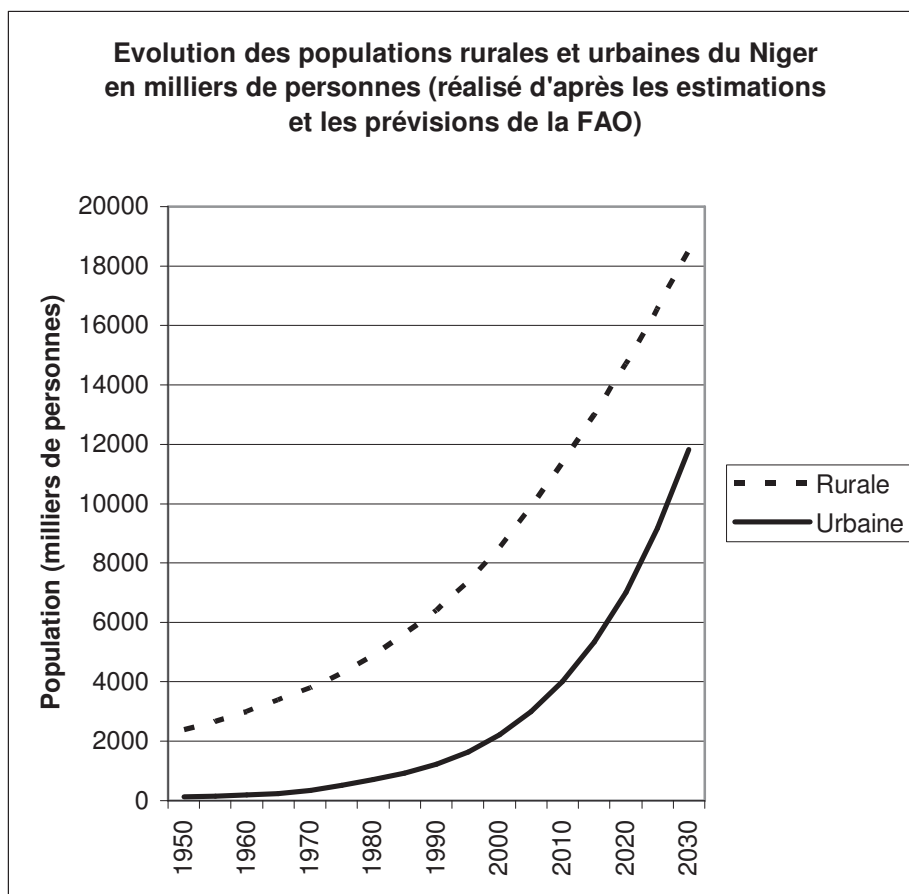


Fig.11 : Evolution des populations rurales et urbaines du Niger en milliers de personnes (FAO, 2004)

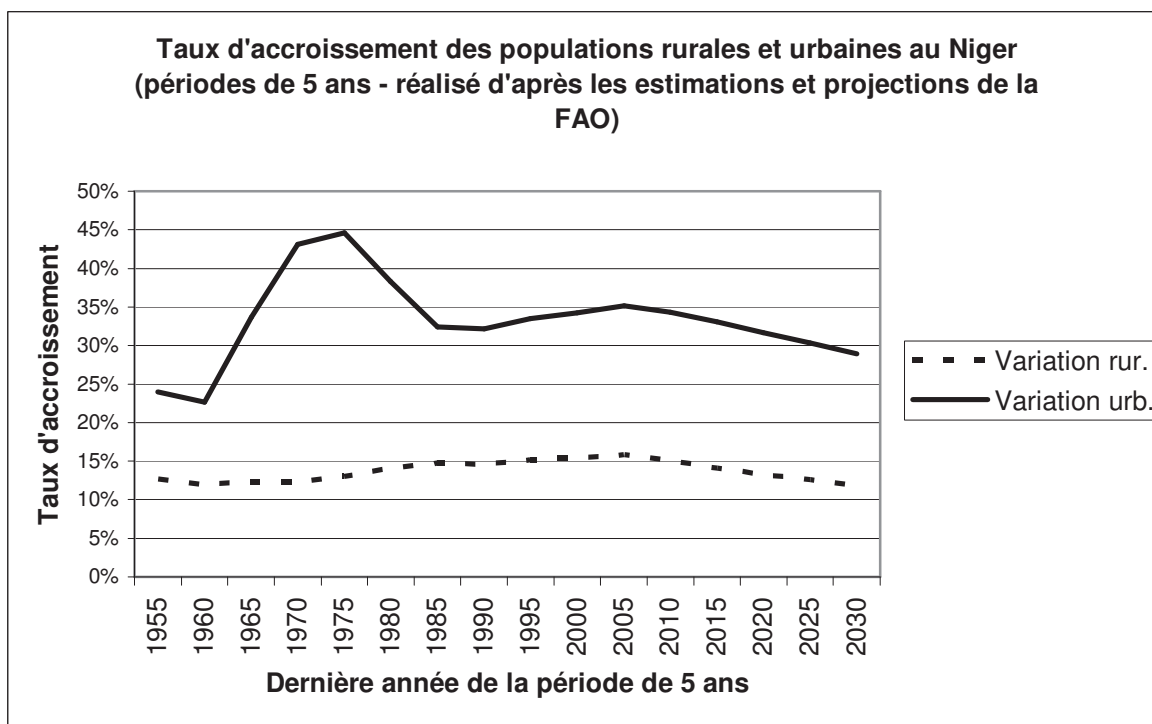


Fig.12 : Taux d'accroissement des populations rurales et urbaines au Niger (FAO, 2004)

L'observation de la figure 12 indique que le taux d'accroissement en milieu rural est important, environ 14% en 5 ans, mais est complètement effacé par le taux d'accroissement en milieu urbain qui atteint 44,6% entre les années 1970 et 1975.

De plus, on s'aperçoit que d'une part les experts de la FAO prévoient un ralentissement de cette croissance urbaine pour les décennies à venir mais cela reste à surveiller, car les précédentes estimations avaient dû être réévaluées par rapport au recensement de 2001. D'autre part, même si ces prévisions se confirment, comment le Niger pourra-t-il gérer un accroissement urbain compris entre 30 et 35% en 5 ans pendant les décennies à venir ?

Cette poussée démographique a pour conséquence une forte pression sur le milieu qui se traduit par le défrichage de la brousse tigrée sur les plateaux afin d'alimenter les centres urbains en bois de chauffe pour la cuisine. En 2004, nous avons estimé ce retrait du couvert végétal dans une fenêtre-test sur un plateau représentatif à 60 km à l'ouest de Niamey. Les résultats étaient les suivants :

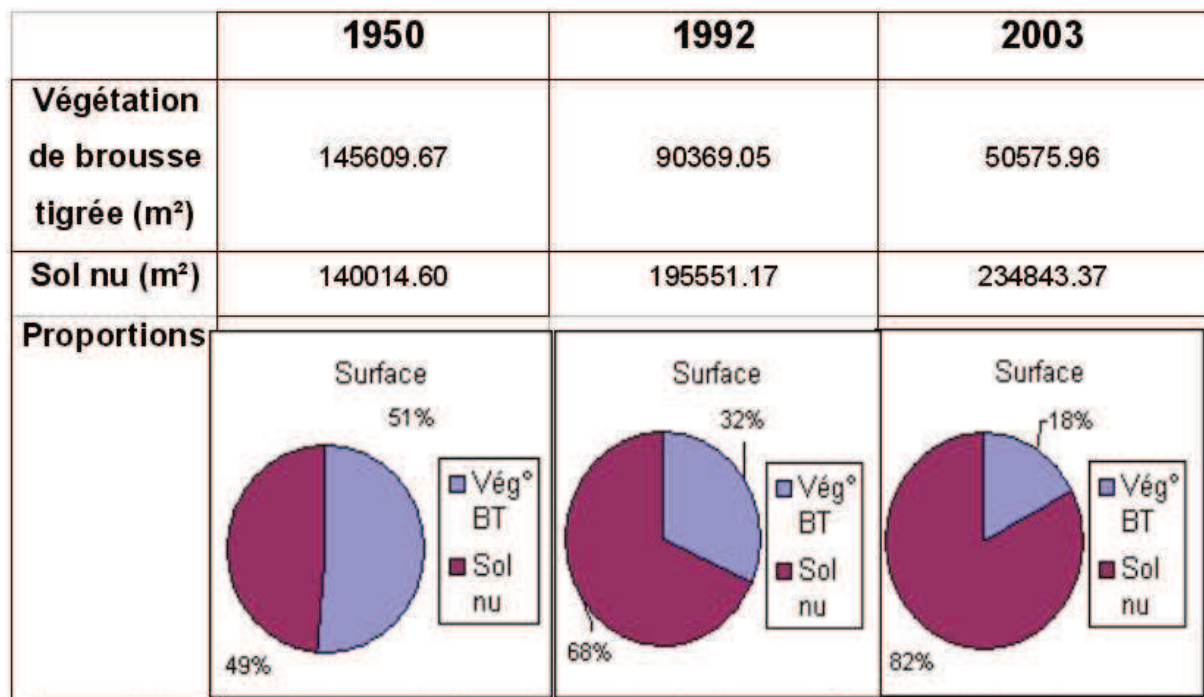


Fig.13 : Evolution des proportions de végétation (brousse tigrée = BT) et de sols nus sur la fenêtre-test sur le plateau de Poura (*Le-Breton, 2004*)

Les chiffres de 1950 correspondent au taux normal de recouvrement d'une brousse tigrée formée de l'alternance de bandes végétalisées et de bandes de sol nu. On observe par la suite un défrichage rapide des plateaux mettant en exergue les rapides changements d'état de surface. Ces changements correspondent à un moindre travail de perforation du sol par les végétaux, et plus

précisément par les racines. Cela engendre une accélération de l'induration des sols et une augmentation des coefficients de ruissellement.

#### **4. La réponse hydrologique à la sécheresse et à l'accentuation de la pression démographique**

L'ensemble du secteur d'étude est parcouru par un réseau hydrographique que l'on peut qualifier de « dégradé » du fait de l'endoréisme prédominant, autant à l'échelle régionale qu'à l'échelle du petit bassin versant (Desconnets, 1994). Seul le fleuve Niger bénéficie aujourd'hui d'un écoulement exoréique permanent alimenté par les pluies s'abattant sur le Fouta Djalon, véritable château d'eau de l'Afrique Occidentale. Les anciens systèmes hydrographiques aujourd'hui fossiles, par exemple le Dallol Bosso, sont les empreintes d'anciennes vallées à cours d'eau pérennes (appelées les Koris). Ces réseaux anciens ont été fractionnés et isolés par la mise en place successive des dunes et des ergs au Pléistocène supérieur, puis au début de l'Holocène. Cette partition en micro-bassins a créé un système endoréique limitant l'écoulement des eaux de pluie à une zone réduite au niveau de leur impluvium. Les écoulements sont aujourd'hui très aléatoires dans les koris.

De plus, sur une échelle de temps plus courte, cette situation a engendré la formation de petits bassins de retenue (mares) dans des bas-fonds généralement situés dans les koris. Ainsi, même si leur pente générale laisserait penser à des caractéristiques d'écoulement proche de ce que l'on appelle des oueds plus au Nord, les micro-modèles de leur lit ne permettent souvent plus l'écoulement continu sur de longues distances. Ainsi, il est possible d'observer un passage des eaux d'une mare à l'autre en période de fortes pluies, mais ce flux peut se retrouver bloqué dans la mare suivante (observations personnelles sur le terrain).

En ce qui concerne l'hydrologie de surface, les effets de la sécheresse et du défrichage peuvent apparaître paradoxaux. La pression anthropique sur le milieu entraîne un défrichage sur des zones où la repousse d'un même couvert est handicapée par les conditions climatiques actuelles. Ces processus ont pour conséquence une augmentation des volumes ruisselés et par là même, une augmentation des volumes d'eau vers les dépressions, cela malgré la baisse des précipitations (Mahé et al., 2003). Or, comme nous venons de le voir, l'endoréisme est majoritaire au Sahel, les points bas sont en règle générale situés dans des mares s'inscrivant dans le lit de koris. L'étude de Favreau (2000) a montré que l'augmentation du ruissellement de surface a entraîné une remontée du toit des nappes phréatiques locales du fait que l'eau « piégée » dans les mares s'infiltre. Ce ruissellement discontinu dans les drains élémentaire a donc eu une conséquence inattendue et qui pouvait sembler *a priori* contradictoire aux conditions de sécheresse observées.

La réponse hydrologique du fleuve montre quand à elle les signes d'une sécheresse accrue, essentiellement par un changement du rapport entre crues d'été et d'hiver. Le régime hydrologique du fleuve Niger **dans notre secteur d'étude** est composé d'une crue d'été et d'une crue d'hiver. La crue d'été au Niger correspond au passage des crues locales des affluents de rive droite venant du Burkina-Faso (Gorouol, Tapoa, etc.). La crue d'hiver, quant à elle, est issue de la crue d'hivernage sur le Haut-Niger et sur la cuvette lacustre malienne (delta intérieur). Cette crue d'hivernage se propage du Mali vers le Niger pour arriver avec un décalage de plusieurs mois à Niamey. Depuis 1984, le niveau de la crue d'été a dépassé le niveau de la crue d'hiver à quatre reprises, alors que cela ne s'était jamais produit depuis le début des observations en 1923 (Amani et Nguetora, 2002 *in* Mahé et al., 2003). L'observation des affluents du fleuve Niger indique une augmentation de leurs crues d'été dans les secteurs les plus peuplés (Fig.14) tandis que les secteurs moins peuplés (nord de notre zone d'étude) sont moins soumis à l'accentuation de ces crues (Mahé et al., 2003). Afin de synthétiser ces informations, nous pouvons exposer que dans notre secteur d'étude la crue d'été est de plus en plus importante depuis 30 ans et que la crue d'hiver, témoin de la situation des secteurs en amont du fleuve soumis directement à la pluviométrie, est en net recul (Fig.15).

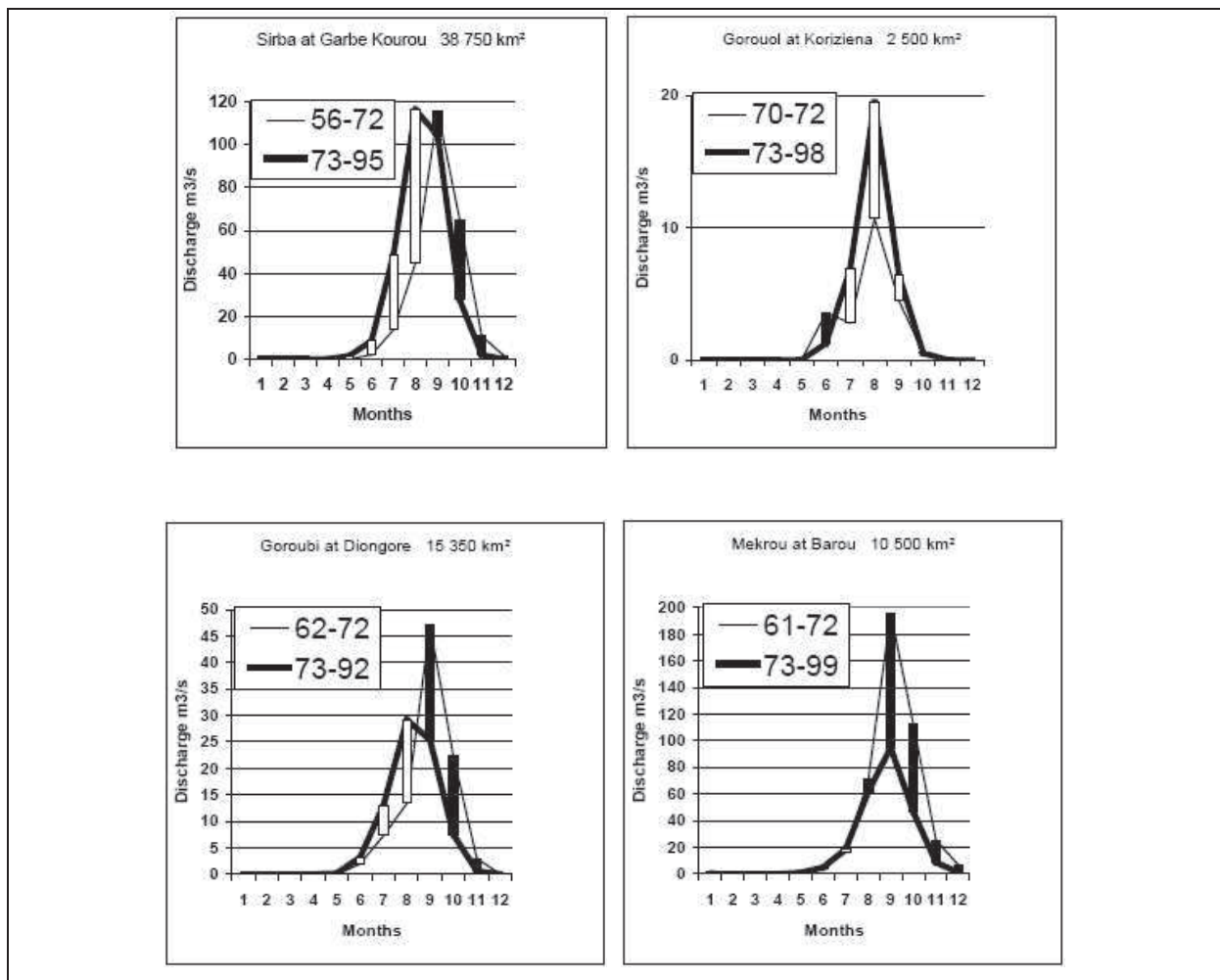


Fig.14 : Régimes hydrologiques mensuels jusqu'à 1972 et après pour certains affluents du Niger . barres blanches : excédent durant la seconde période ; barres noires : excédent durant la seconde période (Mahé et al., 2003)



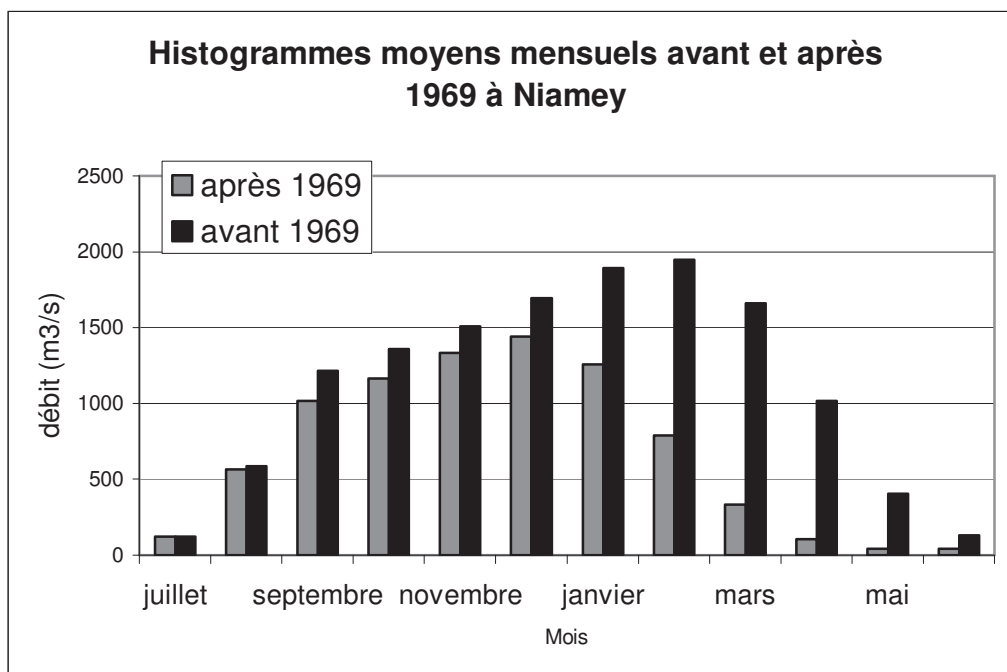


Fig.15 : Évolution comparée des histogrammes moyens mensuels du fleuve Niger à Niamey avant et après 1969 (IRD Niamey, 2005)

## 5. L'accélération de l'érosion en réponse à la sécheresse et à la pression démographique

L'augmentation des coefficients de ruissellement engendre obligatoirement une augmentation des débits solides. Cette prise en charge sédimentaire se traduit au niveau du paysage par une emprise accrue des réseaux de ravines (Chinen, 1999). Les figures 16 et 17 illustrent le développement de ces réseaux ; l'exemple donné est celui d'un petit bassin versant endoréique (environ 4,5 km<sup>2</sup>) représentatif de la région de Niamey. Ces réseaux sont les vecteurs de transport sédimentaire vers les points bas. Comme nous l'avons dit précédemment, ces points bas sont généralement des mares. Cet accroissement des débits solides génère le changement de la forme et de la dynamique des mares et des koris. En ce qui concerne les mares, le premier caractère est la mobilité du centre de celles-ci. En effet, on ne peut pas parler d'une grande mobilité mais plutôt de légères fluctuations. Ces légers déplacements sont dus à l'apport accru de sédiments. La formation d'un cône de déjection sédimentaire à l'endroit où le réseau de ravine atteint la mare modifie le modelé, créant ainsi une nouvelle topographie. Cette topographie évoluant au fil des ans peut par exemple scinder une grande mare en deux plus petites. De plus, si les matériaux les plus grossiers (sables) n'atteignent pas le centre de la mare et forment pour la part la plus importante le cône de déjection, les matériaux les plus fins (argiles) forment le fond de la mare (photo 1). Ainsi, outre une mobilité « horizontale » des mares, l'arrivée de ces argiles contribue à la mobilité du fond des mares. Ainsi, on observe un exhaussement relativement rapide du fond de ces mares (photo 2) pouvant engendrer à moyen terme un comblement.



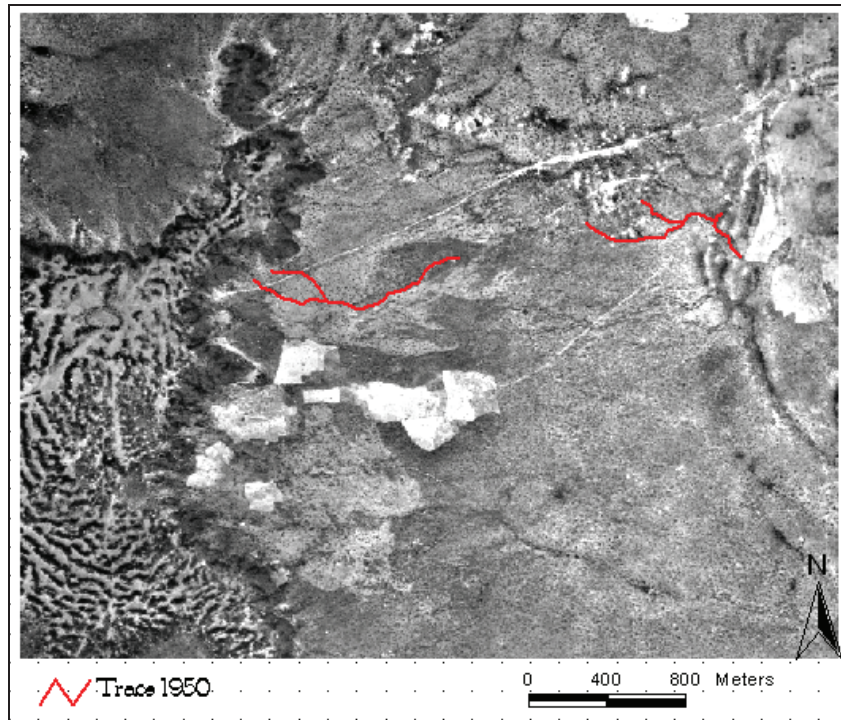


Fig. 16 : Réseau de ravines en 1950 dans le bassin-versant endoréique de Wankama (*Le-Breton, 2004*)

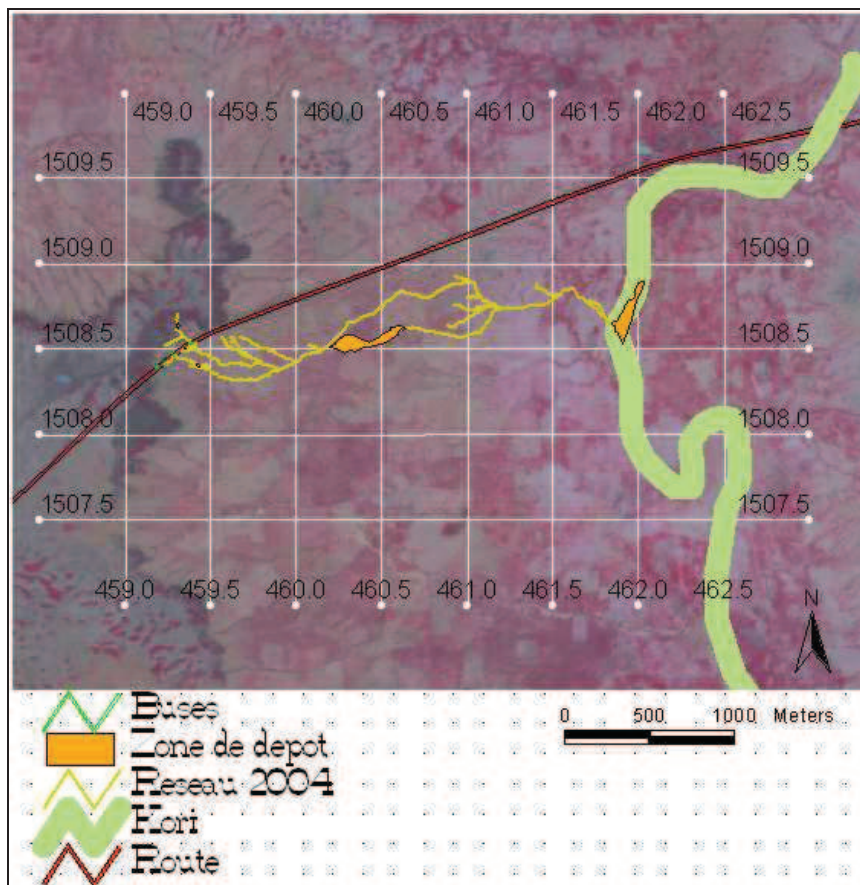


Fig.17 : Réseau de ravines en 2004 dans le bassin-versant endoréique de Wankama (*Le-Breton, 2004*)



Photo 1: Fond argileux de la mare ouest  
Wankama (secteur de Niamey) (*Le-Breton, 2004*)



Photo 2 : Comblement du fond de la mare ouest à Wankama  
(période inconnue) (*Le-Breton, 2004*)

Au niveau des koris, on observe de manière générale un exhaussement de leur lit dû à l'apport de sédiments (photo 3) et un élargissement dû au caractère érosif des flux hydriques. De plus, la nature des matériaux transportés, c'est-à-dire des sables, augmente le pouvoir érosif des écoulements. En effet, même s'il ne s'agit pas de gros blocs rocheux, le caractère abrasif des sables est très important et accélère l'élargissement des lits des koris.

La caractérisation précise des volumes sédimentaires importés dans les mares et koris mais également exportés à l'aval du système des mares, constituera une part importante de notre recherche en thèse, comme nous le verrons en dernière partie.



Photo 3 : Kori de Hamdallaye (secteur de Niamey) , exhaussement du lit visible  
au niveau des arbres et élargissement (*Le-Breton, 2004*)



En ce qui concerne le fleuve Niger et ses affluents, il semblerait que ces modifications se traduisent également par une augmentation des débits solides et donc par une croissance importante des apports sédimentaires au fleuve Niger. Ces phénomènes climatiques et anthropiques apparaissent donc comme étant les moteurs de ce que l'on appelle généralement l'ensablement du fleuve Niger. La description et l'estimation de ces apports sédimentaires ne semblent pas avoir fait l'objet de recherches récentes sur notre secteur d'étude. Par contre, l'ORSTOM a effectué de nombreux travaux dans les années 1960 et 1970 sur ce secteur ; nous pourrons, grâce à ces travaux, estimer les variations d'apports sédimentaires en différents secteurs en comparant les résultats de l'ORSTOM et nos résultats à venir.

## **6. Les substrats géologiques de ces processus**

Le facteur principal de l'érosion est bien entendu l'érodibilité du substratum. Ainsi, il est essentiel de déterminer au préalable les grandes structures géologiques en présence. A l'échelle de cette étude de DEA, seuls les grands ensembles sont significatifs ; ce ne sera que lors des travaux de terrain à grande échelle que nous passerons d'une lecture géologique régionale à une lecture plus locale. La zone d'étude couvre trois principales structures en bordure ouest du bassin des Iullemmeden à l'ouest du vaste craton ouest-africain (Favreau, 2000).

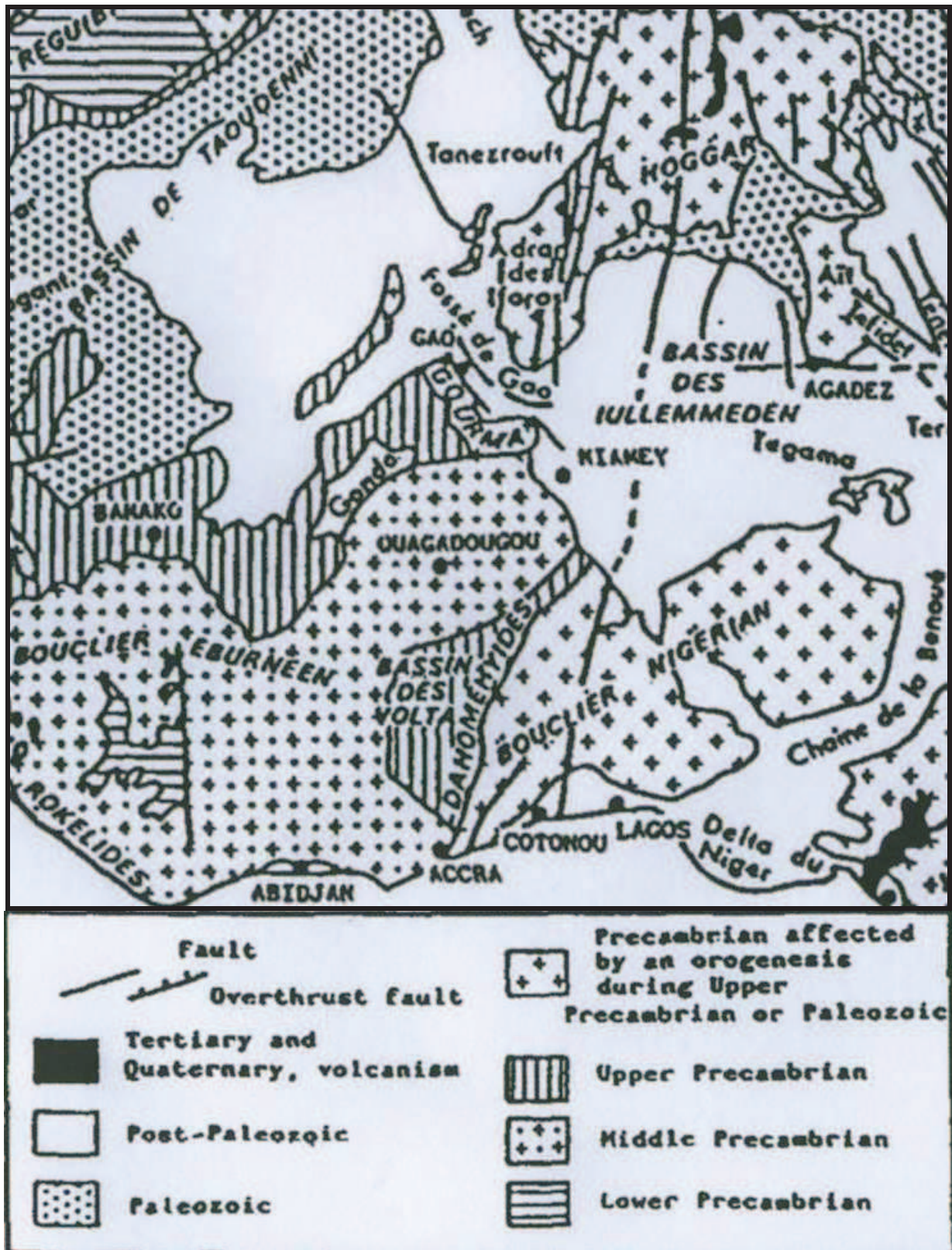


Fig.18 : Carte géologique schématique de l'Afrique de l'ouest ; cadre rouge : secteur d'étude (d'après Guiraud et al., 1987, in Favreau, 2000)

Le premier secteur traversé par le fleuve Niger dans notre secteur d'étude, au Nord, s'inscrit dans les sables éoliens quaternaires. La structure sous-jacente gréseuse date du Cycle Panafricain (-700 à -600 Ma). Il s'agit de grès dits de Firgoun et de Sotuba. Nous savons déjà que ces sables influent

fortement dans les apports sédimentaires au fleuve. En effet dans cette zone (secteur de Gao-Mali), le fleuve est dans le sud du Bassin de Taoudenni (Fig.18) en zone sud-saharienne.

Le second secteur est celui du socle du Liptako. Il s'agit d'un socle paléoprotérozoïque précambrien (éburnéen) composé de formations plutoniques, filoniennes, volcano-sédimentaires ou sédimentaires. A l'est, la limite des affleurements du socle est celle du recouvrement sédimentaire. Il représente le mur des formations sédimentaires et son altération est à l'origine du remplissage silico-clastique du bassin des Iullemeden. (Favreau, 2000)

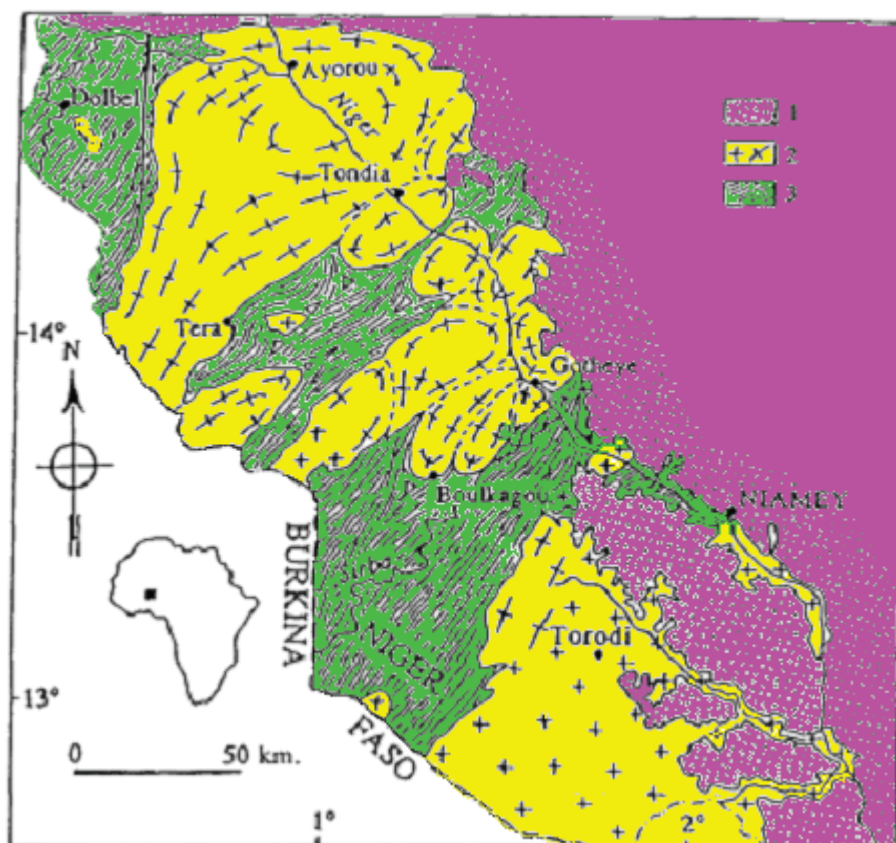


Fig.19 : Carte géologique schématique du socle du Liptako. 1 : couverture sédimentaire tertiaire ; 2 : granits avec trajectoires de foliation ; 3 : ceintures de roches vertes avec trajectoires de schistosité (d'après Machens, 1967, in Favreau, 2000)

Le dernier secteur est celui du bassin des Iullemeden à l'est de Niamey. Le bassin s'étend sur plus de 1000 km du nord au sud et sur environ 800 km d'est en ouest, pour une superficie proche de 600 000 km<sup>2</sup>. Sa bordure orientale est indiquée sur la figure 19 sous le nom de couverture sédimentaire tertiaire. Dans le secteur étudié, ce bassin apparaît aujourd'hui sous la forme de plateaux ferrugineux indurés dont les vallées ont été comblées par les apports sédimentaires successifs (Photo 4). Son épaisseur sédimentaire est proche de 2000 m dans l'axe du bassin et comprend des formations du Cambrien au Quaternaire. Ce bassin apparaît en voie de démantèlement depuis le Pliocène, comme le prouve l'érosion en cours du Continental Terminal ou l'absence d'activité sismique sur la période



historique (Ambraseys et Adams, 1986). Les différents épisodes de sédimentation correspondent d'une part aux apports continentaux, d'autre part aux transgressions marines du nord-ouest vers le sud-est composées de sédiments carbonatés. Les épisodes marins du bassin des Iullemmeden s'étagent du Cambrien au Paléocène supérieur. Le Continental Terminal correspond au dernier épisode sédimentaire (Eocène moyen à anté-Quaternaire), il est d'origine continentale à dominante silico-clastique.



Photo 4 : Photographie aérienne oblique d'une zone caractéristique du bassin des Iullemmeden – Wankama (IRD Niamey)

L'ensemble de ces informations nous renseigne sur le caractère érodable des supports en présence. En effet, il s'agit principalement de sols indurés qui favorisent un fort taux de ruissellement,

ou encore de sables éoliens fortement sensibles à l'érosion, de sédiments continentaux remaniés et du socle du Liptako dont les données ici présentes semblent souligner la faiblesse face à l'érosion.

## 7. Conclusion

Afin de conclure cet état des lieux de notre secteur d'étude et de l'élargir vers notre recherche, nous pouvons le synthétiser en deux points principaux. Tout d'abord, nous bénéficions d'une description claire des processus en cours. D'une part, la baisse de la pluviométrie conjuguée à l'action des sociétés provoque une accélération de la désertification. Cela a pour conséquence une augmentation des coefficients de ruissellement induisant par là même une augmentation de la charge sédimentaire des réseaux hydrographiques. Ces apports accrus ont pour conséquence l'ensablement des points bas tels que les mares et les koris en milieu endoréique. Ces observations s'appliquent également aux réseaux exoréiques, toutefois nous ne pouvons pour l'instant en dire plus sur les propriétés de ces apports vers le fleuve Niger. En effet, nous sortons ici du cadre des phénomènes connus pour entrer dans celui des phénomènes à décrire.

En ce qui concerne les modifications du fleuve Niger sur ces 30 à 40 dernières années, beaucoup d'éléments restent inconnus. L'évaluation des volumes sédimentaires apportés au fleuve par ses affluents durant cette période de sécheresse reste à déterminer, ainsi que les origines de ces sédiments. De façon synthétique, nous pouvons dire que les données environnementales sont connues, mais que nous ne possédons pas encore de connaissance précise sur les modalités de ces apports sédimentaires au fleuve. **La réponse morphodynamique du fleuve au changement hydrologique et sédimentaire** est bien au centre de notre projet.

# **DEUXIEME PARTIE : L'ETUDE DU SITE**

## **I- OBJECTIFS IMMEDIATS ET METHODOLOGIE**

Par les termes « objectifs immédiats », nous entendons les objectifs de ce travail de DEA. En ce qui concerne les objectifs du travail de thèse, ceux-ci figurent dans le projet de thèse en dernière partie de ce mémoire.

### **1. Détermination à moyenne échelle des zones potentielles d'apports sédimentaires au fleuve Niger**

#### **1.1 Objectif**

Le premier objectif de ce travail est de déterminer les principaux points d'entrée de sédiments dans le lit du fleuve Niger. Pour cela, nous allons rechercher principalement les modifications des formes fluviales. En effet, la modification de la forme fluviale vers une forme en anastomose est un symptôme d'exhaussement du lit du fleuve dû à des apports sédimentaires importants et à une moindre capacité du fleuve (Nanson & Knighton, 1996). Ainsi, comme nous l'avons déjà précisé, ce travail permettra par la suite de déterminer nos futurs sites d'étude.

#### **1.2 Outils et méthode**

Deux techniques nous permettent de visualiser l'ensemble de la zone d'étude : la photo-interprétation et la télédétection. La résolution des photos aériennes est un avantage majeur sur les images satellitaires disponibles. Toutefois, plusieurs facteurs s'opposent rapidement au choix de la photo-interprétation au profit de la télédétection. Tout d'abord, l'échelle de notre zone d'étude (le Moyen-Niger et ses affluents) nous contraindrait à acquérir un nombre trop important de prises de vue aériennes. De plus, l'acquisition de ces données depuis la France (et même sur place) est compliquée par le récent retour des négatifs photographiques dans les ex-colonies aujourd'hui pays souverains (notamment pour le Niger). Enfin, pour la majeure partie des missions aériennes concernées, datant des années 1960 et 1970, bon nombre de ces photographies sont en noir et blanc, ce qui ne facilite pas leur interprétation dans notre domaine d'étude.



En outre, les possibilités offertes par la télédétection sont importantes. Le caractère numérique (au sens informatique) des données, les possibilités de correction et les outils d'interprétation correspondent en tout points à notre domaine d'étude. De plus l'acquisition de ces données est aisée et gratuite par l'intermédiaire du site internet du GLCF (Global Land Cover Facility).

Traitement des données :

Nous allons vous présenter ici les processus suivis pour le traitement des données Landsat ETM+. Le logiciel de télédétection utilisé est Idrisi 32 de Clarck Labs et les images Landsat ETM+ sont les suivantes :

<b>Identifiant</b>	<b>Date d'acquisition par le satellite</b>	<b>Path</b>	<b>Row</b>
image 1	26.10.2000	192	52
image 2	09.11.1999	192	51
image 3	02.12.1999	193	51
image 4	18.09.2001	193	50
image 5	05.08.2000	194	50
image 6	16.02.2002	194	49
image 7	30.11.1999	195	49
image 8	03.11.2001	195	48

Tableau 1 : Liste et dates d'acquisition des images Landsat ETM+

Le plan d'assemblage de ces images est disponible en annexe II

Chaque image satellitaire récupérée est sous forme de neuf couches que nous appellerons bandes. Chaque bande est une image en 256 niveaux de gris. Chaque bande capte un spectre lumineux (une gamme de longueurs d'ondes) différent de la façon suivante :

<b>Bandes Landsat ETM+</b>	<b>Longueur d'onde en <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Résolution spatiale en m</b>
1-BLEU	0.45 à 0.52	30
2-VERT	0.52 à 0.60	30
3-ROUGE	0.63 à 0.69	30
4-PIR (Proche Infrarouge)	0.76 à 0.90	30
5-MIR (Moyen Infrarouge)	1.55 à 1.75	30
6.1- Infrarouge Thermique	10.4 à 12.5 (pour 6.1 et 6.2)	60
6.2- Infrarouge Thermique	10.4 à 12.5 (pour 6.1 et 6.2)	60
7-MIR	2.08 à 2.35	30
8-Panchromatique	0.50 à 0.90	15

Tableau 2 : gammes d'ondes des bandes Landsat ETM+ (source : Centre Canadien de Télédétection)

La valeur de chaque pixel (de 0 à 255) est définie par la réponse spectrale (réflexion du Soleil sur la Terre) dans le spectre de la bande. Par exemple, la réponse d'une prairie (zone très verte) sera très forte dans la bande 2 et correspondra donc à des niveaux de pixels de valeurs très hautes.

Ces bandes doivent être corrigées, c'est-à-dire contrastées. Pour cela, nous avons d'une part les données fournies par le GLCF avec les images satellitaires et d'autre part, le module « Atmosc » d'Idrisi 32 qui permet et facilite ces corrections. Ces corrections atmosphériques nous permettent de pouvoir comparer au mieux les différentes scènes juxtaposées. En effet, c'est la réponse de chaque pixel dans le spectre de chaque bande qui est interprété ; il faut donc écarter au mieux les erreurs de réponse spectrale. Celle-ci peut être modifiée par plusieurs facteurs tels que l'inclinaison solaire ou la couverture nuageuse. Toutefois, le passage d'une image à une autre verra obligatoirement des changements de teintes dus principalement au fait que les dates d'acquisition des images satellitaires diffèrent les unes des autres.

Les facteurs des corrections atmosphériques effectuées dans Idrisi 32 sont les suivants :

- date
- indice de nébulosité (Dn haze)
- luminance minimale
- luminance maximale
- valeur maximale des pixels
- élévation du soleil

Le résultat de ces modifications atmosphériques (Fig.20 et 21) est un meilleur contraste, une information moins « parasitée » et une harmonisation relative des différentes scènes. D'autres corrections peuvent s'avérer nécessaires en fonction de la qualité des données.

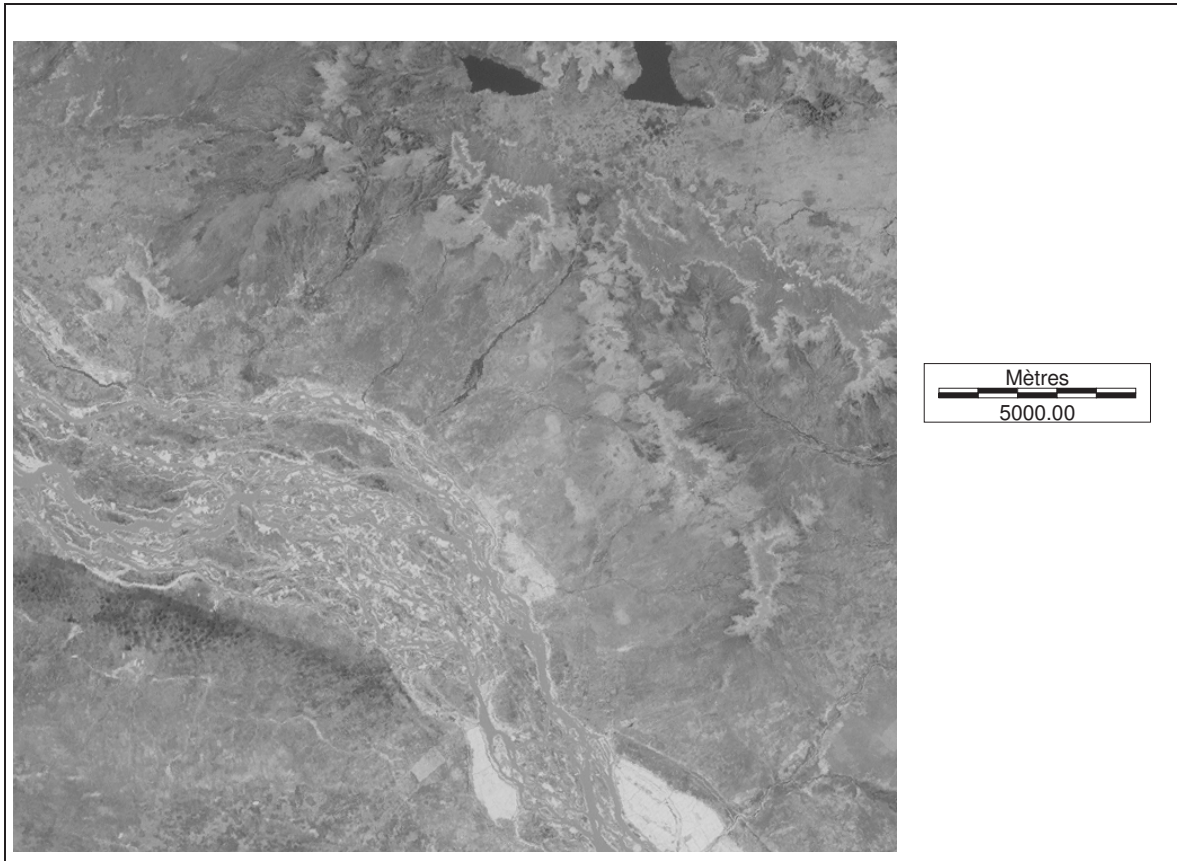


Fig.20: Extrait d'une image Landsat ETM+ (bande 3) **avant** les corrections atmosphériques, path :193 – row :50 (*Le-Breton, 2005*)

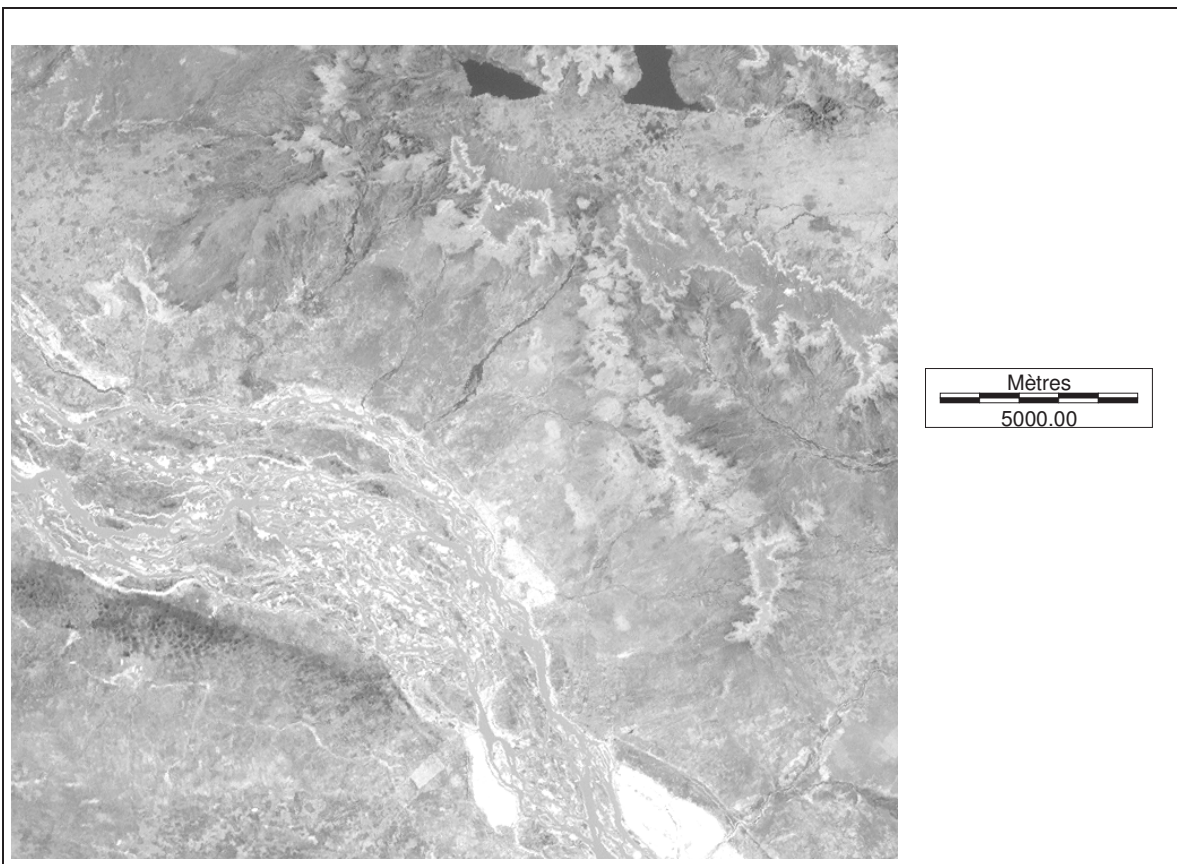


Fig.21 : Extrait d'une image Landsat ETM+ (bande 3) **après** les corrections atmosphériques, path :193 – row :50 (*Le-Breton, 2005*)

L'étape suivante est le recadrage des images. Il nous faut en effet recadrer chaque scène (de huit bandes) afin de nous concentrer sur la zone d'étude, mais aussi pour alléger la taille des fichiers à traiter.

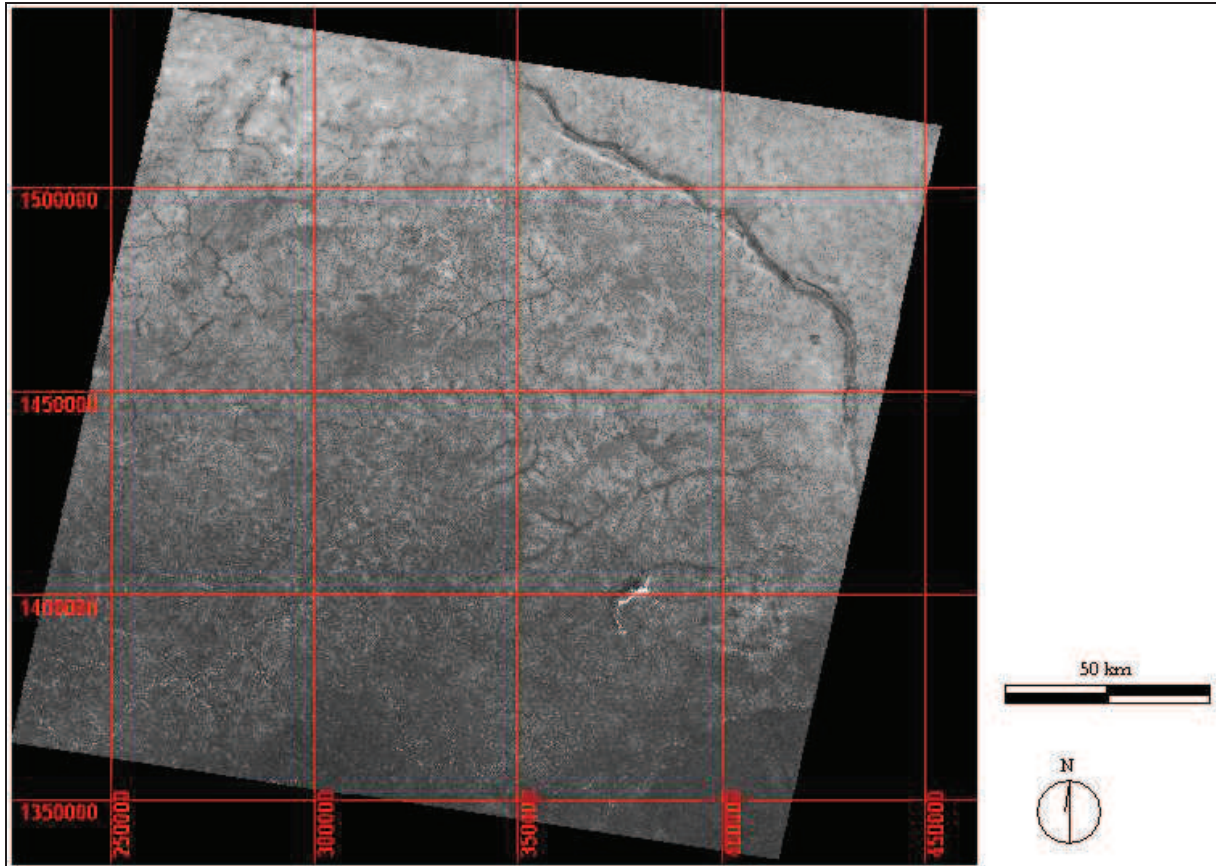


Fig.22: Bande 3 ETM+ **avant** recadrage, coord. UTM 31N métriques, path : 193 - row : 51. (Le-Breton, 2005)



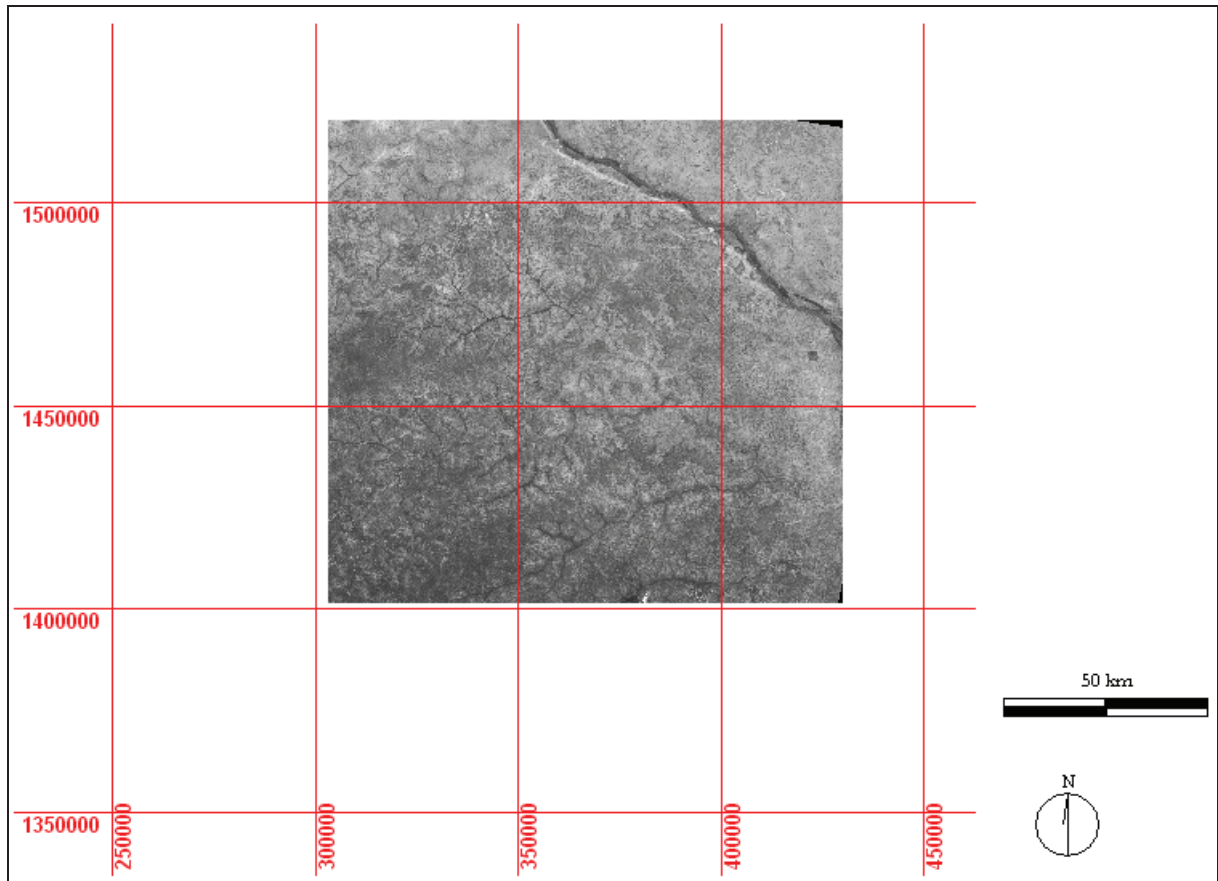


Fig.23 : Bande 3 ETM+ après recadrage, coord. UTM 31N métriques, path : 193 - row : 51. (Le-Breton, 2005)

L'assemblage de trois bandes, que l'on associe respectivement aux 3 couleurs primaires rouge, vert et bleu, produit une image appelée composition colorée. Il existe deux types de composition colorée. Tout d'abord, les compositions dites 321 (bande 3 = Rouge ; bande 2 = Vert ; bande 3= Bleu) juxtapose les trois couleurs vraies grâce à l'association des trois bandes captant ces couleurs. La composition colorée obtenue est appelée composition colorée en couleurs vraies. A l'inverse, les autres compositions (les autres combinaisons) sont appelées compositions colorées en fausses couleurs. Par exemple, la composition colorée 453 exprime l'activité chlorophyllienne en rouge. Cela se traduit à l'image par un couvert végétal d'apparence rouge, plus ou moins vive.

Nous avons choisi d'utiliser trois types de combinaisons colorées. Le premier type est la composition colorée 321. Cette composition a pour but de nous aider dans l'interprétation visuelle (à l'écran) des différents facteurs qui nous intéressent (Fig.24).

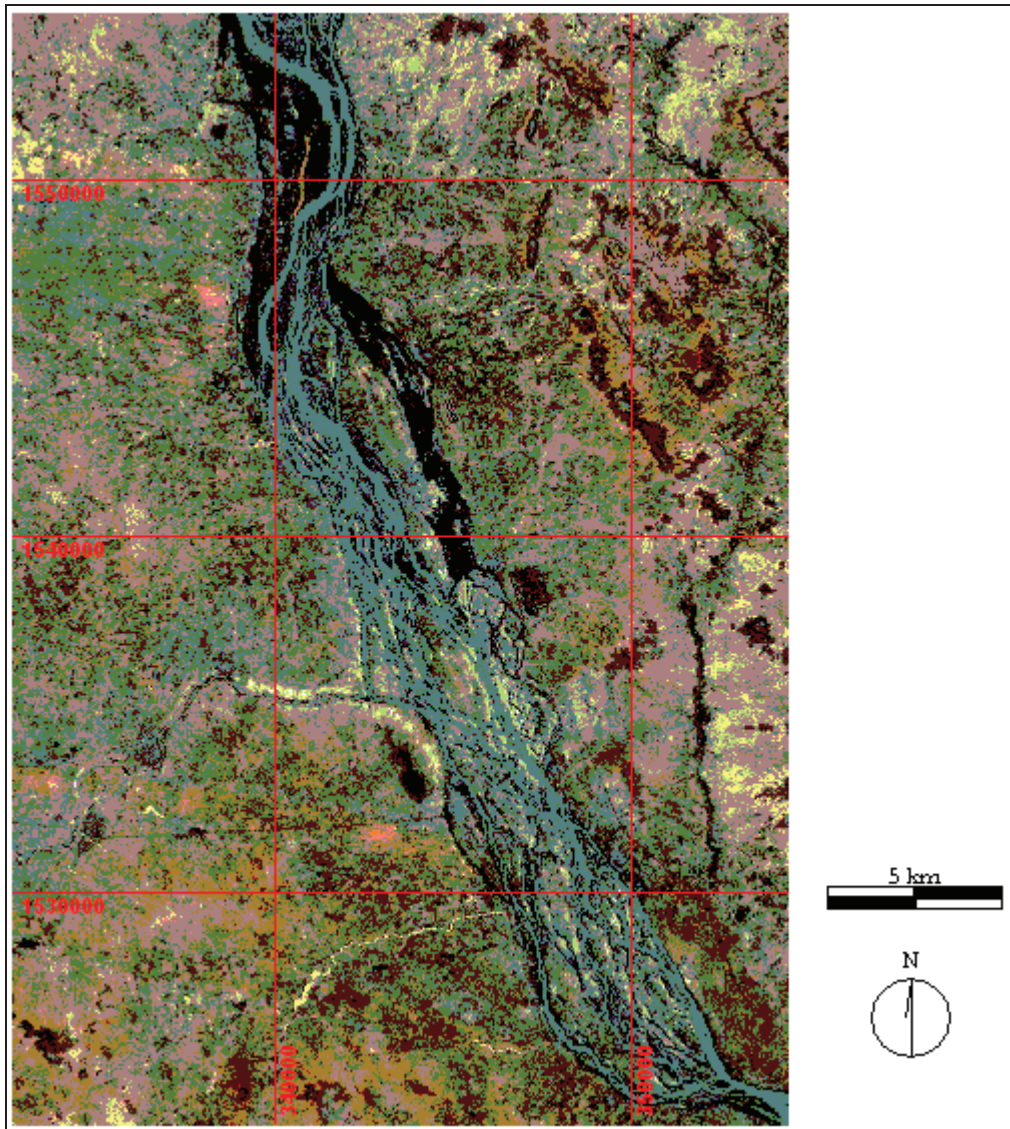


Fig.24 : Extrait d'une composition colorée vraies couleurs 321, path : 193 – row : 50. (Source : Le-Breton, 2005)

Le second type de composition utilisé est une composition fausse couleur 453 (Fig.25). Nous avons choisi cette composition afin de pouvoir observer l'occupation des sols grâce à la nette distinction entre les sols végétalisés et les sols nus. Notre connaissance de secteurs proches ou situés dans la zone d'étude facilitera l'interprétation de ces images avant de pouvoir nous rendre sur place.

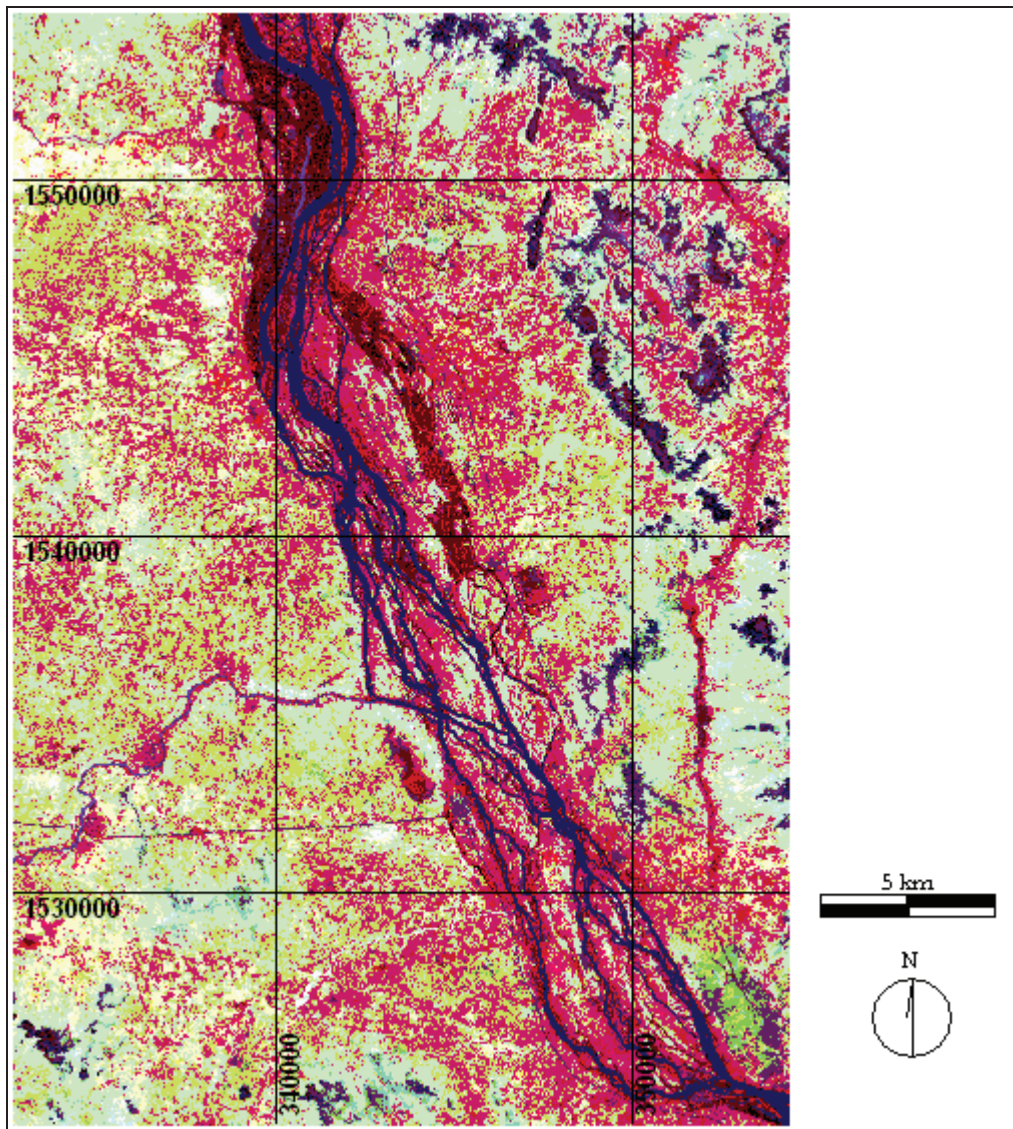


Fig. 25: Extrait d'une composition colorée fausses couleurs 453, path : 193 – row : 50. (Source : Le-Breton, 2005)

Enfin, le dernier type de composition colorée est 541 (Fig.26) Cette composition a été choisie afin de **mettre en évidence les différences de natures des sols** pouvant induire des modifications du comportement face à l'érosion. Cette composition nous permettra d'identifier par exemple les zones indurées à fort coefficient de ruissellement, des zones où le support contribue au bilan sédimentaire du fleuve. C'est cette composition qui nous permettra d'aboutir à notre premier objectif, la localisation des secteurs d'entrée des sédiments dans le lit du fleuve Niger. De plus, en secteur sahélien, le moindre épisode pluvieux favorise une forte activité végétale ce qui peut générer des erreurs d'interprétation importantes en cas de réponse vive dans le proche infrarouge (bande 4) pour une composition fausse couleur de type 453.



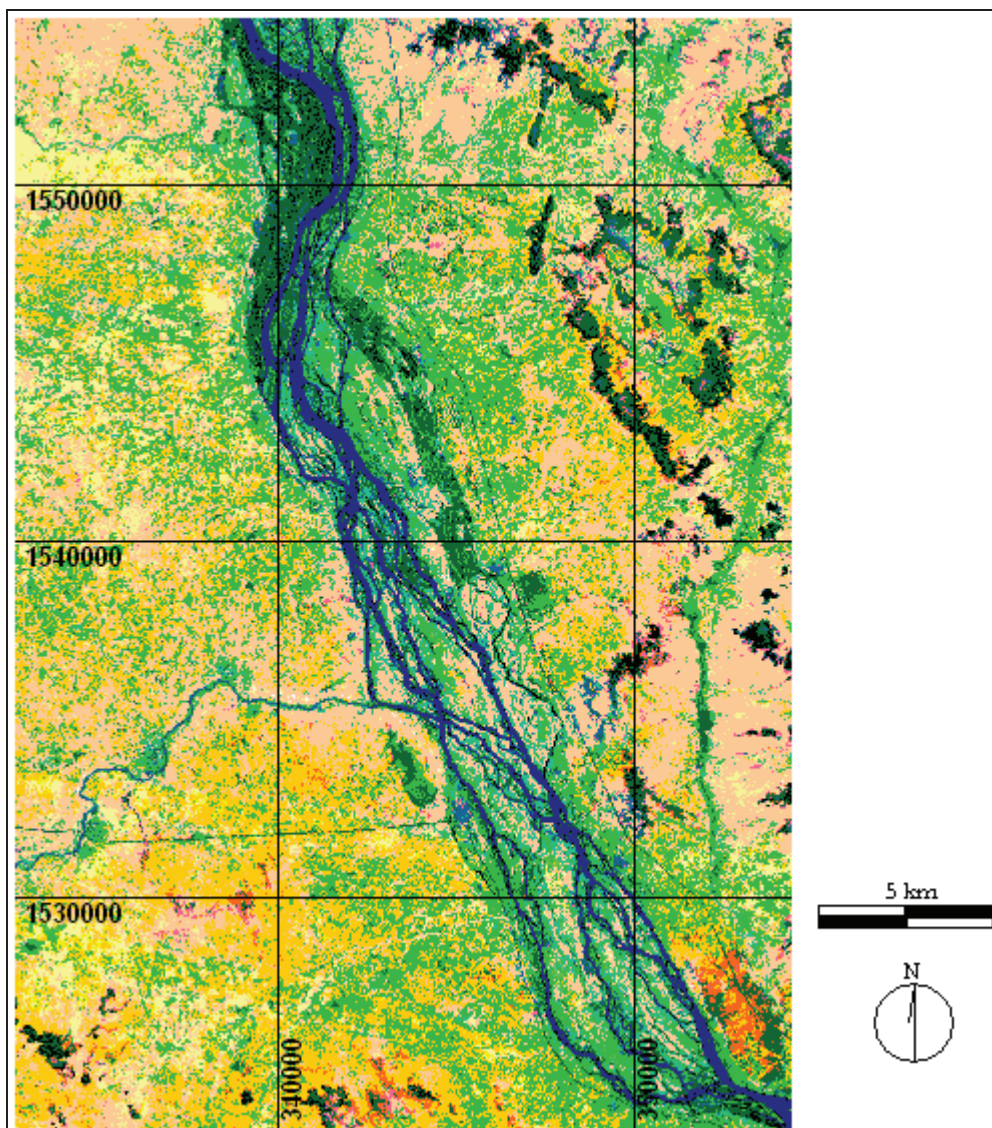


Fig. 26 : Extrait d'une composition colorée fausses couleurs 541, path : 193 - row : 50. (Source : Le-Breton, 2005)

## 2. Répartition spatiale du couvert végétal et des zones en érosion

### 2.1. Objectif

Le second objectif immédiat de cette étude est la détermination du support de l'érosion et de l'occupation des sols dans les secteurs de forts mouvements sédimentaires. L'étendue géographique des résultats est fonction de la détermination des points d'entrée principaux ; ainsi nous nous intéresserons aux zones d'apports sédimentaires au sens large.

### 2.2. Outils et méthodes

La méthodologie utilisée pour parvenir à nos fins est quasi-intégralement expliquée auparavant. Afin de déterminer l'occupation des sols, nous allons nous appuyer sur les compositions

colorées 453. En ce qui concerne la nature du substrat, nous synthétiserons les données des compositions colorées 541 et les cartes géologiques suivantes :

- Carte géologique de la partie méridionale de l'Afrique de l'Ouest, BRGM, 1972
- Géologie et principales minéralisations d'Afrique de l'Ouest, BRGM, 2004

Le croisement de ces deux types d'informations va nous permettre d'une part, de définir l'environnement, au sens de paysage, et d'autre part, d'évaluer l'érodibilité des surfaces.

## **II- ANALYSE ET RESULTATS, SECTORISATION DU MOYEN-NIGER**

### **1. Secteur 1 : de Tossaye à Gao, les apports éoliens**

**Tossaye (Mali): 16°58'N ; 0°33'W**

**Gao (Mali): 16°16'N ; 0°03'W**

**Facteur d'unité du secteur : apports sableux éoliens**

**Longueur : 110km**

Dans le secteur nord de notre zone d'étude de Tossaye à Gao, le fleuve Niger traverse les étendues sableuses sud-sahariennes. Il est clair, au vu des zones riveraines du fleuve et aux forts vents présents dans celles-ci, que le fleuve subit d'importants apports sédimentaires de type éolien.

Issue d'une composition colorée 541, la figure 27 représente en rouge les zones en eau au moment de l'acquisition des images Landsat (03.11.2001 et 30.11.1999). On y observe tout d'abord, que dans ce secteur la largeur du lit du fleuve est très variable. En effet, cette largeur peut varier de quelques centaines de mètres à une dizaine de kilomètres sur une distance assez courte. Il est fort probable que ces fluctuations de la largeur du lit soient dues à des contraintes structurales imposées par les grès sous-jacents. En dehors de ces zones de contrôles structuraux, le lit du fleuve adopte une forme fluviale anastomosée symptomatique d'apports sédimentaires importants et d'une faible capacité du fleuve à les prendre en charge.

Ces anastomoses remarquables sont plus facilement observables à plus petite échelle (Fig.28). En effet sur cette figure, on observe clairement la dispersion des eaux du lit du fleuve dans de

multiples chenaux ou bras morts. Cette forme fluviale s'établit autour d'îles formées par ces sédiments éoliens ; ces îles constituent le stock sédimentaire du fleuve.

Fig.27 : Tracé du fleuve Niger en anastomose dans le secteur 1, coord. UTM 30N métriques, path : 195 – row : 48 et path : 195 – row : 49.

(Le-Breton, 2005)

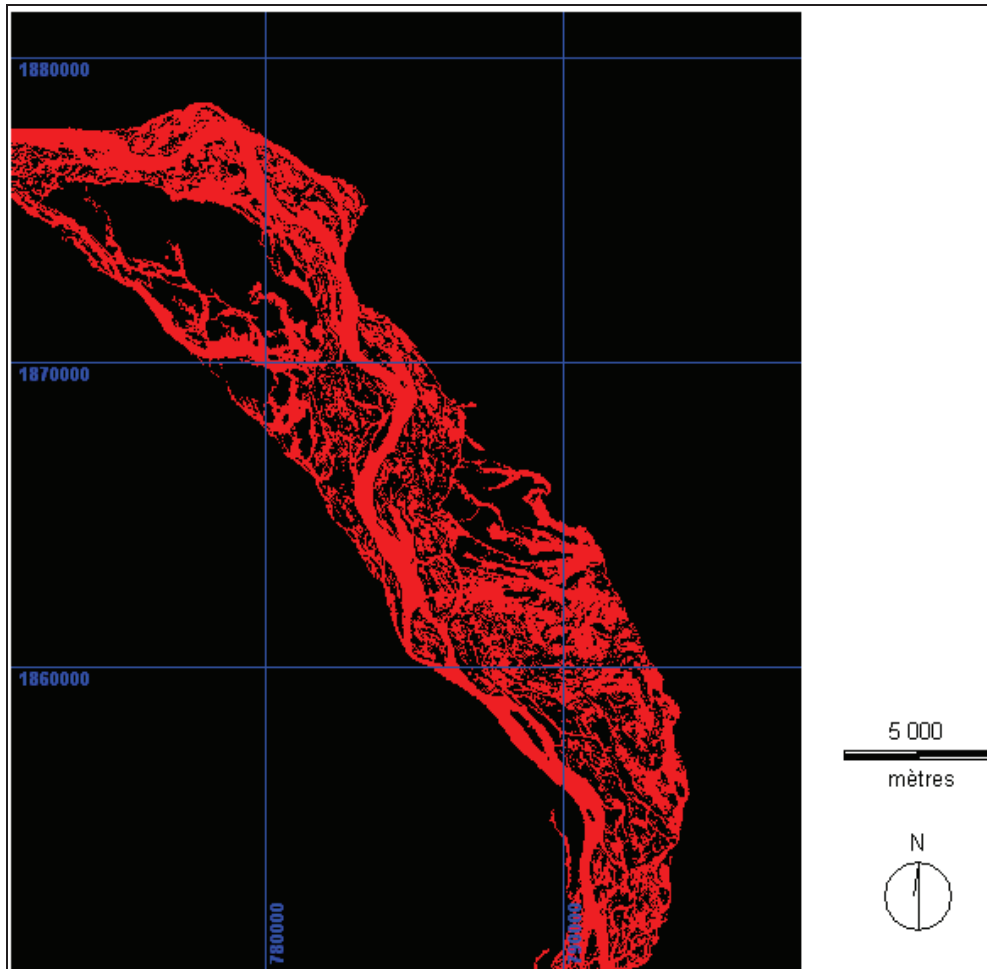


Fig.28 : Vue à échelle plus grande du tracé anastomosé du Moyen-Niger au Mali, coord. UTM 30N métriques, path : 195 – row : 48

(Le-Breton, 2005)

La figure 29 représente une composition colorée 453 du secteur 1. En ce qui concerne l'occupation du sol, on voit très bien l'absence de végétation (qui devrait apparaître en rouge sur la composition colorée). Dans un tel secteur dominé par l'érosion éolienne, la végétation pourrait être un frein important à ce phénomène. Or, l'activité chlorophyllienne est quasi-nulle sur l'ensemble de ce secteur ; seules les îles du lit du fleuve sont végétalisées (Fig.30). Cette végétation sur les îles indique leur stabilité et confirme la faible capacité du fleuve à remobiliser ces matériaux vers l'aval. On notera que, pour le bilan sédimentaire du fleuve, les échanges entre les zones riveraines du fleuve et le lit lui-même ne sont *a priori* pas à sens unique puisqu'une partie des sédiments composant les îles doit être repris par le vent pour rejoindre la rive. Dans ce cas, les îles ne sont plus simplement les zones de

stockage sédimentaire du lit du fleuve, mais aussi des lieux de transit de particules d'une rive à l'autre, c'est-à-dire des zones de relais des processus éoliens.

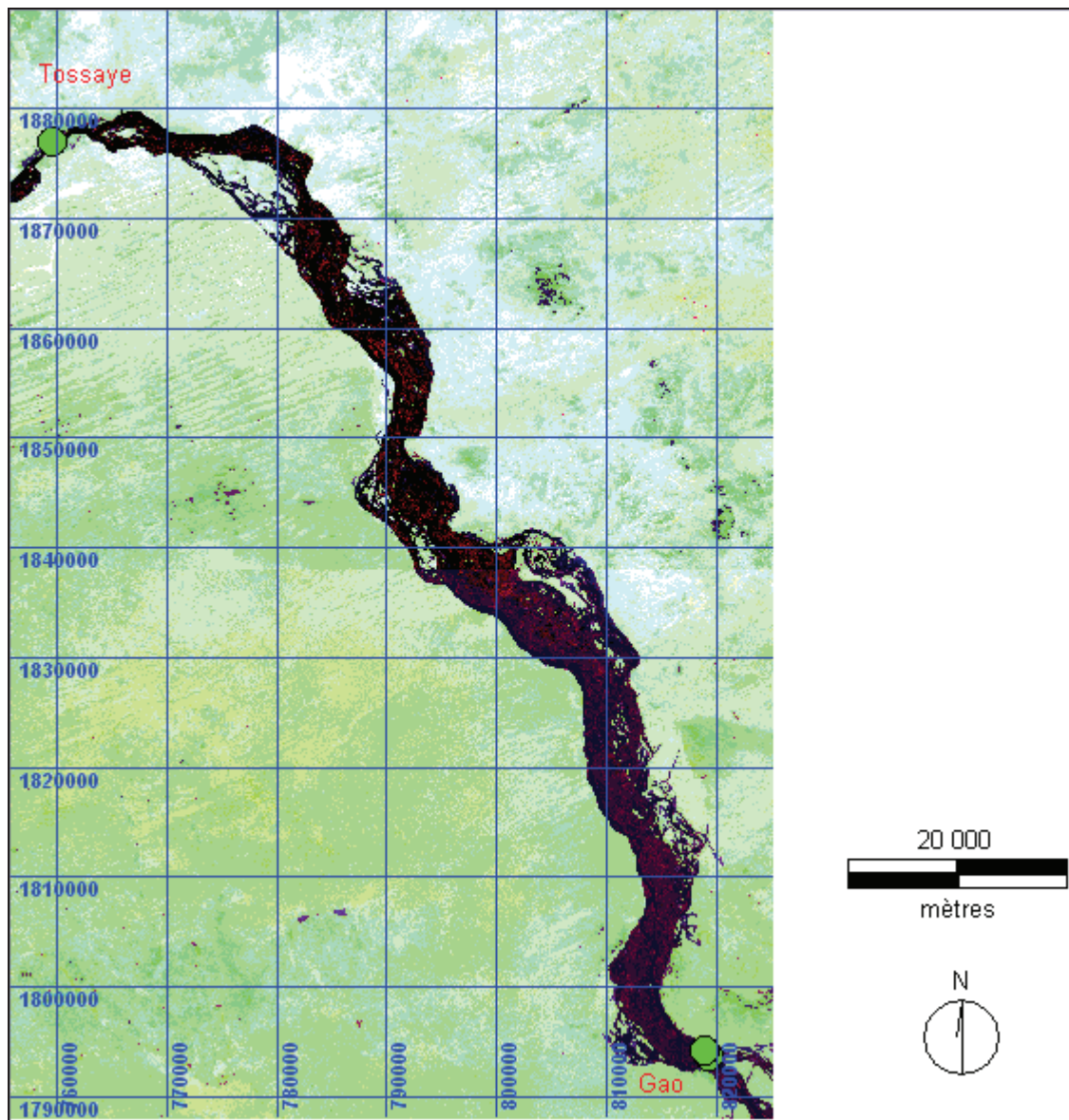


Fig.29 : Mise en évidence de l'absence de couvert végétal, composition colorée 453, coord. UTM 30N métriques, path : 195 – row : 48 et path : 195 – row : 49 (Le-Breton, 2005)



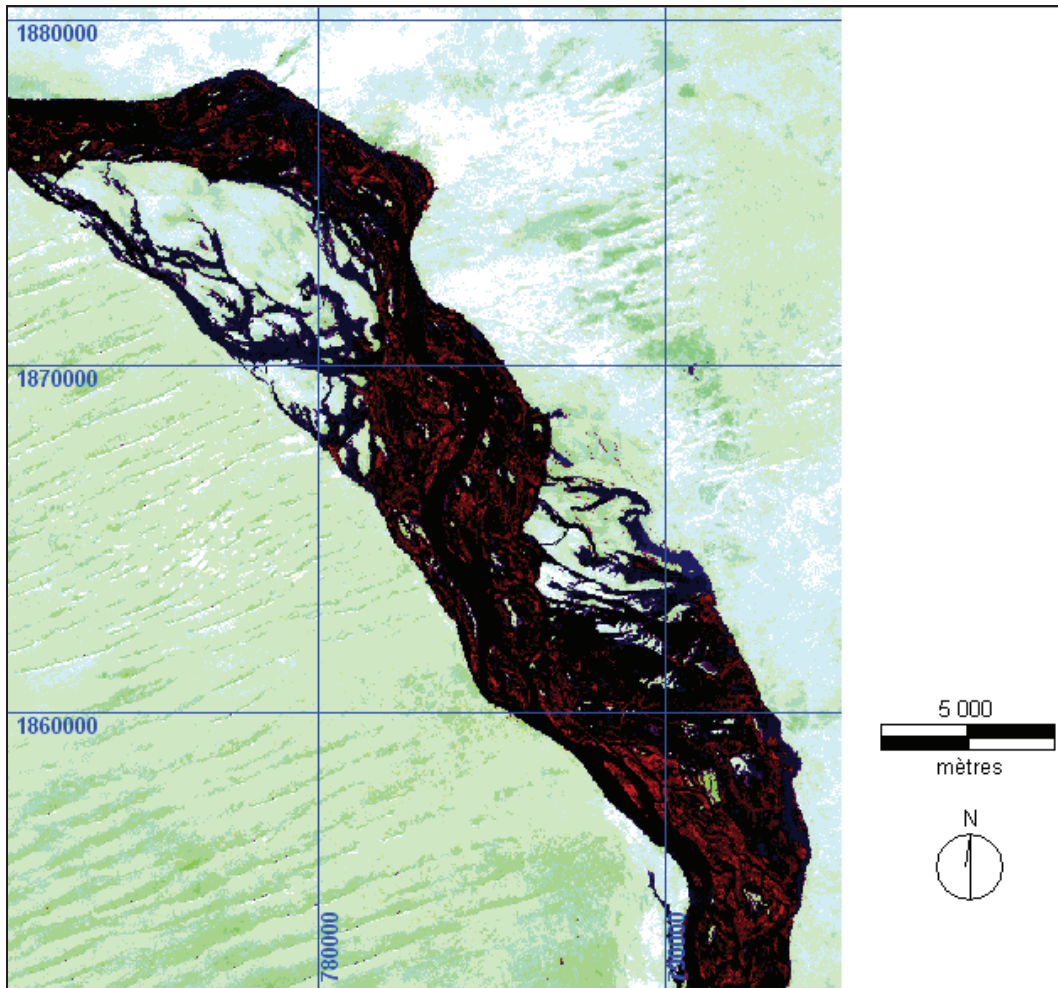


Fig. 30 : Présence végétale sur les bancs sableux du lits du fleuve- même espace que Fig.28, composition colorée 453, coord. UTM 30N métriques, path : 195 – row : 48 (*Le-Breton, 2005*)

Sur la composition 541 (Fig.31), nous pouvons observer deux phénomènes importants. D'une part, les cordons dunaires, nous indiquant la direction des vents dominants et confirmant le caractère désertique ce secteur et, d'autre part, une forte réverbération de la lumière solaire indiquée par une forte réponse spectrale. Cette dernière considération, dans ce secteur, met en évidence la surreprésentation de sables éoliens quaternaires aisément préhensibles par les processus d'érosion éolienne.

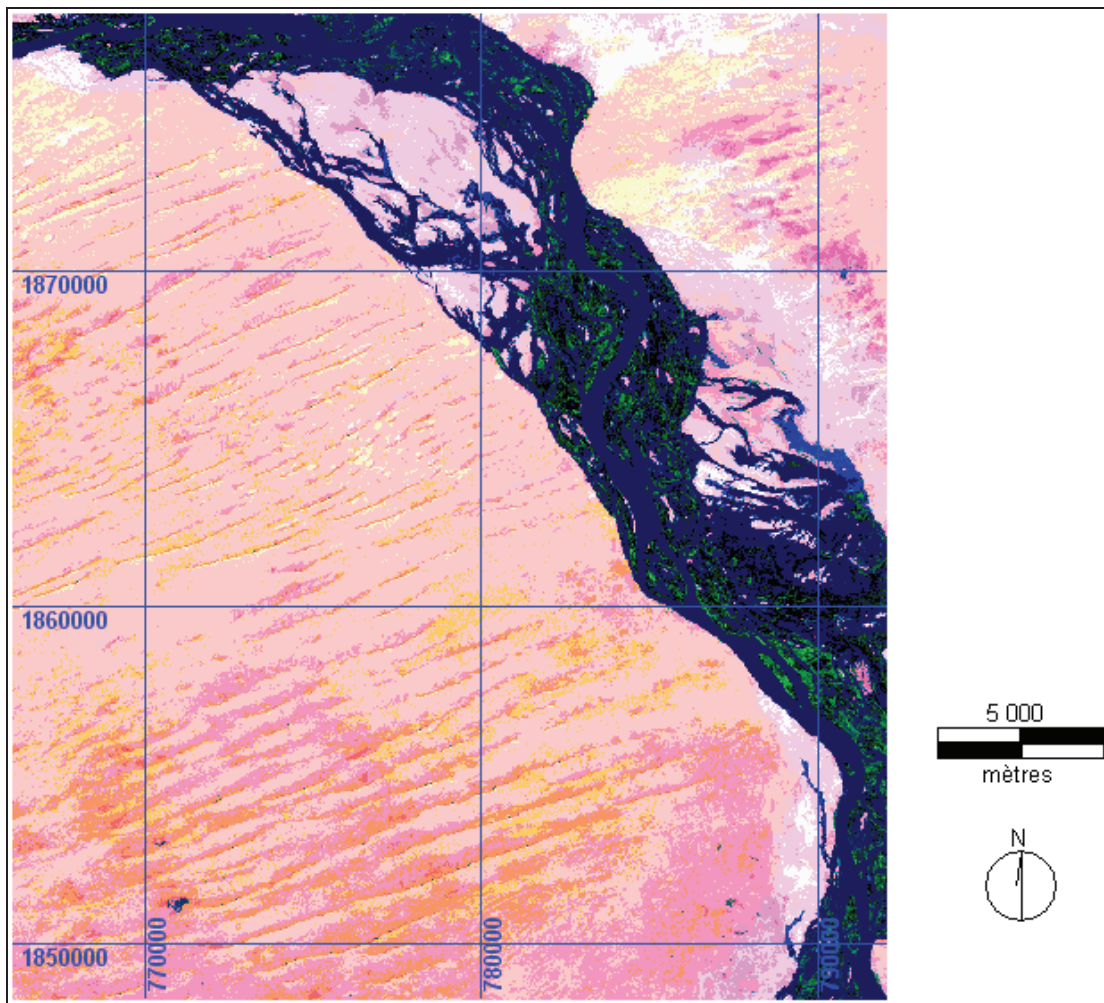


Fig.31 : Cordons dunaires et directions des vents dominants, composition colorée 541, coord. UTM 30N métriques, path : 195 – row : 48  
*(Le-Breton, 2005)*

Enfin, la photographie prise dans le secteur de Tossaye montre clairement le type de paysage caractéristique de la région ; on y voit le Niger parcourant les sables (photo 5).



Photo 5 : Rive sableuse du fleuve Niger dans le secteur de Tossaye (*Le-Breton, Cachera, 2003*)

Le premier secteur d'entrée de sédiments dans le lit du fleuve Niger a donc été déterminé. Il s'agit des sables éoliens sud-sahariens. L'environnement du fleuve dans ce secteur est uniforme. Il s'agit d'une zone désertique sableuse sans végétation significative. Ce secteur s'étend depuis le début du secteur Moyen-Niger (coord. : 16°58'N ; 0°33'W) jusqu'à Gao au Mali (coord. : 16°16'N ; 0°03'W) soit environ 110km linéaires de lit fluvial. Ces dimensions donnent une idée de l'ampleur des apports solides dans ce secteur. Ainsi, malgré une complexité évidente de l'étude de ces phénomènes d'apports sédimentaire au fleuve, il sera nécessaire de mettre au point une méthodologie adéquate afin d'établir un maximum de données. En effet, l'importance de ce secteur pour la dynamique du fleuve nous oblige à y porter un fort intérêt et à estimer les mouvements sédimentaires en différents endroits. Cette estimation inclut la remobilisation des sables éoliens par le fleuve, ainsi que l'étude diachronique de l'évolution des îles.

## **2. Secteur 2 : de Gao à Tillabéry, l'importance des affluents ; le Gorouol**

**Gao (Mali): 16°16'N ; 0°03'W**

**Tillabéry (Niger): 14°12'N ; 1°26'E**

**Facteur d'unité du secteur : Unité de paysage**

**Longueur : 310km**



Sur ce deuxième secteur du Moyen-Niger, le fleuve reçoit des apports sédimentaires de nombreux affluents de tailles variables. L'observation du lit du fleuve sur l'ensemble de ce secteur (Fig.32) montre la difficulté pour le fleuve de remobiliser ces sédiments. En effet, à l'instar du secteur 1, le lit du Niger adopte une forme fluviale en anastomoses et la végétation présente sur les îles (Fig.33) atteste de leur stabilité. Toutefois, nous identifions pour cette zone trois types d'apports : les apports éoliens, les apports des différents affluents et enfin ceux de l'affluent principal, le Gorouol (Gallaire, 1993).

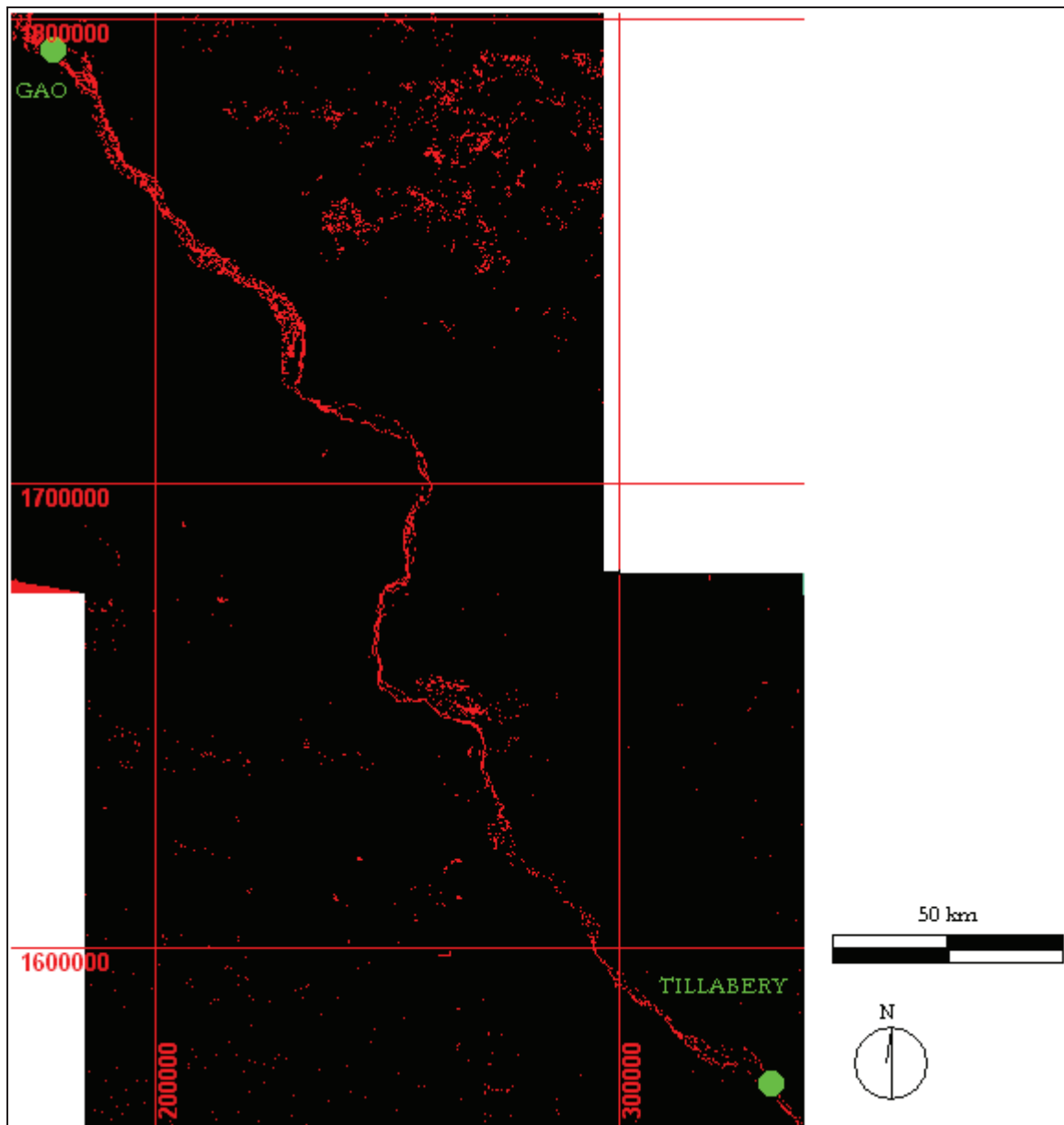


Fig.32 : Tracé du Niger dans le secteur 2, coord. UTM 31N métriques, path : 194 – row : 49, path : 194 – row : 50 et path : 193 – row : 50 (Le-Breton, 2005)

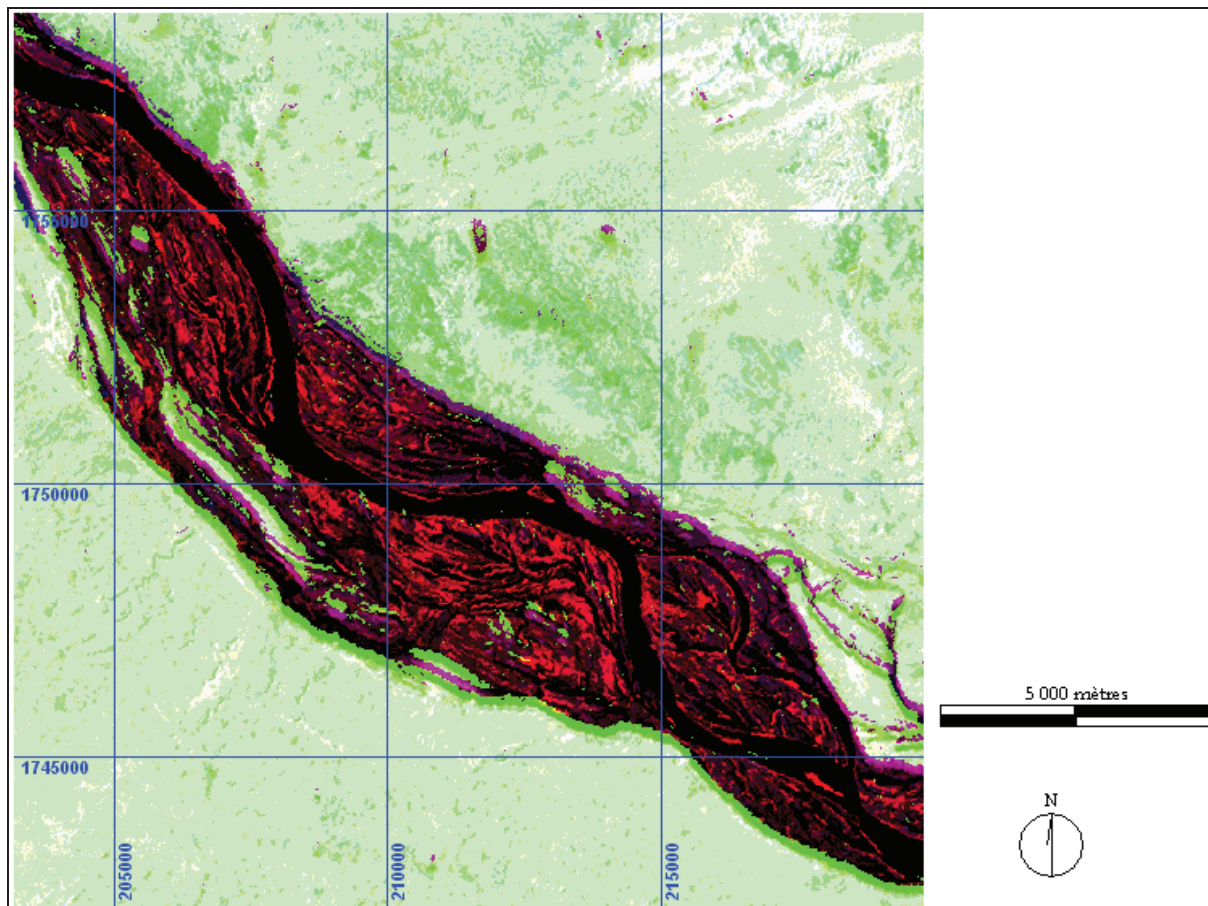


Fig.33 : Végétalisation des îles, composition colorée 453, coord. UTM 31N métriques, path : 194 – row : 49 (Le-Breton, 2005)

**NB :** Nous tenons à rappeler aux lecteurs que les différences de teintes entre deux scènes Landsat sont dues à la différence de réponse chlorophyllienne à des dates d'acquisition différentes ; ces dates figurent dans le tableau 1 p.32.

La figure 34 représente l'ensemble du secteur 2, de Gao à Tillabéry. Il s'agit d'une composition colorée 453 - la végétation apparaît donc dans les teintes rouges - sur laquelle nous observons la faible représentation du couvert végétal. Dans un secteur alternant les affleurements rocheux indurés et les zones ensablées (Gavaud, 1977), l'érosion éolienne génère la remobilisation de ces particules sableuses. Ainsi, nous observons à moindre échelle les mêmes processus éoliens que dans le secteur 1 avec des mouvements sédimentaires des zones riveraines du fleuve vers le lit du fleuve et probablement des îles vers ces zones riveraines.

Sur la partie nord de ce secteur 2 (Fig.35), nous observons un phénomène d'échelle important. Par ces termes, nous avançons le fait que si dans ce secteur, les apports sédimentaires de chaque affluent sont apparemment assez faibles, leur grand nombre (dû à la complexification du réseau hydrographique) compense ces relativement faibles contributions individuelles.

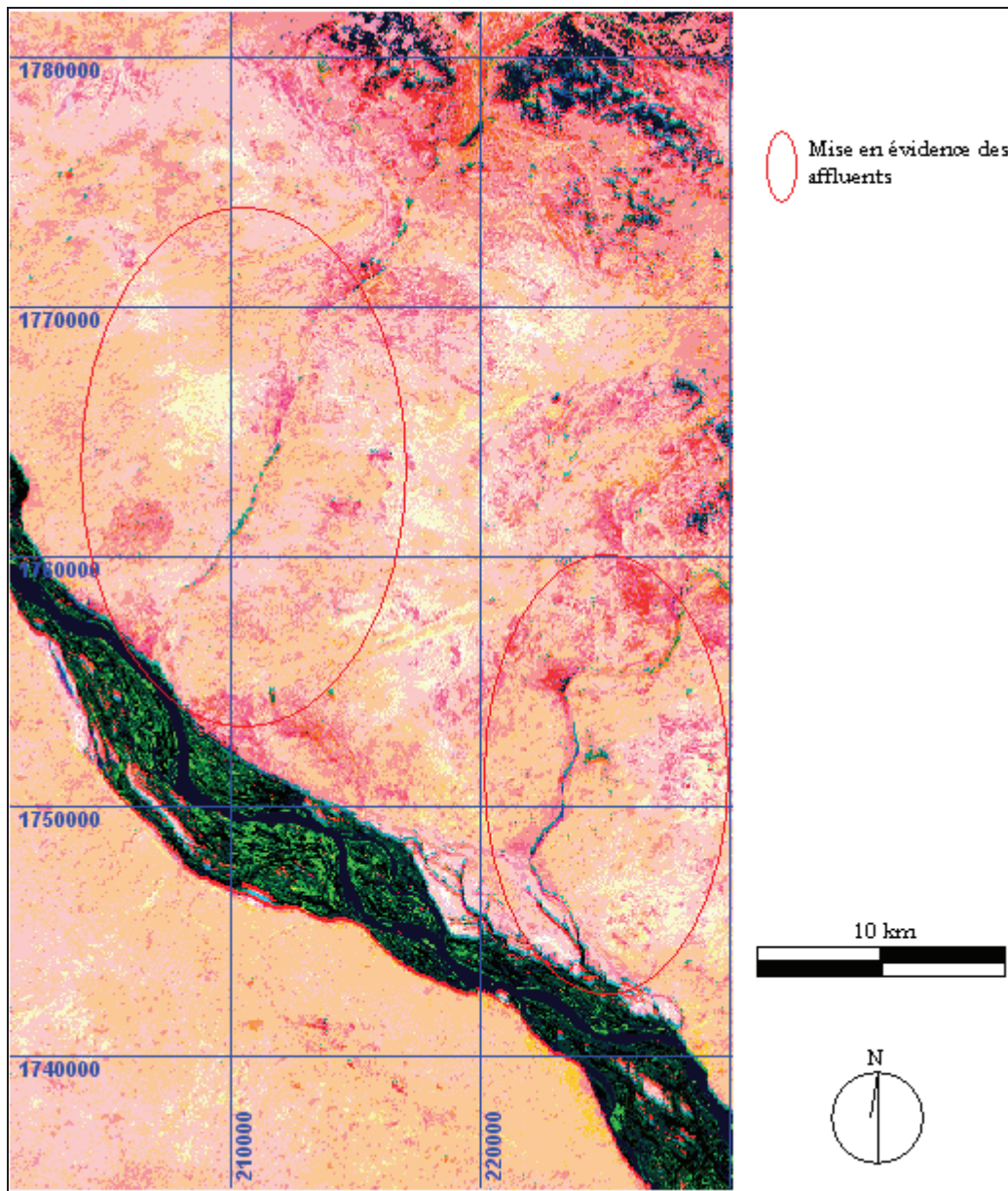


Fig.34 : Mise en évidence de nombreux petits affluents, composition colorée 541, , coord. UTM 31N métriques, path : 194 – row : 49  
(Le-Breton, 2005)

Toutefois, si ces affluents mineurs perturbent peu le cours du fleuve, la confluence du Gorouol – affluent de rive droite – se démarque notablement (Fig.36). Celui-ci apporte en effet des volumes sédimentaires suffisants pour modifier le style fluvial. Le tableau 3 représente les données recueillies par l'ORSTOM, reprises par Gallaire (1993) sur le Gorouol à Dolbel, c'est-à-dire 90km en amont de la confluence avec le Niger. Ces données brutes nous informent sur la représentation des matières en suspension dans le Gorouol de 1976 à 1982, nous devons donc reprendre ces données afin d'évaluer l'évolution du Gorouol et des affluents du fleuve Niger dans ce secteur.

Année	Mars	Avri	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	MOY	Mod
1976				1270	709	659	453	1060	310*	830	6,6
1977				1470	735	458	380	242		657	9,6
1978	770*	700*	540*	1410	590	300	910	1220		886	11,5
1979			1120	1260	1310	660	350	290	380*	774	7,6
1980					723	509	318*			516	8,6
1981				960*	960	680	600	400*		720	6,8
1982			1371	1221	1052	578	316	411*		716	12,1
MOY.			1010*	1265*	868	549	475*	604*	345*	752 #	9

\*: Ecoulements non permanents #: de juin à octobre Mod: Module en m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>

Tableau 3 : Concentration particulaire moyenne du Gorouol à Dolbel (g.m<sup>-3</sup>) (Gallaire, 1993)

Ce secteur 2 s'avère très complexe ; la multitude des zones et des processus d'apports peut induire de fortes erreurs d'estimations. L'étude de ce secteur devra donc s'appuyer sur une méthodologie rigoureuse afin de modéliser, à partir de données du type de celles obtenues par l'ORSTOM sur le Gorouol, le rôle global des affluents dits « mineurs ».

### 3. Secteur 3 : de Tillabéry à Say, les apports directs depuis les versants

**Tillabéry (Niger): 14°12'N ; 1°26'E**

**Say (Niger): 13°5'N ; 2°22'E**

**Facteur d'unité du secteur : Contrôle structural et apports de versants**

**Longueur : 170 km**

Dans ce secteur, le lit du fleuve adopte une forme linéaire sans anastomose (Fig.35). Nous allons voir par l'étude des compositions colorées que si le lit du Niger adopte cette forme fluviale, cela ne doit pas être systématiquement corrélé avec une baisse des apports sédimentaires dans ce secteur.

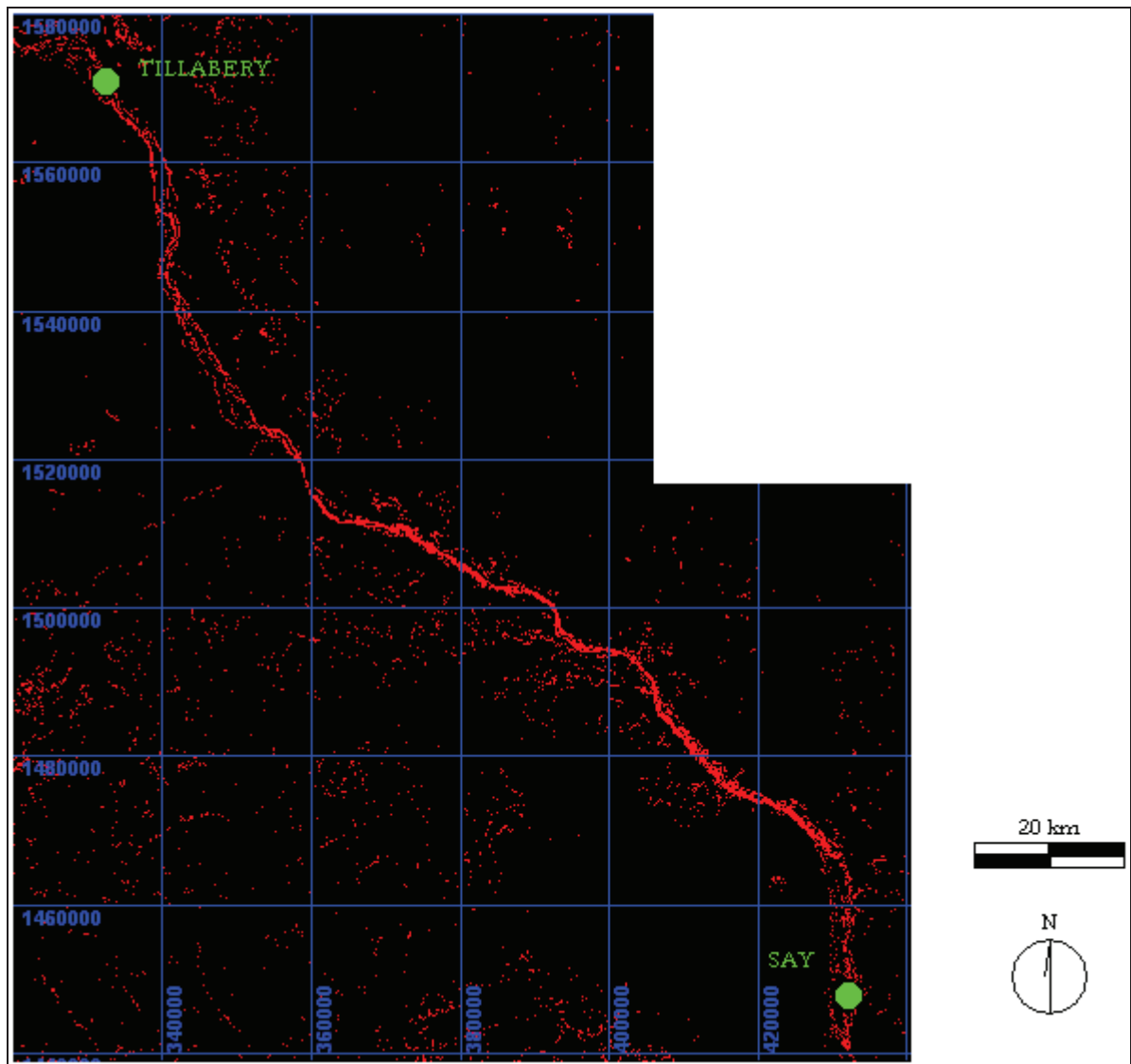


Fig.35 : Tracé du Niger dans le secteur 3, coord. UTM 31N métriques, path : 193 – row : 50 et path : 193 – row : 51 (Le-Breton, 2005)

Entre Tillabéry et Say, le premier processus observable est la présence de deux affluents de rive droite. Le Dargol et la Sirba (respectivement de l'amont vers l'aval) descendent du socle du Liptako pour rejoindre le fleuve (Fig.36). L'importance de ces affluents n'est pas aisément perceptible sur image satellite. En effet, à partir de la confluence entre la Sirba et le fleuve Niger, le lit de ce dernier est soumis au contrôle structural des plateaux riverains. Ainsi, le lit du fleuve est encaissé (Fig.37) et ne peut adopter une largeur aussi importante que dans les secteurs précédents. Il devient alors difficile de se livrer à une évaluation de l'importance des apports par ces deux affluents dans le bilan sédimentaire du fleuve. D'après Brunet-Moret et al. (1986), la Sirba bénéficie d'un écoulement (régime hydrologique) plus important que le Dargol. En effet, avec un bassin-versant de 38 750 km<sup>2</sup> et une longueur de 460 km, l'importance de cet affluent dans la crue d'été semble évidente d'un point de vue hydrologique. Toutefois, il faudra évaluer le débit sédimentaire de ces deux affluents et plus particulièrement de la Sirba ; les modifications de l'occupation du sol (principalement la mise en



culture des terres) dans ce secteur peuvent avoir considérablement changé les caractéristiques des écoulements de surface depuis les études précédentes.

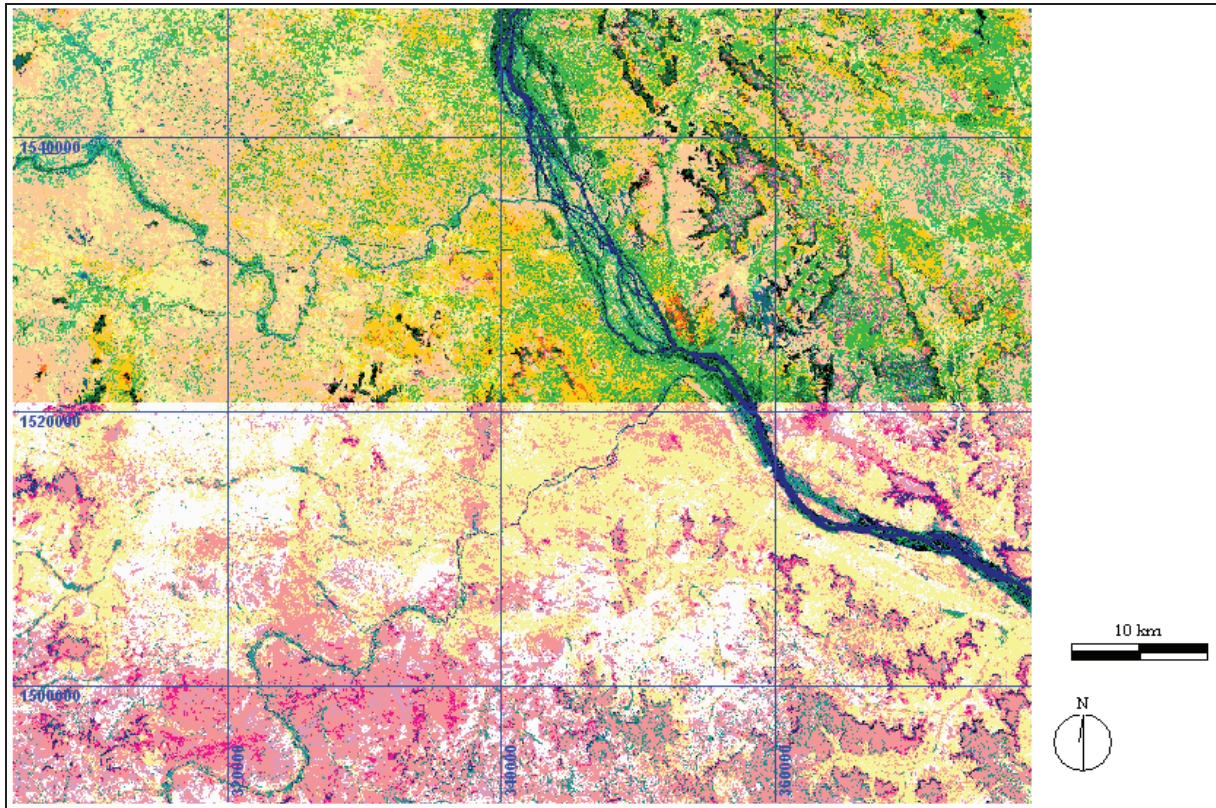


Fig.36 : Embouchures du Dargol et de la Sirba, limites de l'encaissement du lit du Niger, composition colorée 541, coord. UTM 31N métriques, path : 193 – row : 50 et path : 193 – row : 51 (*Le-Breton, 2005*)

Le second processus d'importance est donc l'encaissement du lit du fleuve Niger entre les plateaux de la région de Niamey (Fig.37). Les conséquences en ce qui concerne les apports solides au fleuve sont très importantes. En cet endroit, le fleuve subit de tels apports depuis les versants de rive droite que son lit se voit repoussé contre les plateaux de rive gauche. Ce sont ainsi ces forts volumes sédimentaires qui contraignent le lit du fleuve à adopter cette forme linéaire sur toute cette partie.

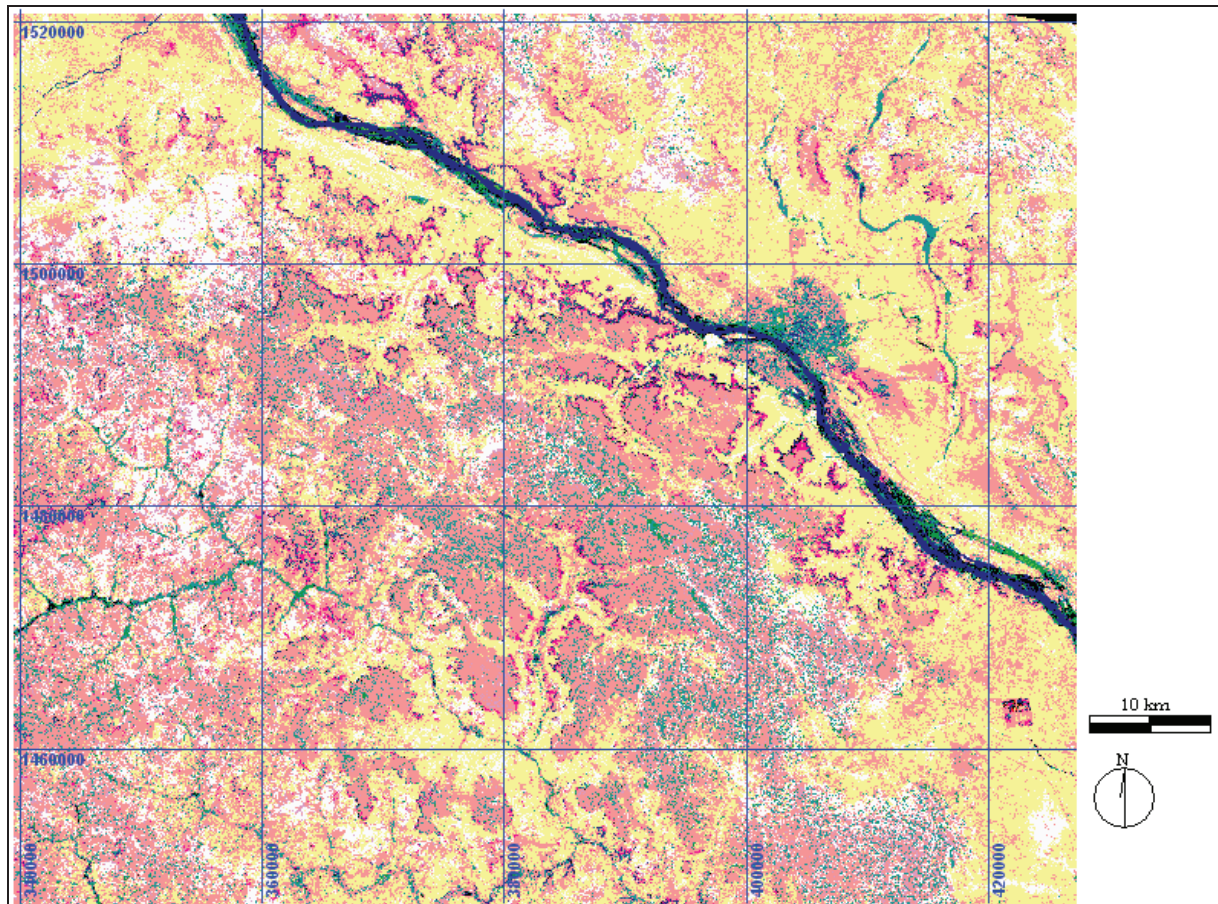


Fig.37 : Fleuve repoussé vers les plateaux de rive gauche par les apports de rive droite, composition colorée 541, coord. UTM 31N métriques, path : 193 – row : 51 (rose : plateaux ; jaune : dépôts sédimentaires ; bleu : eau ; vert : végétation) (Le-Breton, 2005)

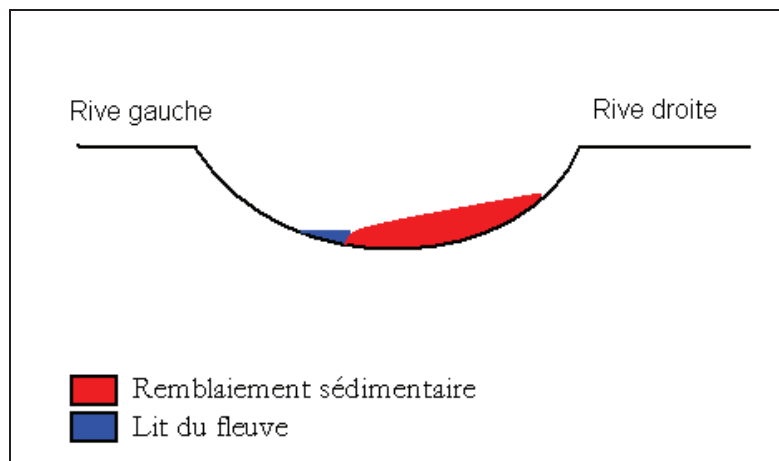


Fig.38 : Coupe transversale schématique de la situation décrite dans le secteur de Niamey (Le-Breton, 2005)

En ce qui concerne l'occupation du sol dans ce secteur, l'érosion est grandement facilitée par la surface dénudée et indurée des plateaux, ainsi que par le faible couvert végétal des versants sableux. De plus, la proximité de Niamey accentue la pression humaine sur le milieu. Il est intéressant de remarquer que c'est d'ailleurs Niamey qui apparaît comme étant le secteur le plus végétalisé de ce



secteur. Cela démontre bien la pauvreté du couvert végétal dans le degré carré de Niamey (zone d'étude AMMA).

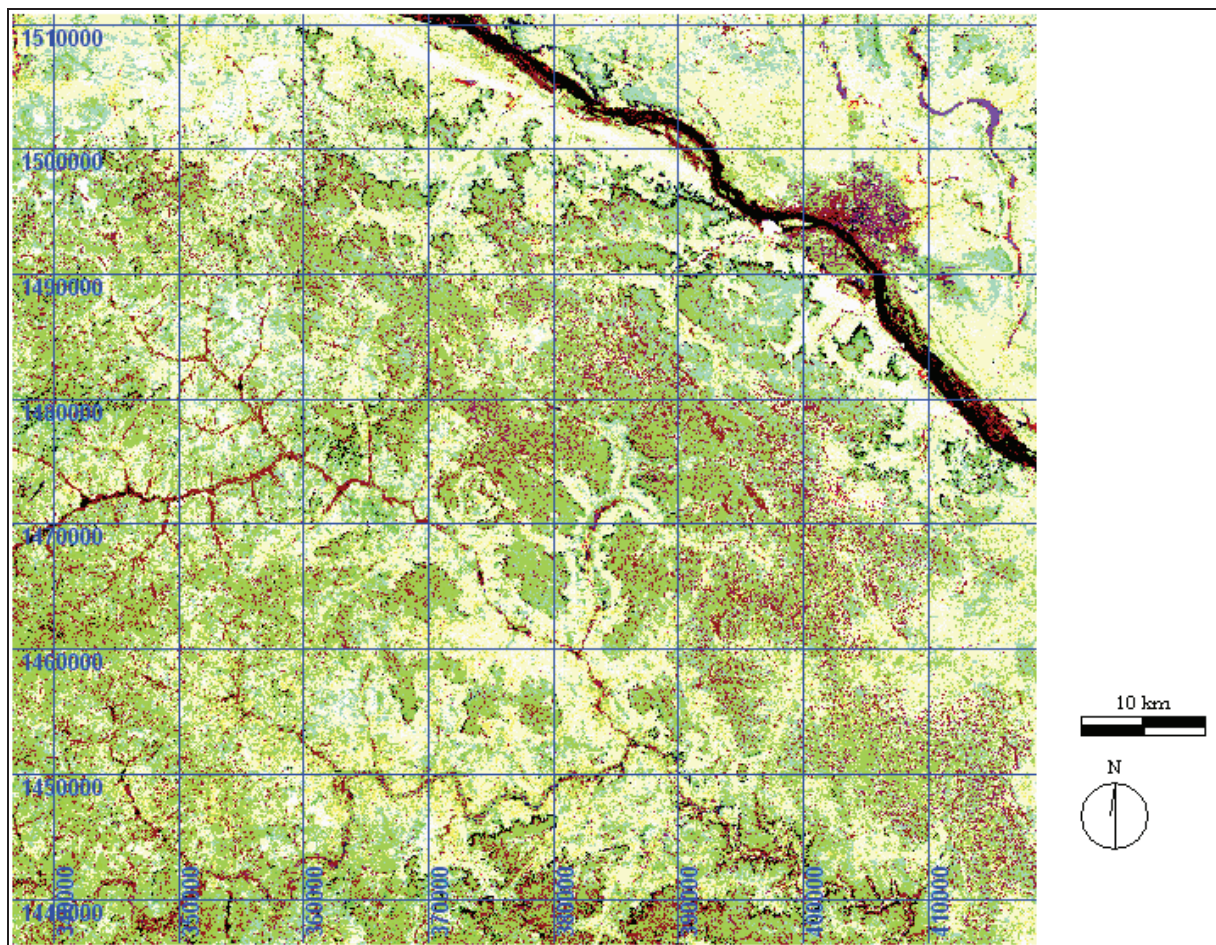


Fig.39 : Couvert végétal faible (en rouge), composition colorée 453, coord. UTM 31N métriques, path : 193 – row : 51 (Le-Breton, 2005)

Le secteur 3 apparaît donc comme étant principalement une zone d'apports par les versants de rive droite de la région de Niamey, probablement sous la forme de ravinements et de koris. Le second aspect est la présence du Dargol et de la Sirba dont les rôles, peut-être négligeables, devront être évalués.

#### **4. Secteur 4 : de Say au Parc du W, le Goroubi et le Diamangou**

**Say (Niger): 13°5'N ; 2°22'E**

**Parc du W – limite nord-est (Niger): 12°32'N ; 2°31'E**

**Facteur d'unité du secteur : Chenalisation naturelle**

**Longueur : 75 km**

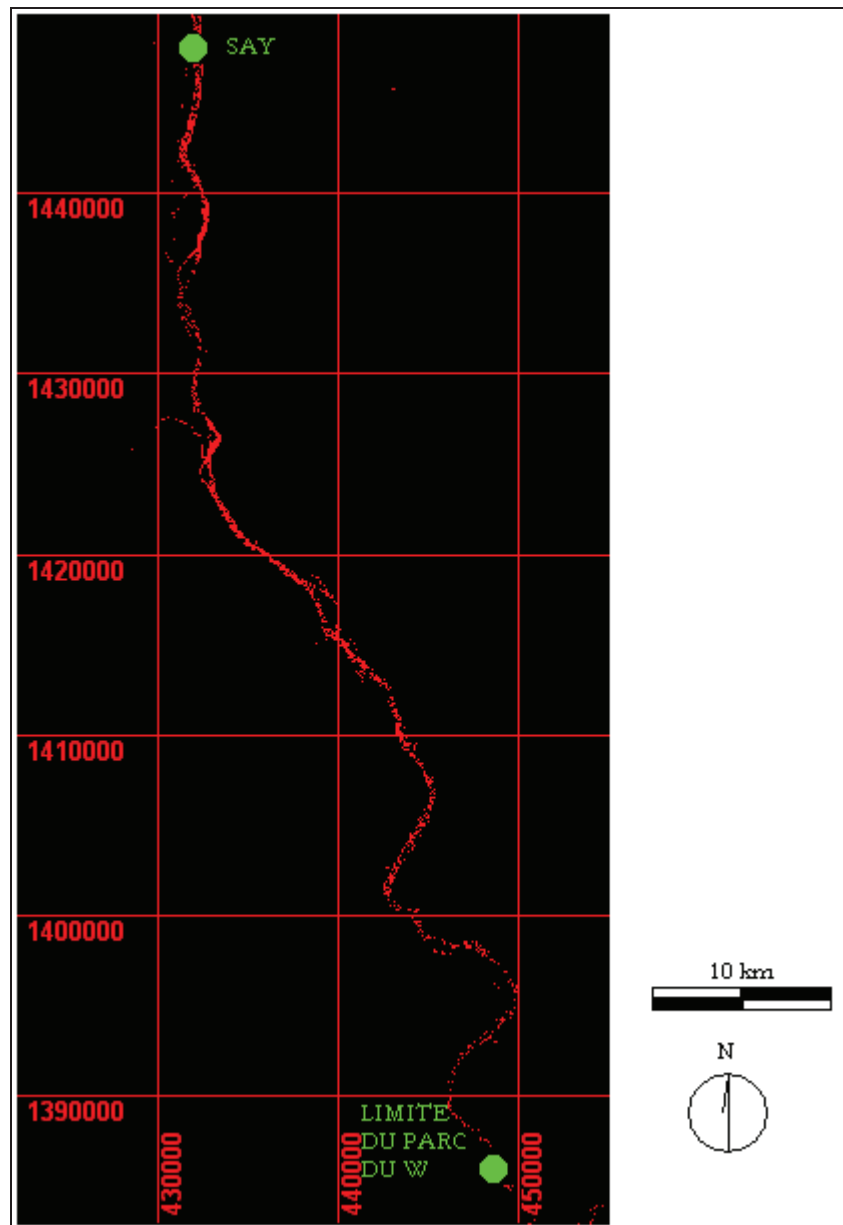


Fig.40 : Tracé du fleuve Niger dans le secteur 4, coord. UTM 31N métriques, path : 192 – row : 51 (Le-Breton, 2005)

Dans ce secteur du Moyen Niger, deux affluents de rive droite parviennent au fleuve Niger : le Goroubi puis le Diamangou. Ces deux cours d'eau ne semblent pas perturber le style fluvial du Niger. En fait, le Goroubi et le Diamangou, qui prennent eux aussi leur source sur le socle du Liptako, rejoignent le fleuve Niger de manière quasiment identique au Dargol et à la Sirba. En effet, provenant de rive droite, le Goroubi et le Diamangou rejoignent le fleuve en se « fauillant » entre les plateaux incisés pour voir leurs eaux, une fois mêlées à celles du Niger, canalisées par la topographie (Fig.41). Ce secteur est d'ailleurs parcouru de rapides, générés par la chenalisation naturelle du fleuve (ABN, 2003).

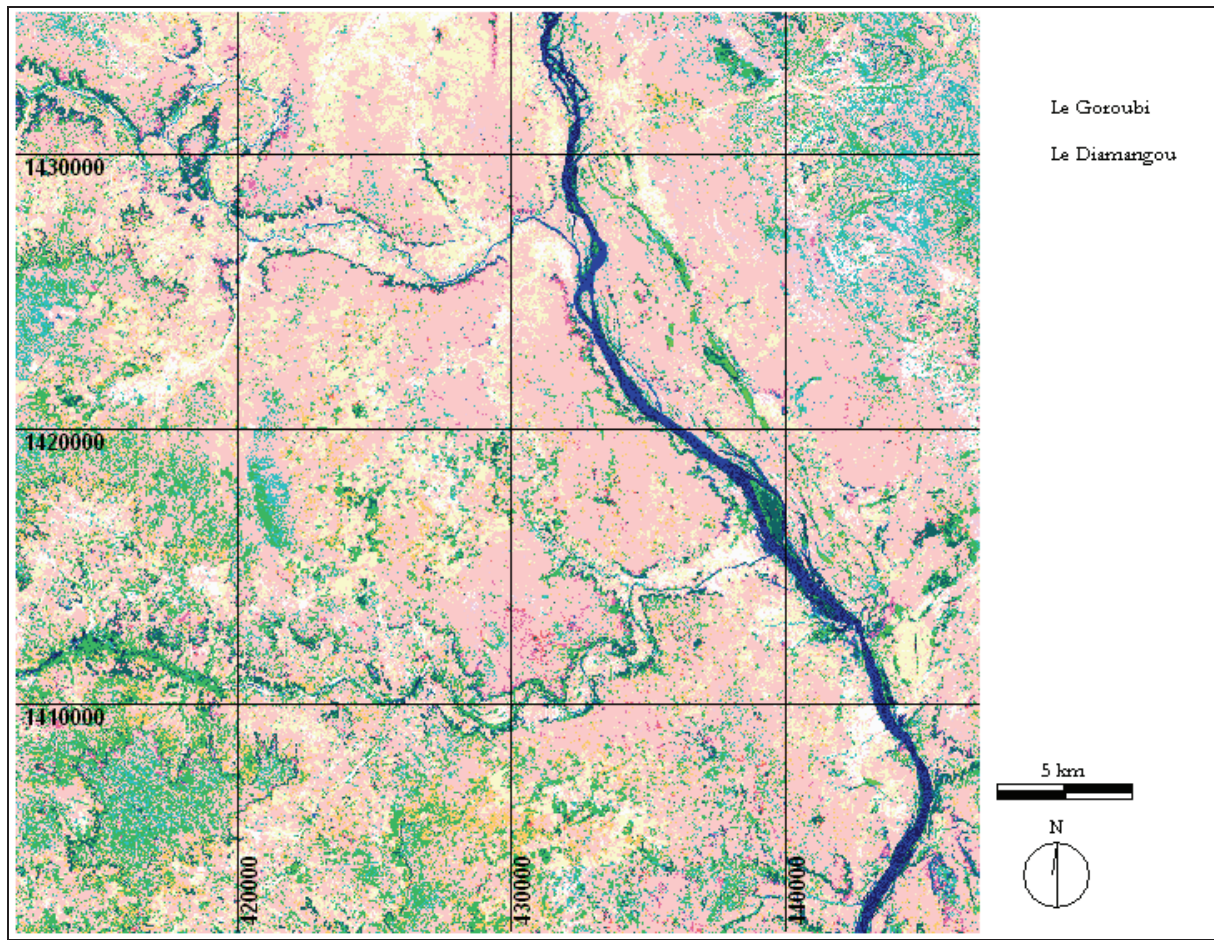


Fig.41 : Le Goroubi et la Diamangou, composition colorée 541, coord. UTM 31N métriques, path : 192 – row : 51 (Le-Breton, 2005)

Dans ce secteur, le couvert végétal est aussi assez pauvre. L'observation de la figure 42, montre clairement ce déficit végétal malgré des latitudes plus propices teintées d'influences subtropicales. Ainsi, dans ce secteur encore, il n'apparaît pas de facteur pouvant mettre un frein à l'érosion.



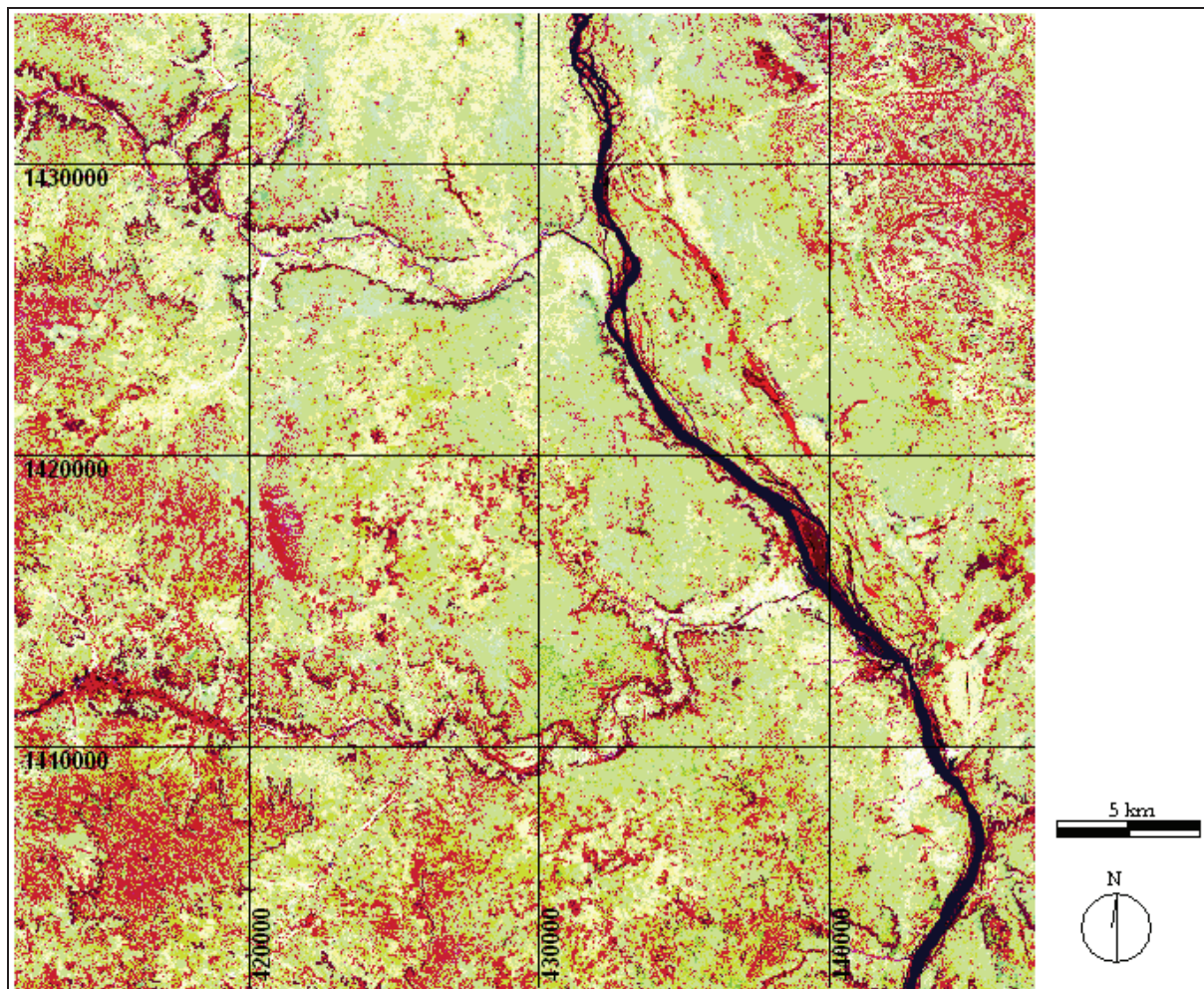


Fig 42 : Faible couvert végétal (rouge), composition colorée 453, coord. UTM 31N métriques, path : 192 – row : 51 (Le-Breton, 2005)

Le secteur 4 apparaît donc comme une zone d’apports probables de sédiments. Toutefois, des observations de terrains devront compléter cette première approche. En effet, il est peu probable que le Goroubi et le Diamangou fassent partie des vecteurs d’apports principaux au fleuve Niger. Cependant leurs bassins-versants, respectivement de 15 500 km<sup>2</sup> et 4 400 km<sup>2</sup> (Brunet-Moret et al., 1986), ne peuvent être exclus de notre étude sur la simple observation d’images satellitaires.

## 5. Secteur 5 : de la limite nord-est du Parc du W à Malanville, l’opposition des deux rives

**Parc du W – limite nord-est (Niger): 12°32’N ; 2°31’E**

**Malanville (Bénin): 11°52’N ; 3°22’E**

**Facteur d’unité du secteur : milieu soudanien**

**Longueur : 160 km**

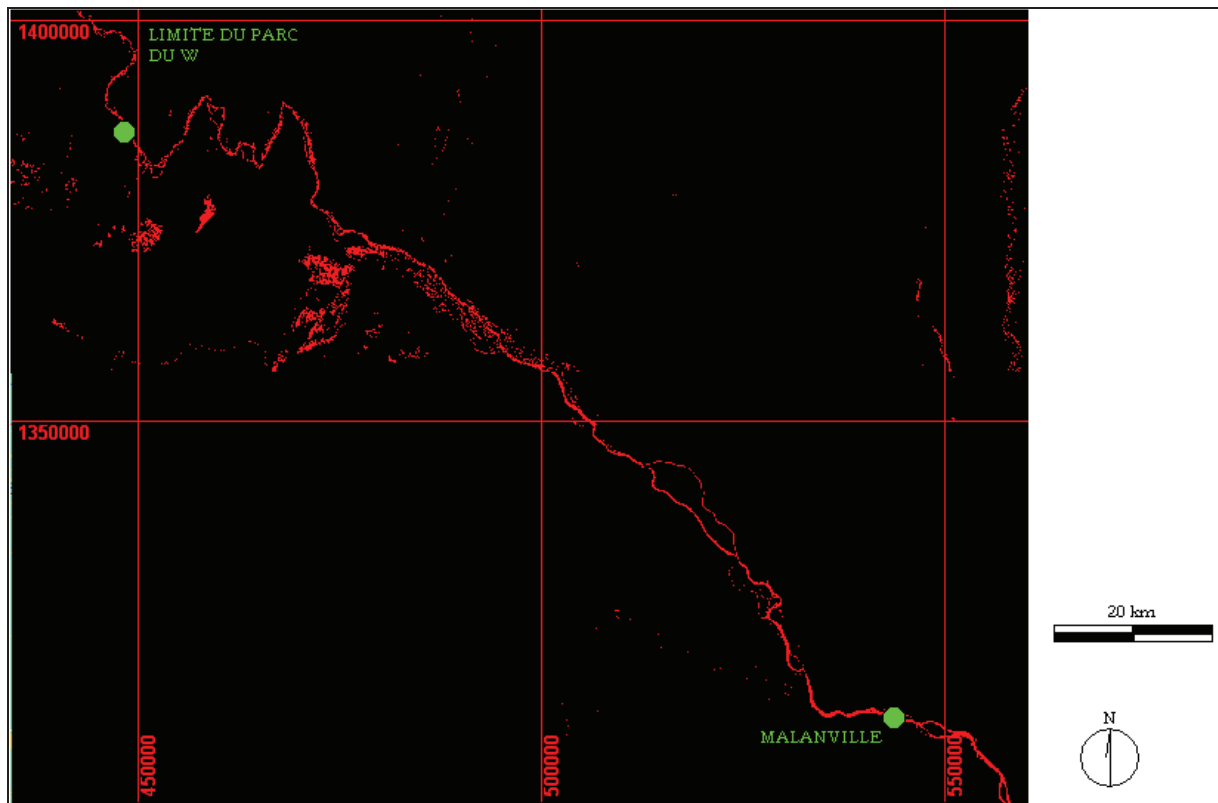


Fig. 43 : Tracé du fleuve Niger dans le secteur 5, coord. UTM 31N métriques, path : 192 – row : 51 et path : 192 – row : 52  
(Le-Breton, 2005)

Dans cet ultime secteur de notre zone d'étude, le fleuve subit un contrôle structural dû aux affleurements voltaïens au niveau du « W » du parc du même nom (Fig.44). Cette forme caractéristique est due à l'érosion différentielle des schistes et des barres de quartzite composant la structure géologique locale (Gavaud, 1977). Deux affluents, la Tapoa puis la Mekrou rejoignent le fleuve depuis le relief constitué par cette formation géologique. Leur tracé est peu perceptible sur les images satellites, c'est pourquoi nous avons décidé de représenter ces affluents sur un fond cartographique (Fig.45).



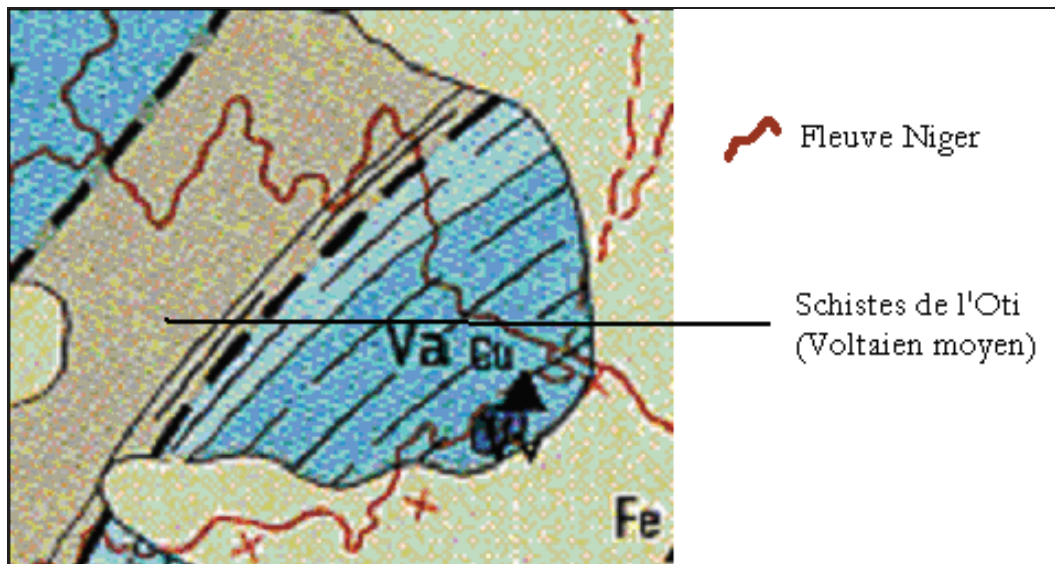


Fig.44 : Extrait de la carte géologique BRGM-1972 au niveau du parc du W

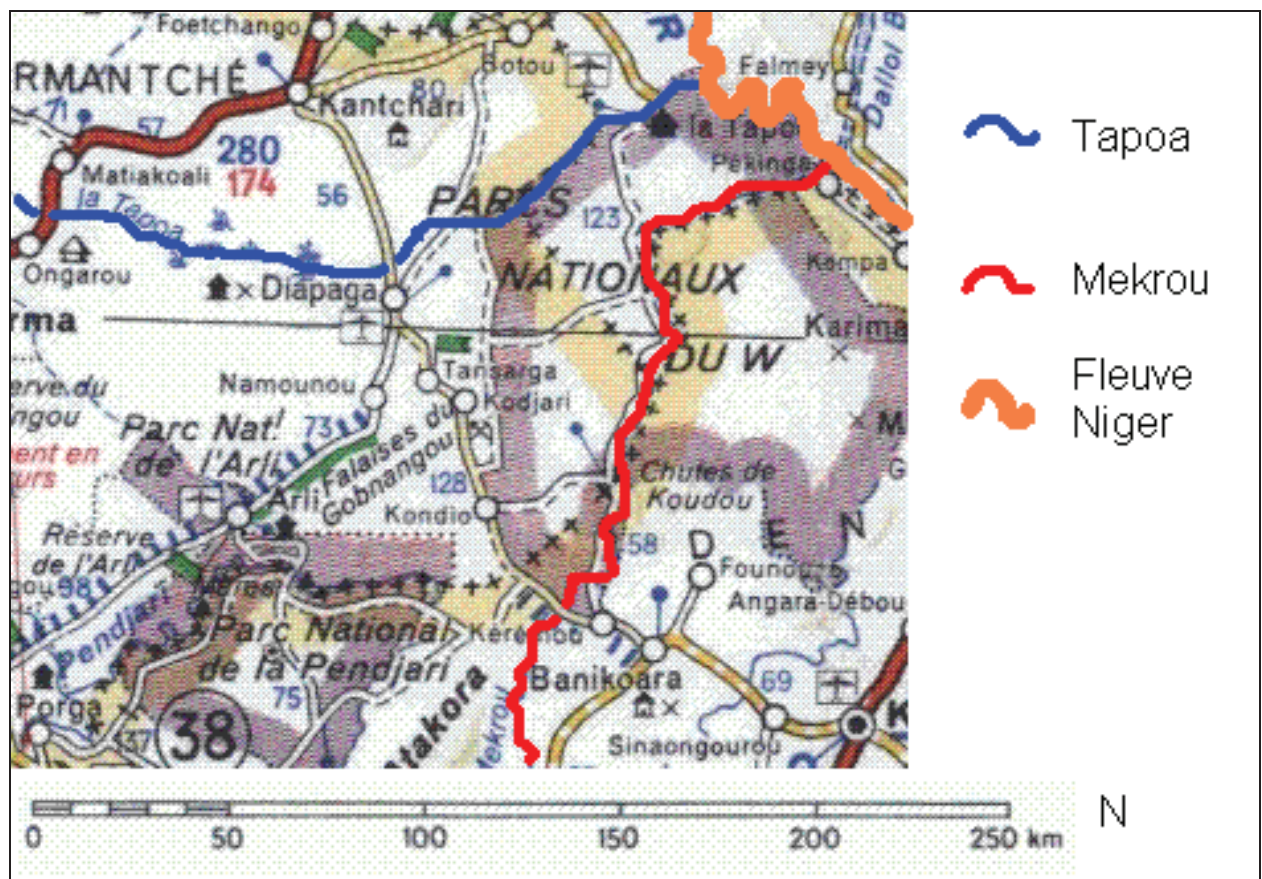


Fig.45 : Représentation de la Tapoa et de la Mekrou sur un fond cartographique Michelin

La zone dont sont issus ces affluents semble nettement plus végétalisée (Fig.46) que celle située en rive gauche. Il s'agit du Parc du W à cheval sur le Niger, le Burkina et le Bénin. Le couvert végétal est donc composé d'espèces herbacées et ligneuses devant former une assez bonne protection

anti-érosive. Ces indications seront tout de même à vérifier sur le terrain par une observation du modelé du lit du fleuve (cônes de déjection, bancs sédimentaires) aux niveaux des débouchés de ces affluents.

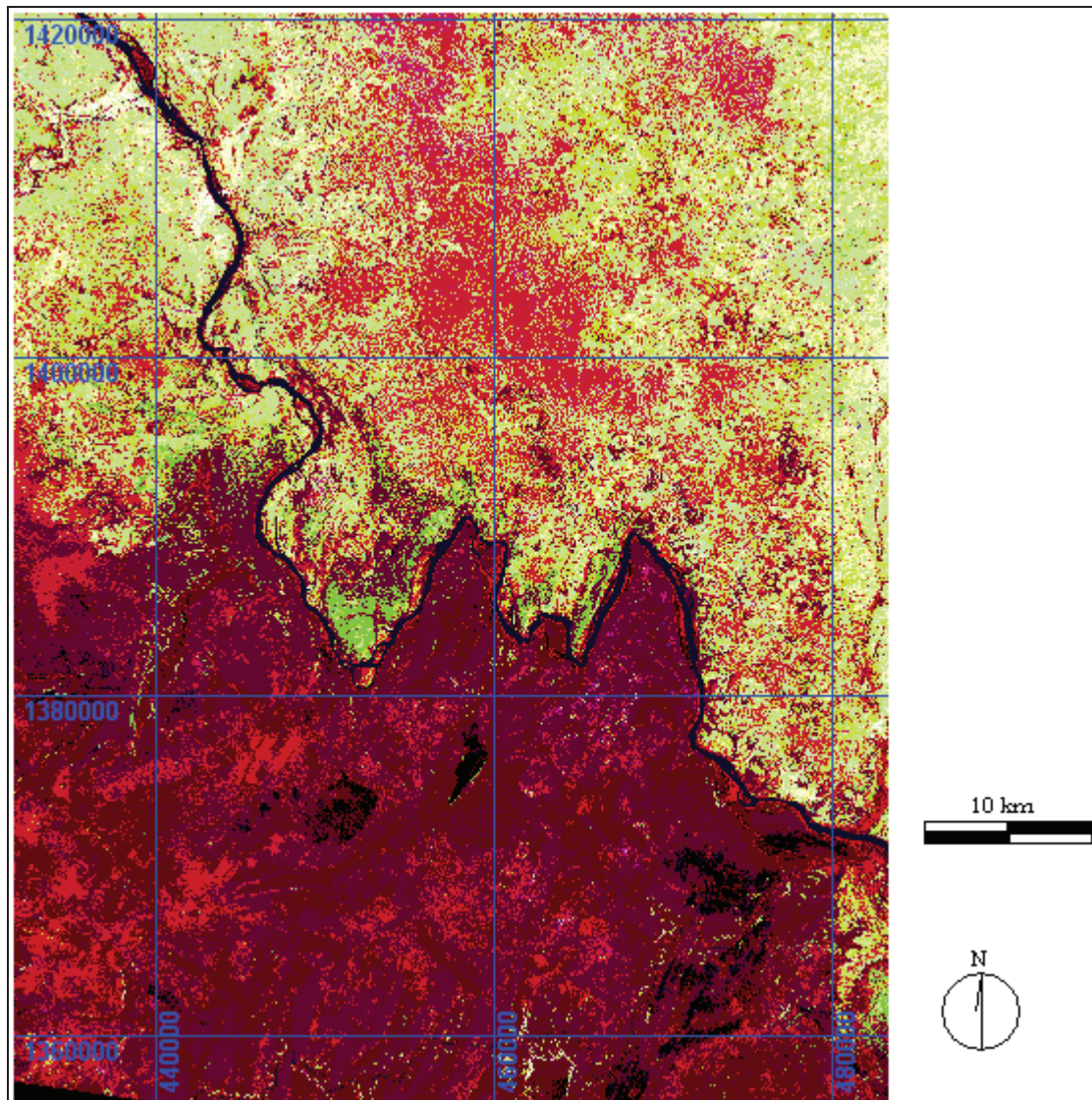


Fig.46 : Parc du W en rive droite du fleuve Niger, forte activité chlorophyllienne (rouge) , composition colorée 453, coord. UTM 31N métriques, path : 192 – row : 51 (Le-Breton, 2005)

Enfin, le fleuve reçoit en rive gauche (à la confluence du Niger et de la Mekrou) les apports sédimentaires du Dallol Bosso. Le Dallol Bosso est donc aussi une vallée fossile dont le régime hydrologique actuel s'apparente aux oueds du Maghreb. A la vue des images satellites, le Dallol Bosso apparaît comme étant un vecteur d'apports majeurs de sédiments au fleuve Niger. En effet, nous pouvons remarquer un chenal large et non végétalisé et une zone d'épandage sédimentaire très étendue à la confluence (Fig.47). Ceux-ci sont amenés au fleuve Niger lors des épisodes d'écoulement (régime



d'oued) et forment un immense cône d'épandage d'une longueur d'environ 20km à partir du point de confluence. Les volumes sédimentaires mis en cause dans ce processus semblent de toute évidence très importants. Le Dallol Bosso parcourt le bassin sédimentaire du Continental Terminal depuis les contreforts du Massif de l'Air à 750 km au nord-ouest de sa confluence avec le fleuve Niger ; son tracé s'inscrit donc sur des sols très sensibles à l'érosion hydrique.

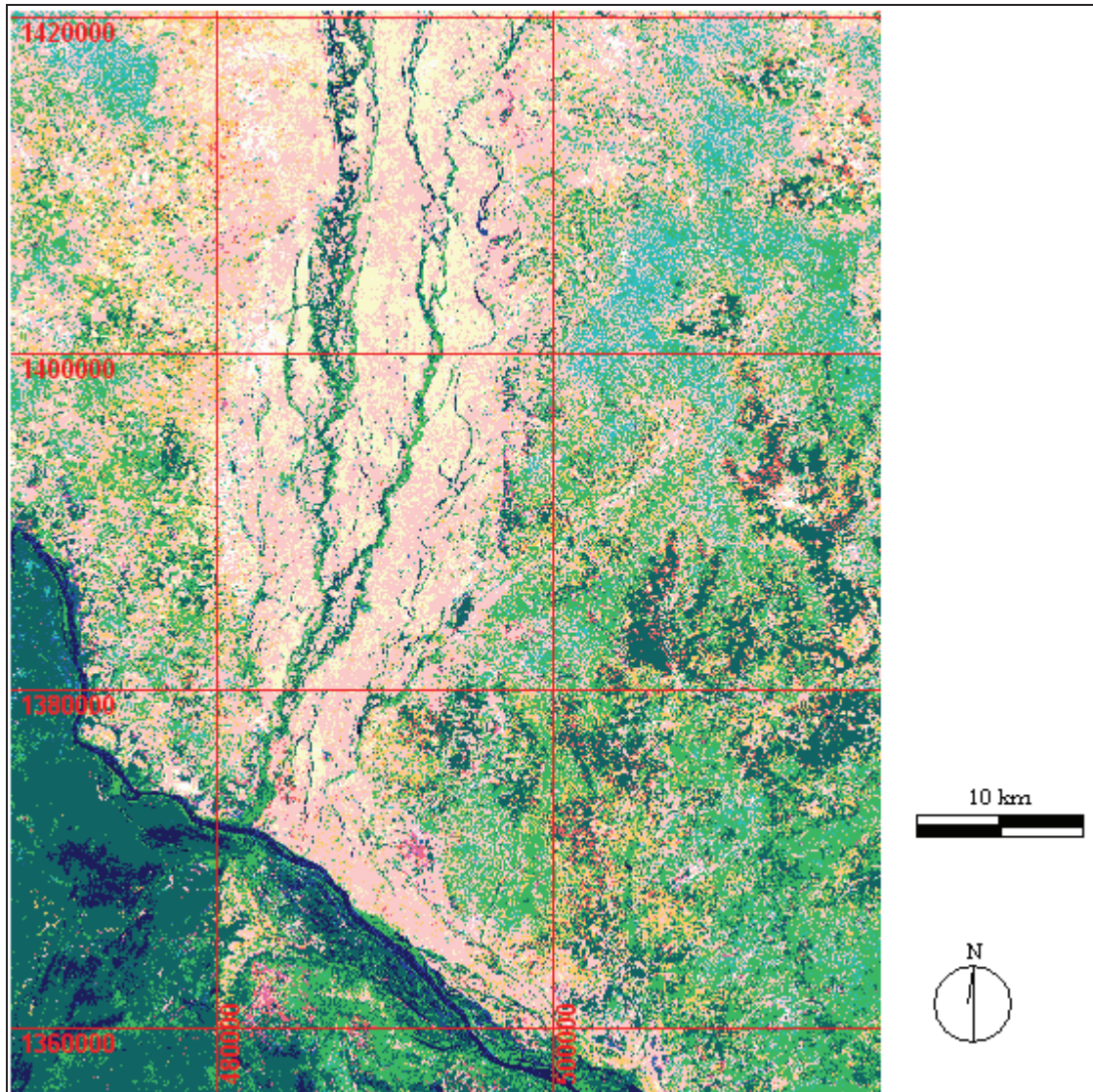


Fig.47 : Confluence du fleuve Niger et du Dallol Bosso, composition colorée 541, (rose : sédiments du Continental Terminal remobilisés), coord. UTM 31N métriques, path : 192 – row : 51 (Le-Breton, 2005)

Ce dernier secteur voit donc l'opposition de la rive gauche, avec ses apports sahéliens caractéristiques par le Dallol Bosso, et de la rive droite, avec sa végétation de type soudanienne. De plus, sur les images présentées, le Dallol Bosso apparaît comme le vecteur d'apports sédimentaires le plus remarquable sur l'ensemble du secteur d'étude de par son emprise spatiale.

## 6. Conclusion – Synthèse

Le Moyen-Niger est donc partitionné en cinq secteurs établis en fonction des types d'apports sédimentaires et de l'environnement direct du fleuve.

Secteur 1 : Tossaye – Gao, 110 km

Secteur 2 : Gao – Tillabéry, 310 km

Secteur 3 : Tillabéry – Say, 170 km

Secteur 4 : Say – Nord-Est du Parc du W, 75 km

Secteur 5 : Nord-Est du Parc du W– Malanville, 160 km

Par télédétection, nous avons déterminé quatre processus d'apports majeurs de sédiments au lit du fleuve. Ces processus se répartissent dans quatre secteurs différents.

Les apports éoliens de sables désertiques dans le secteur 1 sont le premier processus d'apports sédimentaires majeurs. La forme fluviale anastomosée, la forte remobilisation des sables dans ce secteur et la longueur du lit concernée (110 km, uniquement pour notre zone d'étude) ne laissent aucun doute sur l'importance de ces apports dans le bilan sédimentaire du fleuve.

Le second vecteur majeur de sédiments vers le fleuve observé est le Gorouol dans le secteur 2. Si la modification du style fluvial au niveau du débouché du Gorouol à hauteur de la ville de Kandadji est manifeste, nous nous appuyons de plus sur les travaux de l'ORSTOM exposés dans la partie précédente pour définir cet endroit comme un point d'entrée majeur de sédiments vers le fleuve Niger.

Le troisième processus majeur se situe dans le secteur trois, c'est-à-dire la région de Niamey. Dans ce secteur, le lit du fleuve est encaissé entre les plateaux indurés et subit des apports sédimentaires massifs depuis les versants de rive droite. Ces apports acculent le lit du fleuve contre les plateaux de rive gauche. Cette observation par télédétection doivent en fait se traduire sur le terrain par une multiplication d'écoulements concentrés de type ravines. L'accumulation sédimentaire en rive droite peut induire un processus de chenalisation avec une modification des propriétés d'écoulement du Niger dans le secteur de Niamey.

Les apports par le Dallol Bosso sont le quatrième et dernier processus majeur identifié par télédétection dans le secteur 5. Par définition, nous aurions *a priori* décrit le Dallol Bosso comme une vallée sèche dont les écoulements sporadiques et discontinus ne permettent pas l'apport de volumes sédimentaires importants. Toutefois, la forte réflectance de la vallée du Dallol Bosso indiquant une forte représentation des sédiments remobilisés, conjuguée à l'observation du cône de déjection d'une longueur de 20 km à partir de sa confluence avec le Niger, montre la forte capacité de prise en charge sédimentaire des écoulements dans ce secteur. Cela traduit *a priori* des épisodes d'écoulements assez courts mais avec de fortes amplitudes de débit.



Outre ces quatre processus majeurs, d'autres processus secondaires ont été observés. Ces derniers devront faire l'objet d'observation sur le terrain afin de déterminer leur importance par rapport aux quatre processus majeurs. Ces processus mineurs sont de deux types : des apports éoliens dans le secteur 2 et des apports par les affluents principalement dans les secteurs 3, 4 et 5. Les affluents décrits sont principalement (de l'amont vers l'aval) le Dargol, la Sirba, le Goroubi, le Diamangou, la Tapoa et la Mekrou. Enfin, nous devons effectuer des repérages dans le secteur 2 afin d'évaluer l'importance des apports par les multiples petits réseaux hydrographiques décrits précédemment (fig.34).

Au terme de ces observations, nous parvenons donc à une localisation et une classification des secteurs fournissant au fleuve des apports sédimentaires accrus. Ces informations, nous permettent ainsi dès aujourd'hui de conformer l'étude à échelle plus grande de quatre sites : le secteur 1 et les apports éoliens, le Gorouol, les apports directs de versants de la région de Niamey et enfin le Dallol Bosso. Toutefois notre étude ne se limitera pas forcément à ces quatre sites. En effet, il est possible que le repérage des sites d'apports dits « mineurs » induise l'ouverture de cette étude sur une partie de ces sites.



Fig.48 : Carte récapitulative des différents processus d'apport sédimentaire au fleuve Niger observés par télédétection (rouge : processus dits « majeurs » ; bleu : processus dits « mineurs » ; les lettres correspondent aux limites de secteur, par ex. AB = secteur 1) (Le-Breton, 2005)

# Conclusion et prospective : le projet de thèse

## Problématique générale

Le but de cette thèse est d'appréhender à différentes échelles d'espace et de temps la question de l'érosion des sols et de ses conséquences sur le fonctionnement du fleuve Niger. Le site d'étude correspond au secteur dit « Moyen-Niger » (de Tossaye, Mali à Malanville, Bénin) du bassin du fleuve Niger, et l'on s'attachera à distinguer les processus caractéristiques respectivement des secteurs endoréiques et exoréiques. La thèse devra en premier lieu, identifier les zones en érosion à l'échelle du sous-bassin, et en second lieu, y définir des « sites ateliers » représentatifs où les transferts d'eau et de sédiments seront analysés à grande échelle.

La thèse a trois objectifs principaux :

- i) une cartographie des espaces érodés fournisseurs de sédiments, des zones d'accumulation dans les lits des cours d'eau, les cônes alluviaux et les mares ;
- ii) la vitesse d'évolution des différentes zones d'apport sédimentaire au fleuve ;
- iii) les données hydrologiques des sites étudiés à échelle fine.

L'analyse permettra de constituer une base de données dans un système d'information géographique actualisé.

Ce travail de thèse s'appuiera sur une approche à petite et moyenne échelle des formes d'érosion du bassin et leur évolution dans le temps au moyen de photographies aériennes et d'images satellitaires. Les sites ateliers étudiés à grande échelle seront équipés afin d'y quantifier les transferts d'eau et de sédiments ; la réalisation de modèles numériques de terrain (MNT) du lit des koris et des cônes de déjection permettra d'évaluer les stocks sédimentaires et leur apport au système Niger dans les zones exoréiques. Enfin, la comparaison de ces données avec la composition isotopique des phases dissoutes et particulaires exportées des bassins versants par les rivières pourrait fournir une cartographie des sources de matériel et donc des zones d'érosion actives.

## Les acquis du DEA

Les recherches menées dans le cadre du DEA ont permis d'atteindre en grande partie le premier de nos objectifs. En effet, les premiers travaux de télédétection ont établi une sectorisation du Moyen-Niger et déterminé les zones d'apports sédimentaires accrus. Nous reprenons ici de façon très synthétique les résultats exposés en deuxième partie de ce travail :

- Le fleuve Niger dans sa partie Moyen-Niger est divisé, en fonction des types d'apports sédimentaires et de l'environnement direct du fleuve en 5 secteurs.
- Dans ces 5 secteurs, on distingue 4 types d'apports sédimentaires différents : les apports éoliens, les apports par les affluents de rive droite, les apports depuis les versants par les réseaux de ravines et enfin nous avons distingué le Dallol Bosso des affluents de rive droite.
- Les affluents ayant un rôle majeur dans les apports de sédiments au fleuve ont été identifiés, il s'agit du Gorouol et du Dallol Bosso. Toutefois des inconnues subsistent ; certains affluents doivent faire l'objet d'observations sur le terrain afin de déterminer leur importance dans le bilan sédimentaire du fleuve.

# **I. Quantification des apports en sédiments**

La première étape du travail de thèse consistera à parcourir l'ensemble du secteur d'étude afin de croiser les résultats de l'analyse spatiale avec la réalité du terrain. On déterminera en premier lieu précisément les processus en cours et les modèles associés et puis l'érodibilité des substrats. Ces observations mettront fin à ce travail de discrimination entre les secteurs d'apports sédimentaires de premier ordre, qui feront l'objet de notre étude proprement dite, et les secteurs de second ordre qui n'induisent pas de modification significative dans le bilan sédimentaire du fleuve. **Le croisement de l'analyse spatiale et du terrain permettra de déterminer les sites qui seront suivis à grande échelle et pour cela, équipés.** Les sites ateliers étudiés à grande échelle seront équipés afin d'y quantifier les transferts d'eau et de sédiments ; la réalisation de modèles numériques de terrain (MNT) du lit des koris et des cônes de déjection permettra d'évaluer les stocks sédimentaires et leurs apports au système Niger dans les zones exoriques. L'acquisition de données fines reposera sur plusieurs techniques adaptées à chaque processus.

## **1. Les affluents et leur cône de déjection**

Pour l'évaluation des apports sédimentaires par les affluents du Niger, les techniques utilisées seront *a priori* les suivantes :

### **- Le prélèvement de MES en période de crues et filtration en laboratoire :**

Les relevées devront intégrer les montées de crue, pointes de crue et décrue. La méthodologie de prélèvement pour l'évaluation des concentrations de matières en suspension devra correspondre à celle déjà employée par les institutions partenaires, afin de ne pas fausser l'évaluation relative de ces concentrations d'un affluent à l'autre. En effet, il est fort probable que ces données soient fournies par des institutions différentes (IRD, NIGELEC...) procédant avec des méthodes variées. Toutefois, nous bénéficions du travail de nos prédécesseurs quant à la méthodologie de prélèvement, notamment en ce qui concerne l'importance de leurs fréquences et de leurs volumes. En effet, nous savons d'ores et déjà qu'il sera nécessaire de prélever des volumes assez importants afin de diminuer les erreurs dans l'évaluation des concentrations en matières en suspension (Nouvelot, 1972). De plus, cette concentration étant plus importante au niveau du fond du cours d'eau (Billon, 1968), il faudra effectuer des relevés à différentes profondeurs afin de prendre en compte l'ensemble de la section mouillée. Enfin, le principal écueil réside dans la multiplicité des sites d'études. L'automatisation des relevés sur une partie du secteur d'étude s'avérera nécessaire dans le cas où nous devrions produire des données sur des sites distants. L'utilisation de préleveurs automatiques apparaît donc tout à fait justifié dans ce cadre d'étude. La faisabilité d'une telle synthèse de données est donc dépendante de la quantité d'informations mise à disposition par les institutions en place. Il est évident que si nous ne pouvions recueillir que peu de données par le biais de ces partenaires, nous serons obligés de concentrer nos efforts sur les secteurs les plus significatifs des phénomènes étudiés.

Des trappes à sédiments placées dans le chenal principal permettront l'évaluation des transferts de MES (Gautier et al., 2001). Une trappe est constituée d'un tube en PVC ouvert vers le haut et fermé par un bouchon et un joint de caoutchouc à la base. Une structure en nid d'abeille est placée à l'intérieur du tube pour favoriser le piégeage des particules. Un système de "chapeau" peut être prévu afin d'éviter la contamination de la trappe pendant les périodes où le cours d'eau est à sec. Le but est de réduire les apports de particules transportées par le vent, contenues dans les précipitations ou par la chute de débris végétaux

Fig. 49 : Réalisation technique d'une trappe à sédiments (Gautier et al., 2001)

Un procédé d'évaluation des concentrations en MES est celui des pièges à sédiments fréquemment utilisés par l'IRD (Fig. 50). Les écoulements sont orientés vers un réceptacle ; après un épisode pluvieux on estime la masse de sédiments dans le réceptacle par rapport au volume d'eau récupéré, on obtient ainsi la concentration en sédiments des écoulements (Planchon, 1991).

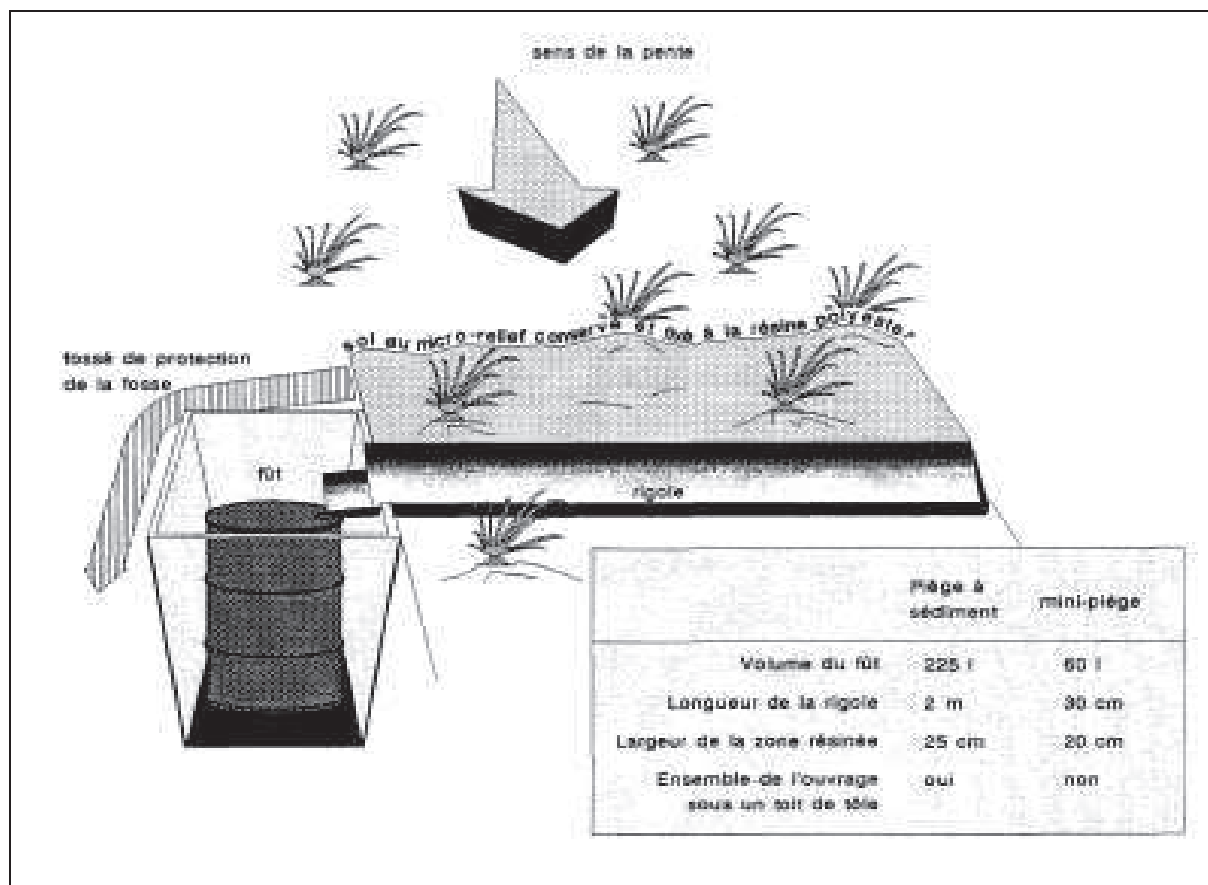


Fig.50 : Schéma d'un piège à sédiments (Planchon, 1991)

#### - Le suivi des apports sédimentaires par relevé GPS RTK (matériel CNRS LGP) et élaboration de Modèles Numériques de Terrain :

Deux méthodes sont envisagées, la réalisation de modèles numériques de terrains d'une part, et de profils topographiques transversaux d'autre part à l'aide de relevés GPS. La nécessité de disposer d'une précision altitudinale centimétrique oblige à développer des méthodes spécifiques (GPS



différentiel en mode RTK). Il est indispensable de travailler en mode différentiel avec des récepteurs bi-fréquence traitant la phase des signaux L1/L2 (signaux satellitaires). D'un point de vue technique, nous procéderons tout d'abord à l'installation d'une base fixe par cône alluvial qui sera géoréférencée en post-traitement. Cette base permanente permettra d'assurer le suivi annuel du recueil des données topographiques. Dans un second temps, l'acquisition des points altimétriques pour la réalisation des modèles numériques de terrain et des profils topographiques sera réalisée à l'aide de deux récepteurs DGPS Scorpio 6501. Le premier est installé sur la base fixe, le second dénommé récepteur mobile permet de relever les données topographique sur l'ensemble de la zone étudiée (Fig. 51). Les corrections différentielles sont calculées en temps réel et transmises depuis la station fixe au mobile par radio UHF (système RTK, Real Time Kinematic). L'utilisation d'un DGPS RTK est tout à fait adaptée à nos terrains d'étude. En effet, ce dispositif possède deux limites techniques majeures. D'une part, la longueur de la ligne de base (distance entre la station fixe et le mobile) ne doit pas excéder 10 km en terrain plat ce qui paraît adapté aux cônes alluviaux étudiés. D'autre part, la végétation arborée, qui dégrade le signal GPS et gêne la transmission radio est dans notre contexte négligeable car la couverture végétale est quasi-absente.

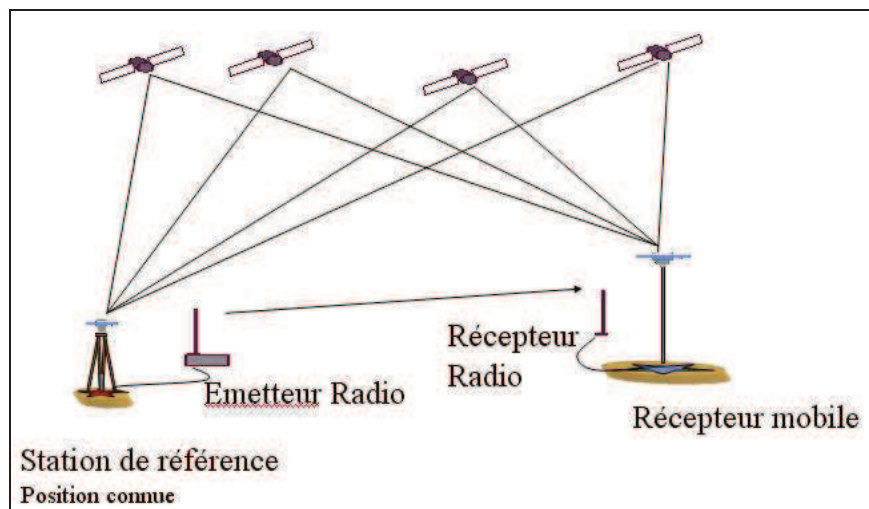


Fig. 51 : Le GPS RTK (Gautier et al., soumis)

Les résultats obtenus sont du type de ceux obtenus par Gautier et al. (soumis) en Bolivie (Fig. 52). On y distingue les secteurs en érosions de ceux en sédimentation mais on évalue aussi la vitesse de ces processus.

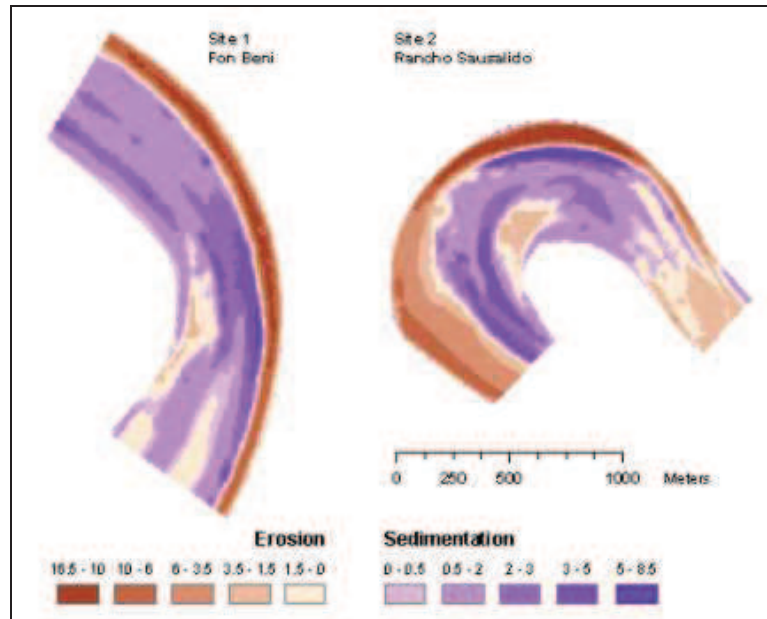


Fig. 52 : Exemple de représentation obtenue après traitement de séries de relevés au GPS RTK (Gautier et al., soumis)

#### - Les techniques isotopiques :

Ces techniques, largement inspirées des travaux de Walling D.E. sur le  $^{210}\text{Pb}$  et principalement sur le  $^{137}\text{Cs}$ , permettent d'évaluer les vitesses d'érosion et les origines sédimentaires. La demi-vie courte de ces isotopes (30 ans pour le  $^{137}\text{Cs}$ ) permet l'étude de phénomènes rapides et récents. La faisabilité de cette méthodologie est, sur certains terrains, encore discutable. En effet les résultats de telles études peuvent être faussés par des pollutions d'origine anthropique (Chappell, 1999). La probabilité que cela soit le cas du fleuve Niger est importante, surtout dans le secteur de Niamey. Toutefois, dans le cas des affluents étudiés ces phénomènes semblent peu gênants (pas d'industrie, terres agricoles non amendées). L'efficacité de telles méthodes a été démontrée par nos prédécesseurs (Walling, 1998 ; Chappell, 1996) dont nous reprendrons les méthodologies.

## 2. Les apports directs de versant : les ravines

Le suivi des ravines se fera selon les mêmes techniques que précédemment : trappes/pièges à sédiments, transects topographiques transversaux et longitudinaux par GPS RTK pour évaluer la vitesse d'approfondissement des ravines et leur taux d'ablation.

## 3. Suivi de l'évolution des formes et des zones en érosion par télédétection

Les techniques de télédétection seront utilisées sur l'ensemble des secteurs du Moyen-Niger. Sur le secteur 1 (Tossaye-Gao), la télédétection sera l'outil principal complété par la photo-interprétation. En effet, pour ce secteur nous étudierons d'une part les mouvements latéraux de la bande active du fleuve et d'autre part, la variation des tracés des différents chenaux. Ces informations seront intégrées à un SIG regroupant les données cartographiables de notre étude.

Sur les secteurs où s'inscrivent les processus d'érosion hydrique, nous fournirons principalement un travail de classification supervisée. Cette dernière consiste à regrouper les pixels correspondant à des réponses spectrales proches (pixels de même couleur) d'une composition colorée.

On passe ainsi d'une cartographie ponctuelle (pixel) à une cartographie zonale (plages colorées). Ainsi, nous avons vu lors de ce travail de DEA que les sédiments remobilisés sont observables sur les compositions colorées 541, c'est pourquoi c'est à partir de celles-ci et de nos relevés de terrains que nous produirons ces données cartographiques.

## **II. Les données pluviométriques et hydrologiques existantes et les compléments à acquérir**

Le Sahel, de par sa spécificité climatique, fait l'objet de nombreuses observations en hydrologie de surface depuis les années 1950. Des programmes tels HAPEX-Sahel (Goutorbe et al., 1997) et AOC-HYCOS et des institutions telles la Direction de l'Hydrologie Nationale du Niger et l'IRD ont mis en place différents réseaux de données sur le fleuve Niger et certains de ses affluents. La cartographie de l'ensemble des sites où la collecte de données est possible devra être établie. Cette cartographie permettra de séparer les données disponibles par le biais des partenaires de cette étude des données à générer par nos soins. Les données dont nous devons disposer en un maximum de points stratégiques sont les débits liquides et les données pluviométriques.

En ce qui concerne l'évaluation des débits liquides, certaines infrastructures ont été ou sont en place (Gallaire, 1993). Il faudra donc établir un état des lieux des données disponibles et de celles que nous devons produire nous-même. Il est nécessaire pour cela de nous rendre au Niger, afin de nous accorder avec les partenaires sur place. En effet, l'acquisition des données sera rendue possible par des contacts étroits avec ces derniers. Si cela s'avère nécessaire, nous procéderons à la mise en place de seuils de jaugeage afin d'évaluer les débits à l'intérieur de ces ravines. Nous bénéficions pour cela de l'expérience de l'IRD Niamey (Photos 6 et 7) qui a déjà mis en place de nombreuses fois ce type d'ouvrages équipés de limnimètres dans le cadre de précédents travaux.

Les données pluviométriques sont les plus simples à acquérir dans notre secteur d'étude. Nous bénéficierons des données de l'IRD pour le degré carré de Niamey et nous devrions a priori pouvoir établir une bonne couverture (maillage serré) pour l'ensemble du secteur d'étude.



Photos 6 et 7 : Construction d'un seuil artificiel par les techniciens de l'IRD Niamey, Wankama, 2004 (clichés, Le-Breton)

Afin de conclure ce projet, nous tenons à mettre en exergue l'aspect contemporain des processus étudiés ainsi que l'importance des volumes concernés. De plus, même si nous ne disposons pas aujourd'hui, à juste titre, de l'ensemble des données inhérentes aux processus d'apports sédimentaires au fleuve Niger, nous savons déjà que ce sujet s'inscrit dans une thématique liée aux rapports entre les sociétés et les milieux où elles s'établissent. Enfin, dans des pays enclavés tels le Niger et le Mali, le fleuve Niger tient plus que jamais son rôle de fleuve nourricier. C'est pourquoi, l'ensemble des travaux qui ont été et qui seront effectués sur ce fleuve participent directement ou indirectement à un effort de développement maîtrisé. C'est pour l'ensemble de ces raisons (géographiques, humaines et environnementales) que nous espérons obtenir un soutien logistique et financier par les partenaires actuels et éventuellement par ceux à venir. Enfin, ce projet devra être le support d'échanges entre les divers partenaires, d'une part afin que nous puissions parvenir aux meilleurs résultats et d'autre part pour mettre en avant leurs efforts de complémentarité.



## TABLE DES FIGURES

Figure 1	Bassin du Niger - Afrique de l'Ouest	p.1
Figure 2	Sectorisation du fleuve Niger selon l'ABN	p.2
Figure 3	Histogramme des débits annuels du fleuve Niger à Niamey	p.5
Figure 4	Positionnement du programme AMMA en Afrique de l'Ouest	p.10
Figure 5	Isohyètes en zone sahélienne	p.13
Figure 6	Hauteurs de pluies mensuelles à Niamey	p.14
Figure 7	Profil météorologique du Niger	p.14
Figure 8	Moyennes annuelles des pluies au Sahel continental depuis 1931	p.15
Figure 9	Variation de la pluviométrie annuelle au Sahel continental depuis 1931	p.16
Figure 10	Variation de l'indice pluviométrique au Niger entre 1950 et 1990	p.17
Figure 11	Evolution des populations rurales et urbaines du Niger	p.19
Figure 12	Taux d'accroissement des populations rurales et urbaines au Niger	p.19
Figure 13	Evolution des proportions de végétation et de sols nus sur le plateau de Poura	p.20
Figure 14	Régimes hydrologiques mensuels jusqu'à 1972 et après pour certains affluents du Niger	p.22
Figure 15	Evolution comparée des histogrammes moyens annuels du fleuve Niger à Niamey	p.23
Figure 16	Réseau de ravines en 1950 dans le bassin-versant endoréique de Wankama	p.24
Figure 17	Réseau de ravines en 2004 dans le bassin-versant endoréique de Wankama	p.24
Figure 18	Carte géologique schématique de l'Afrique de l'Ouest	p.27
Figure 19	Carte géologique schématique du socle du Liptako	p.28
Figure 20	Extrait d'une image Landsat ETM+ (bande 3) avant les corrections atmosphériques, path : 193 – row : 50	p.34
Figure 21	Extrait d'une image Landsat ETM+ (bande 3) après les corrections atmosphériques, path : 193 – row : 50	p.34
Figure 22	Bande 3 ETM+ <b>avant</b> recadrage, path : 193 - row : 51	p.35
Figure 23	Bande 3 ETM+ <b>après</b> recadrage, path : 193 - row : 51	p.36
Figure 24	Extrait d'une composition colorée vraies couleurs 321, path : 193 – row : 50	p.37
Figure 25	Extrait d'une composition colorée fausses couleurs 453, path : 193 – row : 50	p.38
Figure 26	Extrait d'une composition colorée fausses couleurs 541, path : 193 – row : 50	p.39

Figure 27	Tracé du fleuve Niger en anastomose dans le secteur 1, path : 195 – row : 48 et path : 195 – row : 49	p.41
Figure 28	Vue à échelle plus grande du tracé anastomosé du Moyen-Niger au Mali, path : 195 – row : 48	p.42
Figure 29	Mise en évidence de l'absence de couvert végétal, composition colorée 453, path : 195 – row : 48 et path : 195 – row : 49	p.43
Figure 30	Présence végétale sur les bancs sableux du lits du fleuve, composition colorée 453, path : 195 – row : 48	p.44
Figure 31	Cordons dunaires et directions des vents dominants, composition colorée 541, path : 195 – row : 48	p.45
Figure 32	Tracé du Niger dans le secteur 2, path : 194 – row : 49, path : 194 – row : 50 et path : 193 – row : 50	p.47
Figure 33	Végétalisation des îles, composition colorée 453, path : 194 – row : 49	p.48
Figure 34	Mise en évidence de nombreux petits affluents, composition colorée 541, path : 194 – row : 49	p.49
Figure 35	Tracé du Niger dans le secteur 3, path : 193 – row : 50 et path : 193 – row : 51	p.51
Figure 36	Embouchures du Dargol et de la Sirba, limites de l'encaissement du lit du Niger, composition colorée 541, path : 193 – row : 50 et path : 193 – row : 51	p.52
Figure 37	Fleuve repoussé vers les plateaux de rive gauche par les apports de rive droite, composition colorée 541, path : 193 – row : 51	p.53
Figure 38	Coupe transversale schématique de la situation décrite dans le secteur de Niamey	p.53
Figure 39	Couvert végétal faible, composition colorée 453, path : 193 – row : 51	p.54
Figure 40	Tracé du fleuve Niger dans le secteur 4, path : 192 – row : 51	p.55
Figure 41	Le Goroubi et la Diamangou, composition colorée 541, path : 192 – row : 51	p.56
Figure 42	Faible couvert végétal, composition colorée 453, path : 192 – row : 51	p.57
Figure 43	Tracé du fleuve Niger dans le secteur 5, path : 192 – row : 51 et path : 192 – row : 52	p.58
Figure 44	Extrait de la carte géologique BRGM-1972 au niveau du parc du W	p.59
Figure 45	Représentation de la Tapoa et de la Mekrou sur un fond cartographique Michelin	p.59
Figure 46	Parc du W en rive droite du fleuve Niger, forte activité chlorophyllienne, composition colorée 453, path : 192 – row : 51	p.60
Figure 47	Confluence du fleuve Niger et du Dallol Bosso, composition colorée 541, path : 192 – row : 51	p.61
Figure 48	Carte récapitulative des différents processus d'apport sédimentaire au fleuve Niger observés par télédétection	p.63
Figure 49	Réalisation technique d'une trappe à sédiments	p.65
Figure 50	Schéma d'un piège à sédiments	p.66
Figure 51	Le GPS RTK	p.67
Figure 52	Exemple de représentation obtenue après traitement de séries de relevés au GPS RTK	p.68

## Table des photos et tableaux

Photo 1	: Fond argileux de la mare Ouest à Wankama (secteur de Niamey), 2004	p.25
Photo 2	: Comblement du fond de la mare Ouest à Wankama, 2004	p.25
Photo 3	: Kori de Hamdallaye (secteur de Niamey), 2004	p.25
Photo 4	: Photographie aérienne oblique d'une zone caractéristique du bassin des Iullemmeden – Wankama	p.29
Photo 5	: Rive sableuse du fleuve Niger dans le secteur de Tossaye, 2003	p.46
Photo 6	: Construction d'un seuil artificiel par les techniciens de l'IRD Niamey, Wankama, 2004	p.68
Photo 7	: Construction d'un seuil artificiel par les techniciens de l'IRD Niamey, Wankama, 2004	p.69
Tableau 1	: Liste et dates d'acquisition des images Landsat ETM+	p.32
Tableau 2	: Gammes d'ondes des bandes Landsat ETM+	p.32
Tableau 3	: Concentration particulaire moyenne du Gorouol à Dolbel ( $\text{g.m}^{-3}$ )	p.50

# BIBLIOGRAPHIE

- ABN (2003).**- *Activités en cours et perspectives de l'ABN*. 7p.
- AGNEW C.T., CHAPPELL A.C. (1999).**- *Drought in the Sahel*. in GEOJOURNAL n°48, pp. 299-311.
- AMBRASEYS N.N., ADAMS R.D. (1986).**- *Seismicity of West Africa*. In Ann. Geophys., 4, B, 6, 679-702.
- BERNUS E. (1979).**- *Exploitation de l'espace et désertification en zone sahélienne ; Travaux pour une science du paysage*. SOCIETE DE BIOGEOGRAPHIE, COMPTES RENDUS, SCEANCE DU 19 DECEMBRE 1969, pp. 195-205
- BILLON B. (1968).**- *Mise au point des mesures de débits solides en suspension (République du Tchad)*. Ed. ORSTOM, Coll. Cahiers de l'ORSTOM, série Hydrologie, Vol. V, n°2, PARIS, pp. 3-13.
- BRUNET-MORET et al. (1986).**- *Monographie hydrologique du fleuve Niger. Tome 2 : cuvette lacustre et Niger moyen*. ORSTOM, PARIS, 2185p.
- CASENAVE A., VALENTIN C. (1989).**- *Les états de surface de la zone sahélienne, influence sur l'infiltration*. ORSTOM, PARIS, 229p.
- CHAPPELL A. (1996).**- *Modelling the spatial variation of processes in the redistribution of soil: digital terrain models and 137Cs in southwest Niger*.in Geomorphology n°17, pp.249-261
- CHINEN T. (1999).**- *Recent accelerated gully erosion and its effects in dry savanna, southwest of Niger in Human Response to Drastic Change of Environments in Africa*. ed. NOBUYUKI HORI, TOKIO METROPOLITAN UNIVERSITY, pp. 67-102
- DESCONNETS J-C. (1994).**- *Typologie et caractérisation hydrologique des systèmes endoréiques en milieu sahelien (Niger – degré carré de Niamey)*. THESE, UNIVERSITE MONTPELLIER II, 326 p.
- FAVREAU G. (2000).**- *Caractérisation et modélisation d'une nappe phréatique en hausse au Sahel*, THESE, UNIVERSITE PARIS XI, ORSAY, 258 p.
- GALLAIRE R. (1993).**- *Données sur les transports du Niger moyen entre Kandadji et Niamey*.In Grands Bassins Fluviaux et Périalantiques : Congo, Niger, Amazone. Actes du colloque PEGI (INSU, CNRS, ORSTOM), PARIS, pp.317-332.
- GAUTIER E. et al. (2001).**- *La détermination d'un espace de liberté pour le système fluvial ligérien : identification et spatialisation des unités morphodynamiques et écologiques fonctionnelles dans les vals libres et endigués de la Loire, enjeux et acteurs sociaux*. Rapport final Programme National de Recherche sur les Zones Humides (Ministère de l'Environnement, Agences de l'Eau), 211 p.
- GAVAUD M. (1977).**- *Les grands traits de la pédogenèse au Niger méridional*. In Travaux et documents de l'ORSTOM n°78, PARIS, 102 p.
- GOUTORBE et al. (1997).**- *An overview of HAPEX-Sahel: a study in climate and desertification*. In JOURNAL OF HYDROLOGY 188-189, pp. 4-17.



**LE BARBÉ L., LEBEL T. (1997).**- *Rainfall climatology of the HAPEX-Sahel region during the years 1950-1990.* in JOURNAL OF HYDROLOGY 188-189, pp. 43-73.

**LE-BRETON E. (2004).**- *Typologie du bassin versant de Wankama et descriptions des phénomènes érosifs.* MAITRISE, UNIVERSITE PARIS 8, 77 p.

**LOIREAU M. (1998).**- *Espaces – Ressources – Usages : Spatialisation des interactions dynamiques entre les systèmes sociaux et les systèmes écologiques au Sahel nigérien.* THESE, UNIVERSITE MONTPELLIER III, 411 p.

**MAHE et al. (2003).**- *Augmentation récente du ruissellement de surface en région soudano-sahélienne et impact sur les ressources en eau.* in Hydrology of the Mediterranean and semi-arid regions (Servat E., Najem W., Leduc C., Ahmed S., Sci. Eds). Proceedings of the International Conference, Montpellier, France, 1 - 4 avril 2003. IAHS Publication n° 278, pp.215-222.

**NANSON, G.C. & KNIGHTON, A.D. (1996).** *Anabranching rivers: their cause, character and classification.* In Earth Surface Process and Landforms n° 21, pp. 217–239.

**NOUVELOT J-F. (1972).**- *Méthodologie pour la mesure en réseau des transports solides en suspension dans les cours d'eau intertropicaux peu chargés.* Ed. ORSTOM, Coll. Cahiers de l'ORSTOM, série Hydrologie, Vol. IX, n°1, PARIS, pp. 3-18.

**PLANCHON O. (1991).**- *Etude spatialisée des écoulements sur les versants et de leurs conséquences sur l'hydrologie et l'érosion. Exemple en savane humide (Booro-Borotou, Côte d'Ivoire).* ORSTOM, PARIS, 325 p.

**ROOSE E. (1977).**- *Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest ; vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales.* In TRAVAUX ET DOCUMENTS DE L'ORSTOM, PARIS, 108 p.

**SEGUIS et al. (2003).**- *Influences de la sécheresse et du défrichement sur les écoulements d'un petit bassin sahélien,* AISH, MONTPELLIER

**WALLING, D.E. (1998).**- *Use of <sup>137</sup>Cs and other fallout radionuclides in soil erosion investigations: Progress, problems and prospects,* In: International Atomic Energy Agency (ed), Use of <sup>137</sup>Cs in the Study of Soil Erosion and Sedimentation, **IAEA-TECDOC-1028**, VIENNE, pp. 39-62.