John Libbey EUROTEXT

L'essentiel de l'information scientifique et médicale

www.jle.com

Le sommaire de ce numéro

http://www.john-libbey-eurotext.fr/fr/revues/agro_biotech/sec/sommaire.md?type=text.html



Montrouge, le 26/04/2011

Ibrahim Bouzou Moussa

Vous trouverez ci-après le tiré à part de votre article au format électronique (pdf) :
Les changements d'usage des sols et leurs conséquences hydrogéomorphologiques sur un bassin-versant endoréique sahélien

paru dans
Sécheresse, 2011, Volume 22, Numéro 1

John Libbey Eurotext

Ce tiré à part numérique vous est délivré pour votre propre usage et ne peut être transmis à des tiers qu'à des fins de recherches personnelles ou scientifiques. En aucun cas, il ne doit faire l'objet d'une distribution ou d'une utilisation promotionnelle, commerciale ou publicitaire.
Tous droits de reproduction, d'adaptation, de traduction et de diffusion réservés pour tous pays.
© John Libbey Eurotext, 2011

SECHERESSE

Article de recherche

Sécheresse 2011 ; 22 : 13–24

Les changements d'usage des sols et leurs conséquences hydrogéomorphologiques sur un bassin-versant endoréique sahélien

Ibrahim Bouzou Moussa[1]
Luc Descroix[2]
Oumarou Faran Maiga[1]
Emmanuèle Gautier[3]
Mahaman Moustapha Adamou[4]
Michel Esteves[2]
Kadidiatou Souley Yéro[2]
Moussa Malam Abdou[1]
Ibrahim Mamadou[1]
Eric Le Breton[3]
Bachir Abba[1]

[1] Université Abdou Moumouni de Niamey
Faculté des lettres et sciences humaines
Département de géographie
BP 418
Niamey
Niger
<ibrahimbouzou@yahoo.fr>
<faranmaigaoumarou@yahoo.fr>
<malanmoussa@gmail.com>
<imadou_ib@yahoo.fr>
<ababachir@yahoo.fr>
[2] LTHE /IRD
Laboratoire d'étude des transferts en hydrologie et environnement
BP 53
38041 Grenoble
France
<Luc.descroix@ird.fr>
<michel.esteves@ird.fr>
<yero_kadidia@yahoo.fr>
[3] Université Paris 8
Département de géographie
CNRS UMR 8591

Tirés à part : I. Bouzou Moussa

doi: 10.1684/sec.2011.0297

Résumé

Les ressources naturelles des bassins-versants ruraux sahéliens subissent depuis plusieurs décennies une forte pression qui conduit à un changement radical de leur comportement hydro-géomorphologique. L'exemple est pris sur le bassin-versant du *kori* Dantiandou, bassin-versant endoréique de l'Ouest nigérien situé à environ 70 kilomètres à l'est de Niamey (Niger). Il s'agit plus particulièrement d'un de ses sous-bassins–versants, celui de Sama Dey (28,2 km^2 de superficie). Ce bassin-versant a connu de profondes mutations, avec entre autres, entre 1990 et 1999, une dégradation de la brousse tigrée sur les plateaux (- 4 %) et une diminution des jachères (- 3 %) sur les terres de culture des glacis. La diminution du couvert végétal entraîne la formation de surfaces encroûtées (+ 12 %) génératrices de ruissellement et d'érosion sur des sols sableux éoliens très fragiles. Sur les parcelles, le coefficient de ruissellement annuel moyen par rapport aux pluies totales est de 50,4 % sur croûte d'érosion, contre 2,8 % sur champ de mil avec des pertes en terres moyennes annuelles respectivement de 56,6 t/ha et 2 t/ha. Le coefficient d'écoulement annuel moyen est de 46 % à la station amont contre 26 % à la station aval. L'objectif de l'étude est de mettre en évidence le fonctionnement hydro-géomorphologique actuel avec comme facteur déterminant l'encroûtement dû à la sensibilité des sols à la battance, phénomène lié aux changements d'usage des sols. L'approche méthodologique suivie a consisté à effectuer des observations et un suivi du ruissellement et de l'érosion sur de petites parcelles (2006-2008), à mesurer les débits liquides à deux stations de jaugeage à l'aide d'un moulinet (2004-2008) et à cartographier l'évolution de l'occupation des sols et des unités morphopédologiques. Comme résultats significatifs on peut retenir que les facteurs déclenchants du ruissellement et de l'érosion sur la période choisie sont, par ordre d'importance, les propriétés des sols, notamment leur sensibilité à la battance, l'occupation des sols, et la pente.

Mots clés : bassin-versant, érosion hydrique, état de surface des sols, hydrogéologie, Niger, occupation des sols, Sahel.

Pour citer cet article : Bouzou Moussa I, Descroix L, Faran Maiga O, Gautier E, Moustapha Adamou M, Esteves M, Souley Yéro K, Malam Abdou M, Mamadou I, Le Breton E, Abba B, 2011. Les changements d'usage des sols et leurs conséquences hydrogéomorphologiques sur un bassin-versant endoréique sahélien. *Sécheresse* 22 : 13-24. doi : 10.1684/sec.2011.0297

© John Libbey Eurotext, 2011

Tirés à part : l'auteur

Laboratoire de géographie physisque
1, place Aristide Briand
92195 Meudon cedex
France
<Emmanuele.gautier@cnrs-bellevue.fr>
<eric.le-breton@cnrs-bellevue.fr>
[4] Université Abdou Moumouni de Niamey
Faculté d'Agronomie
Département de génie rural, eaux et forêts
BP 11011
Niamey
Niger
<adamou@refer.ne>

Abstract

Land use changes and their hydro-geomorphologic effects in a Sahelian endorheic catchment basin

Rural catchment basins in the Sahel have for several decades been subject to strong pressure on their resources, which is leading to a radical change in their hydro-geomorphologic behavior. We here take as a case study the endorheic catchment area of Dantiandou valley, located at approximately seventy kilometers east of Niamey (Niger). We particularly focus on one of its sub-areas, the basin of Sama Dey (28,2 km^2). From 1990 to 1999 this catchment basin underwent strong changes, including a degradation of the Tiger bush (-4%) on the plateaus and a reduction of fallows (-3%) on the agricultural glacis grounds. The decrease in ground vegetation is leading to the formation of encrusted surfaces (+12%), which generates run-off and erosion on very fragile wind sand soils. On the terrains, the mean annual streaming ratio amounts to 50.4% of the total rainfall on encrusted surfaces and 2.8% on the millet fields, with loss of soil of 56.6 t/ha and 2 t/ha respectively. The mean annual streaming ratio amounts to 46% at the upstream station and 26% at the downstream station. The aim of the study is to highlight current hydro-geomorphological processes, where the determining factor is soil crusting due to its sensitivity to rain battering following the clearing or the cultivation of the land. The method is based on the observation and follow-up of streaming and erosion on small plots (2006-2008), on flow measurements (2004-2008), and the charting of the evolution of ground occupation and morpho-pedological units. As significant results, one can retain that over the selected period, the factors that brought about streaming and erosion were, by order of importance: soil properties - in particular their sensitivity to rain battering, soil occupation, and the degree of the slope.

Keywords: hydrogeology, land use, Niger, Sahel, soil surface condition, water erosion, watershed.

Il est généralement admis que les facteurs du ruissellement et de l'érosion regroupent quatre grands domaines : le sol, l'occupation du sol, la topographie et le climat. Mais est-il aisé de hiérarchiser les facteurs déclenchants du ruissellement et de l'érosion ? Dans leur typologie des aléas érosifs, Montier *et al.* (1998) classent par ordre d'importance les principaux facteurs déclenchant de l'érosion, cela, comme ils le soulignent, afin de respecter cette hiérarchie dans le modèle de prévision global des aléas érosifs. Pour ce faire, ils ont identifié quatre types d'érosion :

– le type 1 : érosion en régions de grandes cultures ;
– le type 2 : érosion de vignobles et de vergers ;
– le type 3 : érosion de montagne ;
– et le type 4 : érosion méditerranéenne.

Notre secteur d'étude, en région semi-aride subit des pluies de mai à octobre qui favorisent l'activité principale, à savoir l'agriculture pluviale. L'occupation des sols s'est intensifiée, et avec elle se sont développées les organisations pelliculaires superficielles.

Notre étude fait suite à de nombreux autres travaux réalisés dans ce secteur depuis les années 1990 (Hapex-Sahel, AMMA). Plus particulièrement, Courault *et al.* (1991) caractérisent le long d'une toposéquence type les différents paysages et états de surface du bassin-versant de Sama Dey. Desconnets *et al.*, 1996 démontrent le caractère hortonien du ruissellement qui est ensuite concentré dans les ravines avec d'importantes pertes en eau sur les surfaces d'épandage. À l'échelle de la parcelle, ils confirment la dépendance quasi exclusive du ruissellement vis-à-vis de l'état de la surface du sol : encroûtement, micro-relief, végétation, déjà démontrée par Casenave et Valentin (1989 ; 1992). Concernant les facteurs qui caractérisent l'aptitude du bassin-versant à ruisseler, Estèves et Rajot (1999) montrent, quant à eux, l'importance de la combinaison des états de surface et des pentes. Cette approche leur a permis de dresser une carte des unités hydrologiques d'une partie du bassin-versant étudié. Plus en amont, notamment dans le bassin-versant de Wankama, Seguis *et al.* (2004) mettent en évidence une nette dégradation du couvert végétal et le développement de sols très dégradés. De par leurs caractéristiques – hauteur, intensité, durée – le rôle des pluies exceptionnelles ou en général des grosses averses n'est plus à démontrer dans la transformation des paysages (Wischmeier et Smith, 1958 ; Heusch, 1970 ; Roose, 1981 ; Mietton, 1980). Toutefois, Mietton (1980) met en évidence l'absence fréquente de relation entre une intensité élevée et le ruissellement, même si du reste son rôle n'est pas négligeable.

Cette étude conduite dans le cadre du programme AMMA (Analyse multidisciplinaire de la mousson africaine[1]) et qui se veut une étude des processus, tente à travers une hiérarchisation des facteurs déclenchants du ruissellement et de l'érosion, de comprendre le rôle des *koris* (cours d'eau à écoulements sporadiques) tributaires dans le fonctionnement hydro-géomorphologique actuel des bassins-versants endoréiques comme celui du *kori* Dantiandou dans un contexte de changement d'usage des sols et de variabilité climatique. La méthodologie repose, d'une part, sur l'évaluation du ruissellement et de l'érosion potentiels sur de petites parcelles installées sur quatre types d'états de surface et, d'autre part, sur la cartographie de la dynamique d'occupation des sols et de la morphopédologie. En effet, la dynamique des changements d'usage des sols implique celle des organisations pelliculaires superficielles ; par conséquent, sur une période donnée, les facteurs déclenchant du ruissellement et de l'érosion évoluent.

[1] www.amma-international.org/

© John Libbey Eurotext, 2011

Le site et ses caractéristiques morphopédologiques

L'étude a été conduite dans le bassin-versant de Sama Dey situé à environ 70 km à l'est de Niamey, dans la commune rurale de Dantiandou (département de Kollo). Ce bassin fait partie de la vallée fossile du *kori* de Dantiandou, ancien cours d'eau et affluent de l'importante vallée fossile du Dallol Bosso (*figure 1*).

Ce bassin-versant endoréique, de forme plus ou moins allongée de 28,2 km^2, est essentiellement dominé par des plateaux aux talus marqués. Les altitudes sont comprises entre 260 et 265 m sur les plateaux et dans le bas-fond entre 236 et 240 m. Il est inscrit dans les formations sédimentaires du Continental terminal du bassin des Iullemmeden (Greigert, 1966) et recouvert par des formations sableuses quaternaires.

On y distingue cinq unités morphopédologiques (*figure 2*) :

1. Les sommets des plateaux et buttes de grès argileux de couleur bariolée et épais de 8-10 m à l'affleurement. Le grès argileux est couronné par une cuirasse ferrugineuse oolithique à pisolithique d'âge tertiaire. Ces surfaces sont très étendues, planes à concave (pente < 1 %) avec généralement deux faciès : un faciès reg et un faciès sablo-limoneux ou argilo-limoneux nu et encroûté où la déflation est active. L'observation détaillée met en évidence les organisations pelliculaires de surface (OPS) suivantes : croûte de battance plus ou moins craquelée ; croûte biologique avec de nombreuses termitières en dôme. Ces dernières, une fois abandonnées, s'érodent en laissant un cône plus émoussé et circulaire dont la surface est très dure, assimilable à une croûte d'érosion. Les sols lithiques portent une végétation très caractéristique, la brousse tigrée, constituée de bandes alternées : une bande couverte par la végétation buissonnante et arborée généralement dense constituée essentiellement de *Combretum micranthum* et *Combretum nigricans* et une bande encroûtée absolument nue servant d'impluvium à la bande couverte.
2. Les talus d'éboulis peu étendus, convexes (rarement concaves) sont caractérisés par des pentes fortes (15 à 25 %).
3. Les jupes sableuses sont formées par des placages de sable rouge homogène à la base des plateaux, en auréoles, de 600 à 800 m de large (Ambouta, 1999). La partie haute de pente moyenne de 5 % à moins de 3 % est très dégradée et a vu se développer la croûte d'érosion ; on y observe également la croûte biologique dite croûte algale dans les jachères. La partie aval, de pente douce et régulière (< 2 %) constituée d'un matériel sableux meuble et peu épais, constitue plutôt une surface d'épandage. Ces jupes sableuses sont assimilées à des glacis d'épandage sableux du fait des écoulements en nappe ou diffus qui s'y développent.
4. Les glacis, assez étendus et de pente moyenne (3-4 %) sont constitués d'un matériel sableux à sablo-limoneux massif et induré. Les organisations pelliculaires superficielles caractéristiques sont essentiellement la croûte d'érosion dans les champs de mil, et la croûte biologique dans les jachères. Ces deux dernières unités, champs et jachère, constituent la zone de culture pluviale. La couverture végétale est arbustive et constituée essentiellement de *Guiera senegalensis*, *Balanites aegyptiaca*, *Piliostigma reticulatum* et *Faidherbia albida* (*Acacia albida*).
5. Le bas-fond présente dans sa partie amont un réseau centripète dans lequel les ravines latérales convergent vers une mare soumise à une dynamique de comblement puisqu'elle reçoit toutes les charges solides charriées depuis les plateaux. Le trop-plein est canalisé par un chenal qui constitue aujourd'hui un des *koris* fonctionnels du *kori* principal de Dantiandou. Le bas-fond est colonisé par une végétation ripicole arborée à arbustive de *Guiera senegalensis*, *Piliostigma reticulatum*...

Les mesures expérimentales ont été réalisées sur le bassin-versant de Tondi Kiboro. Sous-bassin de Sama Dey, il se situe en rive gauche et draine une fraction du versant est du plateau de Sofia Tondi. Il présente les mêmes caractéristiques décrites ci-dessus. Sa spécificité est qu'il est drainé par deux ravines développées sur la jupe sableuse. Les bassins-versants des deux ravines ont une superficie de 11 et 12 hectares. Malgré leur faible superficie, la dynamique hydrique y est très active car les biefs amont ont une pente de plus de 4,2 %. Le *tableau 1* illustre les caractéristiques hydromorphométriques de ce bassin-versant. Les cartes topographiques au 1/200 000 et 1/50 000 ont été utilisées pour calculer les altitudes et la pente moyennes. Quant à la densité de drainage, elle a été mesurée au décamètre.

Les caractéristiques climatiques

Le site a un climat de type sahélien semi-aride avec une moyenne pluviométrique annuelle sur 58 ans (1951-2008) de 557,8 mm à la station de Niamey Aéroport, station de référence la plus proche. La *figure 3* montre une forte variabilité interannuelle des précipitations, caractéristique du climat sahélien. Soixante pour cent des pluies tombent en juillet-août. Le tracé des moyennes mobiles sur 5 ans permet de distinguer deux périodes humides (1951-1970 et 1990-2001), une période franchement sèche seulement interrompue par deux années moyennes (1970-1989). Depuis 2002, les précipitations semblent chuter. La température moyenne annuelle est de 30 °C et la moyenne journalière présente un minimum en décembre-janvier de 24 °C et un maximum moyen en avril de 35 °C.

Les caractéristiques humaines

La commune rurale de Dantiandou où est situé le site d'étude connaît la même évolution démographique que les autres communes rurales de la zone des cultures pluviales. La population est passée de 7 919 habitants en 1977 à 18 661 en 1988 et 24 948 en 2001. En considérant le taux d'accroissement national annuel de 3,3 %, cette population est estimée à 31 534 habitants en 2009. Plus spécifiquement, la population du village de Banizoumbou est passée de 965 habitants en 1988 à 1 637 en 2009[2]. L'agriculture et l'élevage constituent les principales activités socio-économiques pratiquées par toutes les ethnies vivant dans la commune. Les systèmes cultures-jachères caractérisent l'occupation des sols.

D'une superficie de 500 km^2, la commune rurale de Dantiandou se caractérise par une forte pression humaine car la densité moyenne est passée de 16 hbts/km^2 en 1977 à 37 hbts/km^2 en 1988, à 63 hbts/km^2 en 2009. Or, selon Gorse (1985), la charge humaine compatible avec une activité agro-sylvo-pastorale extensive, sans dégradation du milieu (sol et biodiversité) est de 15 hbts/km^2 au Sahel.

Matériel et méthode

Pour l'étude du ruissellement et de l'érosion en nappe ainsi que du suivi

[2] Recensement général de la population, Niamey, Bureau central de recensement 1977, 1988 et 2001.

© John Libbey Eurotext, 2011

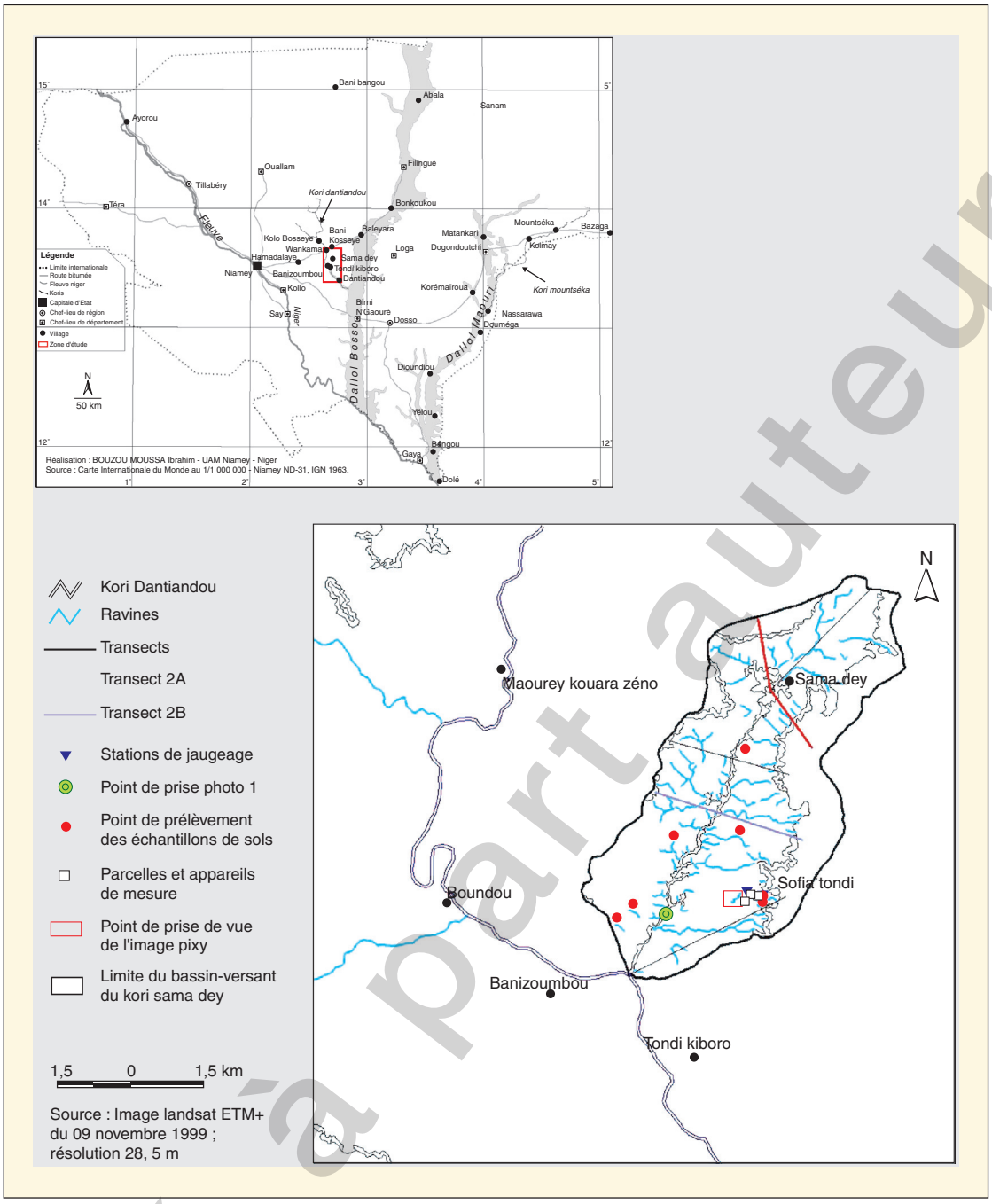


Figure 1. Localisation de la zone d'étude.

du recul des têtes de ravines, le terrain retenu est la « jupe sableuse » du bassin-versant de Tondi Kiboro. Sur chaque type d'état de surface caractéristique (croûte d'érosion, croûte biologique, jachère et champ de mil) deux parcelles de 10 m^2 ont été installées sur les bassins-versants des deux ravines. Le dispositif de mesure est composé comme suit :

– six parcelles sur le bassin-versant de la ravine nord (11 hectares) :

• P1 et P2 respectivement de 4,3 et 3 % de pente sur la croûte biologique ;

• P3 et P4 de 5 et 4 % de pente sur la croûte d'érosion ;

• P5 et P6 de 5,4 et 3,3 % de pente sur la jachère ;

– deux parcelles sur les champs de mil sur le bassin-versant de la seconde ravine sud de 12 hectares. Il s'agit de P7 et P8 de 1,9 et 3,3 % de pente.

Un tuyau a été placé en aval de chacune de ces parcelles pour canaliser l'eau de ruissellement vers des fûts de 200 litres de volume. Le site est équipé de six pluviomètres à lecture directe et d'un pluviographe à augets basculants. La lecture de la hauteur d'eau est faite après chaque épisode pluvieux. Le volume d'eau ruisselée, collectée dans les fûts, est ensuite mesuré. Les sédiments transportés par les eaux de ruissellement sont prélevés dans des bidons d'un litre et transportés au laboratoire pour la détermination des pertes en terre. Les résultats

Tirés à part auteur

© John Libbey Eurotext, 2011

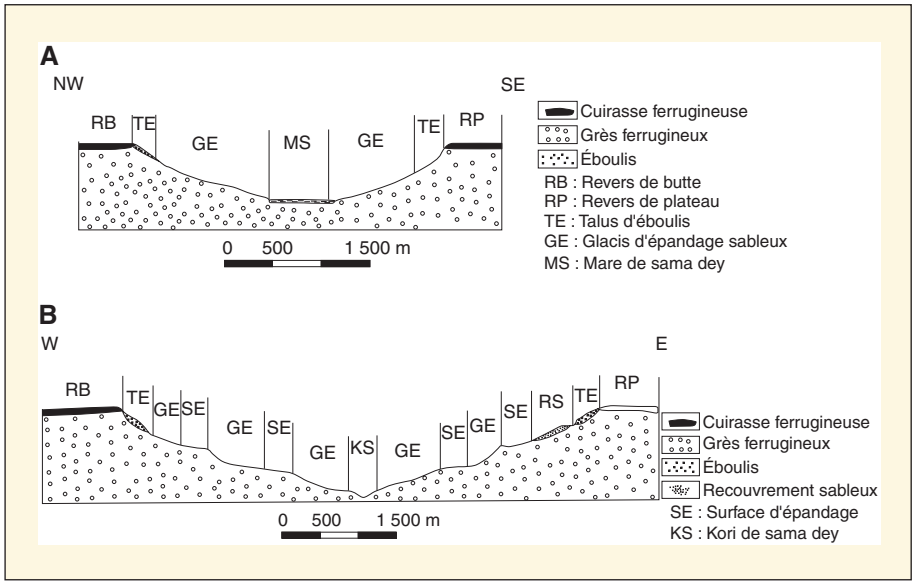


Figure 2. Profils schématiques transversaux de la vallée du *kori* Sama Dey.
A) secteur amont ; B) secteur aval.

présentés ne tiennent pas compte des nombreuses pluies dont les conséquences hydrologiques n'ont pu être estimées du fait soit du débordement des cuves et des fûts soit de la perte des échantillons. Si pour les cumuls annuels des précipitations, ce sont les pluviomètres qui ont été utilisés, les précipitations mesurées au pluviographe ont servi, en revanche, pour apprécier les relations hauteur-durée-intensité-coefficient de ruissellement. Avant chaque campagne de mesures, l'état des bordures des parcelles ainsi que des fûts est contrôlé. Deux stations installées sur une ravine en amont et en aval ont permis de mesurer les débits. Afin d'éviter les perturbations du milieu étudié, une piste conduit jusqu'au site ; des instructions sont données pour éviter de marcher dans les parcelles. Toutefois, le site n'étant pas gardé, il est impossible de contrôler les divagations des animaux. Enfin, les observateurs sont présents pendant toutes les campagnes hydrologiques.

Des cartes morphopédologiques et d'occupation des sols en 1990 et en 1999 ont été réalisées à partir des images satellitales Landsat d'une résolution de 28,5 m et traitées au Centre régional AGRHYMET de Niamey. La clé d'interprétation est celle qui est proposée pour la nomenclature d'occupation des sols du Niger (Ministère de l'environnement et de la lutte contre la désertification, 2001). La vérification a été faite le long des transects étudiés.

Les données pluviométriques annuelles de la station de Niamey-Aéroport ont été fournies par la direction de la Météorologie nationale du Niger (DMN). La période d'étude 1951-2008 ne présente aucune lacune. L'analyse pluviométrique a été fondée sur l'étude des cumuls annuels, de la moyenne mobile au pas de temps de 5 ans sur une série analysée de 58 ans (1951 à 2008).

Tableau 1. Quelques caractéristiques hydro-morphométriques du bassin-versant de Tondi Kiboro.

Caractéristiques	Paramètres	Valeurs
Morphologie des bassins-versants des 2 ravines	Superficie	11 et 12 ha
Relief	Altitude maximale	258 m
	Altitude minimale	233 m
	Altitude moyenne	245 m
	Pente moyenne	3,405 %
Réseau hydrographique	Longueur du talweg principal	784 m
	Densité de drainage	3,342 km/km^2

Résultats

À l'échelle des sous–bassins-versants comme celui de Sama Dey, la dynamique hydro-géomorphologique se traduit par de forts ruissellements sur les surfaces dégradées et dans les ravines et par la reprise de la fonctionnalité de ce petit *kori*.

Les précipitations et leurs caractéristiques

Par rapport aux données moyennes régionales, à Banizoumbou, sur les trois années, seule 2008 a été excédentaire avec 619,4 mm alors que la station de référence (Niamey Aéroport) n'a enregistré que 472,9 mm pour cette même année ; 2006 et 2007 ont été en revanche déficitaires avec respectivement 505,8 mm et 496,8 mm.

Sur les trois années d'observations retenues, si l'on se réfère aux classes de hauteur, les grosses averses prises arbitrairement supérieures ou égales à 40 mm ne constituent que 8 % des événements pluvieux, contre 39,1 % pour les petites pluies de 0 à 10 mm.

Les pluies ont été caractérisées par leur durée. Sur le total des pluies ruisselantes de durées connues, 64,8 % ont eu une durée supérieure à 120 minutes. Dans l'ensemble, ces pluies ont été intenses. En considérant l'intensité maximale sur 5 minutes, 88,9 % des pluies ont une intensité maximale supérieure à 30 mm/h contre 44,4 % pour l'intensité maximale en 30 minutes (I30). Elles ont été également plus ou moins agressives car R' (indice d'agressivité des pluies de Wischmeieir modifié par le Centre technique forestier tropical) annuel est de 255 points en 2006, de 267,3 points en 2007 et de 443,4 points en 2008. La moyenne de 321,9 points correspond à la valeur donnée pour cette région par Roose (1999).

L'encroûtement comme premier facteur déclenchant le ruissellement et l'érosion

• Ruissellement sur parcelles

Le rôle primordial dans le déclenchement du ruissellement et de l'érosion est joué par le comportement des différents états de surface. Ce comportement est étudié à travers les dates d'occurrence de ruissellement, la valeur des pluies

© John Libbey Eurotext, 2011

Tirés à part : auteur

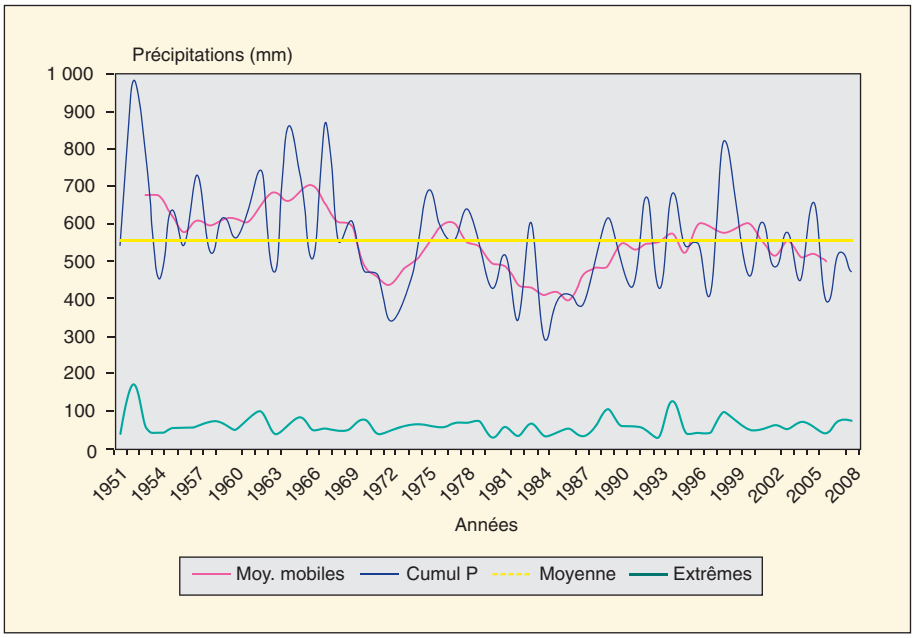


Figure 3. Évolution de la pluviométrie à Niamey aéroport (1951-2008).

minimales provoquant un ruissellement, l'évolution du ruissellement durant la saison des pluies, et enfin les relations entre les différentes caractéristiques des pluies, le ruissellement et l'érosion.

Les dates de démarrage du ruissellement ont été les mêmes pour tous les états de surface en 2006 et 2008 (8 et 9 juin) ; en revanche, en 2007, les croûtes d'érosion et biologique ont ruisselé plus tôt (27 juin) que le champ de mil et la jachère (30 juin). La fin du ruissellement est intervenue plus tardivement pour les trois années sur la croûte d'érosion. De même, en considérant le nombre de jours mensuels de ruissellement, la croûte d'érosion ruisselle beaucoup plus, suivie de la croûte biologique. C'est le champ de mil qui ruisselle le moins (*tableau 2*).

Les croûtes d'érosion et biologique réagissent à des pluies inférieures à 5 mm. Les seuils sont aussi inférieurs à 10 mm sur les deux autres états de surface. Il n'y a pas de relations étroites entre la hauteur des pluies et le ruissellement. Sur la croûte d'érosion par exemple, ce ne sont pas que les pluies supérieures ou égales à 40 mm qui ont un coefficient de ruissellement (Kr%) très élevé. La pluie de 88 mm du 16 août 2008 a un Kr% de 41,2 % contre 66,8 % pour la pluie de 16,3 mm du 10 octobre 2008. Ainsi, 49,1 % des pluies ruisselantes sont inférieures ou égales à 20 mm.

La contribution au ruissellement et à l'érosion des surfaces encroûtées est donc déterminante. Sur les trois années de mesures complètes, de 2006 à 2008, la moyenne annuelle du coefficient de ruissellement annuel moyen

Tableau 2. Ruissellements et érosion sur parcelles de 2006 à 2008 à Tondi Kiboro.

		2006				2007				2008			
		M	J	B	E	M	J	B	E	M	J	B	E
Nb de PR		13	20	25	27	8	17	19	22	14	18	21	24
KRAM (%)	/PR	8,6	19,5	30,5	60,9	4,9	11,9	32	60,5	4,2	10,8	25,8	51,5
	/PT	4,4	15,1	27,7	51,3	1,8	8,6	26,4	54,3	2,3	7,4	17,4	45,8
Kr moyen mensuel (%)	J	1,8	0,25	12,9	44,6	39	13,7	45,5	68,5	4,5	8,4	32,1	34,4
	Jt	20,8	27	37,9	66,9	2,6	6,3	27	52,2	0,4	5,6	25,3	53,8
	A	6,9	17,6	31,5	62,2	1,2	13,9	36,9	66,2	6,3	15	24,3	53,2
	S	1,4	4,5	11,4	44,3	1,8	1,4	3,2	39,5	3,4	6,3	21,1	59,9
	O									1,1	0,4	12,3	68,5
Krmax(%) (date)		21,5 (1 /8)	40,6 (1/8)	58,6 (1/8)	86,9 (30/8)	39,1 (30/6)	18,5 (13/8)	61,7 (26/8)	95,9 (2/8)	13,6 (16/8)	15,3 (16/8)	67,5 (9/6)	84,8 (31/8)
Krmin(%) (date)		1,1 31/8)	0,4 (11/9)	1,1 (24/8)	10,7 (28/8)	0,3 (14/8)	0,6 (14/9)	1,3 (5/9)	8 (11/8)	0,01 (20/9)	1,4 (29/6)	2,5 (5/8)	1,3 (8/6)
Kr(%) moyen (2006 – 2008)	/PR	5,9	14	29,4	57,6								
	/PT	2,8	10,4	23,8	50,4								
Érosion (t/ha)		4,9	2,6	16,2	48,9	0,3	3,5	20,07	108,1	0,07	1	1,4	12,8

M : champ de mil ; J : jachère ; B : croûte biologique ; E : croûte d'érosion ; PR : pluies ruisselantes ; KRAM% : coefficient de ruissellement annuel moyen ; /PR : KRAM% par rapport aux pluies ruisselantes ; /PT : KRAM% par rapport aux pluies totales ; J : juin ; Jt : juillet ; A : août ; S : septembre ; O : octobre.

© John Libbey Eurotext, 2011

Tirés à part

(KRAM) par rapport aux pluies ruissellantes enregistré sur croûte d'érosion est de 57,6 % contre 29,4 % sur croûte biologique, 14 % sur jachère et seulement 5,9 % sur champ de mil. Ce même KRAM par rapport aux pluies totales est de 50,4 % sur croûte d'érosion, 23,8 % sur croûte biologique, 10,4 % sur jachère et 2,8 % sur champ de mil. Les Kr MAX enregistrés sur croûte d'érosion sont forts illustratifs : 86,9 % le 30 août 2006 pour une pluie de 13,5 mm, 95,9 % le 2 août 2007 pour une pluie de 27,1 mm, et 84,8 % le 31 août 2008 pour 29,2 mm. La formation de la croûte sur chacun des états de surface explique qu'ils ruissellent pratiquement en même temps en début de saison de pluies. Par la suite, d'autres facteurs interviennent pour expliquer la différence de comportement. Il s'agit de l'humidité du sol, du développement de la végétation sur parcelle et champ de mil et du sarclage sur champ de mil (Peugeot *et al.*, 1997).

Débits et coefficients de ruissellement

Les forts ruissellements sur les surfaces encroûtées se concentrent dans les ravines. Le *tableau 3* illustre l'évolution des débits entre les périodes 1991-1994 et 2004-2008. Quelle que soit la période considérée, la partie amont produit des ruissellements plus forts : le coefficient d'écoulement moyen est passé de 35 % en 1991-1994 à 46 % en 2004-2008 alors qu'il est resté inchangé à l'aval (26 %). Les coefficients d'écoulement bien plus faibles pour la partie aval traduisent en fait la très forte infiltration dans la ravine entre les deux stations.

La dynamique érosive

La croûte d'érosion est la plus sensible à l'érosion (56,6 t/ha/an) suivie de la croûte biologique (12,5 t/ha/an) de la jachère et du mil (2,3 t/ha/an et 2,06 t/ha/an). L'année 2007 a été la plus érosive avec un record de 108, 1 t/ha enregistrée sur la croûte d'érosion (*tableau 2*).

Tableau 3. Débits et coefficients d'écoulement sur le bassin-versant de Tondi Kiboro (TK).

1991-1994							
TK amont	**PLUIE**	**LE**	**VE**	**CE**	**Équation pluie débit**	**r^2 E = a P + b**	**r^2 E = a P^2 +b**
1991	440,50	178,21	8 340,30	0,40	E = 0,65 P - 3,3	0,87	0,85
1992	425,50	100,50	4 703,20	0,24	E = 0,36 P - 1,49	0,86	0,82
1993	459,50	139,88	6 546,40	0,30	E = 0,43 P - 1,97	0,82	0,9
1994	653,26	300,60	14 068,30	0,46	E = 0,67 P - 2,59	0,9	0,93
TOTAL 1992-1994	**1 549,76**	**540,99**	**25 318,30**	**0,35**	**E = 0,54 P - 2,5**	**0,8**	**0,89**
TOTAL1991-1994	**1 997,76**	**719,20**	**33 658,60**	**0,36**			
MOYENNE 3 ANS	**512,75**	**180,33**	**8 439,30**	**0,35**	**E = 0,56 P - 2,61**	**0,82**	**0,88**
TK aval	**PLUIE**	**LE**	**VE**	**CE**	**Équation pluie débit**	**r^2 E = a P + b**	**r^2 E = a P^2 +b**
1991							
1992	425,50	73,52	8 126,70	0,17	E = 0,33 P - 2,27	0,74	0,66
1993	452,00	108,78	12 024,10	0,24	E = 0, 37 P - 1,64	0,81	0,86
1994	660,04	215,67	23 839,90	0,33	E = 0,5 P - 2,22	0,86	0,90
TOTAL 1992-1994	**1 537,54**	**396,88**	**43 870,70**	**0,26**			
MOYENNE 3 ANS 2004-2008	**512,51**	**132,65**	**14 663,57**	**0,26**	**E = 0,43 P - 2,3**	**0,79**	**0,84**
TK amont	**PLUIE**	**LE**	**VE**	**CE**	**Équation pluie débit**	**r^2 E = a P + b**	**r^2 E = a P^2 +b**
2004	533,00	251,30	11 760,75	0,47	E = 0,64 P - 2,9	0,83	0,80
2005	400,00	94,79	4 436,40	0,24	E = 0,56 P - 3,4	0,86	0,80
2006	560,67	229,80	10 754,50	0,41	E = 0,78 P - 5,4	0,81	0,78
2007	523,53	288,38	13 496,28	0,55	E = 0,76 P - 3,95	0,79	0,72
2008	610,70	333,84	15 623,93	0,55	E = 0,83 P - 5,4	0,94	0,91
TOTAL 5 ANS	**2 627,90**	**1 198,12**	**56 071,86**	**0,46**			
MOYENNE 5 ANS	**525,58**	**239,62**	**11 214,37**	**0,46**	**E = 0,76 P - 4,8**	**0,86**	**0,82**
TK aval	**PLUIE**	**LE**	**VE**	**CE**	**Équation pluie débit**	**r^2 E = a P + b**	**r^2 E = a P^2 +b**
2004	533,00	170,97	18 898,49	0,32	E = 0,63 P - 3,2	0,72	0,84
2005	400,10	64,78	7 160,63	0,16	E = 0,31 P - 1,7	0,80	0,74
2006	560,67	131,99	14 590,00	0,24	E = 0,51 P - 4,3	0,80	0,77
2007	523,53	127,40	14 083,21	0,24	E = 0,46 P - 4,06	0,82	0,78
2008	610,70	193,28	21 261,06	0,32	E = 0,52 P - 3,8	0,89	0,89
TOTAL 5 ANS	**2 628,01**	**688,42**	**75 993,38**	**0,26**			
MOYENNE 5 ANS	**525,60**	**137,68**	**15 198,68**	**0,26**	**E = 0,5 P - 3,59**	**0,79**	**0,79**

LE : lame écoulée ; VE : volume écoulé ; CE : coefficient d'écoulement (source des données de 1991-1994 : Programme HAPEX-Sahel).

© John Libbey Eurotext, 2011

Tirés à part auteur

Tableau 4. Recul des têtes de ravines de Tondi Kiboro de 2006 à 2008 (en m).

Observations	Ravine principale	Ravines secondaires	
		T1	T2
2006	2,7	4,32	1,39
2007	2,75	2,49	4,67
2008	Stable	2,26	4,34
Moyenne	**2,72**	**4,35**	**3,38**

Les résultats du suivi de recul des têtes des ravines (de 3 à 4 m par an) illustrent bien cette dynamique érosive (*tableau 4*). Faran *et al.* (2008) soulignent une situation similaire dans quelques bassins-versants du degré carré de Niamey. Malgré le caractère excédentaire de l'année 2008, les ravines ont peu reculé parce qu'elles ont atteint le sommet de la jupe sableuse. Cette dynamique s'est aussi traduite par la formation progressive de la mare de Sama Dey qui n'était dans les années 1980-1990 qu'une simple dépression fermée (Desconnets *et al.*, 1997 ; Leblanc *et al.*, 2008 ; Favreau *et al.*, 2009 ; Massuel *et al.*, 2006). Actuellement, le bas-fond, notamment la mare et le *kori* sont encore stables à cause de la présence de fourrés ripicoles. Toutefois, cette stabilité est menacée, car des tronçons du *kori* sont défrichés (*figure 4*). À cela, il faut ajouter le développement de cônes de déjection des ravines qui alimentent la mare.

Malgré le ravinement important des versants, des surfaces d'épandage de tailles variables perturbent les ruissellements des ravines. À titre illustratif, les apports des ravines latérales du site de Tondi Kiboro atteignent rarement le *kori* Sama Dey. Elles forment une surface d'épandage qui a entièrement comblé une petite dépression (*figure 5*). Ces épandages constituent en revanche des secteurs privilégiés d'infiltration (Massuel *et al.*, 2006) et illustrent les pertes en terres énormes.



Figure 4. Défrichement du cordon ripicole de *Guiera senegalensis* protecteur sur un tronçon stable du *kori* (mars 2009).

Discussion et conclusion

Les principaux facteurs qui caractérisent ce système érosif sont donc par ordre d'importance la sensibilité à la battance et à l'encroûtement liée à la très faible stabilité structurale. Même si 44,4 % des pluies ruisselantes et l'occupation du sol ont une intensité maximale en 30 minutes supérieures ou égales à 30 mm/h, de nombreuses petites pluies de faible intensité déclenchent le ruissellement.

L'occupation du sol par le développement des surfaces cultivées et surtout défrichées favorise la formation de surfaces nues génératrices de ruissellement et d'érosion. La susceptibilité à l'encroûtement de ces sols est due à la forte proportion des fractions fines (Ambouta, 1994). En moyenne, les sept échantillons prélevés sur les deux versants sont constitués de 22,1 % d'argiles et limons (< 0,04 mm), de 52,2 % de sables fins (de 0,04 à 0,2 mm) et de 24,7 % de sables grossiers (0,2 mm à 2 mm) (*figure 6*). Ainsi, entre 1980 et 2000, on constate que les cultures ont diminué. Ces unités (cultures et mosaïques cultures-jachères) sont passées de 37 à 33 % ; cette apparente diminution s'explique par le fait que des surfaces délimitées comme n'étant que des sols nus sont parfois des champs cultivés. Courault *et al.*, 1991 rapportent qu'en 1988 le bassin-versant de Sama Dey présente peu de surfaces cultivées. Mais les jachères ont diminué de 3 % ainsi que les brousses tigrées régulières, les broussailles et les fourrés ripicoles. Les sols nus, en revanche, ont augmenté de 12 % (*tableau 5*). Les observations effectuées le long de six transects à la fin décembre 2008 confirment le développement de sols dégradés encroûtés et celui des champs le long du *kori*, et par endroits dans le *kori*. Malgré la faible résolution des images Landsat (28,5 m), leur interprétation montre que la période 1990-1999 a été caractérisée par un développement des ravines (*figures 7* et *8*) qui traduit l'augmentation des ruissellements.

Le comportement du champ de mil et de la jachère montre que ce n'est pas le développement des cultures qui aggrave le phénomène sur ces sols, mais plutôt le défrichement. Toutes les ravines observées se développent sur ces surfaces nues générées par la déflation éolienne.

Au vu du développement de ces surfaces nues et de ses conséquences, notamment l'augmentation du ruissellement et donc de l'érosion de ces sols sableux, peut-on parler de « crise érosive » dans ce système endoréique ? Une « crise érosive » sous-entend une aggravation récente des phénomènes (Ministère de

Tirage à part réservé

© John Libbey Eurotext, 2011

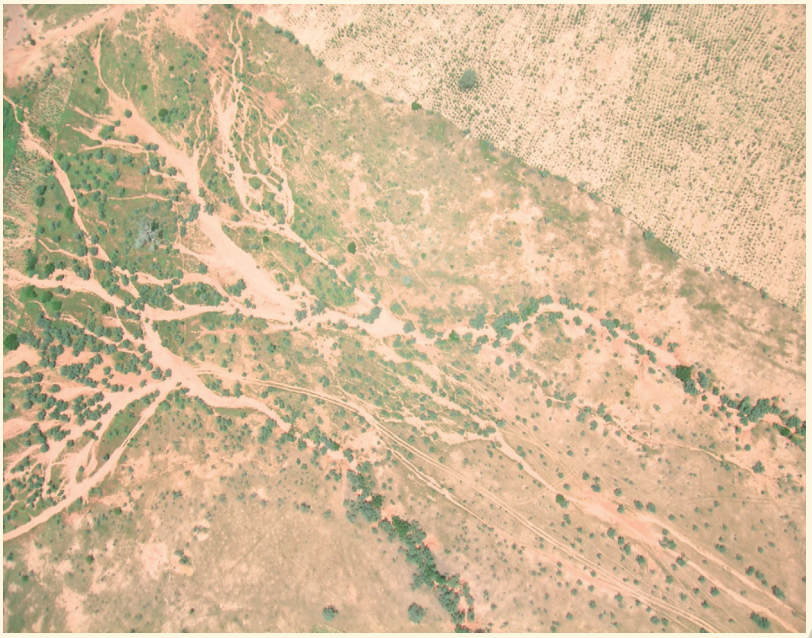


Figure 5. Surfaces d'épandage des ravines de Tondi Kiboro (source : image Pixy Jean-Louis Rajot, septembre 2005).

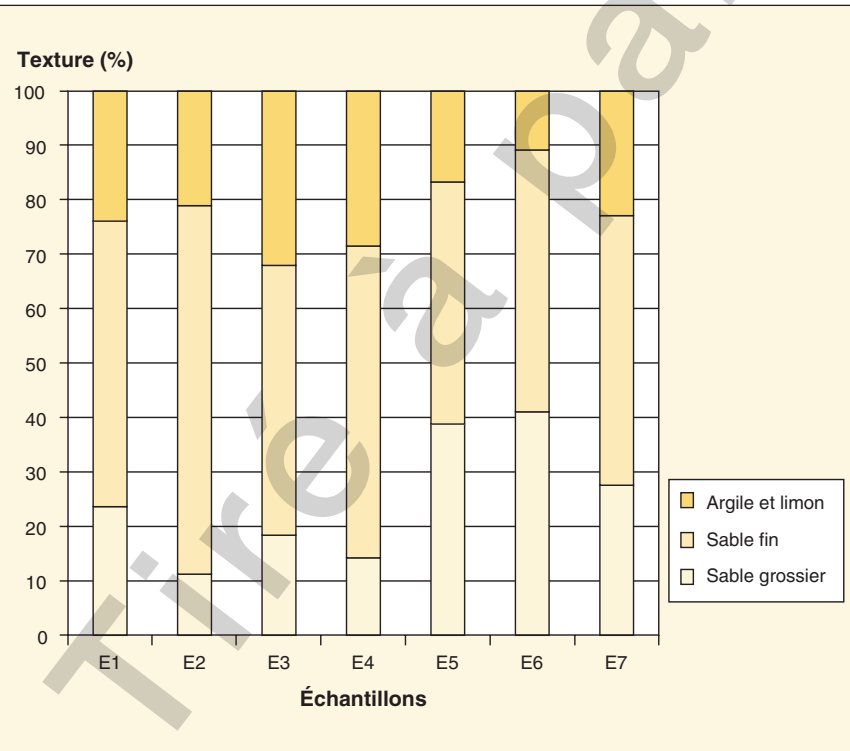


Figure 6. Texture des formations superficielles sableuses du bassin-versant de Sama Dey.

l'Environnement, ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation, 1996). Selon les paysans du village de Sama Dey, les ravines alimentant la mare sont passées de 10 en 1985 à 22 en 2005. Il faut toutefois souligner que la redistribution des matières eau et sol sur les versants, malgré les coefficients de ruissellement élevés sur les surfaces nues et dans les ravines, incite à nuancer cette affirmation de crise érosive. Toutes les ravines ne se jettent pas dans le *kori* Sama Dey, elles forment des surfaces d'épandage à mi-versant. Les eaux et les substances de sols charriées par le *kori* Sama Dey transitent dans la mare du même nom avant d'être déposées dans la mare de Tondi Kiboro. Cette situation est comparable à celle observée par Bouzou *et al.* (2009) dans un autre système endoréique. Toutefois, cette dynamique est différente de celle observée dans des systèmes exoréiques où l'on peut véritablement parler de « crise érosive » (Chinen, 1999 ; Bouzou, 2006 ; Faran *et al.*, 2008). Bien que tous les apports de certaines ravines à l'exemple de ceux du site expérimental n'atteignent pas le *kori* Sama Dey à cause de la forte infiltration et rétention hydrique des surfaces d'épandage intermédiaires et des fonds des ravines, ce dernier est aujourd'hui très actif et contribue à la reprise de la fonctionnalité du *kori* de Dantiandou sur de petits tronçons.

Enfin, cet article rappelle toute l'importance que revêt l'étude des processus en vue de mieux comprendre les systèmes érosifs pour l'alimentation des modèles de prévision de l'aléa érosion. ■

Tableau 5. Évolution de l'occupation des sols entre 1990 (image Landsat TM de 28,5 m de résolution du 1er février 1990) et 1999 (image Landsat ETM+ de 28,5 m de résolution du 9 novembre 1999) sur le bassin-versant de Sama Dey.

États de surface	Superficies en %	
	1980	2000
Brousses tigrées régulières	19,16	15,35
Brousses tigrées dégradées	3,35	5,63
Broussailles	4,85	3,69
Fourrés ripicoles	8,11	5,86
Cultures	22,87	11,79
Mosaïque cultures-jachères	14,33	21,38
Jachères	14,48	11,42
Sols nus	12,84	24,78
Mare	-	0,09

Tirés à part auteur

© John Libbey Eurotext, 2011

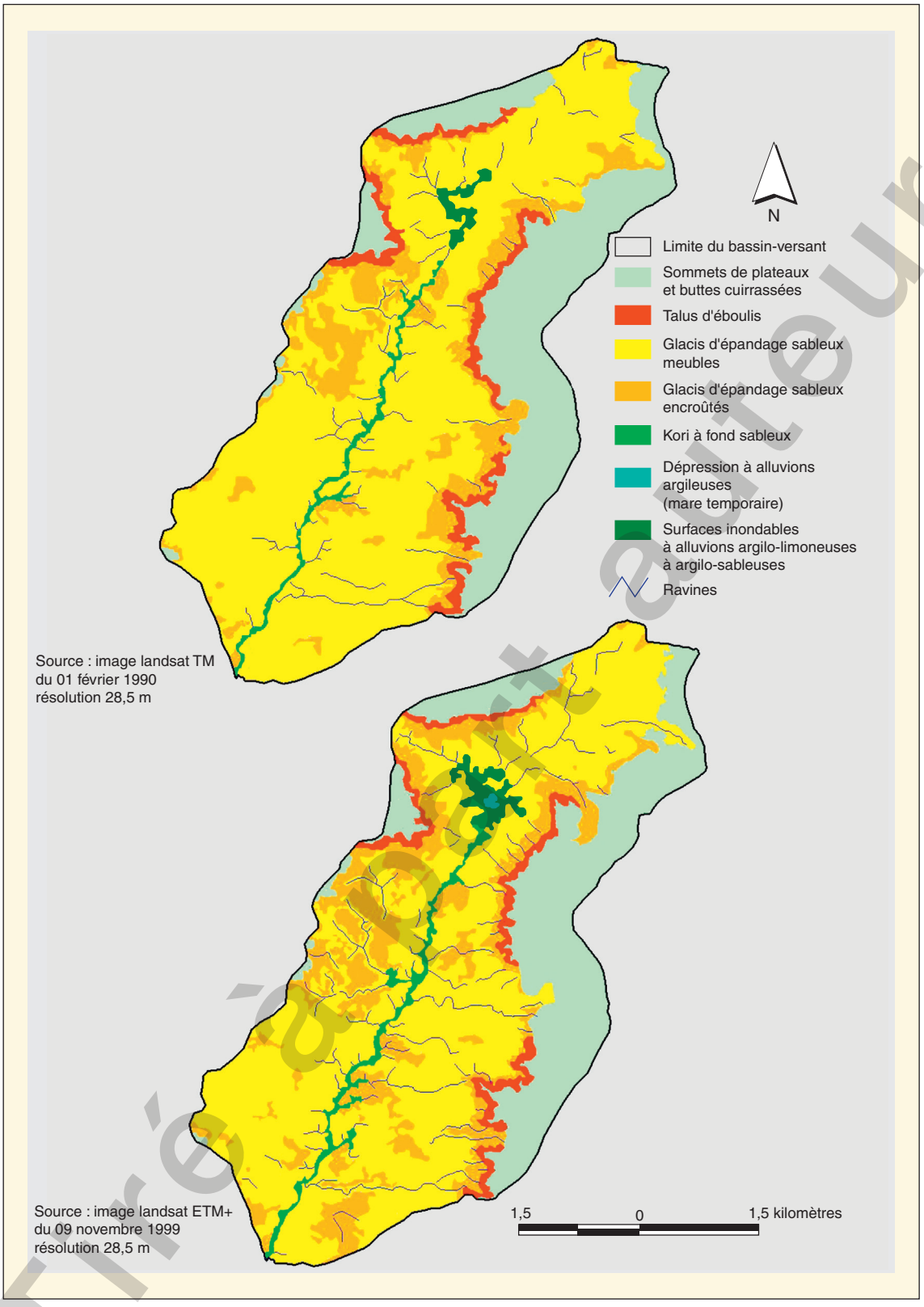


Figure 7. Carte des unités morphopédologiques du bassin-versant de Sama Dey en 1990 et 1999 (degré carré de Niamey).

Tirés à part auteur

© John Libbey Eurotext, 2011

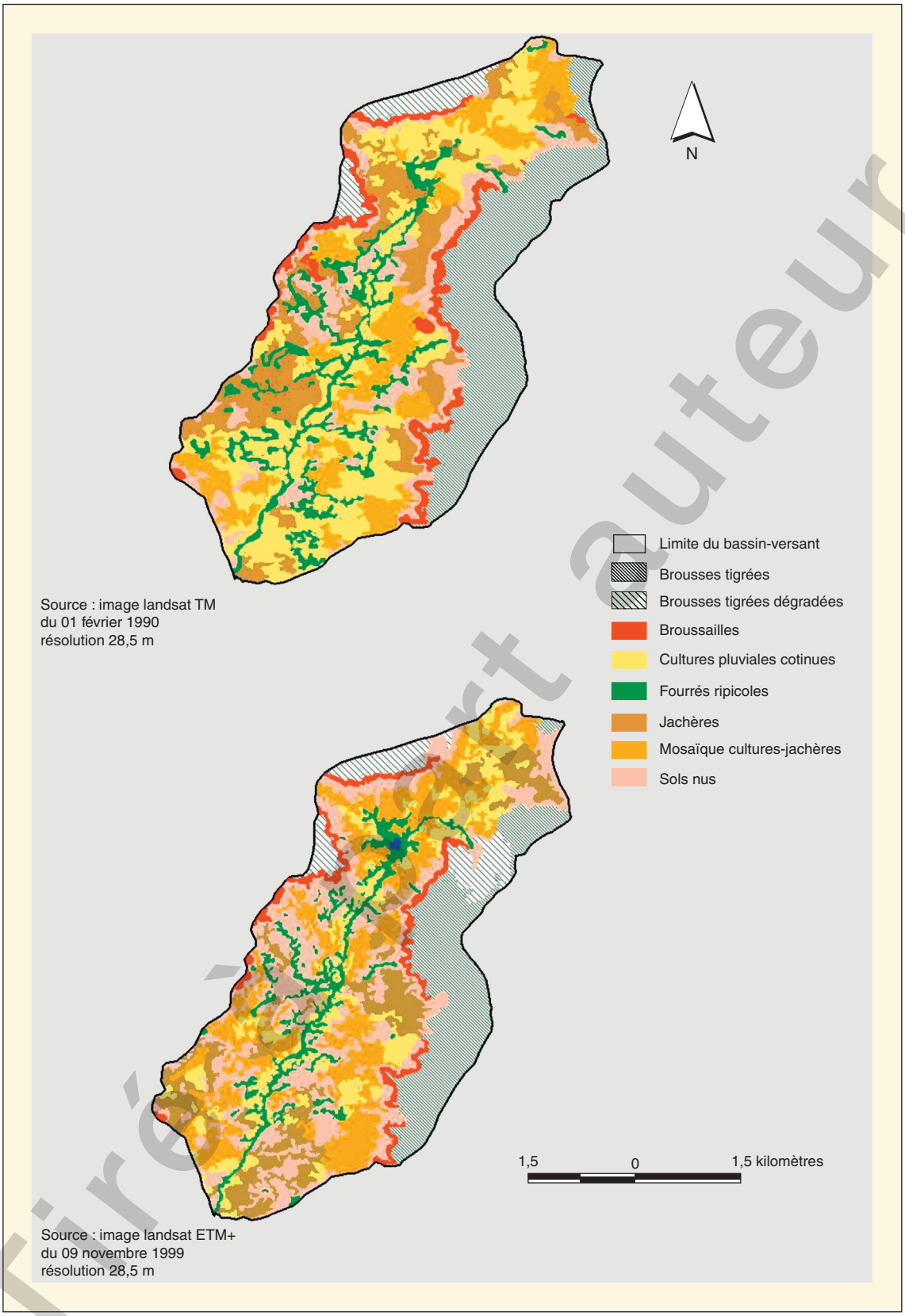


Figure 8. Carte d'occupation des sols du bassin-versant de Sama Dey en 1990 et 1999 (degré carré de Niamey).

Tirés à part auteur

© John Libbey Eurotext, 2011

Références

Ambouta JMK, 1994. *Étude des facteurs de formation d'une croûte d'érosion et de ses relations avec les propriétés internes d'un sol sableux fin*. Thèse Ph D, université Laval.

Ambouta JMK, 1999. Définition et caractérisation des structures de végétation contractée au Sahel : cas de la brousse tigrée nigérienne. In : D'Herbes JM et al., eds. *Fonctionnement et gestion des écosystèmes contractés sahéliens*. Montrouge (France) : John Libbey Eurotext.

Bouzou MI, 2006. Impacts irréversibles sur l'environnement des pluies exceptionnelles au Niger. *Annales de l'Université Abdou Moumouni* VIII-B : 81-93.

Bouzou MI, Faran MO, Ambouta KJM, Sarr B, Descroix L, Adamou MM, 2009. Les conséquences géomorphologiques de l'occupation du sol et des changements climatiques dans un bassin-versant rural sahélien. *Sécheresse* 20 : 145-52. doi : 10.1684/sec.2009.0163.

Casenave A, Valentin C, 1989. *Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration*. Paris : Orstom editions.

Casenave A, Valentin C, 1992. A runoff capability classification based on surface features criteria in semiarid areas of west Africa. *Journal of Hydrology* 130 : 231-49.

Chinen T, 1999. Recent accelerated gully erosion and its effects in dry savanna, southwest of Niger. In : Hori N, ed. *Human response to drastic change of environments in Africa I*. Tokyo : Tokyo Metropolitan University.

Courault D, D'Herbes JM, Valentin C, 1991. *Le bassin-versant de Sama Dey. Premières observations pédologiques et phytoécologiques*. Bondy : Laboratoire d'Informatique Appliquée, Unité de Télédétection, Centre Orstom.

Desconnets JC, Galle S, Leduc C, Peugeot C, 1996. Les processus de redistribution des eaux en région sahélienne : l'hydrologie dans l'expérience Hapex-Sahel. In : *L'hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement*. Actes de la conférence de Paris, mai 1995. IAHS Publ. n° 238.

Desconnets JC, Taupin JD, Lebel T, Leduc C, 1997. Hydrology of HAPEX-Sahel Central Super-Site: surface water drainage and aquifer recharge through the pool systems. *Journal of Hydrology* (188-189) : 155-78.

Esteves M, Rajot JL, 1999. Un exemple de cartographie de l'aptitude au ruissellement en région sahélienne : Sama Dey, Niger. *Hydrological Sciences-Journal des Sciences Hydrologiques* 44 : 296-310.

Faran MO, Bouzou MI, Abdou BA, 2008. L'évolution actuelle de la dynamique de l'érosion dans un petit basin versant du Niger, Ganguel à la périphérie oust de Niamey. *Rev Sc Env Univ (Lomé, Togo)* (4) : 109-32.

Favreau G, Cappelaere B, Massuel S, Leblanc MJ, Boucher M., Boulain N, *et al.*, 2009. Land clearing, climate variability, and water resources increase in semiarid southwest Niger: A review. *Water Resources Research* 45. W00A16. doi: 10.1029/2007 WR006785.

Gorse J, 1985. La désertification dans les zones sahélienne et soudanienne en Afrique de l'Ouest. *Unasylva Revue internationale des forêts et des industries forestières* 37 (150) www.fao.org.

Greigert J, 1966. *Description des formations crétacées et tertiaires du bassin des Iullemmeden (Afrique occidentale)*. République du Niger, Ministère des travaux publics, des transports, des mines et de l'urbanisme, Direction des mines et de la géologie, Publications N° 2. Niamey : éditions du BRGM.

Heusch B, 1970. L'érosion du Pré-Rif. Une étude quantitative de l'érosion hydraulique dans les collines marneuses du Pré-Rif Occidental. *Annales de la Recherche Forestière au Maroc* 12 (NS études sur l'érosion) : 9-176.

Leblanc MJ, Favreau G, Massuel S, Tweed SO, Loireau M, Cappelaere B, 2008. Land clearance and hydrological change in the Sahel : SW Niger. *ScienceDirect, Global and Planetary Change* 61 : 135-50.

Massuel S, Favreau G, Descloîtres M, Le Troquer Y, Albouy Y, Cappelaere B, 2006. Deep infiltration through a sandy alluvial fan in semi-arid Niger inferred from electrical conductivity survey, vadose zone chemistry and hydrological modelling. *Catena* (67) : 105-18.

Mietton M, 1980. *Recherches géomorphologiques au sud de la Haute-Volta. La dynamique actuelle dans la région de Po-Tiélébé*. Thèse de 3e cycle, Grenoble I, UER de Géographie.

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre la Désertification (République du Niger), 2001. *Nomenclature pour la construction de bases de données sur l'occupation des sols au Niger au sud du 16e parallèle*. Niamey : ministère de l'Environnement et de la Lutte contre la Désertification.

Ministère de l'Environnement ; Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation, 1996. *Les « coulées de boue » liées à l'érosion des terres agricoles. Dossier national*. Document général. Orléans ; Meudon ; Paris : Inra SESCPF ; CNRS, Laboratoire de Géographie Physique ; ADEPRINA.(version provisoire).

Montier C, Daroussin J, King D, 1998. *Cartographie de l'aléa « érosion des sols » en France*. Collection Etudes et Travaux n° 18. Orléans : Inra ; IFEN.

Peugeot C, Esteves M, Galle S, Rajot JL, Vandervaere JP, 1997. Runoff generation processes: results and analysis of field data collected at the East Central Supersite of the HAPEX-Sahel experiment. *Journal of Hydrology* (188-189) : 179-202.

Roose E, 1981. *Dynamique actuelle des sols ferralitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. Etude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétations naturelles cultivées*. Travaux et documents de l'Orstom, n° 130. Paris : Orstom éditions.

Roose E, 1999. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bulletin Pédologique de la FAO* (70).

Séguis L, Cappelaere B, Milési G, Peugeot C, Massuel S, Favreau G, 2004. Simulated impacts of climate change and land-clearing on runoff from a small sahelian catchment. *Hydrological Processes* 18 : 3401-13.

Wischmeier WN, Smith DD, 1958. Rainfall energy and its relation slup to soil loss. *Trans Amer Geography Uni* 39 : 285-91.

Tiré à part auteur

© John Libbey Eurotext, 2011