



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Bouzou Moussa Ibrahim,

Université Abdou Moumouni de Niamey, Niamey (Niger)

Malam Abdou Moussa,

Université de Zinder Niger

Ingatan Warzagan Aghali,

Boubacar Na-Allah Abdoulaye ,

Bahari Ibrahim Mahamadou,

Faran Maiga Oumarou,

Université Abdou Moumouni de Niamey Niger

Mamadou Ibrahim,

Abba Bachir,

Université de Zinder Niger

Descroix Luc,

IRD, UMR 208 PALOC MNHN/IRD, Patrimoines Locaux et Gouvernance, Paris cedex

Le Breton Eric,

Laboratoire de Géographie Physique, Meudon Cedex France.

Vandervaere Jean-Pierre,

Université de Grenoble Alpes, CNRS, IRD, Grenoble INP, Grenoble France

Dynamique Hydro-Erosive Actuelle Des Bassins Versants Endoreiques De La Region De Niamey (Sud-Ouest Du Niger)

Résumé

La généralisation du ravinement et la baisse de la productivité des terres sont quelques-unes des principales contraintes qui assaillent l'utilisation des sols au Sahel. Pour gérer efficacement ces sols, une évaluation des processus hydro-érosifs est nécessaire. Ce travail a ainsi pour objectif d'analyser la dynamique hydro-érosive sur un site expérimental installé depuis 2004 dans la région de Niamey (Niger). Sur ce site, le dispositif de mesure est composé de huit parcelles de mesures de ruissellement et d'érosion, des stations hydrométriques à l'exutoire des deux bassins versants endoreiques et de plusieurs piquets destinés aux suivis morpho-dynamiques des ravines. Après une décennie d'observation, les ruissellements mesurés sur les parcelles se caractérisent par une dynamique saisonnière croissante sur les surfaces encroûtées (croûtes biologique et d'érosion) et décroissante sur les surfaces cultivées. Le coefficient de ruissellement varie de 5 % sur la surface cultivée à 58 % sur la croûte d'érosion. Au cours des 10 années de mesure, ce coefficient a connu une forte croissance en particulier sur la jachère (+ 80 %) et sur la surface cultivée (+ 300 %), traduisant ainsi la dégradation des sols. A l'échelle des bassins versants, l'augmentation du coefficient de ruissellement s'accompagne d'une érosion aréolaire qui décape le sol à une vitesse moyenne de 5 mm/an et d'une érosion linéaire active, de l'ordre de 4 m³/an au niveau des ravines suivies. Les transferts sédimentaires qui en résultent agissent sur le fonctionnement morpho-sédimentaire des cours d'eau. Des aménagements antiérosifs sont nécessaires pour dissiper les processus

Submitted: 25 July 2020

Accepted: 30 September 2020

Published: 30 November 2020

Corresponding author:

Moussa Malam Abdou

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p149](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p149)



Copyright 2020 Pradhan et al.
Distributed under Creative Commons
BY-NC-ND 4.0 OPEN ACCESS

Cite as:

Ibrahim B, Moussa M, Aghali, I, Abdoulaye B, Mahamadou B, Oumarou F, Ibrahim M, Bachir A, Descroix L, Eric L, Vandervaere J, (2020). Dynamique Hydro-Erosive Actuelle Des Bassins Versants Endoreiques De La Region De Niamey (Sud-Ouest Du Niger). *European Scientific Journal, ESJ*, 16 (33), 149.

<https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p149>

hydro-érosifs et préserver les services
écosystémiques des sols des bassins.

Subject: Physical geography

Mots clés : Processus Hydro-Érosifs,
Ravinement, Érosion Aréolaire, Tondi
Kiboro, Sahel

Current Hydro-Erosive Dynamics Of The Endoreic Watersheds Of The Niamey Region (In The South-Western Region Of Niger Republic)

Bouzou Moussa Ibrahim,

Université Abdou Moumouni De Niamey, Niger

Malam Abdou Moussa,

Université De Zinder (Niger)

Ingatan Warzagan Aghali,

Université Abdou Moumouni De Niamey Niger

Boubacar Na-Allah Abdoulaye,

Bahari Ibrahim Mahamadou,

Faran Maiga Oumarou,

Université Abdou Moumouni De Niamey Niger

Mamadou Ibrahim,

Abba Bachir,

Université De Zinder (Niger)

Descroix Luc,

Ird, Umr 208 Paloc Mnhn/Ird, Patrimoines Locaux Et Gouvernance,

Le Breton Eric,

Laboratoire De Géographie Physique, Meudon Cedex France.

Vandervaere Jean-Pierre,

Université De Grenoble Alpes, Cnrs, Ird, Grenoble Inp, Ige, Grenoble France

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p149](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p149)

Abstract

Widespread gullying and the declining land productivity are some of the main constraints plaguing land use in the Sahel. In order to effectively manage these soils, it has become necessary to assess the hydro-erosive processes. The current study, thus, aims at analyzing the hydro-erosion dynamics on an experimental site installed since 2004 in the Niamey region (Niger Republic). On this site, the measurement device is made up of eight runoff and erosion measurement plots, hydrometric stations at the outlet of the two endorheic watersheds and several stakes intended for morpho-dynamic monitoring of the gullies. After a decade of observation, the runoff measured

on the plots is characterized by an increasing seasonal dynamic on encrusted surfaces (biological and erosion crusts) and a decreasing one on cultivated surfaces. The runoff coefficient varies from 5% on the cultivated area to 58% on the erosion crust. Over the 10 years of measurement, this coefficient has greatly increased, especially on the fallow (+ 80%) and on cultivated area (+ 300%); this increase consequently reflects soil degradation. At the watershed scale, the increase in the runoff coefficient is accompanied by area erosion (or the erosion of the area out of the basin) which strikes the soil at an average speed of 5 mm/year and active linear erosion measuring 4 m³/year as observed at the monitored (the ongoing investigated) gullies. The resulting sediment transfers act on the morpho-sedimentary functioning of rivers. Anti-erosion facilities are necessary to dissipate the hydro-erosive processes and preserve the ecosystem services of the soil in the basins

Keywords: Hydro-Erosive Process, Gullying, Area Erosion, Tondi Kiboro, The Sahel

1. Introduction

Depuis le début de la décennie 1970, le Sahel subit de profonds changements environnementaux qui se traduisent entre autres par le processus de désertification (Hountondji, 2008 ; Ozer et al., 2010) et une accélération des dynamiques hydro-érosives (Roose & Noni, 2004 ; Bouzou Moussa, 2006). Ces changements, liés à l'anthropisation et au changement climatique, se caractérisent par une diminution globale des couvertures végétales et par l'exposition des sols aux vents et aux pluies intenses, caractéristiques des zones sahéliennes (Panthou et al., 2014 ; Descroix et al., 2015). La dégradation des sols qui a résulté est marquée par le changement des propriétés physico-chimiques des sols (Ribolzi et al., 2000 ; Avakoudjo et al., 2015) et par l'accélération de ravinement (Valentin et al., 2005 ; Mamadou, 2012 ; Kombo-Kissangou et al., 2018). Les travaux effectués dans l'Ouest du Niger ont, par exemple, mis en évidence une multiplication du ravinement d'un facteur de 2 à plus de 5 en moins d'une génération (Leblanc et al., 2008 ; Bouzou Moussa et al., 2009 ; Malam Abdou, 2016) et des pertes de terre agricole de 2 à plus de 50 t/ha/an selon les états de surface (Ousseini, 2002 ; Bouzou Moussa et al., 2011 ; Abba, 2012 ; Collinet et al., 2013). L'augmentation du ravinement et de l'érosion des sols résultent de la dégradation physique des sols et de l'érosivité croissante des pluies depuis la décennie 1990. En effet, l'encroûtement superficiel (croûte d'érosion singulièrement) des sols amenuise progressivement les espaces agricoles (Leblanc et al., 2008 ; Malam Issa et al., 2009 ; Amogu et al., 2015) dans un contexte de forte demande en terre cultivable engendrée par la pression démographique. Certains auteurs parlent même de « crise érosive » dont la tendance est assez bien corrélée à

celle de l'évolution de l'occupation des sols (Bouzou Moussa et al., 2009 ; Souley Yero, 2012 ; Bahari Ibrahim, 2013). Cette étude est de ce fait réalisée afin d'analyser la dynamique hydro-érosive actuelle des petits bassins versants endoréiques de l'Ouest nigérien. Elle est conduite dans le cadre de l'Observatoire AMMA-CATCH (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine – Couplage Atmosphère Tropicale et Cycle hydrologique) dans la perspective de l'amélioration des connaissances sur les dynamiques hydrologiques et érosives du milieu sahélien.

2. Matériel et méthode

2.1. Site de l'étude

Ce travail est réalisé sur le site expérimental de Tondi Kiboro, situé à environ 70 km à l'Est de Niamey. Ce site est composé de deux bassins versants expérimentaux (Figure 1) représentatifs des caractéristiques géomorphologiques de l'Ouest du Niger. Les grès argileux du Continental terminal et les dunes quaternaires qui les recouvrent superficiellement constituent les principales formations géologiques. On y distingue cinq unités paysagères. Les revers de plateaux et buttes recouverts d'une cuirasse ferrugineuse démantelée, les talus d'éboulis recouverts de broussailles, les jupes sableuses ou placages éoliens des versants, les glacis sablo-limoneux, portant des champs de mil et des jachères et enfin le bas-fond.

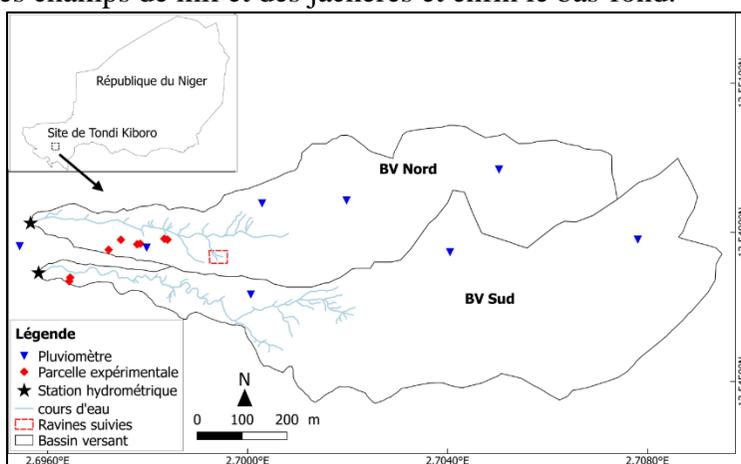


Figure 1. Situation et dispositif expérimental du site d'étude

Le climat est de type sahélien semi-aride caractérisé par une courte saison pluvieuse allant de mai-juin à octobre (Figure 2). La dynamique hydro-érosive s'observe intégralement durant cette période. Le reste de l'année est sec et dominé par des morphogenèses éoliennes causées par le vent. Entre 1960-2015 la pluviosité moyenne (540 ± 129 mm) a été fortement variable. En effet, l'application du test de Pettitt a décelé une rupture significative (au seuil de 5 %) qui est intervenue en 1968. Cette rupture, négative, marque le

début des sécheresses et se traduit par une baisse de l'ordre de 150 mm du cumul annuel total des pluies, par rapport à la moyenne de la période humide précédente. A partir de la décennie 1990, on assiste à une nouvelle tendance caractérisée par l'alternance rapprochée d'années humides et d'années sèches (Malam Abdou et al., 2016).

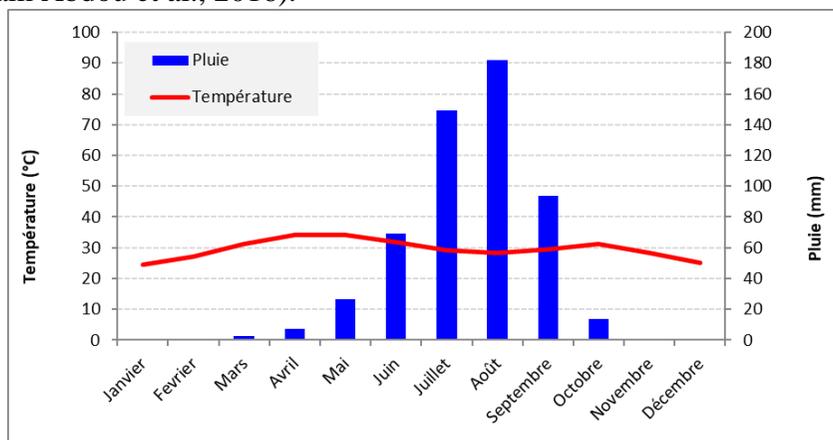


Figure 2. Diagramme ombrothermique de Niamey
Les pluies et températures correspondent aux moyennes de la période de 1960-2015.

L'étude de la dynamique hydro-érosive a été réalisée à l'aide d'un dispositif expérimental. Les observations ont débuté en 2004 et ont été effectuées à deux échelles spatiales : surface élémentaire et bassin versant.

2.2. Mesures du ruissellement et de l'érosion à l'échelle élémentaire

Le dispositif de mesure du ruissellement et de l'érosion en nappe composé de quatre paires de parcelles de dix mètres carrés (5m*2m) chacune a été mis en place sur deux états de surface et deux types d'occupation des sols caractérisant le site d'étude. Ces types de surface sont : la croûte biologique (Biol), la croûte d'érosion (ERO), la jachère (Jac) et la surface cultivée (Cult.). Les parcelles de mesure sont munies en aval des tonneaux (200 litres) qui permettent de collecter les eaux ruisselées et donc de déterminer le coefficient de ruissellement (Kr) par (Equation 1) :

$$Kr = \frac{Lr}{P} \quad [1]$$

où Lr (mm) est la lame ruisselée moyenne des deux parcelles d'un état de surface sur l'ensemble de la période d'étude et P (mm), la hauteur de la pluie correspondante. Celle-ci est déterminée grâce à un réseau de huit (8) pluviomètres à lecture directe installés sur le site.

Pour déterminer l'érosion spécifique, on prélève deux échantillons par événement pluvieux et par parcelle afin de déterminer concentration de la charge sédimentaire après séchage à l'étuve à 105°C pendant 48 heures. Le

taux d'érosion par parcelle s'obtient en intégrant la concentration de sédiments sur le volume d'eau ruisselé.

2.3. Mesures du ruissellement et de l'érosion régressive

La dynamique est déterminée par l'instrumentation des deux bassins versants dont les caractéristiques sont présentées dans le Tableau 1. Les exutoires de ces bassins sont équipés de stations hydrométriques qui fournissent les hauteurs d'eau qui transitent par unité de temps lors des événements pluvieux. Ces hauteurs d'eau sont ensuite converties en débit grâce aux courbes de tarage respectives des stations (Malam Abdou, 2014). Les volumes ruisselés sont obtenus par l'intégration des débits sur la durée des écoulements.

Tableau 1. Mesure et caractéristiques morpho-métriques des bassins étudiés

Variable	BV Nord	BV Sud
Périmètre (m)	3080	3860
Surface (ha)	23.4	34.7
Pente moyenne (%)	2.6	1.5
Indice de compacité de Gravelius	1.8	1.8
Densité de drainage (km/km ²)	7.8	5.1
Nombre de pluies suivies	315	162

Sur le versant, la dynamique érosive est appréhendée par l'étude de l'érosion régressive. Deux ravines d'ordre 1 (Figure 1), situées sur le versant ont été suivies à l'aide des piquets repères durant trois années (2006 à 2008). L'érosion régressive est mesurée après chaque pluie.

3. Résultats

3.1. Dynamique hydro-érosive des types de surface

Le Tableau 2 récapitule le nombre d'événements échantillonnés et les coefficients de ruissellement moyens obtenus pour la période 2005 - 2014.

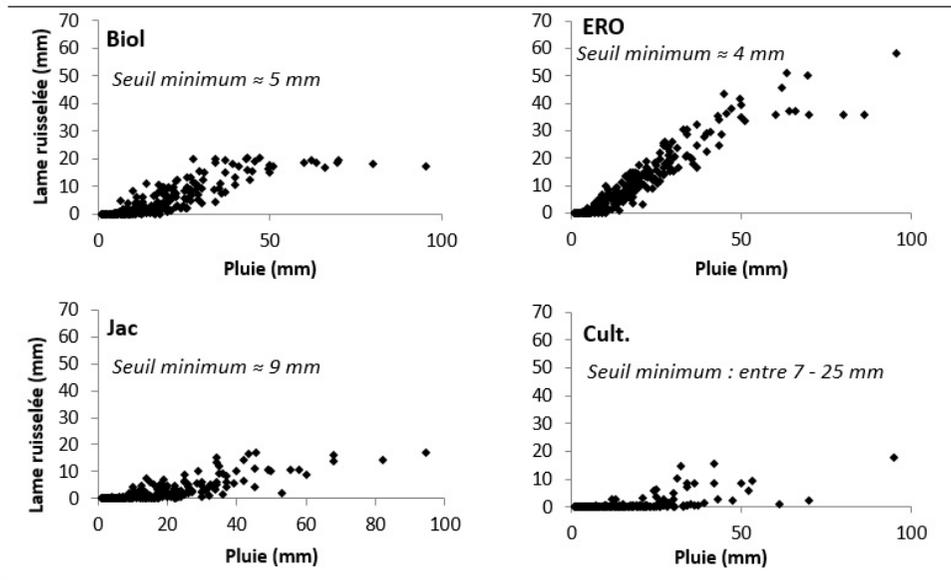
Tableau 2. Coefficients de ruissellement moyen et maximum par type de surface

Type de surface	Nombre d'événements	Coefficient de ruissellement moyen	Coefficient de ruissellement maximum événementiel
Biol	233	0.26 (\pm 0.01)	0.83
ERO	253	0.58 (\pm 0.03)	0.99
Jac	232	0.14 (\pm 0.01)	0.54
Cult	219	0.05 (\pm 0.01)	0.46

NB. Le nombre entre parenthèse indique l'écart type entre les parcelles d'un même état de surface.

Les faibles valeurs d'écart type traduisent la faible variation spatiale du coefficient de ruissellement pour un état de surface donné.

L'analyse des données événementielles (Figure 3) fait ressortir un effet de seuil. En effet, le ruissellement ne se déclenche pas à la même



hauteur de pluie sur toutes les surfaces. Les nombreux points alignés sur l'axe des abscisses, nettement observés sur les surfaces en jachère (Jac) et cultivée, indiquent l'absence de ruissellement.

Figure 3. Distribution des pluies et lames ruisselées par état de surface

Le seuil de déclenchement de ruissellement va de 4 mm sur la croûte ERO à plus de 20 mm sur la surface cultivée. Ces seuils ont été déterminés en discriminant les lames ruisselées en fonction des pluies. Ils correspondent à la hauteur des pluies minimales ayant généré du ruissellement. Sur la surface cultivée, la large gamme du seuil de production de ruissellement s'explique par l'effet du sarclage qui inhibe le ruissellement lorsqu'il est fraîchement réalisé. Mais cet effet s'estompe progressivement quand la surface sarclée reçoit des pluies. Par ailleurs, la dispersion des points est plus importante sur les surfaces Biol, en jachère et cultivée. Donc, à hauteur de pluie égale, le ruissellement produit varie d'un événement à l'autre pour des raisons plus ou moins spécifiques à chaque surface (développement de la couverture herbacée sur la parcelle, sarclage...). La dispersion est moins importante sur la croûte ERO dont l'état varie très peu dans le temps. Sur celle-ci, la variation de la production est davantage liée aux caractéristiques des pluies (hauteur, intensité) ou de l'humidité initiale que de l'état de la croûte elle-même. L'analyse des coefficients mensuels de ruissellement met en évidence deux types de dynamiques (Figure 4).

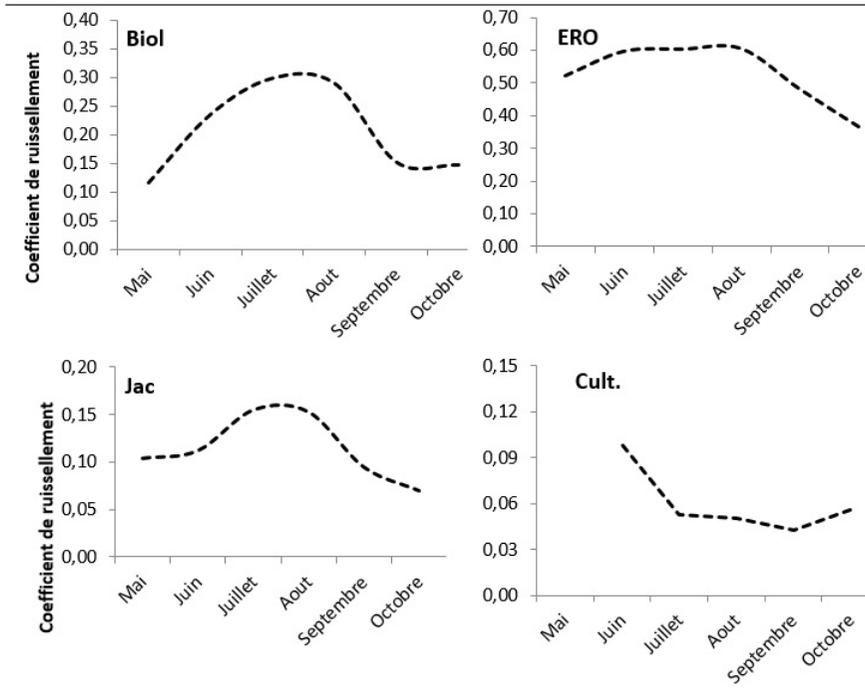


Figure 4. Dynamique saisonnière de ruissellement par état de surface

Le premier type décrit une croissance du coefficient de ruissellement entre les mois de mai et août, puis une décroissance au cours des autres mois de la saison. Cette dynamique est très caractéristique des surfaces biologiques et de la jachère sur lesquelles les premières pluies de la saison génèrent peu de ruissellement. L'encroûtement progressif des dépôts sableux par des pluies intenses successives engendre l'accroissement du ruissellement qui atteint son maximum en juillet ou août. Inversement, l'abondance des pluies au cours de ces derniers mois entraînent le développement d'un tapis herbacé important dont l'influence sur le ruissellement s'observe en septembre et octobre, qui se caractérise par une baisse de celui-ci. Ce type de dynamique s'observe aussi sur la croûte d'érosion mais à moindre mesure puisque le coefficient de ruissellement reste plutôt constant durant les trois principaux mois de la saison des pluies.

Le deuxième type se caractérise quant à lui par une décroissance de ruissellement du mai à août puis par une croissance en septembre. Elle est typique des surfaces cultivées. Les plus faibles valeurs de ruissellement s'observent en milieu de saison et s'expliquent par les opérations de sarclages qui interviennent généralement en juillet et en août. Sur le site d'étude, le 1^{er} sarclage est souvent (huit années sur les dix suivies) réalisé au cours de la deuxième quinzaine de juillet tandis que le 2^{ème} sarclage intervient en août. Les opérations de sarclages consistent à remanier la surface du sol sur une

dizaine de cm. Elles permettent ainsi de casser les croûtes superficielles et d'accroître l'infiltration de l'eau. Les pluies qui interviennent après le sarclage génèrent relativement peu de ruissellement.

A l'échelle interannuelle, le coefficient de ruissellement est très variable mais tend globalement à croître au cours des dix années d'observation (Figure 5). Sur les surfaces encroûtées, les coefficients de ruissellement ont varié de 20 à 34 % sur Biol et de 53 à 64 % sur ERO. L'augmentation est plus spectaculaire sur la jachère et la surface cultivée comme les montrent les coefficients directeurs de leurs droites de régression. Cette augmentation traduit l'intensité de dégradation de ces surfaces par encroûtement.

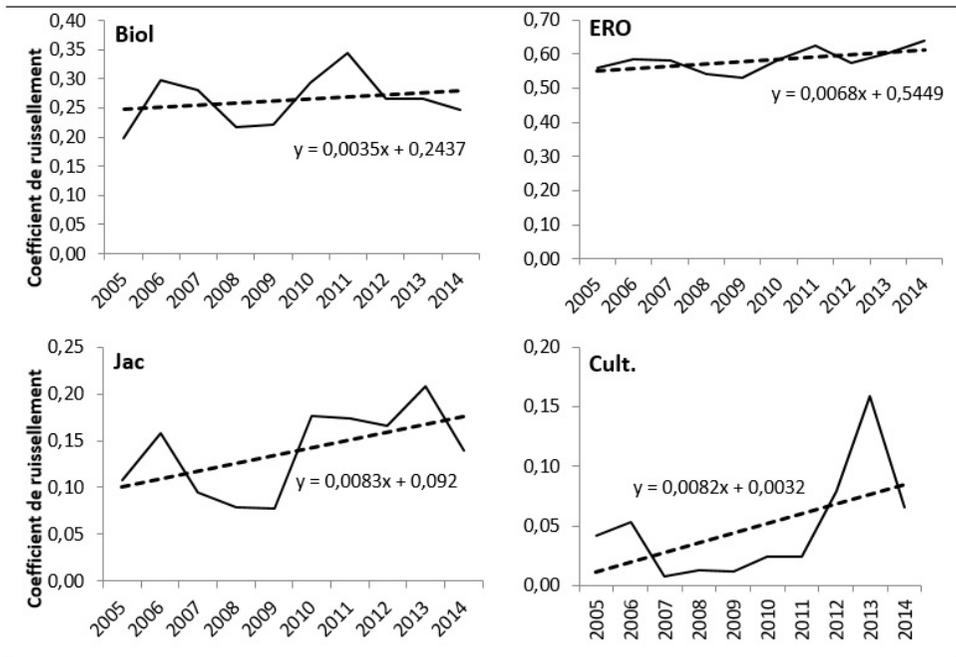


Figure 5. Evolution interannuelle du coefficient de ruissellement mesuré sur les parcelles

Par ailleurs, le processus de ruissellement s'accompagne de décapage et transfert des matériaux. Ainsi, sur chaque parcelle, l'épaisseur moyenne de sol décapé renseigne sur le transfert sédimentaire qui y est observé. La vitesse moyenne d'ablation (Tableau 3) est plus élevée sur la croûte d'érosion où chaque année, plus d'un centimètre de sol est perdu par décapage. Sur le versant, l'érosion transfère alors de dizaines de tonnes de sédiment vers l'aval où ils contribuent à l'ensablement dans les bas-fonds.

Tableau 3. Vitesse moyenne de l'érosion à l'échelle des parcelles durant la période d'étude

	Densité apparente (g/cm ³)	Erosion (kg/m ²)	Vitesse moyenne de décapage (mm/an)
Biol	1.74	5.5	3.2
ERO	1.74	25.5	14.7

Jac	1.69	2.4	1.4
Cult	1.62	0.8	0.5

3.2. Dynamique hydro-érosive à l'échelle de versants et des bassins versants

La distribution pluie-lame ruisselée (Figure 6) permet d'appréhender l'effet de seuil de production de ruissellement à cette échelle également. Ce seuil est d'environ 13 mm dans les deux bassins. Mais il arrive que des pluies de l'ordre de 20 mm ne déclenchent pas le ruissellement soit du fait des caractéristiques de la pluie (faible intensité par exemple) soit de l'état du sol (développement de la couverture herbacée par exemple). Ces caractéristiques justifient par ailleurs la dispersion des valeurs et particulièrement dans le bassin Sud.

Les coefficients de ruissellement moyens sont respectivement de 0.25 pour le bassin Nord et de 0.30 pour le bassin Sud. Le coefficient est plus élevé sur ce dernier du fait de ses surfaces contributives plus importantes. Il est en effet constitué à 73 % par le revers de plateau (contre 49 % pour le bassin Nord) couvert par un écosystème particulier, la brousse tigrée. Celle-ci est composée alternativement par des bandes nues et des bandes boisées disposées perpendiculairement au sens de l'écoulement. Les effets combinés des actions climatiques et anthropiques de ces quarante dernières années ont significativement réduit la proportion des bandes boisées au profit des surfaces nues et encroûtées (D'Herbès & Valentin, 1997), d'où l'importance des apports de ruissellement dans ce bassin.

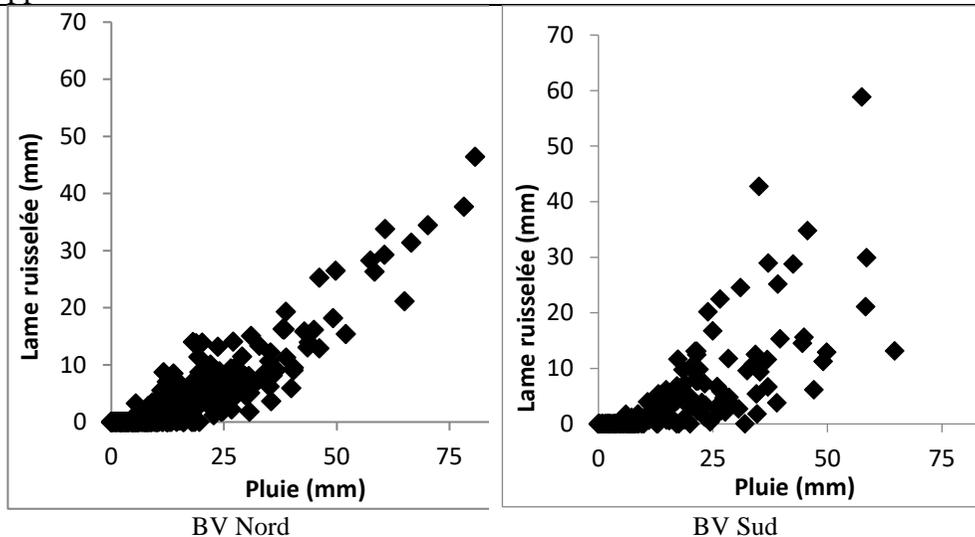


Figure 6. Distribution des pluies et lames ruisselées par bassin versant

Les coefficients de ruissellement moyens annuels sont très variables (Tableau 4). En plus des caractéristiques des bassins, la variabilité peut être liée aux effets d'aménagements antiérosifs réalisés localement dans les bassins (Ingatan Warzagan et al., 2019). L'évolution interannuelle est plutôt variable.

Tableau 4. Evolution interannuelle du coefficient de ruissellement

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
BV Nord	0.37	0.16	0.24	0.24	0.32	0.22	0.19	0.25	0.23	0.22	0.38
BV Sud						0.46	0.50	0.37	0.15	0.21	0.23

Source : travaux de terrain

A l'échelle de versant, l'analyse de l'érosion régressive montre une forte tendance à la dégradation. En effet, entre 2006 et 2008, chacune des deux ravines suivies s'est allongée de près de 12 m, soit une vitesse moyenne d'allongement de 4 m/an. L'extension du ravinement, par arborescence, constitue ainsi l'une des préoccupations actuelles de gestion de terres des versants cultivés. Ces derniers sont de plus en plus disséqués par des ravines d'ordre 1 ou par l'agrandissement des ravines d'ordre supérieur, ce qui a pour conséquence une diminution des terres cultivables. Outre l'allongement, le suivi dimensionnel des ravines a permis de déterminer respectivement la superficie et le volume creusés. La Figure 7 représente ces dimensions pour les deux ravines cumulées.

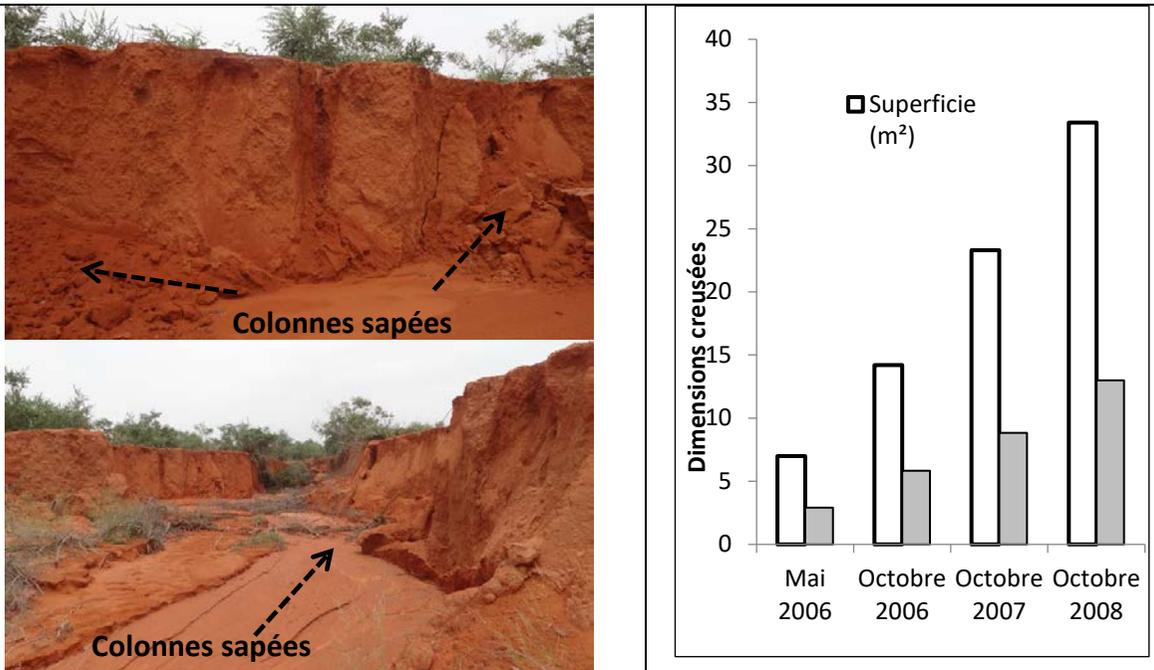


Figure 7. Effondrement de berges et évolution dimensionnelle (surface et volume) de deux ravines suivies entre 2006 et 2008

Par rapport à la situation de référence de mai 2006, la surface creusée a progressé de plus de 26 m². Cette superficie correspond alors à la perte en terre agricole causée par ces deux ravines en trois ans, soit plus de 8 m² par an. Quant au volume creusé, il est passé de 2.9 m³ à 13 m³, soit un transfert sédimentaire de l'ordre de 10 m³. L'apport sédimentaire est davantage accentué par des sapements occasionnels des berges sableuses des ravines comme les montrent les photos de la Figure (7). Les colonnes décapées alimentent ainsi les flux sédimentaires qui sont transportés par les eaux courantes vers l'exutoire du bassin. L'accumulation de ces sédiments forme un cône d'épandage qui s'élargit au fil des années (Figure 8) contribuant ainsi à la morphogénèse du versant et du bas-fond. Sur l'image de 2009 (Figure 8), on observe des lits de ravines anastomosés qui débouchent dans une dépression boisée représentant la zone d'accumulation. Sur l'image de 2016 en revanche, les lits sableux sont unifiés et prennent nettement la forme du cône d'épandage. Ce processus de formation de cône est très caractéristique des dynamiques hydro-érosives de la zone d'étude et décrit à lui seul l'intensité des changements observés dans l'augmentation du ruissellement et des taux d'érosion.

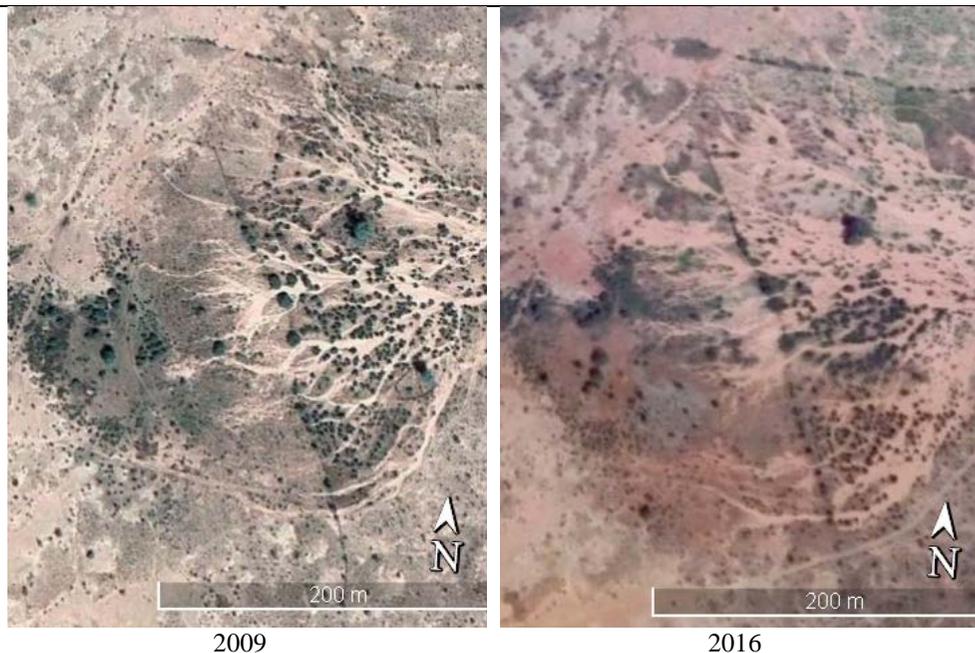


Figure 8. Formation du cône d'épandage à l'exutoire des bassins étudiés (images Google Earth)

4. Discussion

L'érosion hydrique est l'une des principales causes de dégradation des sols cultivés. Son impact sur l'environnement et sur la productivité des sols

est devenu l'une des préoccupations majeures (Auzet et al., 2002). Les résultats obtenus dans ce travail mettent en évidence une intense dynamique hydro-érosive résultant de l'augmentation des ruissellements tant à l'échelle des parcelles qu'à celle du bassin versant, ce qui est précédemment rapporté par plusieurs auteurs (Bouzou Moussa et al., 2009 ; Descroix et al., 2013 ; Amogu et al., 2015). Elle est consécutive à la modification des propriétés du sol engendrée par la disparition de la végétation durant les sécheresses sahéliennes des années 1970 à 1990 et qui est ensuite accélérée par le défrichement et la mise en culture des sols. Sur le versant étudié (Figure 9), la vitesse moyenne d'érosion (moyenne des vitesses d'ablation mesurée sur les parcelles des différents états de surface) est d'environ 5 mm/an, ce qui dépasse largement la moyenne mondiale d'ablation de 8 mm/1000 ans (Brabant, 2008). A cette vitesse, l'horizon humifère du sol peut être décapé en une génération comme l'ont si bien rapporté les travaux de FAO-PNUE (2000), Roose & Noni (2004). Cette ablation est par ailleurs accentuée par l'érosion linéaire qui sectionne le versant et entraîne la perte des surfaces agricoles. Le volume de sédiments qui s'accumulent à l'exutoire du bassin n'a pas fait l'objet de quantification dans cette étude. Néanmoins, son importance est qualitativement appréhendée par l'évolution du cône d'épandage qu'ils forment. Aussi, l'estimation de l'érosion par la méthode topographique faite par Gendre et al. (2011) sur le bassin de Wankama (situé à une dizaine de km au Nord des bassins d'étude) renseigne sur l'accumulation sédimentaire en bas de versant. Ces auteurs l'ont évalué à 186 tonnes/ha/an, soit une épaisseur d'accumulation d'environ 1cm/an dans l'exutoire du bassin. Cette valeur est plutôt moindre comparée au taux de 4cm/an obtenu par la datation radiocarbone d'un charbon issu d'une carotte extraite d'un bas-fond péri-urbain de Niamey (Abdourahamane Toure et al., 2010). Ainsi, la disproportion entre le taux de l'érosion et de celui de la formation de sol par altération conduit vers un déséquilibre (Brabant, 2008) dont les indicateurs manifestes sont la généralisation du ravinement (Leblanc et al., 2008 ; Mamadou, 2012) et de l'encroûtement (Graef & Stahr, 2000, Valentin *et al.*, 2004, Valentin, 2005).

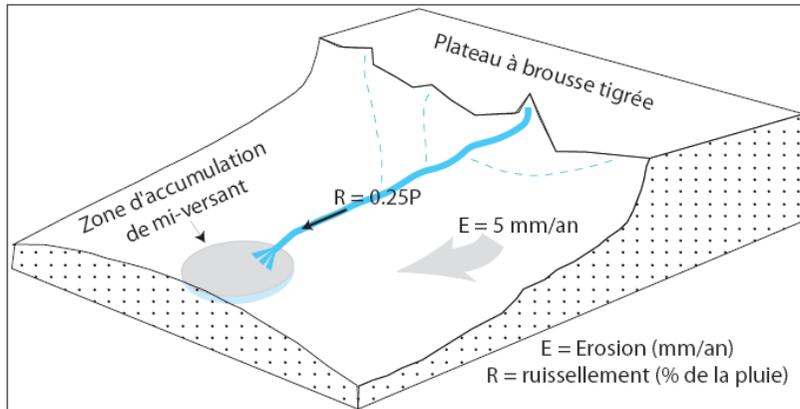


Figure 9. Bloc diagramme montrant les processus du ruissellement et de l'érosion sur le versant du bassin Nord

Si le décapage des sols constitue une contrainte, l'accumulation de ces derniers dans les exutoires situés à mi-versant peut présenter des externalités positives, qualifiées de bonnes érosions (Rossi, 1998), notamment l'épandage et l'infiltration des eaux qu'elles impliquent. Descroix et al. (2012) ont montré que l'épandage dissipe le ruissellement, ce qui entraîne du coup l'infiltration des eaux qui progresse à une vitesse de 1.3 m/h vers la nappe. Selon les années, le volume d'eau qui s'infiltré dans ces zones d'accumulation de mi-versant représente entre 5 et 16 % du volume de ruissellement annuel, soit entre 1000 et 25000 m³ (Massuel et al., 2006). Ce volume contribue très probablement à la recharge de la nappe phréatique, et donc à la constitution des réserves en eau souterraine.

Cependant, l'accumulation des sédiments entraîne la disparition des cuvettes de mi-versant qui sont remplacées progressivement par des cônes d'épandage. Lors des averses, ces cônes, qualifiés de signaux de connectivité (Cossart, Lissak, & Viel, 2017) peuvent désynchroniser le continuum hydro-sédimentaire en divers points des bassins en envahissant le lit des cours d'eau et en entravant les écoulements longitudinaux des principaux systèmes hydrographiques (Taous et al., 2004). C'est ce qui explique l'intensité des dynamiques morphogéniques et l'instabilité spatiale du lit des cours d'eau dans le secteur d'étude.

Conclusion

L'évaluation des processus hydro-érosifs et de leurs évolutions au cours des dix dernières années met en évidence une augmentation du ruissellement sur tous les états de surface de la zone d'étude. Cependant, les hausses les plus significatives ont été enregistrées sur les surfaces cultivées et en jachère. Ceci traduit leur dégradation par encroûtement et repose ainsi la problématique de gestion durable des terres cultivées eu égard à la croissance

démographique de la zone d'étude. A ce type de dégradation, s'adjoint par ailleurs l'érosion aréolaire qui décape le sol à une vitesse moyenne de 5 mm/an. Si des mesures correctives ne sont pas prises, les 20 premiers cm du sol se seront décapés en une génération. Ce temps serait encore moindre en tenant compte de l'érosion linéaire qui fait perdre au moins 8 m² de terres agricoles chaque année rien que par les deux ravines secondaire d'ordre 1 suivies. L'intensité de la dynamique hydro-érosive démontrée ici justifie l'urgence d'aménagement des bassins. Des techniques CES/DRS sont en expérimentation en vue de définir les mesures adéquates de protection et de restauration des sols des bassins.

Remerciements

Les données analysées dans cet article ont été collectées grâce au soutien du programme AMMA-CATCH (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine – Couplage Atmosphère Tropical et Cycle Hydrologique) que nous remercions vivement.

References:

1. Abba, B. (2012). *Changements d'usage des sols et érosion dans l'aire « ayi noma » à la périphérie du parc national du W du Niger*. Thèse de l'Université Abdou Moumouni de Niamey, Niamey.
2. Abdourahamane Toure, A., Guillon, R., Garba, Z., Rajot, J. L., Petit, C., Bichet, V., Sebag, D. (2010). Evolution des paysages Sahéliens au cours des six dernières décennies dans la région de Niamey : de la disparition de la brousse tigrée à l'encroutement de surface des sols. *Pangea*, (47/48), 35-40.
3. Amogu, O., Esteves, M., Vandervaere, J.-P., Abdou, M. M., Panthou, G., Rajot, J.-L., Descroix, L. (2015). Runoff evolution due to land-use change in a small Sahelian catchment. *Hydrological Sciences Journal*, 60(1), 78-95. <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.885654>
4. Auzet, A. V., Poesen, J., & Valentin, C. (Éds). (2002). Soil pattern as a key controlling factor of water erosion. *Catena*, 46(2-3), 85-220. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(01\)00159-X](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(01)00159-X)
5. Avakoudjo, J., Kouelo, A. F., Kindomihou, V., Ambouta, K., & Sinsin, B. (2015). Effet de l'érosion hydrique sur les caractéristiques physicochimiques du sol des zones d'érosion (dongas) dans la Commune de Karimama au Bénin. *Agronomie Africaine*, 27(2), 127-143.
6. Bahari Ibrahim, M. (2013). *Dynamique hydrogéomorphologique actuelle du kori Mountséka, centre sud Niger*. Université Abdou Moumouni de Niamey, Niamey.

7. Bouzou Moussa, I. (2006). Impacts irréversibles sur l'environnement des pluies exceptionnelles au Niger. *Annales de l'université Abdou Moumouni de Niamey*, VIII(B), 81-93.
8. Bouzou Moussa, I., Descroix, L., Faran Maiga, O., Gautier, E., Adamou, M. M., Esteves, M., ... Abba, B. (2011). Les changements d'usage des sols et leurs conséquences hydrogéomorphologiques sur un bassin-versant endoréique sahélien. *Science et changements planétaires / Sécheresse*, 22(1), 13-24. <https://doi.org/10.1684/sec.2011.0297>
9. Bouzou Moussa, I., Faran Maiga, O., Karimou Ambouta, J., Sarr, B., Descroix, L., & Adamou, M. M. (2009). Les conséquences géomorphologiques de l'occupation du sol et des changements climatiques dans un bassin-versant rural sahélien. *Sécheresse*, 20(1), 145-152. <https://doi.org/10.1684/sec.2009.0163>
10. Brabant, P. (2008). *Activités humaines et dégradation des terres*. Paris : IRD. Repéré à <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010045188>
11. Collinet, J., Leprun, J.-C., & Asseline, J. (2013). Comportements hydrodynamiques et érosifs de sols d'un transect ouest-africain : synthèse sur des données issues de la simulation de pluies. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 19(3), 311-334. <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.10319>
12. Cossart, E., Lissak, C., & Viel, V. (2017). La géomorphologie des bassins-versants sous l'angle de la connectivité : est-ce réinventer la roue ou changer de paradigme ? *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 23(vol. 23-n° 4), 281-287.
13. Descroix, L., Bouzou Moussa, I., Genthon, P., Sighomnou, D., Mahé, G., Mamadou, I., ... Olivry, J. C. (2013). Impact of drought and land - use changes on surface - water quality and quantity : the sahelian paradox. Dans P. M. Bradley (Éd.), *Current perspectives in contaminant hydrology and water resources sustainability* (pp. 243-271). Rijeka : Intech. Repéré à <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010058371>
14. Descroix, L., Diongue Niang, A., Panthou, G., Bodian, A., Sané, Y., Dacosta, H., ... Quantin, G. (2015). Evolution récente de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest à travers deux régions : la Sénégalie et Bassin du Niger Moyen. *Climatologie*, 12, 25-43.
15. Descroix, L., Laurent, J.-P., Vauclin, M., Amogu, O., Boubkraoui, S., Ibrahim, B., ... Boulain, N. (2012). Experimental evidence of deep infiltration under sandy flats and gullies in the Sahel. *Journal of Hydrology*, 424-425, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.11.019>

16. D'Herbès, J., & Valentin, C. (1997). Land surface conditions of the Niamey region: ecological and hydrological implications. *Journal of Hydrology*, 188–189, 18-42. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(96\)03153-8](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(96)03153-8)
17. FAO-PNUE. (2000). *Our land, our future : a new approach to land use planning and management*. [Rome]: Food and Agriculture Organization of the United Nations : United Nations Environment Programme. (Cover title."Text: Denis Sims/G. Thomas"--P. 48.).
18. Gendre, T., Ferhat, G., Hinderer, J., Favreau, G., Cappelaere, B., & Le Breton, E. (2011). Evaluation de l'érosion du site de Wankama (Niger) par comparaison de différents MNT. *Revue XYZ*, 129. Repéré à <https://univoak.eu/islandora/object/islandora%3A36358/>
19. Graef, F., & Stahr, K. (2000). Incidence of soil surface crust types in semi-arid Niger. *Soil and Tillage Research*, 55(3), 213-218. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(00\)00117-3](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(00)00117-3)
20. Hountondji, Y. C. (2008). *Dynamique environnementale en zones sahélienne et soudanienne de l'Afrique de l'Ouest : Analyse des modifications et évaluation de la dégradation du couvert végétal*. Université de Liège, Liège (Belgique).
21. Ingatan Warzagan, A., Bouzou Moussa, I., Vandervaere, J., Malam Abdou, M., & Faran Maiga, O. (2019). Reducing runoff by increasing landscaped areas. *Environmental and Water Sciences, public Health and Territorial Intelligence Journal*, 3(1), 36-46.
22. Kombo-Kissangou, R.-J., Sitou, L., & M'Bouka Milandou, I. (2018). Dynamique de l'érosion hydrique dans les quartiers Mansimou et Mayanga au sud de Brazzaville (Congo) : analyse de la perméabilité et de la texture des sols, cubage et cartographie des ravinements. *Revue Marocaine de Géomorphologie*, 0(2). Repéré à <https://revues.imist.ma/index.php?journal=Remageom&page=article&op=view&path%5B%5D=12923>
23. Leblanc, M. J., Favreau, G., Massuel, S., Tweed, S. O., Loireau, M., & Cappelaere, B. (2008). Land clearance and hydrological change in the Sahel: SW Niger. *Global and Planetary Change*, 61(3–4), 135-150. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.08.011>
24. Le-Breton, E. (2012). *Réponses hydrologiques et géomorphologiques aux changements environnementaux au Sahel nigérien*. Thèse de l'Université Abdou Moumouni de Niamey et de l'Université Paris 1, Niamey.
25. Malam Abdou, M. (2014). *Etats de surface et fonctionnement hydrodynamique multi-échelles des bassins sahéliens ; Etudes expérimentales en zones cristalline et sédimentaires*. Thèse de

- l'Université de Niamey et de l'Université de Grenoble. 268 pages + annexes.
26. Malam Abdou, M. (2016). Hausse des écoulements sur le bassin versant de Dargol : entre facteurs anthropiques et climatiques. *Revue de géographie de L'université de Ouagadougou (RGO)*, 2(5), 19-44.
 27. Malam Issa, O., Défarge, C., Trichet, J., Valentin, C., & Rajot, J. L. (2009). Microbiotic soil crusts in the Sahel of Western Niger and their influence on soil porosity and water dynamics. *CATENA*, 77(1), 48-55. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.12.013>
 28. Mamadou, I. (2012). *La dynamique accélérée des koris de la région de Niamey et ses conséquences sur l'ensablement du fleuve Niger*. Thèse de l'Université de Niamey et de l'Université Paris 1, Niamey-Niger.
 29. Massuel, S., Favreau, G., Descloitres, M., Le Troquer, Y., Albouy, Y., & Cappelaere, B. (2006). Deep infiltration through a sandy alluvial fan in semiarid Niger inferred from electrical conductivity survey, vadose zone chemistry and hydrological modelling. *CATENA*, 67(2), 105-118. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.02.009>
 30. Ousseini, I. (2002). Erosion et conservation des sols dans la vallée du Moyen Niger (République du Niger): interprétations préliminaires de mesures en parcelles et d'observations à l'échelle des petits et moyens bassins versants, pp. 38-70.
 31. Ozer, P., Hountondji, Y., Niang, A. J., Karimoune, S., Laminou Manzo, O., & Salmon, M. (2010). Désertification au Sahel: Historique et perspectives. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 54. Repéré à <http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/10347>
 32. Panthou, G., Vischel, T., & Lebel, T. (2014). Recent trends in the regime of extreme rainfall in the Central Sahel. *International Journal of Climatology*, 34, 3998-4006. <https://doi.org/10.1002/joc.3984>
 33. Ribolzi, O., Auque, L., Bariac, T., Casenave, A., Delhoume, J.-P., Gathelier, R., & Pot, V. (2000). Écoulements hypodermiques et transferts de solutés dans les placages éoliens du Sahel : étude par traçage isotopique et chimique sous pluies simulées. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science*, 330(1), 53-60. [https://doi.org/10.1016/S1251-8050\(00\)00101-4](https://doi.org/10.1016/S1251-8050(00)00101-4)
 34. Roose, É., & Noni, G. D. (2004). Recherches sur l'érosion hydrique en Afrique : revue et perspectives. *Science et changements planétaires / Sécheresse*, 15(1), 121-129.
 35. Rossi, G. (1998). Une relecture de l'érosion en milieu tropical. *Annales de Géographie*, 107(601), 318-329.

36. Souley Yero, K. (2012). *Evolution de l'occupation des sols dans l'Ouest du Niger : Influence sur le cycle de l'eau*. Thèse de l'Université Joseph Fourier - Grenoble 1, Grenoble.
37. Taous, A., Tribak, A., Laouane, M., & Akdim, B. (2004). Impacts des cônes latéraux sur le fonctionnement hydrodynamique et morphosédimentaire actuel des fonds de vallées préifaines : cas de l'Oued Larbâa (Maroc) / Impact of lateral fans on the current hydrodynamic and morphosedimentary characteristics of valley bottoms : the case of the Larbâa wadi (Morocco). *Revue de Géographie Alpine*, 92(1), 17-28. <https://doi.org/10.3406/rga.2004.2273>
38. Valentin, C. (2005). Surface crusts of semi-arid sandy soils : types, functions and management. Dans C. Hartmann, N. Chinabut, & Symposium on Management of Tropical Sandy Soils for Sustainable Agriculture : Session 4. Physical Properties of Tropical Sandy Soils, 1., Khon Kaen (THA), 2005/11/27-2005/12/02 (Éds), *Management of tropical sandy soils for sustainable agriculture : a holistic approach for sustainable development of problem soils in the tropics : proceedings* (pp. 182-188). Bangkok : FAO. Repéré à <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010066551>
39. Valentin, C., Poesen, J., & Li, Y. (2005). Gully erosion: Impacts, factors and control. *Catena*, 63(2-3 Special Iss.), 132-153. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.06.001>
40. Valentin, C., Rajot, J.-L., & Mitja, D. (2004). Responses of soil crusting, runoff and erosion to fallowing in the sub-humid and semi-arid regions of West Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 104(2), 287-302. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.035>