

## Dynamique récente et actuelle de l'érosion en nappe aux abords du fleuve Niger

Bachirou HAMADOU YOUNOUSSA<sup>1,2\*</sup>, Tahirou HASSANE YAOU<sup>1,2</sup>,  
Amadou ABDOURHAMANE TOURE<sup>2</sup>, Abdoukader MOUSSA ISSAKA<sup>3</sup>,  
Bouba HASSANE<sup>2</sup> et Zibo GARBA<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Université de Dosso, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Numérisation des Sciences Environnementales, BP 230 Dosso, Niger

<sup>2</sup> Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Géologie, BP 10662 Niamey, Niger

<sup>3</sup> Université de Zinder, Faculté des Sciences et Techniques, Département des Sciences Géologiques et Environnementales, BP 656 Zinder, Niger

\* Correspondance, courriel : [bachirouhamadou31@yahoo.fr](mailto:bachirouhamadou31@yahoo.fr)

### Résumé

Au sahel, le processus de l'érosion hydrique est un marqueur majeur de la dégradation des terres. Cette étude porte sur l'érosion hydrique en nappe sur des toposéquences à des échelles de temps récente et actuelle au niveau des bassins versants de Boubon et Louguel. L'approche méthodologique a été basée sur un dénombrement des arbres et des bas fourneaux sur les toposéquences pour mesurer respectivement les hauteurs de déchaussement des racines et de mise en affleurement des bas fourneaux. Par ailleurs une cartographie diachronique sous le logiciel Arc Gis et des calculs d'indice d'érosivité des pluies ont été effectués. Les résultats montrent que sur l'échelle actuelle, le taux d'érosion en nappe est de 21 t.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> à 52 t.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> sur la toposéquence 1 et de 192 t.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> à 207 t.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> sur la toposéquence 2. Ce taux varie de 10 t.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> à 20 t.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> sur l'échelle ancienne. Les indicateurs pertinents de l'érosion en nappe sont relatifs à l'effet de la pente (10 à 30 %), aux caractéristiques du sol (sableuse ou rocailleuse), aux états de surface (sols nus, réduction de la couverture végétale) ainsi qu'à l'érosivité des pluies.

**Mots-clés :** *érosion en nappe, bassin versant, toposéquence, Boubon, Louguel.*

### Abstract

#### Recent and current dynamics of sheet erosion at the banks of river Niger

In the Sahel, the process of water erosion is a major marker of the soils degradation. The present study deals with the water sheet erosion on the toposequences of Boubon and Louguel watersheds, at recent and current time scales. The methodological approach was based on an inventory of trees and the blast furnaces on the toposequences in order to measure the heights of the root loosening and the outcrop of blast furnace respectively. In addition, a diachronic mapping by means of the ArcGIS software and the computation of rain erosion indices were realised. The results show that, at the current scale, the rate of sheet erosion is between 21t/ha/year and 52 t/ha/year on the toposequence 1, and between 192 t/ha/year and 207 t/ha/year on the toposequence 2. This rate varies between 10 t/ha/year and 20 t/ha/year on the old scale. The relevant sheet erosion indicators are associated with the slope effect (10 to 30%), to the characteristics of the soil (sandy or rocky), to the states of the surface (bare soil, reduction of the vegetation cover), as well as the rain erosion.

**Keywords :** *sheet erosion, watershed, toposequence, Boubon, Louguel.*

## 1. Introduction

Les environnements sahéliens sont très vulnérables aux variations climatiques [1]. Ces variations climatiques se sont traduites par une baisse de la pluviométrie d'environ 20 % à la fin des années 1960 [2]. Au cours des sécheresses de 1970 et 1980 par exemple, les sahéliens ont perdu environ 600 000 tonnes de récoltes céréalières et 80 % de leur bétail [3]. A ces détériorations naturelles, s'ajoutent une forte pression anthropique marquée par les extensions des champs de cultures et l'exploitation intensive des zones boisées, pour le bois de chauffe [4]. Ces pressions humaines favorisées par la croissance démographique importante du sahel (3,4 %) contribuent à dénuder des surfaces et à favoriser les érosions [5]. Sur le bassin versant d'Agoufou au Mali par exemple les croutes d'érosion ont augmenté de 30 % alors que la végétation a diminué de 30 % [6]. La croissance démographique du Niger (4 %) est la plus importante au Sahel [7]. L'expansion des terres de cultures au Niger est passée de 12,6 % à 24,5 % entre 1975 et 2013 [8]. Dans le sud et le sud-ouest du Niger une diminution des formations naturelles de l'ordre 80 % a été observée [9] pour des besoins en terres de culture et en bois de chauffe. Ce développement des terres de cultures au détriment des savanes expose les sols nigériens aux érosions éolienne et hydrique qui engendrent des pertes en terres [10, 11]. Au Niger, environ 250.000 ha de terres sont perdus chaque année à cause de l'érosion hydrique [12]. Les particules des terres érodées sont charriées par divers cours d'eau pour provoquer l'ensablement des plans d'eau et du fleuve Niger en particulier [11]. L'érosion est ainsi un signe de la dégradation des terres qui est l'une des plus grandes menaces pour la sécurité alimentaire [13, 14]. Si le rôle de l'érosion hydrique par le ravinement est indéniable dans les pertes de terres sur les bassins versants nigériens, celui de l'érosion hydrique en nappe a été moins abordé surtout sur des grandes superficies. En effet L'érosion hydrique en nappe n'a été quantifiée que sur des petites surfaces élémentaires de faibles dimensions (10 mètres de long sur 2 mètres de large) [15, 16]. L'objectif général de cette étude est d'analyser l'érosion hydrique en nappe sur des toposéquences. Spécifiquement il s'agit de :

- quantifier l'érosion en nappe ;
- déterminer les indices de l'érosion en nappe ;
- examiner la pluie et son indice d'érosivité.

## 2. Matériel et méthodes

### 2-1. Zone d'étude

La zone d'étude se situe dans l'Ouest du Niger, caractérisée par un climat de type sahélien dominé par deux vents. Il s'agit de l'harmattan de direction principale Nord-Est qui souffle entre novembre et mars et la mousson de direction majeure Sud-Ouest qui souffle entre mai et septembre. Les mois d'avril et octobre sont des mois de transition liés aux changements de direction des vents [17]. L'étude a été réalisée sur deux bassins versants distants d'environ 40km. Le premier bassin se trouve dans le terroir villageois de Boubon ( $13^{\circ}35'37,21''$ - $13^{\circ}45'50,56''$ N et  $1^{\circ}56'15,67''$ - $1^{\circ}57'37,87''$ E) à 25 km de Niamey sur la rive gauche du fleuve Niger et le second est situé dans le village de Louguel ( $13^{\circ}24'32,02''$ - $13^{\circ}27'09,04''$ N et  $2^{\circ}03'01,73''$ - $2^{\circ}07'41,82''$  E) à 15 km de Niamey sur la rive droite du fleuve Niger (*Figure 1*). Les deux bassins sont en contact avec deux grands ensembles géologiques : le socle du Liptako et le bassin sédimentaire des lullemeden. Ces bassins sont d'une part localisés à la bordure nord-est de la dorsale de Man et reposent sur des plutons granitoïdiques du socle du Liptako et d'autre part ils sont situés sur la bordure sud-ouest du bassin des lullemeden où les grès du continental terminal reposent en discordance sur le socle birimien constitué par les schistes verts et les gabbros [18]. Les formations du Quaternaire sont dominées par des alluvions indifférenciés et colluvions de fond de vallée en bordure du fleuve, et par des accumulations sableuses dunaires [19]. Le site de Boubon a été choisi car il avait fait l'objet des mesures quantitatives sur le ravinement [11, 20]. Ainsi les données collectées sur l'érosion en nappe sur le site seront comparées à

celles de l'érosion concentrée. Le choix du site de Louguel, est motivé par la présence des bas fourneaux qui ont fait l'objet d'une étude archéologique qui a montré que la période de mise en affleurement de ces bas fourneaux par l'érosion remonte à 660 ans [21].

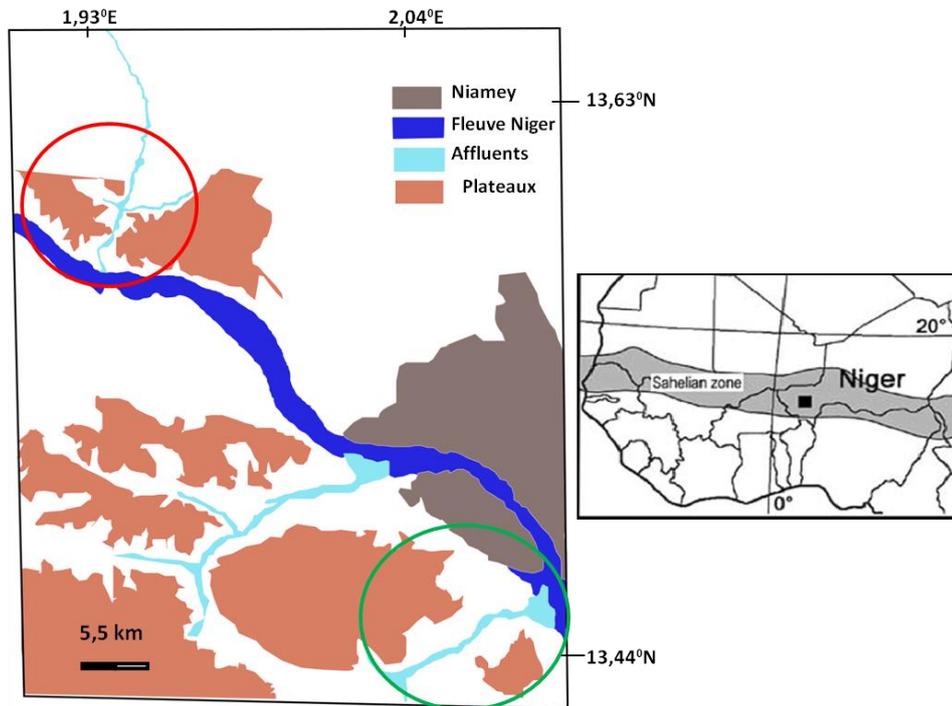


Figure 1 : Localisation des bassins versants de Boubon et Louguel (Cercle rouge Bassin de Boubon et cercle vert bassin de Louguel)

## 2-2. Évolution de la pluviométrie et de l'indice d'érosivité des pluies

### 2-2-1. Données de la pluviométrie et indice d'érosivité des pluies

Compte tenu de l'inexistence d'une station pluviométrique dans la zone d'étude, les données de Niamey aéroport obtenues auprès de la Direction de la Météorologie Nationale (DMN) ont été utilisées. En effet, ces données sont représentatives de la zone d'étude. Elles couvrent la période de 1970 à 2017. L'indice d'érosivité de [22] considère la pluviométrie de tous les mois de l'année (*Équation 1*). Cependant, le contexte saisonnier qui caractérise le site de cette étude a imposé une modification de l'équation de [22]. En effet, l'indice de [22] a été calculé en tenant compte de la pluviosité d'avril à septembre (saison des pluies) en lieu et place de la pluviosité annuelle de l'équation de [22] (*Équation 1*). Selon la valeur de l'indice de [22], l'érosivité des pluies peut varier de très faible à très élevé (*Tableau 1*).

$$RI = 1 \sum \frac{(MR)^2}{AR} \tag{1}$$

RI étant l'indice d'érosivité des pluies, MR la pluviométrie mensuelle exprimée en mm et AR la pluviométrie annuelle exprimée en mm. En tenant compte du contexte saisonnier qui caractérise le site d'étude, MR dévient la pluviométrie mensuelle entre avril et septembre et AR le cumul annuel de la pluviométrie pour les mois d'avril à septembre.

Tableau 1 : Critères de classement de l'érosivité des pluies [23]

Classe d'érosivité des pluies	Risque d'érosivité	Valeurs de l'indice d'érosivité RI
R11	Très faible	< 50
R12	Faible	50-100
R13	Modéré	100-200
R14	Élevé	200-300
R15	Très élevé	> 300

### 2-3. Traitement des photographies et cartographie des bassins versants de Boubon et Louguel

La cartographie a été réalisée avec l'utilisation de trois images Landsat 5, 7 et 8 de 1990, 2004, et 2018 respectivement. Il s'agit d'images d'une résolution spatiale de 30 m et elles sont du mois de décembre. Les bassins versants ont été délimités avec l'outil du profil de dénivellation de Google Earth. Les images ont été traitées sur Arc Gis ©. Elles ont été au préalable géoréférencées dans le système de Mercator (GCS\_WGS\_84). Les méthodes d'évaluation spatiale de l'état et de la dynamique des unités paysagères et des occupations de sol ont été basées sur la classification supervisée des images et l'interprétation visuelle. Les clés d'interprétation de la nomenclature d'occupation des sols du Niger [24] ont été utilisées. Des missions de terrain ont été ensuite effectuées pour vérifier l'interprétation des images.

### 2-4. Collecte et analyse des données

#### 2-4-1. Dénombrement des arbres et des bas fourneaux

Deux toposéquences ont été choisies sur le bassin versant de Boubon et sur chacune des toposéquences les arbres ont été dénombrés. La toposéquence 1 est constituée d'une succession de plateau, de talus et d'une jupe sableuse faisant office de rive du fleuve. La toposéquence 2 est une surface dunaire et est essentiellement constituée d'une accumulation de sable rouge homogène. Le recensement des arbres a consisté à déterminer pour chaque arbre les coordonnées géographiques (Latitude N, Longitude E), l'altitude (H) de son point de fixation avec un GPS de marque Garmin, à mesurer la hauteur de déchaussement de ses racines et la circonférence de son tronc avec un mètre ruban, et déterminer son nom. Ainsi, pour différencier l'érosion par le ravinement de l'érosion en nappe, seuls les arbres se trouvant sur des surfaces franches c'est-à-dire dépourvues de ravines ont été pris en compte. A Boubon, un total de 115 arbres a été décompté au niveau de la toposéquence 1 et 50 arbres pour la toposéquence 2. A Louguel, 70 arbres ont été sélectionnés sur la toposéquence. Tous les arbres dénombrés sur les deux bassins versants sont d'origine naturelle et sont composés en majorité de *Balanites egyptiaca* et *Faidherbia albida*. Les autres types sont l'*Azadirachta indica*, l'*Adansonia digitata* et *Guiera senegalensis*. Le dénombrement des bas fourneaux a consisté à mesurer leur hauteur de mise à l'affleurement avec un mètre ruban. Au total, 210 bas fourneaux ont ainsi été inventoriés à Louguel.

#### 2-4-2. Cartographie de l'érosion en nappe et évaluation des pertes en terres sur l'échelle récente et actuelle

Pour mesurer la variabilité spatiale de l'érosion en nappe les coordonnées géographiques des arbres et des bas fourneaux dénombrés ont été utilisées pour dresser des cartes d'érosion sous forme de courbe d'isoperte de sols, et des modèles numériques de terrain en trois dimensions. Pour ce faire, les coordonnées géographiques ont été traitées sous Surfer 11© où les toposéquences ont été cartographiées et leurs superficies déterminées. L'évaluation des pertes en terres a été réalisée sous Surfer 11©. La répartition en surface et volume de terre perdue ou déposée a été faite en considérant la distribution des points de mesure suivant la latitude, la longitude et les hauteurs de déchaussement des arbres et des bas fourneaux.

**2-4-3. Détermination de l'érosion en nappe spécifique sur l'échelle récente et actuelle**

L'érosion spécifique correspond à la masse ou à l'épaisseur de sol perdu par unité de surface et sur une période de temps. Elle a été déterminée à Boubon et Louguel pour le cas particulier de l'érosion en nappe en appliquant la formule suivante (*Équation 2*):

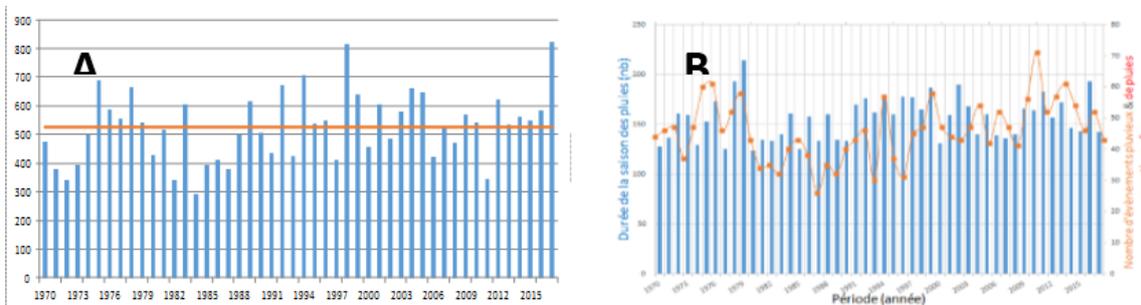
$$E = \frac{MS}{S * T} \tag{2}$$

*E* étant l'érosion spécifique ( $t \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$ ), *Ms* la masse de sol perdu (*t*), *S* la surface concernée (*ha*) et *T* la durée (*an*).

**3. Résultats et discussion**

**3-1. Caractérisation de la pluie sur la période 1970 - 2017**

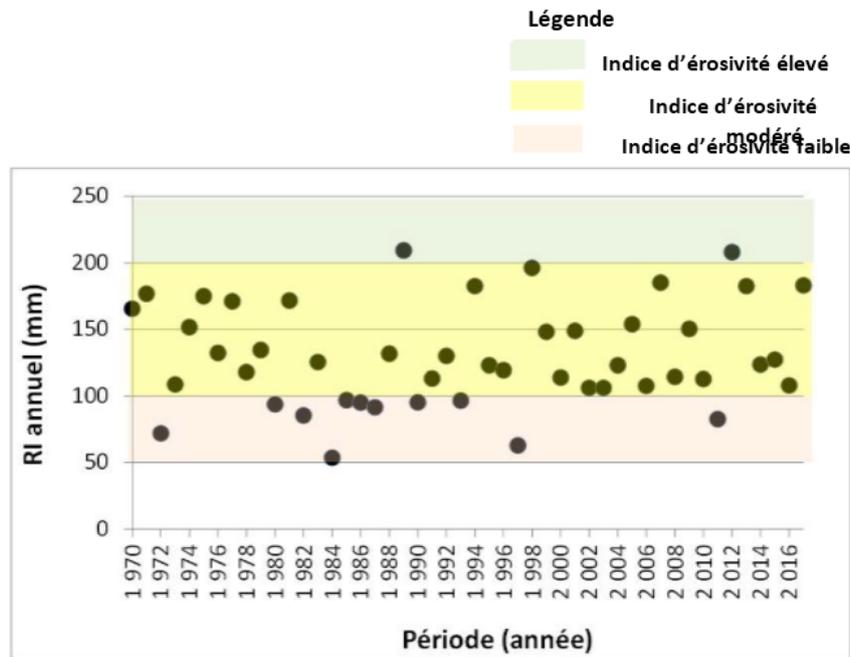
La quantité de pluie tombée et le nombre de jours de pluies ont connu une variabilité interannuelle très marquée entre 1970 et 2017. Le cumul annuel minimal de 293,2 mm, a été enregistré en 1984 pour 41 jours de pluie tandis que le cumul maximal de 824,55 mm, a été mesuré en 2017 pour 49 jours de pluies. Le cumul annuel moyen a été de 527,36 mm avec un écartype de 119,79 mm. Seules 25 années sur 48 (52,9 + 08 %) ont connu des cumuls de pluies supérieurs à cette moyenne. Ce score s'est amélioré entre 1989 et 2017 où 17 années sur les 25 (58,6 %) ont connu des cumuls de pluies supérieurs à la moyenne (*Figure 2 A*). A partir de 1989, il y a une augmentation de la durée de la saison des pluies et du nombre d'événements pluvieux. En effet, entre 1970 et 1988, le nombre d'événements pluvieux était en moyenne de 43 pluies enregistrées en 150 jours tandis qu'entre 1989 et 2017, ces nombres sont respectivement de 47 pluies en 160 jours (*Figure 2 B*).



**Figure 2 :** A) Évolution interannuelle des hauteurs pluviométriques au cours de la période 1970-2017 et B) Évolution de la durée de la saison de pluie et des événements pluvieux, au cours de la période 1970-2017

**3-2. L'indice d'érosivité des pluies**

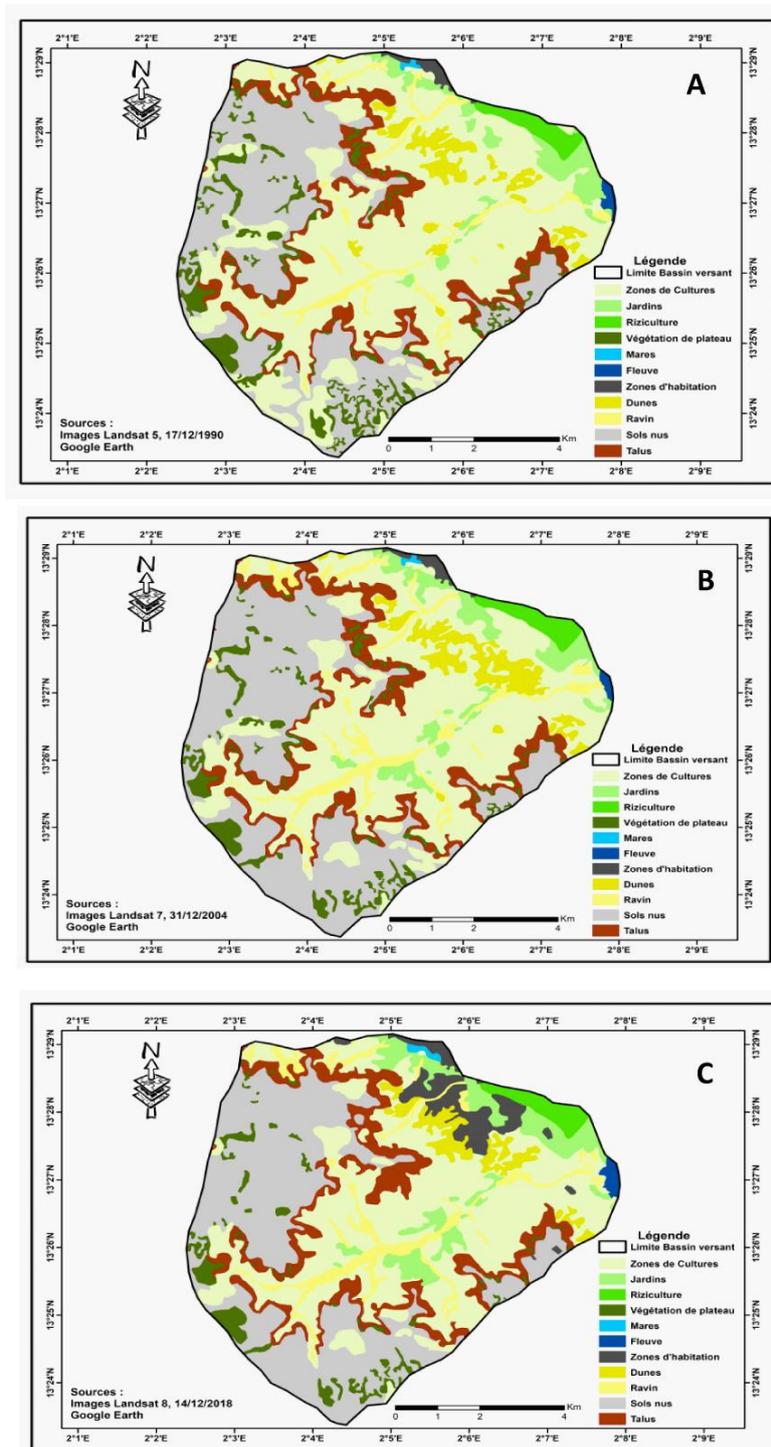
L'indice d'érosivité de Fournier qui a oscillé entre 53 et 210 (*Figure 3*) a mis en évidence une fluctuation entre 1970 et 2017. L'érosivité des pluies a été majoritairement modérée ( $100 < RI < 200$ ) dans 73 % des années, faible dans 23 % des années ( $50 < RI < 100$ ) et élevée dans 4 % des années ( $200 < RI < 300$ ). Au début des années 1980, elle était en majorité faible. Cette observation de variation interannuelle des indices est conforme aux observations faites au Sahel et au Maghreb et est associée à la variation des pluies [25, 26].



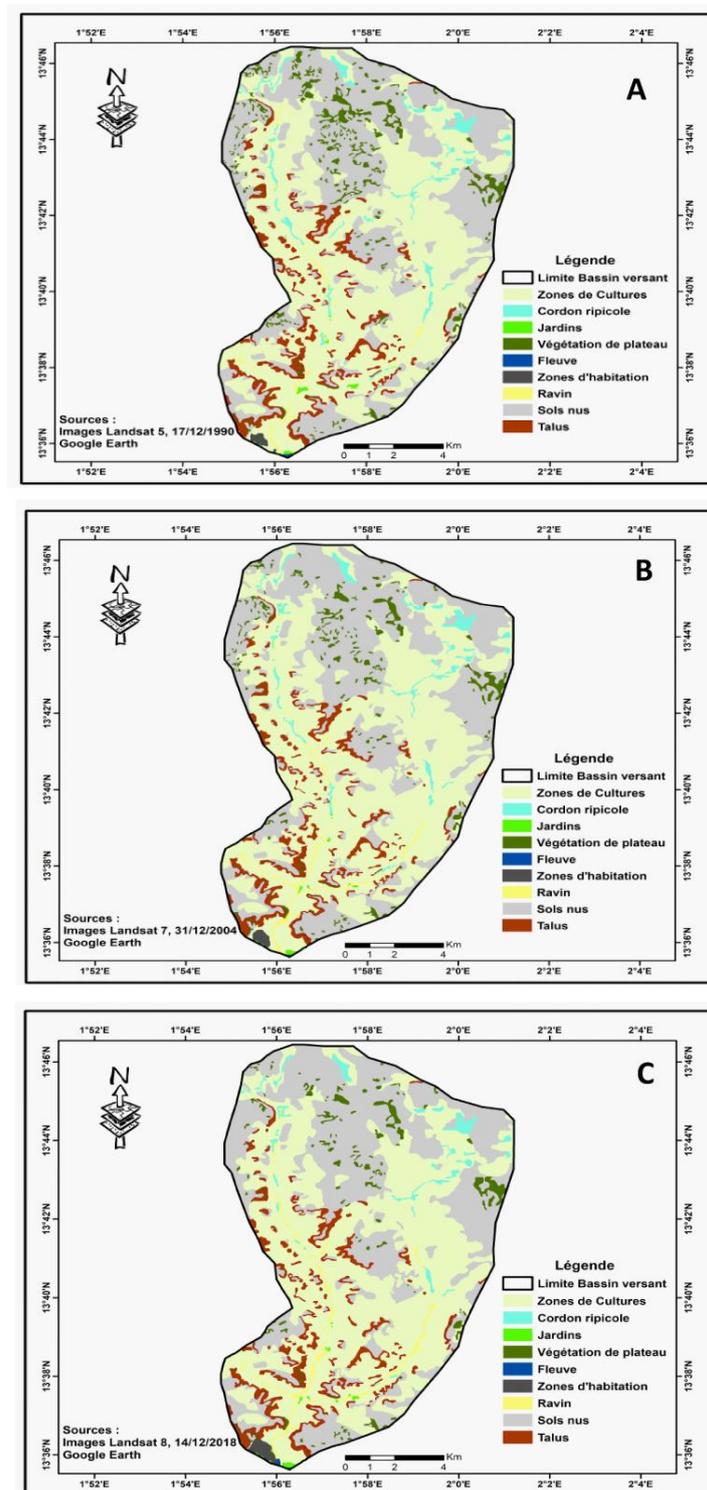
**Figure 3 :** Évolution de l'indice d'érosivité des pluies selon les hauteurs pluviométriques

### 3-3. États et dynamique de l'occupation des sols sur les bassins versants de Boubon et Louguel

L'état et la dynamique d'occupation des sols ont été appréhendés grâce aux cartes réalisées avec des images Landsat de 1990, 2004 et 2018. (*Figure 4 et 5*). Il ressort de l'analyse des cartes que la superficie de la végétation a baissé de manière continue dans les bassins des koris Louguel et Boubon entre 1990 et 2018. En effet, cette baisse a été en moyenne de 7,52 ha/an et 10,87 ha/an respectivement à Louguel et Boubon. Cette diminution de la végétation a été particulièrement marquée sur les plateaux des deux bassins versants (*Figure 4 et 5*) où la structure de la végétation est passée d'un aspect compact à un aspect moins serré entre 1990 et 2004. L'extension moyenne des sols nus a été de 14,34 ha /an et 9,28 ha/an entre 1990 et 2018 à Louguel et Boubon respectivement. A Louguel et Boubon, les sols nus étaient d'abord (1990) localisées au pied des talus où les pentes fortes permettent à l'érosion de mieux s'exprimer. L'augmentation des sols nus combinée à la diminution de la végétation sont des facteurs qui favorisent l'accentuation de l'érosion en nappe sur ces bassins versants. Cette augmentation des sols nus au détriment de la végétation a été déjà observée sur les bassins versants de Boubon et Saga Gorou au Niger [20, 27] et sur les bassins versants d'Agoufou et de Kouonbaka au Mali [6, 28].



**Figure 4 :** Carte d'occupation des sols du bassin versant de Louguel A) 1990 ;B) 2004 et C) 2018. Source : images Landsat de 1990 ; 2004 et 2018



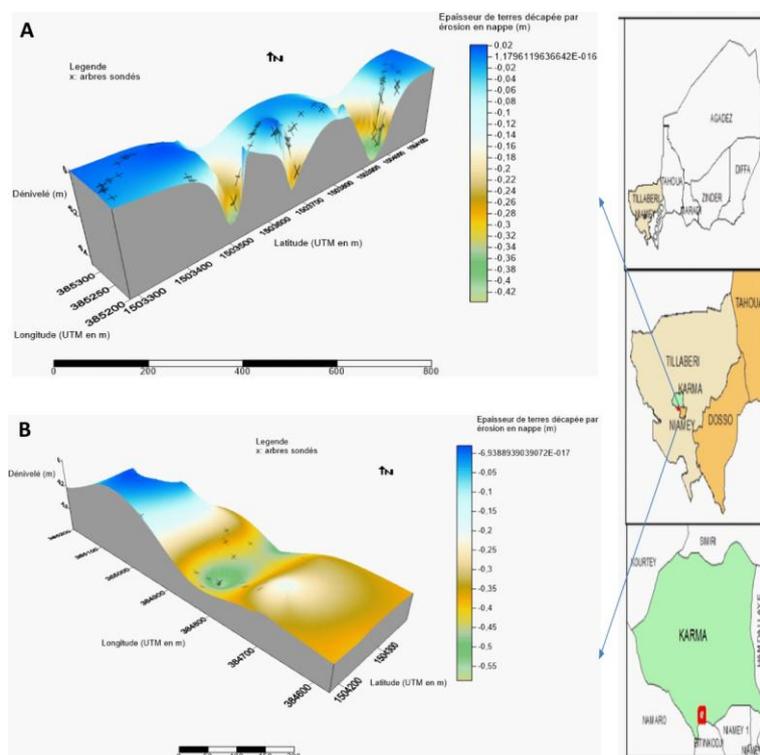
**Figure 5 :** Carte d'occupation des sols du bassin versant de Boubon A) 1990 ;B) 2004 et C) 2018. Source : images Landsat de 1990 ; 2004 et 2018

### 3-4. Variabilité spatiale de l'érosion en nappe à Boubon et à Louguel

#### 3-4-1. Variabilité spatiale de l'érosion en nappe à Boubon

A Boubon, sur la toposéquence 1 les arbres déchaussés sont majoritairement situés au pied des plateaux. Ce déchaussement est favorisé par les pentes fortes (+ 10 %) des talus du continental terminal recouverts d'un

manteau d'éboulis et des gros blocs de cuirasse. La présence de ces pentes accentue la vitesse et l'énergie des lames d'eau qui proviennent du sommet des plateaux. Le déchaussement des arbres au pied des plateaux a été aussi facilité par la présence de crêtes d'érosion. Ces crêtes réduisent la capacité d'infiltration des sols favorisant ainsi la capacité des lames d'eau à ruisseler et à éroder. Sur le sommet du plateau de la toposéquence 1, il n'y a pas d'arbres déchaussés. La structure du plateau et du talus couverte par des croûtes biologiques noires explique l'absence de l'érosion en nappe. En effet, ces croûtes biologiques freinent le ruissellement en nappe via le piégeage du sable au niveau du plateau. L'absence d'arbres déchaussés sur l'autre partie de la jupe sableuse s'explique par le fait qu'il s'agit d'un espace plat donc pas d'effet de pente, l'écoulement est presque nul (**Figure 6 A**). Sur la toposéquence 2 du site de Boubon, il n'y a pas d'arbres déchaussés au sommet de la dune car la structure est tabulaire, le ruissellement en nappe est quasi nul. C'est plutôt au niveau des flancs des dunes que le déchaussement est observé (**Figure 6 B**). Ce déchaussement des arbres est contrôlé par la pente des flancs de la dune (~4 à 5 %) qui augmente la vitesse de l'écoulement de l'eau et l'augmentation de la capacité des lames d'eau à éroder.

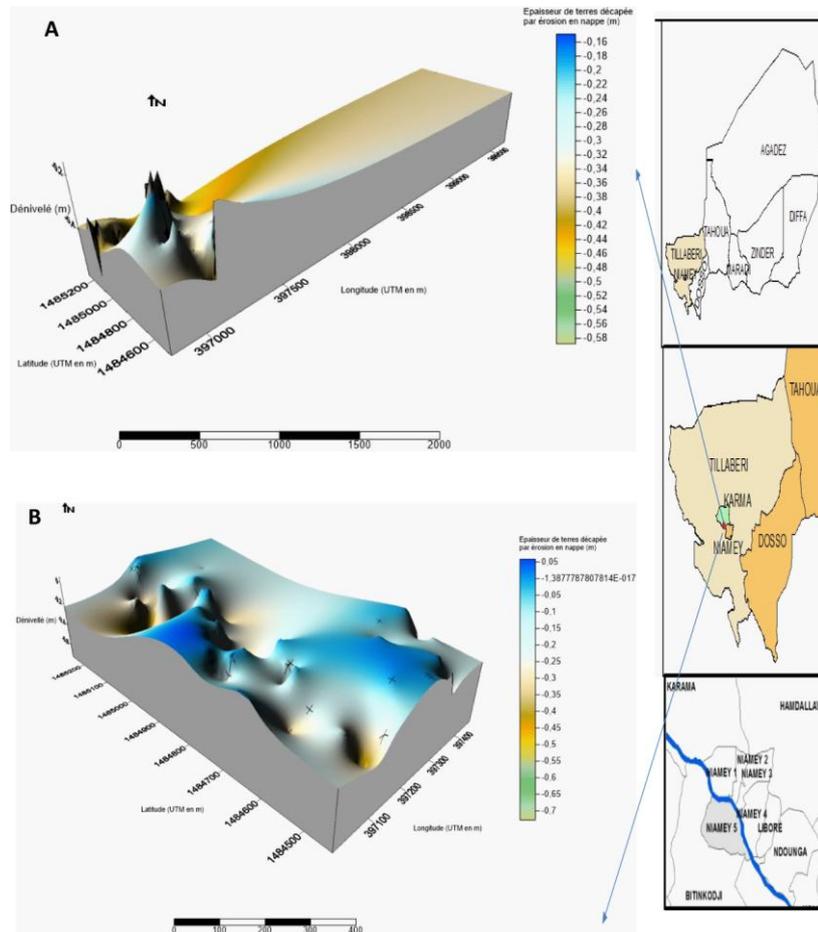


**Figure 6 :** Carte d'érosion sur le bassin versant de Boubon : A) toposéquence 1 ;B) toposéquence 2

**3-4-2. Variabilité spatiale de l'érosion en nappe à Louguel**

Sur la toposéquence de Louguel, la hauteur de mise en affleurement des bas fourneaux a été plus importante sur les versants sableux situés à proximité des plateaux où la valeur de sol décapé par déchaussement dépasse très souvent le mètre. Dans cette partie des pieds des plateaux, certains bas fourneaux en plus d'être mis à l'affleurement sont aussi basculés. Ce basculement démontre que l'érosion en nappe a été très intense sur ces bas fourneaux. La forte pente des plateaux (~30 %) explique l'intensité de l'érosion en nappe dans cette zone. Le déchaussement des bas fourneaux devient faible sur les versants sableux loin des plateaux où la pente est quasi nulle (**Figure 7A**). Sur la toposéquence de Louguel, les arbres déchaussés sont localisés au pied des plateaux. L'existence de la pente accélère la vitesse des eaux et augmente leur force à éroder le sol. Ces arbres déchaussés sont aussi disséminés sur les versants sableux avec un déchaussement des racines

moindre que ceux situés au pied des plateaux. Les arbres n'ayant pas été déchaussés sont concentrés sur les versants sableux plats des champs où la pente quasi nulle inhibe leur déchaussement (**Figure 7B**). Les déchaussements des arbres et des bas fourneaux ont été particulièrement importants à proximité des talus où les pentes fortes ( $\sim 30^\circ$ ) accélèrent l'écoulement des eaux. Ces observations montrent le rôle principal de la pente dans l'initiation et l'intensification de l'érosion en nappe. Le rôle de la pente dans l'érosion en nappe a été déjà démontré au Sahel, sur le bassin versant de Tougou au Burkina Faso via la perte en nutriment des sols [29]. Au Brésil et en Grande Bretagne, [30] ont mis en évidence l'importance de la pente dans l'augmentation du taux d'érosion en nappe. Par ailleurs, la nature sableuse des sols, a joué un rôle important dans ces pertes. En effet, les sols sableux sont plus sensibles à l'arrachement par le ruissellement que tout type de sol [31].



**Figure 7 :** Carte d'érosion sur le bassin versant de Louguel : A) toposéquence des bas fourneaux ;B) toposéquence des arbres

### 3-4-3. Bilan en terre et de l'érosion en nappe spécifique sur les toposéquences

A Boubon, entre 2013 et 2019, la toposéquence 1 d'une superficie de  $\sim 11$  ha, le volume des pertes a évolué de  $\sim 3660$  m<sup>3</sup> à  $\sim 8887$  m<sup>3</sup>. Sur la toposéquence 2, la perte a varié de  $\sim 38662$  m<sup>3</sup> à  $\sim 41742$  m<sup>3</sup> pour  $\sim 13$  ha. Sur le bassin versant de Louguel, entre 2013 et 2019 le volume de sols perdu a varié de  $138\,212$  m<sup>3</sup> à  $154\,369$  m<sup>3</sup> sur une surface de près de 20 ha, en considérant les bas fourneaux. Le volume de perte est évalué à  $55\,115$  m<sup>3</sup> à  $119\,633$  m<sup>3</sup> entre 2013 et 2019 sur une surface de près de 38 ha pour les arbres. Cette différence entre les pertes sur l'échelle récente et actuelle à Louguel est liée à pente. En effet, ces bas fourneaux issus de la métallurgie du fer sont majoritairement concentrés au pied des plateaux (pente 30 %) contrairement aux arbres qui sont répartis sur toute la toposéquence. L'érosion spécifique quantifiée à Boubon sur l'échelle

récente est de l'ordre de  $21,33 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$  à  $51,78 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$  sur la toposéquence 1 soit 1,22 mm à 3,14 mm d'épaisseur de sol perdu par an. Elle a été de l'ordre de  $192,54 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$  à  $207,87 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$  sur la toposéquence 2 soit 11,67 mm à 12,6 mm d'épaisseur de sol perdu par an. La perte des sols est plus importante sur la toposéquence 2 que sur la toposéquence 1 de Boubon. Ceci peut s'expliquer par la nature sableuse de sa surface très sensible à l'érosion et à sa pente. A Louguel, l'érosion spécifique quantifiée a été de l'ordre de  $10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$  à  $20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$  soit plus de 1,5 mm d'épaisseur de sol perdu par érosion en nappe pour la toposéquence des bas fourneaux. Elle a été de l'ordre de  $97 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$  pour la toposéquence des arbres soit près de 5,87 mm d'épaisseur de sol perdu par érosion en nappe. Les deux toposesquences de Boubon ont cumulé près de 3130 tonnes de terres perdues par érosion en nappe. A Louguel, l'érosion en nappe participerait pour un peu plus de 241378 tonnes de pertes en terres par an. La perte des sols est plus importante à Louguel qu'à Boubon, à cause de la pente. En effet la forte pente ( $\sim 30^\circ$ ) subsiste même sur certaines zones sableuses de Louguel alors qu'à Boubon ( $\sim 10^\circ$ ), elle se limite au pied des plateaux. Dans les études sur l'ensablement du fleuve Niger via les flux hydriques et sédimentaires, [12] a quantifié, l'érosion par ravinement dans le bassin versant du kori de Boubon. Cette dernière transporte plus de 4,5 millions de tonnes de sédiments par an dans le fleuve. Les faibles taux de l'érosion en nappe comparativement à l'érosion par ravinement ne sont pas à négliger. En effet, les pertes en terre par érosion en nappe contribueraient au développement des croûtes qui conduiraient à l'augmentation du ruissellement et du ravinement. En Afrique de l'Ouest, au Burkina Faso, [32] ont enregistré des taux d'érosion en nappe inférieurs ( $6,8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$  à  $8,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ ) à ceux de Louguel et Boubon. Ces taux relativement faibles qu'à Louguel et Boubon malgré des hauteurs de pluie similaires sont liés à la granulométrie des sols. En effet, à Katchari les sols sont plutôt rocaillieux tandis qu'ils sont sableux à Louguel et Boubon. Toujours au Burkina Faso, à Karangasso vigué [33] ont quantifié des taux qui varient entre 8,42 et 36,35 t/ha/an. Cette similarité des taux de Karangasso vigué à ceux de Boubon et Louguel est relative à la nature sableuse des terres étudiées et à la géomorphologie. Dans les régions semi-arides algériennes sur le bassin versant de Soummam [34] ont quantifié des pertes en terres de l'ordre de  $2,19$  à  $2,38 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$  malgré des pentes fortes (28 %). Ces érosions relativement faibles malgré les pentes plus fortes que sur nos toposéquences sont dues à la nature des sols à Soummam. Ces sols sont riches et saturés de calcium mais surtout caillouteux à la différence des sols sableux de Boubon et Louguel. Selon la classification sur la tolérance des sols aux pertes en terre faite aux Etats Unis, au-delà de  $20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ , la perte est forte et les sols très dégradés, ce qui peut nuire à la production [34]. Il ressort alors que les pertes en terres par érosion en nappe pourraient fortement nuire à la productivité des sols des bassins de Boubon et Louguel exposant ainsi ces populations à l'insécurité alimentaire.

#### 4. Conclusion

Cette étude porte sur l'érosion hydrique en nappe en illustrant l'érosion en nappe et en calculant les pertes en terres sur les bassins versants de Boubon et Louguel sur des échelles de temps récents et actuel. Il est ressorti cette érosion en nappe présente une variabilité en fonction de l'échelle de temps considéré. De façon générale, elle a été plus intense dans les zones en bordure des plateaux comparativement au glacis sur tous les bassins versants. Les sols nus de ces bassins ont connu une augmentation alors que la végétation des plateaux a diminué de près pour la période 1990-2018. Quant à l'érosivité des pluies, elle a été modérée de façon régulière entre 1970 et 2017. Ainsi sur l'échelle actuelle dans le terroir de Boubon, le taux d'érosion en nappe est passé de  $21 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$  à près de  $52 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$  sur la toposéquence 1 et de  $192 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$  à près de  $207 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$  sur la toposéquence 2. Sur le bassin versant de Louguel, le taux de l'érosion en nappe a varié de près de  $10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$  à environ  $20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ .

## Références

- [1] - P. OZER, O. LAMINO MANZO, A. D. TIDJANI, B. DJABY et F. DE LONGUEVILLE, "Evolution récente des extrêmes pluviométriques au Niger (1950-2014)", *Geo-Eco-Trop.*, 41 (3) (2017) 375 - 384
- [2] - G. PANTHOU, T. VISCHEL and T. LEBEL, "Short Communication Recent trends in the regime of extreme rainfall in the Central Sahel", *Int. Journal of Climatology*, 34 (2014) 3998 - 4006
- [3] - A. BALLOUCHE et A. N. TAIBI, "Le dessèchement de l'Afrique sahélienne : un leitmotiv du discours d'expert revisité", *Autrepart*, 2 (65) (2013) 47 - 66
- [4] - T. A. BENJAMINSEN and P. HIERNAUX, "From Desiccation to Global Climate Change : A History of the Desertification Narrative in the West African Sahel, 1900–2018". *Global Environment*, 12 (2019) 206 - 236
- [5] - J. F. MAY et J. F. GUENGANT, "Les défis démographiques des pays sahéliens" *Études*, 4 206 (2014) 19 - 30
- [6] - L. GAL, M. GRIPPA, P. HIERNAUX, C. PEUGEOT, E. MOUGIN and KERGOAT, "Changes in lakes water volume and runoff over ungauged Sahelian watersheds", *J. Hydrol.*, 540 (2016) 1176 - 1188
- [7] - M. GARENNE, "La pression de la population dans les pays Sahéliens Francophones : Analyse des estimations et projection des populations 1950-2100" *Ferdi*, (2016) 30 p.
- [8] - CILSS Comite Permanent Inter-états de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel. In: Landscapes of West Africa-A Window on a Changing World. CILSS, Ouagadougou, Burkina Faso, (2016) 236 p.
- [9] - B. DAOUDA, Z. GARBA, A. ABDOURHAMANE TOURE, A. MOUSSA ISSAKA, B. HASSANE, " Dynamique spatio-temporelle de l'occupation des sols dans les régions de Maradi et Diffa (Sahel central en République du Niger)", *Annales de l'Université Abdou Moumouni*, Tome XIX-A-1, (2015) 28 - 40
- [10] - A. ABDOURHAMANE TOURE, "Erosion en milieu sableux cultivé au Niger : Dynamique actuelle et récente en liaison avec la pression anthropique et les changements climatiques", Thèse de doctorat Université de Bourgogne, France, (2011) 224 p.
- [11] - I. MAMADOU, "La dynamique accélérée des koris de la région de Niamey et ses conséquences sur l'ensablement du fleuve Niger", Thèse de doctorat Universités de Niamey et Paris I, (2012) 290 p.
- [12] - M. MALAM ABDOU, "Etats de surface et fonctionnement hydrodynamique multi-échelles des bassins sahéliens ; études expérimentales en zones cristalline et sédimentaire", Thèse de doctorat Universités de Niamey et Grenoble, (2014) 302 p.
- [13] - M. VANMAERCKE, J. POESEN, G. VERSTRAETEN, J. DE VENTE and F. OCAKOGLU, "Sediment yield in Europe : Spatial patterns and scale dependency", *Geomorphology*, 130 (2011) 142 - 161
- [14] - P. PANAGOS, P. BORRELLI, J. POESEN, C. BALLABIO, E. LUGATO, K. MEUSBURGER, L. MONTANARELLA and C. ALEWELL, "The new assessment of soil loss by water erosion in Europe", *Environmental Science & Policy*, 54 (2015) 438 - 447
- [15] - L. DESCROIX, J. L. GONZALEZ BARRIOS, D. VIRAMONTES, J. POULENARD, E. ANAYA, M. ESTEVES and J. ESTRADA, "Gully and sheet erosion on subtropical mountain slopes: Their respective roles and the scale effect", *Catena*, 72 (2008) 325 - 339
- [16] - I. BOUZOU MOUSSA, L. DESCROIX, O. FARAN MAIGA, E. GAUTIER, M. MOUSTAPHA ADAMOU, M. ESTEVES, K. SOULEY YERO, M. MALAM ABDOU, I. MAMADOU, E. LE BRETON et B. ABBA, "Les changements d'usage des sols et leurs conséquences hydrogeomorphologiques sur un bassin versant endoréique sahélien", *Sécheresse*, 22 (2011) 13 - 24
- [17] - B. MARTICORENA, "Mineral dust over west and central Sahel: Seasonal patterns of dry and wet deposition fluxes from a pluriannual sampling (2006-2012). *Geophys. Res.*, 122 (2017) 1338 - 1364
- [18] - A. SOUMAILA, "Etude structurale, pétrographique et géochimique de la ceinture Birimienne de Diagourou-Darbani Liptako, Niger occidental (Afrique de l'ouest)", Thèse de doctorat Université Franche-comté France, (2000) 253 p.
- [19] - R. POUUNET et J. GREIGERT, Notice explicative sur la carte géologique du Niger : à l'échelle du 1/2000000 (contours arrêtés au 13 août 1965). Edition du bureau de recherches géologiques et minière, (1967) 62 p.

- [20] - K. SOULEY YERO, "Evolution de l'occupation des sols dans l'Ouest du Niger : Influence sur le cycle de l'eau" Thèse de doctorat à l'Université de Grenoble, France, (2013) 231 p.
- [21] - R. GUILLON, "Relation société-milieu en domaine sahélien au Sud-ouest du Niger au cours des quatre derniers millénaires : approche géoarchéologique" Thèse de doctorat Discipline Archéologie Université de Bourgogne France, (2013) 441 p.
- [22] - F. FOURNIER, "Climat et érosion - la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. P.U.F., Paris, (1960) 201 p.
- [23] - L. A. MANRIQUE, Land Erodibility Assessment Methodology, LEAM, Using soil survey data based on soil taxonomy. Honolulu (Hawaii, USA), University of Hawaii Editorial and publication Shop USA, (1988) 28 p.
- [24] - Nomenclature de l'Occupation des Sols (NOS), Nomenclature pour la construction de bases de données sur l'occupation des sols au Niger au Sud du 16<sup>ème</sup> parallèle, NOS-Niger Roselt, (2006) 69 p.
- [25] - A. S. ABOSSOLO, J. A. AMOUGOU, M. TCHINDJANG, M. S. MENA et R. A. S. BATHA, "Analyse des précipitations annuelles à la station de Yaoundé de 1895 à 2006", *Afrique Science*, 11 (2) (2015) 183 - 194
- [26] - K. MAAMAR-KOUADRI, L. KOURI et CHEBOUTI, "Utilisation de l'Indice d'Arnoldus pour cartographier les risques d'érosivité des pluies dans le Tell oranais (Algérie). *Geo-Eco-Trop.*, 40 (4) (2016) 287 - 296
- [27] - A. ABDOURHAMANE TOURE, R. GUILLON, Z. GARBA Z, J. L. RAJOT, C. PETIT, V. BICHET, A. DURAND et D. SEBAG D, "Evolution des paysages Sahéliennes au cours des six dernières décennies dans la région de Niamey: de la disparition de la brousse tigrée à l'encroustement de surface des sols, Impacts de l'Homme et du climat sur les milieux sahéliens", *Géosciences et développement*, Pangea 47/48, (2010) 35 - 40
- [28] - D. RUELLAND, A. TRIBOTTE C. PUECH and C. DIEULIN. C , "Comparison of methods for LUCC monitoring over 50 years from aerial photographs and satellite images in a Sahelian catchment", *International Journal of Remote Sensing*, 3 (6) (2011) 1747 - 1777
- [29] - S. B. MAÏGA-YALEU, P. CHIVENGE, H. YACOUBA, I. GUIGUEMDE, H. KARAMBIRI, A. BARY and V. CHAPLOT, "Impact of sheet erosion mechanisms on organic carbon losses from crusted soils in the Sahel. *Catena*, 126 (2015) 60 - 67
- [30] - A. J. T. GUERRA, M. A. FULLEN, M. C. O. JORGE, J. F. R. BEZERRA and M. S. SHOKR, "Slope processes, mass movement and soil erosion : A review", *Pedosphere*, 27 (1) (2017) 27 - 41
- [31] - C. VALENTIN, "Les sols au cœur de la zone critique 5: Dégradation et réhabilitation", *Collection Géosciences*, Vol 5. Ed ISTE, Paris, (2017) 150 p.
- [32] - H. KARAMBIRI, O. RIBOLZI and J. P. DELHOUME, "Importance of soil surface characteristics on water erosion in a small grazed Sahelian catchment", *Hydrological Processes*, 17 (2003) 1495 - 1507
- [33] - B. OUEDRAOGO, O. KABORE et M. KABORE, "Cartographie quantitative de l'érosion des sols par approche SIG/RUSLE dans la Commune de Karangasso vigué (Burkina Faso)", *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 13 (3) (2019) 1638 - 1653
- [34] - S. ISKOUNEN et A. BOUGHERARA, "Essai d'estimation de l'érosion hydrique en nappe, par ravinement et par mouvements de masse à l'aide des SIG et du modèle USLE. L'exemple du bassin versant de la Soummam (Nord-Est algerien). *Sciences & Technologie*, 49 (2019) 73 - 89
- [35] - M. TAHIRI, H. TABYAOUI, F. EL HAMIMICHI, M. ACHAB, A. TAHIRI et H. EL HADI, "Quantification de l'érosion hydrique et de la sédimentation à partir de modèles empiriques dans le bassin versant de Tahaddart (Rift nord occidental, Maroc)", *Bull Institut Scientifique*, Rabat, 39 (2017) 87 - 101