

**Evolution des paysages Sahéliens au cours des six dernières décennies dans la région de Niamey : de la disparition de la brousse tigrée à l'encroustement de surface des sols. Sahelian landscape evolution during the six last decades in the Niamey vicinity: from the tiger bush disappearing to the soil crusting.**

Amadou Abdourhamane Touré, Rodrigue Guillon, Zibo Garba, Jean-Louis Rajot, Christophe Petit, Vincent Bichet, Alain Durand, David Sebag

► **To cite this version:**

Amadou Abdourhamane Touré, Rodrigue Guillon, Zibo Garba, Jean-Louis Rajot, Christophe Petit, et al.. Evolution des paysages Sahéliens au cours des six dernières décennies dans la région de Niamey : de la disparition de la brousse tigrée à l'encroustement de surface des sols. Sahelian landscape evolution during the six last decades in the Niamey vicinity: from the tiger bush disappearing to the soil crusting.. Pangea infos, Société Géologique de France, 2010, 47/48, pp.35-40. insu-00956999

**HAL Id: insu-00956999**

**<https://hal-insu.archives-ouvertes.fr/insu-00956999>**

Submitted on 7 Mar 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



ISSN 0760-1751

# PANGEA

N° 47/48 – Juin/Décembre 2010

CENTRE INTERNATIONAL POUR LA FORMATION ET LES ECHANGES EN GEOSCIENCES  
INTERNATIONAL CENTER FOR TRAINING AND EXCHANGES IN THE GEOSCIENCES

Volume spécial :  
***Géosciences & Développement***

**IMPACTS DE L'HOMME ET DU CLIMAT SUR LES MILIEUX SAHELIENS**

Editeurs scientifiques : Zibo GARBA, Benjamin NGOUNOU NGATCHA, David SEBAG, Alain DURAND

**EVOLUTION DES PAYSAGES SAHELIENS AU COURS DES SIX  
DERNIERES DECENNIES DANS LA REGION DE NIAMEY :  
DE LA DISPARITION DE LA BROUSSE TIGREE  
A L'ENCROUTEMENT DE SURFACE DES SOLS.**

Amadou ABDOURHAMANE TOURE<sup>1,2,3</sup>, Rodrigue GUILLON<sup>2</sup>, Zibo GARBA<sup>1</sup>, Jean-Louis RAJOT<sup>3</sup>,  
Christophe PETIT<sup>2</sup>, Vincent BICHET<sup>4</sup>, Alain DURAND<sup>5</sup>, David SEBAG<sup>5</sup>

1- Université Abdou Moumouni, Département des Sciences de la Terre, BP 10662, Niamey, Niger

2- Université de Bourgogne, Laboratoire ARTeHIS, UMR 5594 CNRS, Dijon, France

3- IRD, Laboratoire BIOEMCO, UMR 211, Niamey, Niger

4- Université de Franche-Comté, Laboratoire Chrono-Environnement, UMR 6249 CNRS, Besançon, France

5- Université de Rouen, Laboratoire M2C, UMR 6143 CNRS, Mont Saint Aignan, France

correspondant : doudu2000@yahoo.fr

RESUME

*Au Sahel, l'explosion démographique de ces dernières décennies et les variations climatiques ont provoqué d'importants changements environnementaux. L'objectif de ce travail est de mesurer les impacts de la pression anthropique sur les écosystèmes dans la région de Niamey au cours des six dernières décennies. L'étude est fondée sur une cartographie diachronique d'une aire de 100 km<sup>2</sup> située près de Niamey au moyen de photographies aériennes (1950 et 1975) et relevés au GPS (2009). Il est apparu ainsi qu'entre 1950 et 2009, la végétation de la brousse tigrée a été complètement déboisée. Dans les vallées sableuses, les surfaces cultivées ont connu une extension passant de 20,7 % à 69,4 % entre 1950 et 1975. Ceci a favorisé l'emprise des érosions hydrique et éolienne qui ont abouti à une dégradation des terres par encroûtement des sols. Celui-ci est à l'origine de la baisse des surfaces cultivées entre 1975 et 2009 (de 69,4 % à 54,4 %). Dans les bas-fonds, la tendance est au comblement du fait d'un taux de sédimentation de plus de 4 cm par an.*

MOTS-CLES : Sahel, région de Niamey, photos aériennes, pression anthropique, dégradation des sols, encroûtement

**Sahelian landscape evolution during the six last decades in the Niamey vicinity:  
from the tiger bush disappearing to the soil crusting.**

ABSTRACT

*In the Sahel, the rapid increase of the population during the last decades and the climate variation lead to an important environmental degradation. This work aims to measure the impacts of the human pressure on ecosystem during the six last decades. A diachronic cartography of a 100 km<sup>2</sup> area close to Niamey was done with aerial photographs (1950 and 1975) and GPS measurements (2009). Results showed that the tiger bush vegetation was completely cleared between 1950 and 2009 while the fallow decreases from 7 % to 1 %. In the sandy valley, the increase of cultivated fields from 20,7 % (1950) to 69,4 % (1975) favoured wind and water erosions which allowed surface soil crusting. Between 1975 and 2009, the bare crusted soil dramatically developed at the expense of the cultivated area which represents only 54,4 % of the studied area. The valleys are going to be overloaded because of high sedimentation rate (> 4 cm per year).*

KEY-WORDS: Sahel, Niamey, aerial photographs, human pressure, soils degradation, soil crusting

## Introduction

Le Sahel est un milieu en équilibre précaire, très sensible aux changements environnementaux et aux variations climatiques. Au cours des dernières décennies, des sécheresses ont commencé à la fin des années 1960 et atteint leur paroxysme dans les années 1980 avec des déficits pluviométriques de 25 voire 40 % comparativement aux années 1930 -

1960 (Hunt, 2000 ; L'Hôte *et al.*, 2002). Ces sécheresses se sont exprimées au Niger par un déplacement des isohyètes de plus de 200 km vers le Sud (Ozer et Erpicum, 1995). Cette tendance s'est traduite notamment par une importante dégradation environnementale : les arbres et arbustes morts sur pied se sont comptés par millions durant les périodes de graves déficits pluviométriques (Chamard et Courel, 1999).

Cependant, cette sècheresse n'explique pas seule la dégradation du milieu. En effet, le Sahel est une région à forte croissance démographique avec une population qui a plus que triplé entre 1950 et 2000 (Raynaud, 2001). Cette forte croissance démographique s'est accompagnée par une forte demande en énergie et en nourriture, ce qui a conduit à un déboisement intensif et à l'expansion des terres cultivées (Banoïn et Guengant, 1998). La conversion des savanes en terres agricoles a favorisé ainsi l'impact des érosions hydrique (Leblanc *et al.*, 2007a) et éolienne (Smaling *et al.*, 1993 ; Bielders *et al.*, 2002, 2004). Au Sud-Est du Niger, par exemple, les sols à forte productivité agricole qui occupent les zones de cuvettes (anciennes dépressions interdunaires), ont perdu 26 % de leur surface en 20 ans suite au déboisement et à la réactivation des dunes par le vent (Tidjani, 2008). Dans le Fakara, secteur situé à 60 km à l'Est de Niamey, Leblanc *et al.* (2007a) ont montré que 80 % des terres ont été défrichées et/ou déboisées entre 1950 et 1992 pour l'extension des cultures et les besoins en bois de chauffe (59 % de la végétation des plateaux a été déboisée et 87 % des versants sableux défrichés). Ils ont observé, par ailleurs, que la mise en culture des versants sableux a été plus importante entre 1975 et 1992. Séguis *et al.* (2004) ont observé sur le bassin versant de la mare de Wankama (13°39N, 2°39E) cette même tendance avec la diminution de la savane arbustive de 20 % et 32 % respectivement entre les périodes 1950-1975 et 1975-1992. Cette

dégradation environnementale a aussi entraîné des perturbations importantes dans les flux hydrologiques (McGuffie *et al.*, 1995 ; Mahé et Olivry, 1999 ; Taylor *et al.*, 2002). Dans la région de Niamey (SW du Niger), par exemple, on note une remontée de la nappe phréatique depuis les années 1960, phénomène a priori contradictoire avec une pluviométrie qui est en baisse mais qui est du à l'augmentation des processus de ruissellement et au développement de l'endoréisme (Leduc *et al.*, 2001 ; Leblanc *et al.*, 2007a).

Cette étude se propose de suivre à travers une étude cartographique diachronique, les changements environnementaux intervenus au cours des six dernières décennies dans la région de Niamey et de mesurer les impacts liés à l'exploitation du milieu par l'Homme. Les changements mesurés seront comparés à ceux intervenus dans le Fakara (Leblanc *et al.*, 2007a) qui est situé dans la même zone climatique mais plus éloigné de Niamey que notre secteur d'étude.

## 1. PRESENTATION DU SITE

Le site de Saga Gorou (2,196°E-2,288°E ; 13,477°N-13,570°N) couvre une aire de 100 km<sup>2</sup> qui englobe les bassins versants des deux mares étudiées par ailleurs dans le cadre de CORUS2 (Guillon *et al.*, ce volume ; Abdourhamane-Touré *et al.*, ce volume). Il se trouve à une distance de 15 km à l'Est de Niamey (SW Niger) (figure 1). La population rurale vit d'une agriculture pluviale et irriguée. La proximité de la ville de Niamey expose ce site à une forte pression anthropique. En effet, Niamey a vu sa population passer de 35000 habitants en 1960 (Toure Sekou et Prokhoroff, 1963) à plus de 1300000 en 2009 (INS, 2009).

Le climat est de type semi-aride avec une évapotranspiration potentielle moyenne proche de 2500 mm an<sup>-1</sup> (Martin-Rosales et Leduc, 2002) et une pluie annuelle de 545 mm en moyenne. Le paysage de la région est composé de plateaux latéritiques (formations du Continental Terminal d'âge tertiaire) incisés par des vallées sableuses fossiles. La différence d'altitude entre les plateaux (270 m) et les vallées atteint près de 70 m. Du pied des plateaux au talweg, les versants présentent une pente variant entre 1 et 2 % et sont parfois entrecoupés de replats correspondants au moyen glaciaire tertiaire cuirassé ou à des niveaux sédimentaires d'oolithes ferrugineuses indurés. Les cultures de mil se développent essentiellement sur

les versant sableux tandis que le bois est traditionnellement prélevé sur les plateaux.

## 2. MATERIELS ET METHODES

La stratégie de cette étude repose sur une cartographie diachronique du milieu permettant de suivre les changements intervenus en son sein. Ainsi deux types de moyens ont été utilisés pour cartographier le site. Il s'agit, d'une part, de photographies aériennes et, d'autre part, de relevés de terrain effectués au GPS. Les premières photos aériennes de la zone d'étude datent de 1950. Les

campagnes de 1960 et 1992 ne couvrant pas toute la zone d'étude, seules les séries de photos de 1950 et 1975 ont été utilisées pour l'étude cartographique.

Quatre photos de chacune de ces séries, obtenues à l'IGN France, ont suffi pour couvrir la zone d'étude. Ces photos ont été scannées avec une imprimante de type EXPSON EXPRESSION 10000 XL à 1200 dpi. Les photos ainsi digitalisées ont été géoréférencées sous Arc Gis 9.2.

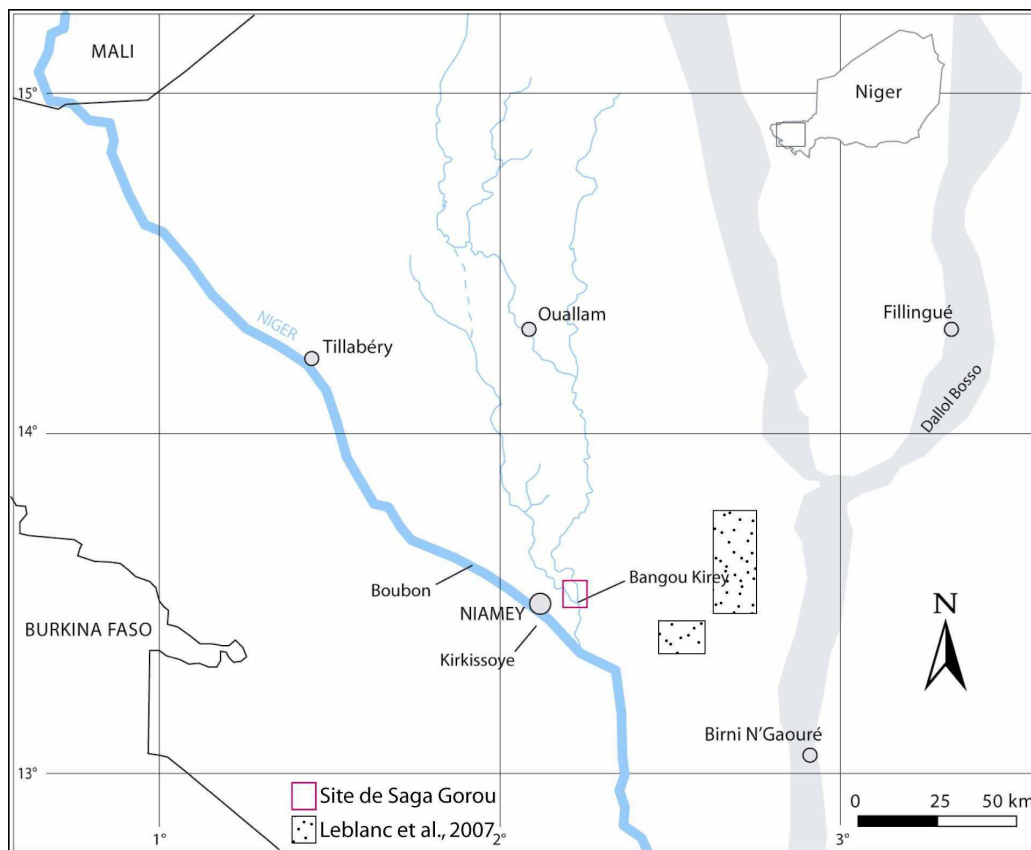


Figure 1: localisation du site de Saga Gorou au SW du Niger

C'est ainsi que les points anguleux et invariant des cuirasses ferrugineuses ont été utilisés pour rectifier les photos de 1975 ; celles de 1950 ont été géoréférencées à partir des photos rectifiées de 1975. Après le géoréférencement, toutes les photos digitalisées présentent une résolution variant entre 1 et 1,5 m ce qui permet une détection optimale des différents éléments du paysage. Ces derniers ont été numérisés sous Arc Gis 9.2. En 2009, la cartographie de la zone a été réalisée au moyen d'un GPS (Garmin GPSMAP76CSX) durant le mois de mai. Les différents éléments du paysage ont été circonscrits au cours de plusieurs missions

de terrain. Les tracés ainsi délimités sont prétraités sous MapSource puis transférés sur Google-Earth, puis la numérisation de ces éléments est réalisée sur Arc Gis 9.2.

L'évolution des différentes unités cartographiques est obtenue en comparant les trois dates deux à deux. La superficie de chaque élément du paysage a été calculée sur ImageJ pour mesurer les changements du milieu intervenus de 1950 à la période actuelle.

### 3. RESULTATS

L'évolution du milieu sera présentée suivant les différents éléments géomorphologiques de la zone d'étude : plateaux latéritiques, pentes sableuses et bas-fonds (talweg ; figure 2). Chaque élément est caractérisé par un couvert végétal propre permettant de suivre son évolution : i) l'évolution des plateaux est relative à celle de la brousse tigrée (Ambouta et Valentin, 1996) qui occupe naturellement leurs sommets. Cette brousse tigrée est une organisation naturelle de la végétation ligneuse en bandes perpendiculaires à la pente du terrain. Ces bandes sont séparées par des bandes de

sol nu qui fonctionnent comme des impluviums pour la végétation de la bande aval. ii) les pentes sableuses sont occupées par une savane arbustive naturelle lorsqu'elles n'ont jamais été défrichées (ou seulement à de très longs intervalles de temps), ou, après mise en culture, par des champs de mil, des jachères et des sols nus encroûtés. Les ravines (appelées Kori), de dimension métrique, traduisent l'érosion hydrique de ces pentes ; iii) les bas-fonds sont eux caractérisés par des champs de mil, des mares permanentes ou temporaires et des jardins.

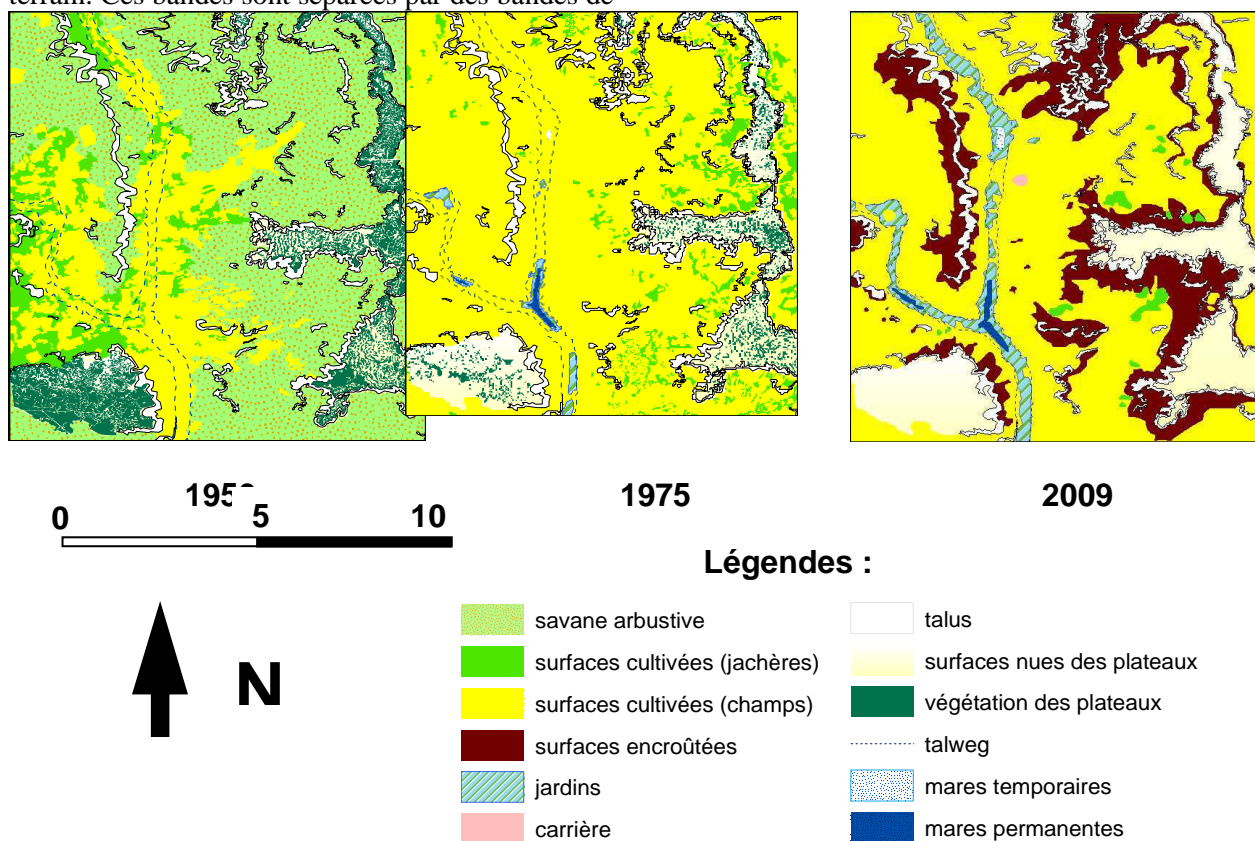


Figure 2 : Cartographie diachronique du site de Saga Gorou

Les plateaux latéritiques bordés par des talus à pente très forte (30 à 50 %) couvrent 21,8 % du site de Saga Gorou (figure 2). Le sommet des plateaux est une vaste zone à pente très faible qui couvre 13,6 % de l'aire d'étude. En 1950, les bandes de végétation de la brousse tigrée occupaient 69 % de la surface du sommet des plateaux (figure 3). Depuis, cette proportion a connu une chute importante passant à 18 % puis à 0 %, respectivement en 1975 et 2009.

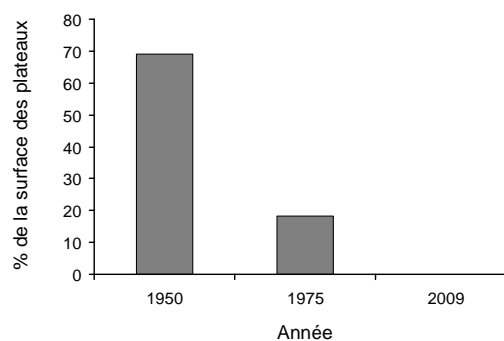


Figure 3 : évolution de la végétation de la brousse tigrée entre 1950 et 2009 à Saga Gorou.

L'agriculture pluviale se développe essentiellement sur les pentes sableuses qui couvrent 78,2 % de la zone d'étude. L'aspect de ces versants a été modifié au fil du temps. En 1950, la savane arbustive naturelle occupait 46,5 % de la surface d'étude (figure 4). Cette brousse a totalement disparu dès 1975 au profit des champs et des jachères. Ces derniers ont connu des évolutions différentes : tandis que les jachères diminuent régulièrement, passant de 7 % en 1950 à 5 % puis à

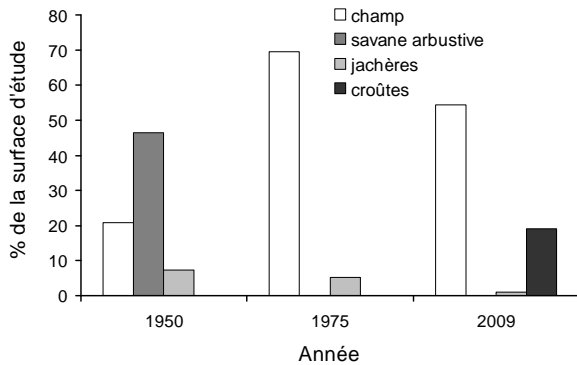


Figure 4 : évolution des éléments du paysage des pentes sableuses de Saga Gorou.

1 % respectivement en 1975 et 2009, les champs connaissent d'abord une extension entre 1950 et 1975 où ils passent de 20,7 % à 69,4 %. Mais en 2009, leur surface n'est plus que de 54,4 %. Cette diminution s'est faite au profit de surfaces nues couvertes de croûtes d'érosion, donc non cultivées, qui atteignent plus de 19 % de l'aire d'étude (figure 4). Dans les bas fonds plusieurs changements sont survenus. En 1950, ces bas-fonds n'étaient occupés que par des champs de mil ou des jachères (figure 2). Entre 1950 et 1975, deux mares permanentes (apparues vers 1962) et des mares temporaires se sont formées dans cette zone (figure 2). Quelques jardins apparaissent dès 1975 ; ces jardins sont devenus continus occupant la totalité des bas fonds exondés de la zone d'étude en 2009. Le réseau hydrographique est devenu très complexe. L'ordre (Shreve order) des différents tributaires des mares a été multiplié par trois en moyenne entre 1950 et 1975. Plusieurs koris dépassant 3 m de profondeur et plus 5 m de largeurs entaillent actuellement les versant sableux. Ces koris drainent des quantités importantes de sédiments dans les bas-fonds.

#### 4. DISCUSSION

A Saga Gorou, la diminution de la végétation des plateaux a été beaucoup plus importante entre 1950 et 1975 relativement au Fakara (50 km à l'Est de Saga Gorou). En effet, la végétation de la brousse

tigrée a diminué de plus de la moitié entre 1950 et 1975 à Saga Gorou tandis que dans le Fakara, elle diminuait du quart (Leblanc *et al.*, 2007a) pour la même période. En 2009, les plateaux sont maintenant totalement dénudés, ce qui n'est pas le cas plus à l'Est. Ces évolutions différentes ne peuvent donc être liées à la sécheresse car les deux zones sont dans la même zone climatique et ont des pluviométries semblables. Le site de Saga Gorou a subi la pression de la demande en bois de chauffe de la ville de Niamey dont la population est en croissance exponentielle.

La végétation arborée des versants sableux, qui couvrait plus de la moitié de cette zone en 1950, est déjà totalement défrichée en 1975 au profit de l'extension des surfaces cultivées. La pression sur les terres a été très importante entre 1950 et 1975 où chaque secteur de la pente sableuse a été cultivé au moins une fois. Dans le Fakara, la pression sur les terres a été relativement tardive : l'essentiel de la brousse arborée n'a été défrichée qu'entre 1975 et 1992 (Loireau, 1998 ; Seguis *et al.*, 2004). Cette expansion plus rapide des surfaces cultivées dans un contexte de croissance démographique marquée dans tout le Niger (Banoin et Guengant, 1998) s'explique là encore par la proximité de la capitale. L'extension des terres cultivées a ainsi fragilisé les pentes sableuses, occasionnant du coup leur dégradation. Celle-ci s'est traduite par une réduction des surfaces cultivées en 2009 avec l'apparition de surfaces nues couvertes de croûtes d'érosion représentant plus de 19 % de la zone d'étude. Cet encroûtement du milieu, né de la mise en culture intensive des pentes et du déboisement des plateaux, est à l'origine de l'augmentation du ruissellement entraînant la complexification du réseau des koris et l'apparition de nouvelles mares temporaires. Ainsi, du fait de la plus forte pression sur les terres à Saga Gorou, l'ordre des tributaires (Shreve order) a été multiplié par 3 en vingt cinq ans (1950 à 1975) alors qu'il n'a été multiplié que par 2,5 en quarante-deux ans (1950 à 1992) dans le Fakara (Leblanc *et al.*, 2007a).

Par ailleurs, l'apparition de deux mares permanentes (Bangou Bi et Bangou Kirey) confirme la remontée de la nappe phréatique bien connue dans toute la région (Leduc *et al.* 1997, 2001 ; Leblanc *et al.*, 2007b). La remontée de cette nappe a créé des zones humides dans les bas-fonds permettant ainsi leur exploitation sous forme de jardins. Cependant, les bas-fonds constituent des zones de dépôt de quantité importante de sédiments drainés par les koris. Un charbon de bois

situé à 230 cm dans une carotte sédimentaire du bas-fond a été daté par radiocarbone, postérieur à l'année 1953. Un tel taux de sédimentation (plus de 4 cm.an<sup>-1</sup> en moyenne) constitue une menace pour l'existence des mares et l'exploitation des jardins qui sont maintenant la principale source de revenus de la population locale.

## CONCLUSION

L'accroissement de la population sahélienne a eu d'énormes conséquences sur le milieu. Sur notre secteur d'étude, entre 1950 et 2009, toute la végétation de la brousse tigrée a été déboisée, tous les versants ont été cultivés et les jachères ont quasiment disparu. Le déboisement et le défrichage ont été particulièrement importants entre 1950 et 1975 du fait de la proximité de la capitale. La fragilisation du milieu ainsi née de la baisse drastique de la couverture végétale entre 1950 et 2009 a induit une diminution des surfaces cultivées de près de 1/3 au profit des croûtes impropres à l'agriculture. Néanmoins, l'augmentation du ruissellement a favorisé la création de zones humides cultivables toute l'année grâce à la proximité de la nappe qui affleure localement (mares de Bangou Bi et Bangou Kirey). Cependant, ces bas-fonds sont menacés de comblement par le fort taux de sédimentation lié à l'ampleur du ruissellement.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ambouta J.M.K. et Valentin C. (1996) - Jachères et croûtes d'érosion au Sahel. *Sécheresse*, 7, 269-275.
- Banoïn M. et Guengant J.P. (1998) - Les systèmes agraires traditionnels nigériens dans l'impasse face à la démographie. In : Floret Christian et Pontanier Roger (eds.) *Jachère et systèmes agraires*. Ateliers Niamey et Dakar. IRD, 1-14.
- Bielders C.L., Rajot J.L., Amadou M. (2002) - Transport of soil and nutrients by wind in bush fallow land and traditionally-managed cultivated fields in the Sahel. *Geoderma*, 109, 19-39.
- Bielders C.L., Rajot J.L., Michels K. (2004) - L'érosion éolienne dans le Sahel Nigérien : influence des pratiques culturales actuelles et méthodes de lutte. *Sécheresse*, 15 (1), 19-32.
- Toure Sekou et Prokhoroff (1963) - *Etude démographique du Niger. Données individuelles. Résultats définitifs*. MINCOOP- INSEE, Paris, 88 p.
- Chamard Ph. C. et Courel M.F. (1999) - La forêt sahélienne menacée. *Sécheresse*, 10, 11-18.
- Hunt B.G. (2000) - Natural climatic variability and sahelian rainfall trends. *Global and Planetary Change*, 24, 107-131.
- INS (2009) - *Le Niger en chiffres*. Institut National des Statistiques, Niamey, Niger, 12p.
- Leblanc M., Favreau G., Massuel S., Tweed S., Loireau M., Cappelaere B. (2007a) - Land clearance and hydrology change in the Sahel : SW Niger. *Global and Planetary Change*, 61 (2008), 135 – 150.
- Leblanc M., Favreau G., Tweed S., Leduc C., Razack M., Mofor L. (2007b) - Remote sensing for groundwater modelling in large semiarid areas: Lake Chad Basin, Africa. *Hydrogeology Journal.*, 15 (1), 97-100.
- Leduc C., Bomley J., Schroeter P. (1997) - Water table fluctuation and recharge in semi-arid climate: some results of Hapex-Sahel hydrodynamic survey (Niger). *Journal of Hydrology*, 188-189, 123-138.
- Leduc C., Favreau G., Schroeter P. (2001) - Long time rise in a sahelian water-table : The Continental Terminal in south-west Niger. *Journal of hydrology*, 243, 43-54.
- L'Hôte Y., Mahé G., Somé B., Triboulet J.P. (2002) - Analysis of a sahelian annual rainfall index from 1896 to 2000 ; the drought continues. *Hydrological Sciences Journal*, 47 (4), 563-572.
- Loireau M. (1998) - *Espaces, ressources, usages : spatialisation des interactions dynamiques entre les systèmes sociaux et les systèmes écologiques au Sahel nigérien*. PhD thesis, Univ. Montpellier III, France, 411 p.
- Martin-Rosales W. et Leduc C. (2003) - Dynamique de vidange d'une mare temporaire au Sahel : l'exemple de Banizoumbou (Sud-Ouest du Niger). *C.R. Geosciences*, 335, 461-468.
- McGuffie K., Henderson-Sillers A., Zhang H., Durbidge T.B., Pitman A.J. (1995) - Global climatic sensitivity to tropical deforestation. *Global and Planetary Change*, 10, 97-128.
- Mahe G. & Olivry J.C. (1999) - Assessment of freshwater yields to the ocean along the intertropical Atlantic coast of Africa (1951-1989). *C.R. Acad. Sci.*, 328, 621-626.
- Ozer P., Erpicum M. (1995) - Méthodologie pour une meilleure représentation spatio-temporelle des fluctuations pluviométriques observées au Niger depuis 1905. *Sécheresse*, 6, 103-108.
- Raynaud C. (2001) - Societies and nature in the Sahel : ecological diversity and social dynamics. *Global Environmental Change*, 11, 9-18.
- Seguis L., Cappelaere B., Milesi G., Peugeot C., Massuel S., Favreau G. (2004) - Simulated impacts of climate change and land-clearing on run-off from a small Sahelian catchment. *Hydrology Processes*, 18, 3401-3413.
- Smaling E.M.A., Stoorvogel J.J., & Windmeijer P.N. (1993) - Calculating soil nutrient balances in Africa at different scales: II. District scale. *Fert. Res.*, 35, 237-250.
- Taylor C.M., Lambin E.F., Stephenne N., Harding R.J., Essery R.L.H. (2002) - The influence of land use change on climate in the Sahel. *Journal of Climate*, 15 (24), 3615-3629.
- Tidjani A.D. (2008) - Erosion éolienne dans le Damagaram (Sud-Est du Niger). Paramétrisation, quantification et moyens de lutte. Thèse de doctorat de l'université catholique de Louvain, 171p.