

IMPACTS DES AMÉNAGEMENTS ANTIÉROSIFS SUR LES RAVINEMENTS ISSUS DE DEUX PLATEAUX DU BASSIN VERSANT DE BOUBON AU NIGER

**Ramatou ALZOUMA SANDA¹, Ibrahim MAMADOU^{2*}
et Kadidiatou SOULEY YERO³**

¹ *Département de Géologie, Faculté des Sciences et Techniques, Université Abdou Moumouni, BP 10662, Niamey, Niger*

² *Département de Géographie, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université de Zinder, BP 656, Zinder, Niger*

³ *Département Information et Recherche, Centre régional AGRHYMET, Niamey, BP 11011, Niger*

* Correspondance, e-mail : imadou_ib@yahoo.fr

RÉSUMÉ

L'objectif de cette étude est de caractériser l'impact des ouvrages antiérosifs sur le ravinement des plateaux du bassin versant de Boubon. Ce bassin versant est constitué de trois formations géologiques : les formations du socle, les formations du bassin sédimentaire et les formations sableuses du Quaternaire. Le bassin versant de Boubon est situé dans la commune rurale de Karma à 25 km au Nord-Ouest de Niamey. Les outils utilisés pour réaliser cette étude sont les entretiens auprès des usagers du bassin et la cartographie diachronique de la dynamique d'occupation du sol du bassin versant et du ravinement. Les résultats illustrent une dégradation continue de la végétation du Bassin versant entre 2006 et 2013 et une légère augmentation de celle entre 2013 et 2017. Le réseau de ravines connaît une faible diminution sur le plateau 1 partiellement aménagé par des banquettes et du reboisement mais augmente significativement sur le plateau 2 qui totalement aménagé par des banquettes. Ces résultats illustrent que l'efficacité des ouvrages antiérosifs ne sont pas seulement fonction de l'importance des travaux effectués sur le plateau. Elle peut être liée, à la pente, à une combinaison de plusieurs techniques ou à l'état de dégradation du plateau avant l'aménagement.

Mots-clés : *Niger, Kori Boubon, ouvrages antiérosifs, ravinement, plateaux.*

ABSTRACT**Impacts of anti-erosive fixtures on the washouts from two plateaus of the basin slope area of Boubon in Niger**

This study aims at characterizing the impact of anti-erosive fixtures on the gully of the plateaus of the basin slope area of the Boubon Kori. This basin slope is made up of three geological formations: the base makeup (structure), formations of sedimentary basin, and the sandy formations of the Quaternary. The slope area of the Boubon Kori is located in the rural commune of Karma some 25 km Northwest of Niamey (Niger capital city). The tools used in this study are close talks with the users of the basin and a diachronic mapping of the occupation dynamics of the basin and the ravine network. The results show a continued degradation of the vegetation between 2006 and 2013 but a slight increase of the latter between 2013 and 2017. The ravine network witnesses a slight decrease on plateau 1 which is partially fixed with benches and reforestation but we observe a significant increase of this network on plateau 2 which is totally fixed with benches. In addition, the results reveal that the effectiveness of anti-erosive fixtures is not only linked to the importance of the works done on the plateau but is also related to the slope, the combination of many techniques, or the degradation state of the plateau before the implementation of the fixtures.

Keywords : *Niger, the Boubon kori, Anti-erosive works, Gully, plateau.*

I - INTRODUCTION

Au Sahel, depuis les années 1970, de nombreux travaux montrent que l'effet conjoint des variations climatiques et des activités humaines est à l'origine de la modification des comportements hydrodynamiques des états de surfaces des sols qui déterminent leur infiltrabilité et donc l'écoulement [1 - 3]. Aux aléas climatiques qui se traduisent par la baisse continue de la pluviométrie depuis ces années, une inégale répartition des pluies dans l'espace et dans le temps, des sécheresses répétitives, la disparition de nombreuses espèces animales et végétales entraînant une dégradation continue de l'environnement, s'ajoute une croissance démographique qui est l'une des plus importantes du monde [4]. Au Niger, la forte anthropisation des milieux a entraîné des phénomènes de dégradation des sols caractérisés par la disparition du couvert végétal, l'encroûtement des sols, la réduction de temps de jachères, etc. [5]. La combinaison de ces facteurs a pour conséquences l'augmentation du ruissellement et de l'érosion caractérisée par la multiplication des chenaux d'écoulement, la formation des cônes de déjection

et l'ensablement des mares et des bas-fonds [6]. Particulièrement sur les plateaux du bassin versant de Boubon, la brousse tigrée a donné place à des vastes espaces nus avec développement des états de surface de sol pourvoyeurs de très forts ruissellements telles que les croûtes d'érosion. Ces états de surface sont à faible capacité d'infiltration d'où des coefficients de ruissellement très forts [7]. [8] a mesuré des taux de conductivité hydraulique extrêmes bas sur ces croûtes d'érosion dans la partie ouest du Niger. Les ruissellements linéaires prennent naissance au pied des plateaux cuirassés (altitude comprise entre 240 à 250 m) de la région ouest du Niger [9]. Ainsi se développent de gigantesques ravins appelés koris. Ces koris, sont des cours d'eau à écoulements torrentiels qui se sont développés par rupture d'endoréisme au cours des trente dernières années [2]. Ce phénomène n'est pas sans effet sur les activités socio-économiques de la population dont le principal reste l'agriculture [10]. Face à cette situation de dégradation accélérée des terres et d'ensablement des cours d'eau, de nombreux ONG et organismes (ONG KARKARA, ABN PLCE, ...) travaillent dans les bassins versants des cours d'eau dans le but de réduire les impacts de l'érosion hydrique et éolienne et de restaurer les terres dégradées par diverses techniques (banquettes, reboisement, cordon pierreux, fixation des dunes). L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact des ouvrages antiérosifs sur la dynamique spatiale et temporelle du ravinement sur un plateau aménagé et un plateau partiellement aménagé du bassin versant de Boubon entre 2008 et 2016. Ce travail présente les résultats d'évaluation des travaux antiérosifs sur deux fenêtres du bassin versant de Boubon. Le choix de ce site se justifie par la réalisation de plusieurs types d'ouvrages antiérosifs dans le bassin versant entre 2008 et 2016 et l'existence des travaux de recherche [11, 2] antérieurs aux ouvrages, permettant une comparaison sur la dynamique du ravinement afin d'évaluer les impacts des aménagements réalisés

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

II-1. Site d'étude

Le bassin versant de Boubon se situe à 25 km au nord-ouest de la ville de Niamey. Il fait partie d'un ensemble de plusieurs petits bassins versant drainés par des koris exoréiques dans la région de Niamey et ses alentours (*Figure 1*). Le bassin versant couvre une superficie de 229 km² et est constitué de trois formations géologique : les formations du socle, les formations du bassin sédimentaire et enfin les formations détritiques du Quaternaire [12].

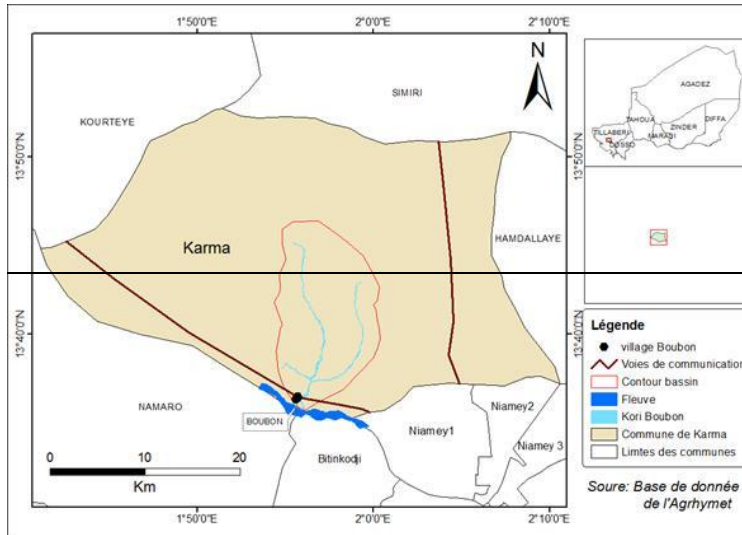


Figure 1 : Localisation du bassin versant de Boubon
 Source : Image Google Earth, 2016

Cette étude porte essentiellement sur deux plateaux situés l'un dans la partie médiane (Plateau P2) et l'autre situé dans la partie aval (Plateau P1) (**Figure 2**).



Figure 2 : Localisation des deux plateaux étudiés dans le Bassin versant de Boubon
 Source : Image Google earth, 2016

Il existe divers d'ouvrages de défense et restauration des eaux et de sols réalisés dans le bassin versant du kori Boubon entre 2008-2016 (*Figure 3*).

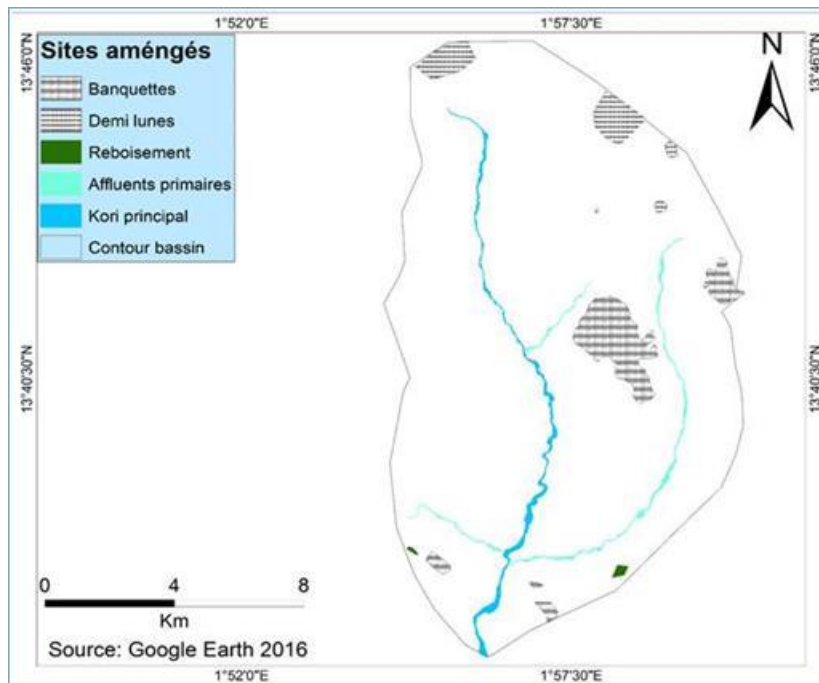


Figure 3 : Cartographie des types d'aménagements réalisés dans le bassin versant de Boubon entre 2008 et 2016

Le plateau P1 (*Figure 2*) a une superficie de 11,54 km² et est partiellement aménagé de banquettes antiérosives avec un reboisement d'espèces diverses d'acacia. Le plateau (P2) a une superficie de 15,49 km² et est totalement aménagé de banquettes antiérosives (*Figure 2*).

II-2. Données de la pluviométrie

Les données pluviométriques ont été obtenues auprès du centre de Recherche pour le Développement (IRD) de Niamey. Les pluies ont été mesurées à l'aide d'un pluviographe à auget puis sont portées sur Excel.

II-3. Analyse de l'occupation du sol

Le traitement des images a permis d'établir des cartes d'occupation des sols correspondant aux dates d'acquisition des images (2006, 2013 et 2017). Chaque résultat cartographique est accompagné d'un tableau statistique sur les superficies occupées par les différentes classes d'unités d'occupation du

sol de la date correspondante. Le calcul des superficies des unités d'occupation du sol et la comparaison des ces résultats permet d'avoir une idée sur l'évolution des unités d'occupation du sol et la dynamique globale du bassin versant de Boubon.

II-4 Cartographie des plateaux étudiés

Des images Google Earth de novembre 2008 et novembre 2016 ont été utilisées pour la cartographie du ravinement autour des deux plateaux étudiés. Pour le suivi de la végétation sur les plateaux étudiés, des images Landsat ont été utilisées. Ces images ont été portées sur Arcgis 10.4 pour la numérisation du réseau de ravinement et pour la cartographie de la végétation.

II-5. Mesure du ravinement au niveau des plateaux étudiés

La caractérisation du ravinement des plateaux a consisté à déterminer la densité et la connectivité du ravinement. La densité de drainage est le rapport entre la Longueur totale du ravinement et la superficie du plateau. La connectivité permet de déterminer l'évolution du nombre de connexion des différents chenaux d'écoulement entre 2008 et 2017.

III - RÉSULTATS

III-1. Analyse de l'évolution de la pluviométrie

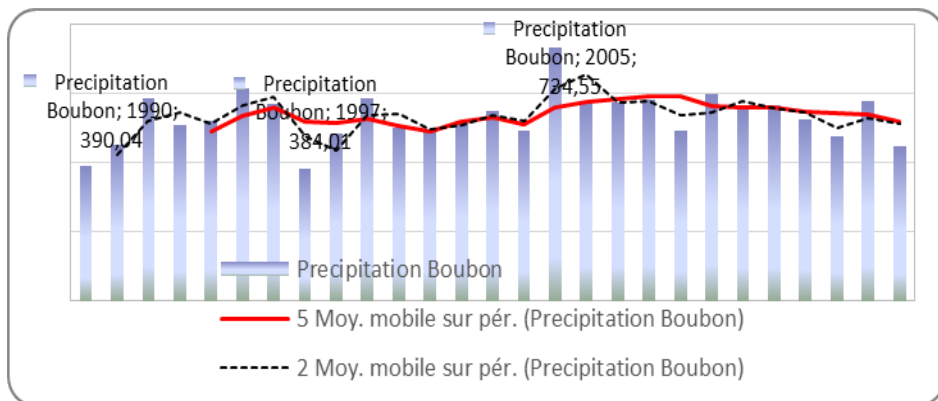


Figure 4 : Courbes des cumuls annuels des précipitations de Boubon entre 1990 et 2016

Source : Données station Boubon Golf fournies par IRD Niamey

L'analyse des courbes de précipitation (**Figure 4**) montre une inégale répartition des pluies dans le temps au niveau du bassin versant de Boubon. Les totaux des précipitations annuelles sont caractérisés par des fortes disparités. La moyenne des précipitations au cours de cette période est de 531,92 mm. Cette moyenne cache des disparités importantes car le maximum de précipitation est de 734,54 mm et le minimum atteint 384,01 mm.

Le régime pluvieux au niveau de Boubon est semblable à celui de l'Ouest nigérien dans son ensemble avec une durée de précipitation de 4 à 5 mois. L'analyse de la courbe de précipitation montre deux variations. Entre 1990 et 2004 ou le maximum de précipitation est de 613,82 mm et le minimum 384,01 mm (**Figure 4**). Le nombre de précipitation annuel inférieur à la moyenne au cours de cette période est plus élevée que celui de la période de 2005 à 2016 ou le maximum de précipitation atteint 734, 54 mm et le minimum est de 448,55 mm. La quantité des précipitations, leur intensité, leur durée et leur fréquence sont les paramètres qui expliquent la dynamique actuelle du bassin de Boubon.

III-2. Dynamique de l'occupation du sol

L'analyse de la carte d'occupation du sol de 2006 montre une très faible présence de la végétation sur les plateaux du bassin versant de Boubon. La superficie qu'elle occupe ne représente que 8,30 % de la superficie totale du bassin soit 1902,57 ha. La végétation rupicole est également faible, elle représente 1,61 % (**Figure 5**). En 2013, l'analyse de la carte d'occupation du sol et l'examen du tableau indiquent que seulement 4,28 % de la superficie du bassin sont occupés par la végétation sur les plateaux. La végétation rupicole occupe 1,52 %. Les sols nus et les surfaces agricoles occupent respectivement 51,60 et 39,16 % de la superficie du bassin en 2013 (**Figure 5**). Mais, en 2017 on observe une légère augmentation de la végétation mais elle reste faible et représente 8,12 % (**Figure 5**).

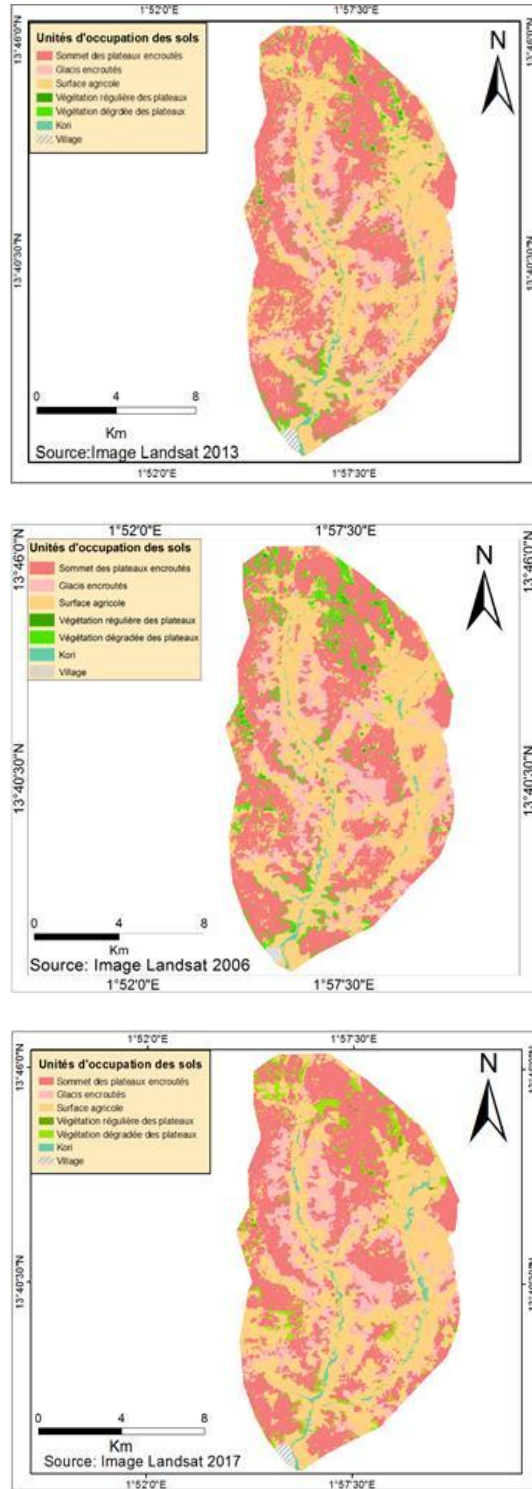


Figure 5 : Occupation du sol du bassin versant de Boubon en 2006, 2013 et 2017

La dynamique de l'occupation du sol du bassin versant de Boubon entre 2006, 2013 et 2017 est représentée graphiquement par la **Figure 6** ci-dessous.

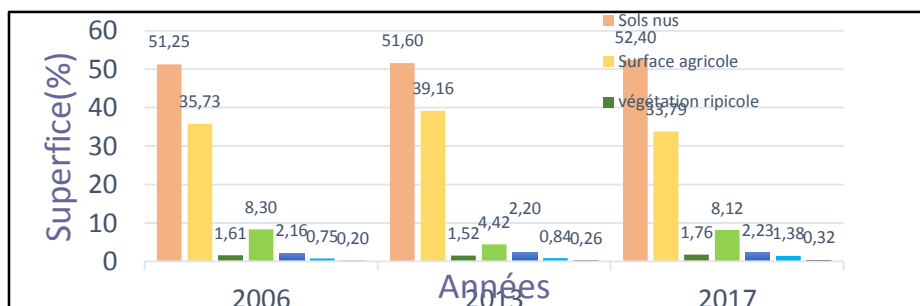


Figure 6 : Évolution des superficies de l'occupation du sol dans le bassin versant de Boubon de 2006 à 2017

Le graphique révèle une dynamique importante de l'évolution de l'occupation du sol. En effet, l'analyse du graphique montre deux phases. Une première phase entre 2006 et 2013 : Au cours de cette phase, on observe une dégradation continue du bassin versant avec une diminution de la végétation des plateaux qui passe de 8,30 % en 2006 à 4,42 % en 2013. La végétation rupicole diminue également et passe de 1,62 % de la superficie totale du bassin en 2006 à 1,52 % en 2013. Les sols nus (cuirasse ferrugineuse, surface encroutée et dépôt sableux) passent 51,25 % en 2006 à 51,60 % soit une augmentation de 0,35 %. Les surfaces agricoles passent de 35,73 % en 2006 à 39,16 en 2013 (**Figure 6**). Une deuxième phase entre 2013 et 2017 : pendant cette période, on constate une légère augmentation de la végétation des plateaux qui passe de 4,42 % en 2013 à 8,12 % en 2017. La végétation rupicole passe de 1,52 % en 2013 à 1,76 % en 2017. Les surfaces agricoles diminuent au profit des sols nus et occupent 33,79 % en 2017 contre 39,16 % en 2013. (**Figure 5**). Cette croissance de la végétation peut être liée à une faible augmentation de la pluviométrie vers les années 2004 (**Figure 6**).

III-3. Dynamique du ravinement et de la végétation sur les plateaux 1 et 2

III-3-1. Dynamique du réseau de ravines : Densité et Connectivité

La longueur du réseau de ravines au niveau de ce plateau a subi une faible augmentation et passe de 43,39 km en 2008 à 44,20 km en 2016 (**Figure 7 et Tableau 1**).

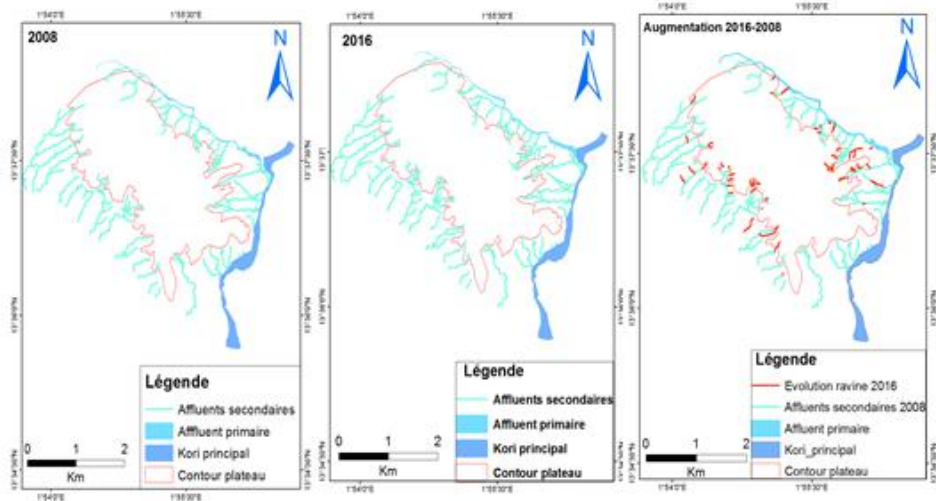


Figure 7 : Dynamique du ravinement sur le plateau 1 partiellement aménagé entre 2008 et 2016

Tableau 1 : Superficie, longueur totale du ravinement, densité du ravinement et connectivité des ravins issus du plateau 1
(Source : Travaux cartographiques)

Année	Plateau aval : partiellement aménagé			
	Superficie	Longueur du ravinement	Densité	Connectivité
2008	11,54 km	43,39 km	3,76 km/Km ²	76
2016	11,54 km	44,20 km	3,83 km/Km ²	88

Le plateau 1 a été partiellement aménagé après 2009, on observe sur ce plateau des ouvrages antiérosifs tels que des banquettes et la présence de quelques espèces végétales issues d'un reboisement (**Figure 8** et **Figure 9**).



Figure 8 : Banquette sur le plateau 1 du bassin versant de Boubou le 31/07/2018
Source : Travaux terrain



Figure 9 : Banquette sur le plateau 2 dans bassin versant de Boubou le 31/07/2018
Source : Travaux terrain

Le plateau 2 a été totalement aménagé par des banquettes disposées en quinconce. Malgré les ouvrages effectués sur ce plateau, le ravinement explose et se densifie (**Figure 10**). La densité du ravinement passe de 5,79 km/Km² à 6,26 km/Km² et la connectivité de 205 à 232 entre 2008 et 2016 (**Tableau 2**).

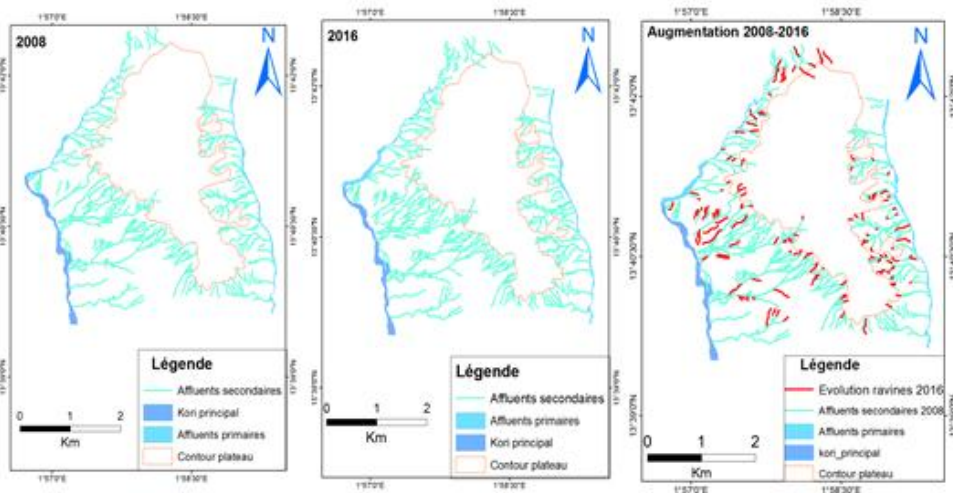


Figure 10 : Dynamique du ravinement sur le plateau 2 totalement entre 2008 et 2016 (Source : Travaux cartographiques)

Tableau 2 : Superficie, longueur totale, densité du ravinement et connectivité des ravines du plateau 2 (Source : Travaux cartographiques)

Année	Plateau amont : totalement aménagé			
	Superficie	Longueur du ravinement	Densité	Connectivité
2008	15,49 km	89,69 km	5,79 km/ Km ²	205
2016	15,49 km	96,97 km	6,26 km/ Km ²	232

L'analyse des **Tableaux 1 et 2** montre que la dynamique du réseau de ravines issues des plateaux 1 et 2 du bassin versant de Boubon n'est pas fonction uniquement de l'importance des travaux d'aménagement effectués sur les plateaux. Plusieurs paramètres doivent être pris en compte dont entre autre le type d'aménagement spécifique à chaque terrain, la pente, l'état de dégradation du terrain etc. Si nous comparons la densité du ravinement du plateau 1 qui est égale 3,76 km/Km² à celle du plateau 2 qui est égale à 5,79 km/Km² en 2008, il ressort que le plateau 2 est plus dégradé que le plateau 1 avant les travaux d'aménagement. Nous pouvons émettre l'hypothèse selon laquelle, l'efficacité des ouvrages antiérosifs est beaucoup liée à l'état de dégradation des plateaux.

III-3-2. Dynamique de la végétation sur les plateaux étudiés entre 2008 et 2016

L'analyse de l'indice NDVI de la couverture végétale du plateau 1 en 2008 et 2016 montre une légère augmentation de la végétation arborée sur ce plateau après les aménagements antiérosifs effectués en 2008 (**Figure 11**).

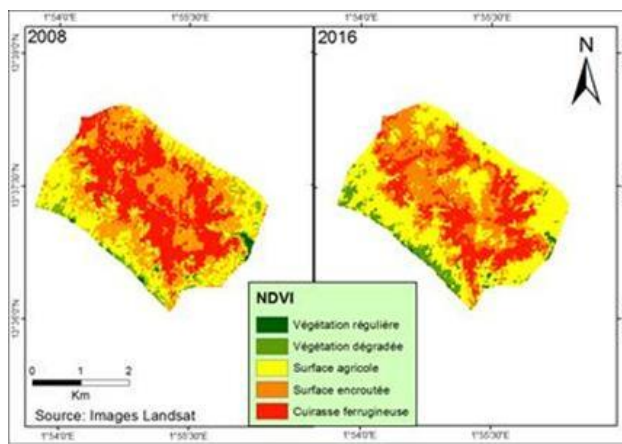


Figure 11 : Evaluation de la végétation du plateau 1 de 11/2008 et 11/2016

Cette augmentation peut être due au reboisement associé à une faible amélioration de la pluviométrie dans l'ouest nigérien. Sur le plateau 2, l'indice NDVI montre la présence des touffes de végétation relativement dense en 2008 (**Figure 12**). En 2016, on observe la disparition ou la dégradation très avancée de ces touffes de végétation, malgré les aménagements antiérosifs effectués sur l'ensemble de ce plateau (**Figure 12**).

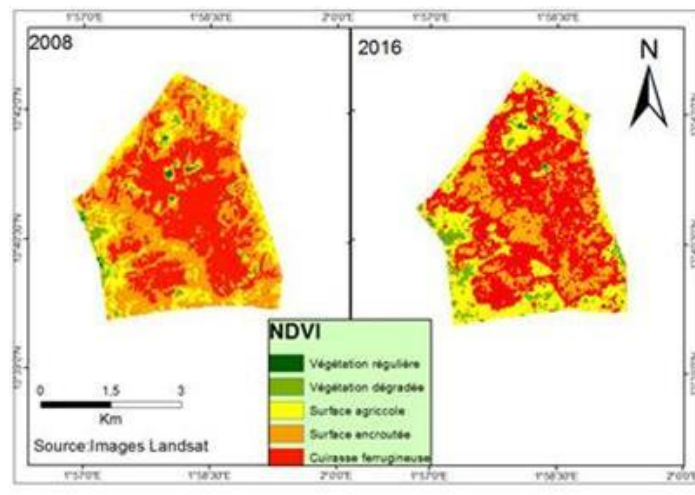


Figure 12 : Évaluation de la végétation du plateau 2 de 11/2008 et 11/2016

Cette disparition de la végétation peut être liée à la pression anthropique des villages environnant du plateau pour l'utilisation des ménages mais aussi pour la commercialisation.

IV - DISCUSSION

A l'échelle du bassin versant de Boubon, on observe qu'une panoplie de techniques en matière d'aménagements antiérosifs qu'il s'agit des services techniques étatiques que par les ONGs et projets de développement. Il est à relever aussi que ces interventions sont peu coordonnées et se font la plupart de temps sans études préalables. L'augmentation du ruissellement a comme conséquence une évolution positive du ravinement observée dans bien de régions du Niger. Ce même phénomène a été observé par [13] dans le Sud-ouest du Niger sur le bassin versant du kori Ganguel, ou selon ces résultats, il montre que l'évolution de la densité du ravinement est due à l'augmentation de ruissellement. Selon [14] cette augmentation du ruissellement est à la fois autogène (produit en place) et allogénique (rendement en amont) a été observée malgré des preuves de poursuite du reverdissement du Sahel central.

Il lie cette augmentation du ruissellement à l'intensification du régime pluviométrique car les pluies exceptionnelles deviennent de plus en plus nombreuses à l'échelle interannuelle [15]. Selon [16], la réduction du couvert végétal sur les plateaux estimée à 17,66 % favorise l'élargissement de bandes nues (augmentation d'impluviums) et ceci a pour corolaire la concentration du ruissellement dans les ravines et l'accentuation de l'érosion hydrique. Cette étude confirme l'inefficacité des aménagements ponctuels (banquettes et demi – lunes) comme stratégie de lutte contre l'érosion hydrique issus des plateaux au Niger. Les aménagements par les banquettes et demi-lunes couplés au sous-solage de la partie interne des ouvrages montrent un bon degré d'efficacité au cours des premières années (deux premières années). Les premières années, les parties sous-soulées sont généralement colonisées par des herbacées diverses du fait de l'augmentation de la capacité d'infiltration du sol sous soulé. [17] estiment qu'il faudra une pluie intense de près de 60 mm/h pour produire le ruissellement sur la parcelle sous-soulée alors qu'une pluie intense de 15 mm/h suffit pour le produire sur la parcelle témoin. Enfin, les aménagements antiérosifs ont très peu d'impacts sur les ravinements issus des impluviums que sont les surfaces de plateaux où se développent un ruissellement en nappe du fait de la disparition des végétations contractées appelées brousse tigrées [18 - 20].

V - CONCLUSION

Le travail basé sur une cartographie diachronique de l'occupation du sol pour déterminer l'état de dégradation du bassin versant entre 2006 et 2017 et du réseau de ravines sur les plateaux 1 et 2 du bassin versant de Boubon fait ressortir une dynamique spatiale et temporelle du ravinement. La densité et la connectivité du ravinement ont connus une faible diminution sur le plateau 1 entre 2008 et 2016. Par contre sur le plateau 2 on constate une augmentation significative de ces deux paramètres. Ce résultat illustre que l'efficacité des ouvrages antiérosifs sur les plateaux du bassin versant de Boubon peut être liée à plusieurs facteurs dont entre autre la pente, l'état de dégradation des plateaux, les types d'ouvrages antiérosifs utilisés ou même leur association.

RÉFÉRENCES

- [1] - I. BOUZOU MOUSSA, L. DESCROIX, O. FARAN MAIGA, E. GAUTIER, M. ADAMOU, M. ESTEVES, S.Y. KADIDIATOU, M. MALAM ABDU, I. MAMADOU, E. LE BRETON, B. ABBA, Les changements d'usage des sols et leurs conséquences hydro géomorphologiques sur un bassin-versant endoréique sahélien”, *Sècheresse*, 22 (2011) 13 - 24

- [2] - I. MAMADOU, La dynamique accélérée des koris de la région de Niamey et ses conséquences sur l'ensablement du fleuve Niger. Thèse de doctorat, Géographie physique. Niamey, Université Abdou Moumouni, (2012) 290 p.
- [3] - M. MALAM-ABDOU, J-P. VANDERVAERE, I. BOUZOU-MOUSSA, L. DESCROIX, I. MAMADOU, O. FARAN-MAIGA, "Genèse des écoulements sur deux petits bassins versants cristallins de l'Ouest du Niger : approche multi-échelles du fonctionnement hydrodynamique". *Revue.org*, Vol. 22, N°4 (2016) 363 - 374
- [4] - P. OZER, Les lithométéores en région sahélienne: un indicateur climatique de la désertification. *Revue internationale d'écologie et de géographie tropicale*, 24 (2001) 1 – 317
- [5] - E. ROOSE, « Restauration de la productivité des sols tropicaux », in *Gestion intégrée des eaux et des sols : Ressources, aménagements et risques en milieux ruraux et urbains*, Hanoi (Vietnam), (2007) 6 p.
- [6] - S. ELHADJI MOUSSA, "Evaluation du ruissellement et de l'érosion potentielle à Wankama, degré carré de Niamey". *Mémoire de Maîtrise de géographie physique Université Abdou Moumouni*, (2007) 62p.
- [7] - AMBOUTA, J. M. K, 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, (1994) 97 p.
- [8] - M. MALAM ABDOU, « Hausse des écoulements sur le bassin versant de Dargol : entre facteurs anthropiques et climatiques », *Revue de géographie de L'université de Ouagadougou (RGÖ)*, Vol. 2, No 5 (2016) 19 – 44
- [9] - T. CHINEN, Recent accelerated gully erosion and its effects in dry savanna, southwest of Niger. In *Human Response to Drastic Change of Environments in Africa*, Faculty of Economics, RYUTSU Keizai University 120, Hirahata, Ryugasaki 301-8555, Japan, (1999) pp 67 - 91
- [10] - V. AICH, L. STEFAN, V. TOBIAS, JAFET C. M. ANDERSSON, N. M. EVA and F. H. FRED « Climate or Land Use? —Attribution of Changes in River Flooding in the Sahel Zone ». *Water*, (2015) 7(6), 2796 - 2820. doi:10.3390/w7062796
- [11] - K. SOULEY YERO, N. DESSAY, G. PANTHOU, T. VISCHEL, L. DESCROIX, Evolution des eaux de surface et des systèmes de ruissellement à l'échelle de la commune, Site Niger; ANR Program ESCAPE 2012; deliverable 1.7b; Unpublished, work, (2012) 38 p.
- [12] - J. GREIGERT, et R. POUUNET, Notice explicative sur la carte géologique de la République du Niger. Niamey, Paris : MFPT ; BRGM, (1967) 62 pages
- [13] - M. J Leblanc., G. Favreau, Massuel S., S.O., Tweed, M Loireau., B Cappelaere. (2008) – Land clearance and hydrological change in the Sahel: SW Niger. *Global and Planetary Change*, 61 (3-4), 135 - 150
- [14] - L. DESCROIX, F. GUICHARD, M. GRIPPA, L.A. LAMBERT, G. PANTHOU, G. MAHE, L. GAL, C. DARDEL, G. QUANTIN, L. KERGOAT, ET AL. Evolution of surface hydrology in the Sahelo-sudanien strip: An updated review. *Water*, (2018), 10, 748; doi:10.3390/w10060748

- [15] - G. PANTHOU, T. VISCHEL et T. LEBEL, « Recent trends in the regime of extreme rainfall in the Central Sahel », *Int. J. Climatol.* , Vol. 34, (2014) 3998 - 4006 p.
- [16] - C. VALENTIN, J. POESEN et Y. LI, « Gully erosion : Impacts, factors and control », *Catena*, Vol. 63, No 2- 3 Special Iss. (2005) 132 - 153 p.
- [17] - A. BOUBACAR NA-ALLAH et al. Efficacité du sous-solage dans la restauration des sols sahéliens dégradés. Étude expérimentale sur le site de Tondi Kiboro, Niger, Afrique *SCIENCE* 13(6) (2017) 189 - 201, ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.info>
- [18] - P. TORRENKENS, J. BROUWER et P. HIERNAUX, « Évolution de la végétation spontanée sur plateau latéritiques traités par des travaux antiérosifs dans le département de Dosso (Niger) », in JMK Ambouta et R. Peltier (Eds.), « Fonctionnement et Gestion des Écosystèmes Forestiers Contractés », (1997) 235 - 246 p.
- [19] - F. W. KAGAMBEGA, S. TRAORE, A. THIOMBIANO et J. I. BOUSSIM, « Impact de trois techniques de restauration des sols sur la survie et la croissance de trois espèces ligneuses sur les « zipellés » au Burkina Faso », *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, Vol. 5, No 3 (2011)
- [20] - C. DARDEL. Entre désertification et reverdissement du Sahel : Diagnostic des observations spatiales et in situ, *Géophysique [physics.geo-ph]*. Université Toulouse III Paul Sabatier, (2014) 200p.