

IMPACTS DE L'ÉROSION PLUVIALE SUR L'ENVIRONNEMENT DANS LA VILLE DE NATITINGOU AU BENIN

Abdoulaye Abdoul Ramane

*Research Scholar, Department of Geography and Regional Planning, Environmental Geography and Cartography
Laboratory, University of Parakou, Parakou, Benin,*

ABSTRACT

This survey aims to analyze the impacts of the pluvial erosion on the environment in the city of Natitingou. The methodological gait rests in particular on the analysis of the climatic data the precipitations on the studied period (1986–2015) and the data descended of the remote detection. The indication of anomaly Standardized (IAC) and the yearly heap of the precipitations has been calculated to see the climatic variability in the middle of survey. The picture of elevation (DEM) has been used for the numeric model of land (MNT). The socio-anthropological investigatings permitted to have the strategies of adaptation of the populations facing the erosion. The results descended of these analyses stipulate that the city of Natitingou is in a zone damaged with a relief that varies between 320 m and 600 m of altitude. The analysis of the cards of the erosion factors shows that the slopes (0 to 37 %), soils and the plant table setting are the main reasons of the erosion. The strong slopes covering 9,08% of the surface of the city and the type of coarse soil of the city returns therefore the infiltration of the difficult water accelerates the fast out-flow of the pluvial waters. All these parameters accelerate the phenomenon of the erosion of the roads in the city. The population develops endogenous strategies as the construction of the belts autours of the houses, of the emancipation works.

KEYWORDS: *Impact, Pluvial Erosion, Environment, City, Natitingou*

Article History

Received: 19 Mar 2020 | Revised: 31 Mar 2020 | Accepted: 13 Apr 2020

INTRODUCTION

L'érosion du sol reste encore le plus grand problème de l'environnement du monde, menaçant non seulement les pays développés, mais, encore plus les pays en développement (Y. George, 2008, p. 01).

L'érosion hydrique est un phénomène géologique naturel qui a façonné la surface de la terre au cours des âges géologiques (White cité par A. Asir, 2017, p. 01). Elle est la forme de dégradation physique des sols la plus sérieuse, ses impacts majeurs sur l'environnement sont le résultat des interactions entre les facteurs bioclimatiques et les interventions humaines écologiquement inadéquates et déstabilisantes (PAP/CAR cité par A. El Garouani, 2017, p.04). C'est l'une des principales causes de la dégradation des sols dans le monde. Ce problème ne cesse de s'amplifier et de retenir l'attention des aménagistes, chercheurs susceptibles de juguler aux mieux ce grave fléau (C. Chabaan, 2016, p. 02).

L'Afrique n'est pas en marge de cette situation. Elle connaît une accélération de l'érosion et de la dégradation des terres et l'importance des recherches sur la protection et la restauration de la productivité des terres (E. Roose et G. De

Noni, 2004, p. 121).

Au Bénin, l'insuffisance, le dysfonctionnement et parfois l'inexistence des ouvrages de drainage des eaux pluviales entraîne des problèmes de dégradation des sites. L'érosion ainsi causée par les eaux de ruissellement est un processus géomorphologique très important, donc un facteur de la dynamique du relief.

Dans la ville de Natitingou, l'insuffisance, le dysfonctionnement et parfois l'inexistence des ouvrages de drainage des eaux pluviales entraîne la dégradation des surfaces dépourvues de végétation (route, champs...). L'érosion ainsi causée par les eaux de ruissellement est un processus géomorphologique très important, donc un facteur de la dynamique du relief.

L'objectif de cette étude est d'analyser impacts de l'érosion pluviale sur l'environnement dans la ville de Natitingou. Il s'agit spécifiquement d'identifier les causes de l'érosion dans la ville en deuxième lieu déterminer les impacts de l'érosion dans la ville et enfin proposer des mesure d'adaptions.

Presentation De La Zone D'étude

Situé au à l'ouest du Bénin dans le département de l'Atacora, la ville de Natitingou couvre une superficie de près de 32,92 km² soit 1,08 % de la superficie totale de la commune de Natitingou. Elle est localisée entre 10° 13' et 10° 20' de latitude nord et 1° 21' et 1° 24' de longitude est (Figure 1).

La ville de Natitingou est influencée par le climat soudano-guinéen. La pluviométrie moyenne annuelle est estimée à 1400 mm d'eau. La température moyenne est d'environ 27°C avec des variations de 17°C à 35°C pendant l'harmattan (Cabinet R-Sud, 2011 p. 15).

Figure 1 show Le secteur d'études est caractérisé par des sols généralement latéritiques, gravillonnaires, caillouteux, sablonneux et argileux. Ils sont pour la plupart lessivés avec pour conséquence une baisse considérable de leur fertilité en raison de la forte dégradation dont ils sont l'objet. Les sols de la ville de Natitingou sont généralement de types ferrugineux tropicaux appauvris à concrétion et des sols hydromorphes. La figure 2 montre la répartition de sols du milieu d'étude.

Figure 2 Shows La plupart de ces sols sont de texture grossière et moyenne. Ils ne permettent pas l'infiltration ; le ruissellement est alors observable même après une faible précipitation.

Avec une végétation dominée par la présence de quelques espèces : le Néré (*Parkia biglobosa*), le karité (*Vitellaria paradoxa*), le baobab (*Andansonia digitata*), le faux acajou (*Blighia sapida*), le tamarinier (*Tamarin dusindica*), le kapokier (*Ceibapin tandra*), le caïlcédrat (*Khayasene galensis*). La plupart des bois (plantation) sont essentiellement constitués de tecks (*Tectona grandis*) et d'anacardiens (*Anacardium occidentale*) (Cabinet R-Sud, 2011, p. 18-19). Il faut noter que le couvert végétal est en constant régression avec l'extension spatiale de la ville de Natitingou. La figure 3 présente l'occupation du sol du milieu d'étude.

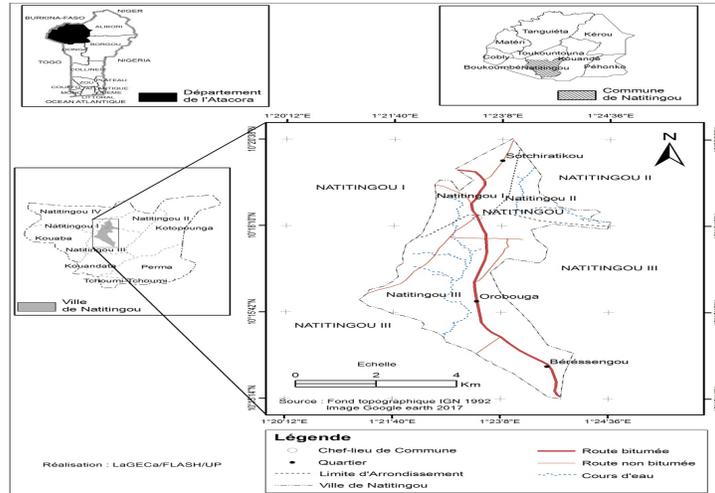


Figure 1: Situation Géographique De La Ville De Natitingou.

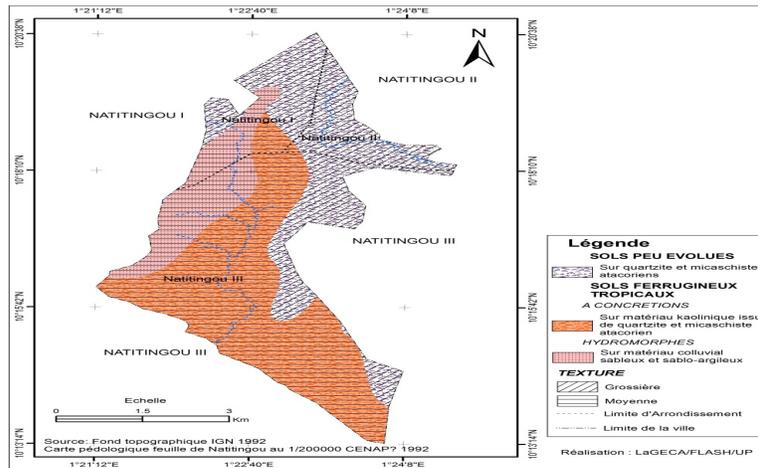


Figure 2 : Pédologie De La Ville De Natitingou.

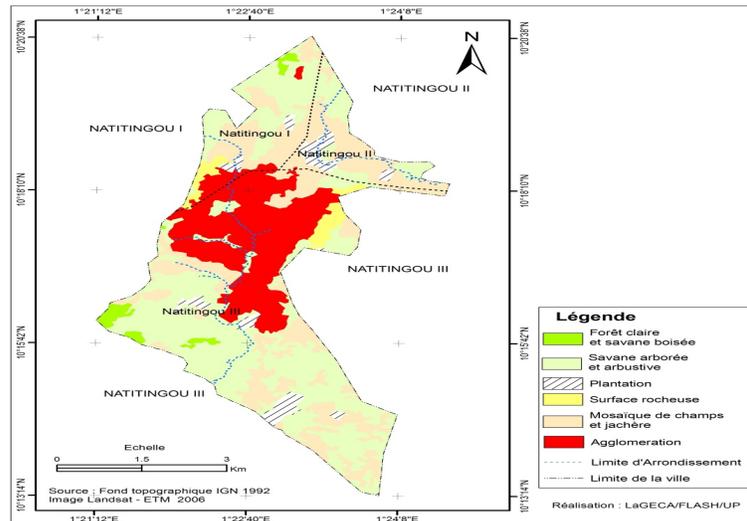


Figure 3: Occupation Du Sol De La Ville De Natitingou.

DONNEES ET METHODES

Les données utilisées pour cette étude sont : les données pluviométrie collectées à l'agence pour la sécurité de la navigation aérienne en Afrique et au Madagascar (ASECNA) sur la période de 1986-2015, les données sur la topographiques (relief, pente) obtenu sur le site. Ces données ont été complétées par les informations qualitatives et quantitatives issues d'investigations sur le terrain.

Les outils utilisés pour la collecte des données sont entre autres la grille d'observation ayant permis de découvrir préalablement le domaine d'étude, le guide d'entretien pour la prise des informations auprès des agents de la mairie, des autorités locales et communales, un appareil photographique numérique pour des prises de vue illustratives, un GPS pour géo référencer les localités où l'on observe l'érosion pluviale et la carte topographique du Bénin de l'institut géographique du Bénin (IGN) de 1992.

Pour mener à bien cette recherche, un échantillon a été choisi de manière aléatoire et constitué de 215 ménages. Le choix des ménages a été effectué dans les dix (10) quartiers de la ville de Natitingou qui enregistre le plus l'érosion pluviale.

L'analyse et le traitement des données textuelles ont été faits à l'aide des feuilles de saisie Word et de calcul Excel. La réalisation des cartes, le modèle numérique de terrain (MNT), le calcul de la superficie de la ville et le calcul des statistiques des pentes ont été effectués à l'aide des logiciels : ArcGIS et Surfer. Le logiciel Xlstat et Excel ont permis de faire les traitements graphiques et statistiques.

Plusieurs indices ont été calculés pour caractériser le climat dans la ville de Natitingou.

la moyenne des hauteurs de pluies, la moyenne arithmétique a été utilisée sur la période de 1986-2015. Elle s'obtient en faisant la somme des valeurs distinctes qui ont été observées, chacune d'elle étant affectée d'un poids égal à sa fréquence. Elle a pour formule :

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Avec n : le nombre d'observation ; \bar{X} : la moyenne et x_i : la valeur de la pluviométrie annuelle de l'année i ;

en vue d'apprécier l'évolution de la pluviométrie au cours des différentes années, l'indice Lamb (1982) a été utilisé. Cette méthode a l'avantage de mettre en évidence les années très sèches, extrêmement sèches, modérément sèches, proches de la normale, modérément humides, très humide et extrêmement humides. Il a été appliqué sur la période de 1985-2015 et se définit comme une variable centrée réduite (L. Adetona *et al.*, p. 04) exprimée par l'équation :

$$IAS = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma(x)}$$

Avec x_i la valeur de la pluviométrie annuelle de l'année i ; \bar{x} la valeur moyenne interannuelle de la pluviométrie sur la période étudiée, $\sigma(x)$ valeur interannuelle de l'écart-type de la pluviométrie sur la période étudiée ; et IAS l'indice d'anomalie standardisée.

- Si $I_p > 2$, l'année est extrêmement humide ;
- Si I_p est compris entre 1,5 et 1,99, l'année est très humide ;

- Si I_p est compris entre 1,0 et 1,49, l'année est dite modérément humide.
- Si I_p est compris entre -0,99 et 0,99 ; l'année est dite proche de la normale.
- Si $I_p > -2$; l'année extrêmement sèche
- Si I_p est compris entre -1,5 et -1,99 ; l'année est dite très sèche
- Si I_p est compris entre -1,0 et -1,49 ; l'année est dite modérément sèche

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Facteurs De L'érosion Pluviale

Les facteurs qui commandent l'érosion et conditionnent ses impacts sont d'ordres physique et anthropique.

- **Facteur Physiques**

Les paramètres climatiques étudiés concernent notamment les précipitations.

Régime Inter Mensuelle Des Précipitations Moyennes A Natitingou De 1986–2015

L'étude de la variabilité inter mensuelle de la pluviométrie permet d'apprécier l'évolution de la pluie au cours de la période 1986 - 2015 (figure 4).

Figure 4 shows L'analyse de la figure 4 montre que la saison des pluies couvre les mois de Mai à octobre. La ville reçoit donc six mois (mai, juin, juillet, août, septembre, octobre) de pluie bien intense. C'est pendant cette période que le ruissellement est observé dans la ville. Par contre les mois de novembre, décembre, janvier, février, mars et d'avril sont des mois secs où le ruissellement est nul.

Figure 5 Shows L'analyse de la figure 5 révèle qu'au cours de la période 1986-2015 il y a eu une alternance entre les années extrêmement sèche ; modérément sèche ; normale ; modérément humide et extrêmement humide. Le tableau I présente la classification de ces années en fonction de l'IAS.

Table 1 shows Il ressort de l'analyse du tableau I que la période 198-2015 est marquée par une baisse des hauteurs de pluies avec une prédominance des années sèches soit 33 %.

En considérant l'évolution des cumuls avec une variation annuelle de l'ordre de $\pm 227,4$ mm et les résultats d'enquête de terrain, les précipitations sont à la baisse, on note une concentration des pluies sur de courtes périodes. Cela a pour conséquence, l'augmentation de la vitesse d'érosion des sols de la ville de Natitingou.

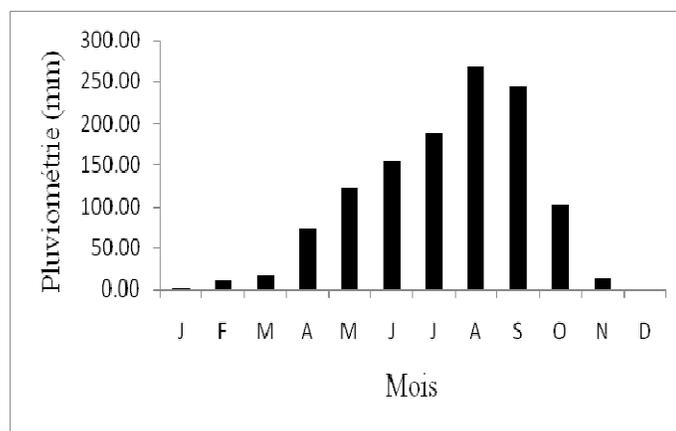


Figure 4: Régime Inter Mensuelle Des Précipitations Moyennes a Natitingou De 1986-2015.

Source : ASECNA-Natitingou

La Variation Interannuelle Des Pluies

La variation interannuelle des pluies est retracée par la Figure 5.

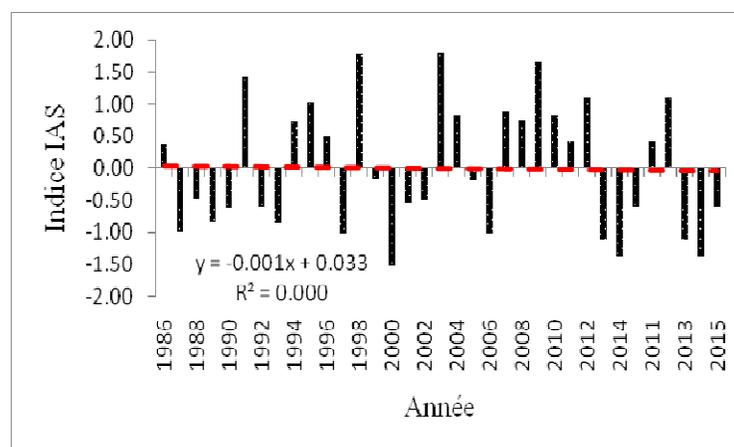


Figure 5 : Variation Interannuelle Des Pluies (1986-2015).

Source : ASECNA-Natitingou

Table 1

Années Extrêmement Sèches	Années Très Sèches	Années Modérément Sèches	Années Normales	Années Modérément Humides	Années Très Humides	Années Extrêmement Humides
1988-1989 1990-1992 1993-1999 2001-2002 2005-2015	2006	1987-1997 2006-2013 2014	1986-1994 1996-2004 2007-2008 2010-2011	1991-1995 2003-2009 2012	1998	
33 %	3 %	17 %	27 %	17 %	3 %	0 %

La Topographie Du Milieu

La topographie joue un rôle fondamental dans le processus de l'érosion pluviale. En effet, pour qu'il y ait ruissellement il faut une inclinaison donc une pente. L'écoulement devient plus accru au fur et à mesure que l'inclinaison devient forte.

Ainsi, la ville de Natitingou est entouré des massifs rocheux avec des points cumulant qui peuvent atteints 600 m d'altitude (Figure 6).

Figure 6 shows Il ressort de l'analyse de la figure 7 que la ville de Natitingou est située dans une zone accidentée. Le relief du bassin à une altitude maximale de près de 600 m et une altitude minimale de 350 m. On remarque que la ville présente une forme allongée. Cette forme fait que l'écoulement dans la ville est rapide ce qui accélère le phénomène de l'érosion. A cela s'ajoute les fortes pentes. La figure 8 présente les pentes du milieu d'étude.

Figure 8 Shows Des figures 8 et 9, on remarque que la pente varie entre 0 et 37 %. Les valeurs les plus élevé des pentes sont observée au niveau des sommets qui entoure la ville. Les pentes moyenne, forte et très forte occupent respectivement 15,08 %, 7,56 % et 9,08 % de la ville. Il est aussi constaté que les zones situées au nord-ouest de Natitingou I et au sud-est de Natitingou II sont sur les pentes fortes. La vitesse des eaux de ruissellement est alors très forte, mais la dégradation se trouve ralentir par leurs sols qui sont pour la plupart caillouteux. Il s'agit des quartiers Kanchaga-Tamou, Sotchirentinkou, Bocoro, Ourkpargou et Dassakaté. Les quartiers Bagri, Djindjiré Béri, Tchirimina, Yokossi, Boriouré, Santa, Kantaborifa, winkè, Yimporima sont caractérisé par des pentes moyennes et faibles.

En dehors des pentes qui sont fortes, il y a aussi la dégradation de la végétation engendré par l'évolution spatiale des agglomérations qui est aussi un facteur déterminant des érosions.

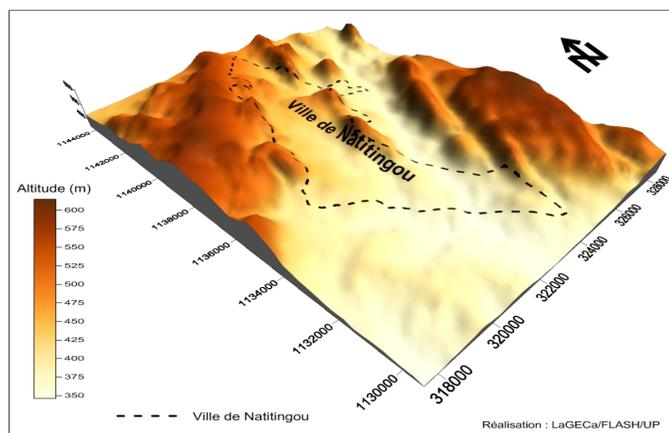


Figure 6 :MNT De La Ville De Natitingou.

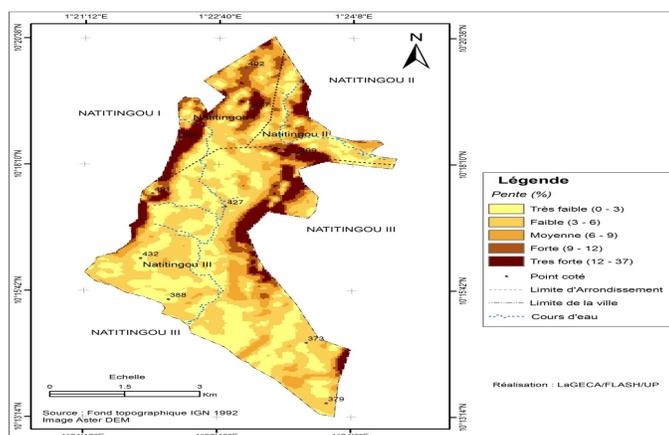


Figure 7: Les Pentes De La Ville De Natitingou.

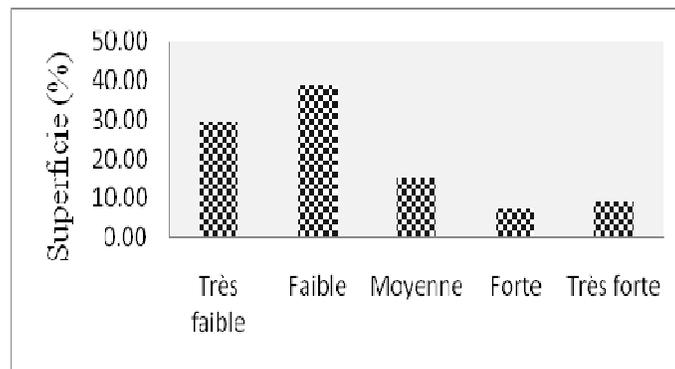


Figure 8: Superficie Des Pentes.

- **Les Facteurs Anthropiques Intervenant L'érosion Pluviale A Natitingou**

Il s'agit de l'occupation anarchique du sol, la destruction de la végétation, le rejet des eaux usées et des ordures ménagères sur les voies publiques, le manque d'ouvrage de canalisation des eaux de ruissellement.

L'occupation anarchique du sol : Elle résulte du faible taux de couverture de lotissement dans la ville. La ville dans son entièreté n'est pas encore loti, les habitants construisent sans autorisation, ils s'arrêtent seulement aux permis d'habiter. C'est ce qui nous a permis d'observer les constructions dans des zones très sensible à l'érosion.

La mauvaise gestion des ordures ménagères : En dépit des efforts déployés par la mairie, une gestion conséquente des ordures ménagères n'est pas encore en place dans la ville de Natitingou. Ainsi pendant la saison pluvieuse, l'on remarque des dépotoirs sauvages d'ordures ménagères aux abords des rigoles, derrière les habitations ou sur les terrains non bâtis, (Figure 9).



Figure 9: Tas D'ordure Au Bord D'une Rue A Winkè (A), Et Caniveau Complètement Bouché Devant EPP-Centre De La Ville (B).

Prise de vue: A Ramane

L'analyse de la planche 1, réveille que ces ordures ne peuvent plus être brûlées à cause de leurs humidités. Elles seront alors transportées par les eaux de ruissellements vers les caniveaux les plus proches. Ce qui fait que les réseaux de canalisation destinés à conduire les eaux pluviales sont occupés par les ordures ménagères ; le ruissellement se fait alors de façon diffuse, créant ainsi la dégradation des routes dans la ville.

Les Impacts De L'érosion Sur L'environnement

- **Impacts Sur Le Milieu Physique**

Les manifestations de l'érosion pluviale apparaissent sous diverses formes compte tenu de l'importance du ruissellement. Il s'agit des rigoles, des ravines et des ravins dont, les voies sont les plus exposées.

Les Rigoles

Lorsque le ruissellement se rassemble en filets, les forces de frottement avec la surface du sol diminuent; le ruissellement acquiert alors une énergie abrasive propre et creuse des rigoles de plus en plus profondes (Figure 10)

Les rigoles sont observées dans presque toutes les rues de Natitingou I et II. Les populations ne maîtrisant pas correctement le phénomène de l'érosion pluviale essayent parfois de les remblayer par les ordures ménagères. Si l'on n'y prend garde, les rigoles évoluent souvent en ravines.



Figure 10: Une Rigole Laissée Par Le Ruissellement Dans Le Quartier Yokossi.

Prise De vue: A Ramane

Les Ravines

A la faveur de la pente, de l'accumulation d'eau ruisselée et des pertes de sol, les petites rigoles s'élargissent et deviennent de profondes rigoles : ce sont les ravines. Elles ont une profondeur qui varie de 30 cm à plus d'un mètre et occupent pratiquement certaines rues (Figure 11).

Cette ravine est mise en place progressivement par l'eau qui ruisselle. Elle divise la rue en deux et rend les maisons qui sont aux alentours difficilement accessibles. Pendant la saison pluvieuse, elle joue le rôle de caniveau. La nuit elle est évitée par les populations qui ne sortent pas, craignant d'y tomber et de se faire emporter par le ruissellement.



Figure 11: Une Ravine Mise En Place Par L'érosion Pluviale.Dans Le Quartier Tchirimina.

Prise De Vue: A Ramane

Impacts Sur Les Bâtiments et Les Infrastructures

Le déchaussement se produit après que la couche de terre qui protège la fondation des maisons soit arrachée entièrement par sapement ou ravinement. (Figure 12).

Les bâtiments déchaussés dans la ville et témoignent des difficultés que rencontrent les populations. En dehors des bâtiments dont les fondations sont sapées, on rencontre dans la ville des infrastructures de distribution d'eau potable mis à nue par l'érosion pluviale. Elle est alors désormais plus exposée à la cassure qu'auparavant.



Figure 12: Maison Dont La Fondation Est Sapé A Boriyouuré (A), Infrastructure De Distribution D'eau Potable Mis A Nue Par L'érosion Pluviale A Bagri (B).

Prise De Vue: A Ramane

Protection Des Habitations Face A L'érosion Pluviale

Au nombre des techniques développées nous pouvons citer la construction des terrasses ; les piliers et le dépôt des sacs de sable.

La Construction Des Terrasses

Elle consiste à aménager des renforts en terre de barre ou en maçonnerie à la base des concessions. Ils ont parfois 30 cm à 40 cm de largeur et une hauteur qui dépasse des fois 50 cm. Ils sont réalisés le long des murs de la concession qu'ils protègent. Cela permet de lutter contre le déchaussement des maisons (Figure 13).

Cette terrasse, protège le soubassement de ce bâtiment des eaux de ruissellements et de ses effets secondaires (l'érosion). Le mur ne sera plus en contact direct avec les eaux de ruissellement. La construction des terrasses a ralenti un temps soit peut la dégradation des habitations dans certains quartiers, mais tel n'est pas le cas pour des maisons situées en aval des versant où il faut fait recours à la construction des piliers.



Figure 13: Bâtiment Dont Le Soubassement Est Renforcé Par Une Terrasse En Maçonnerie A Kantaborifa.

Prise De Vue: A Ramane

Construction Des Piliers

C'est un ouvrage en maçonnerie construit verticalement le long des bâtiments et ayant des formes triangulaires ou trapézoïdales. Ils servent de renfort aux terrasses et maintiennent également les murs en équilibre.

Ces piliers sont construits non seulement pour maintenir le mur en équilibre mais également pour servir de renfort à la terrasse déjà réalisé au paravent. Ils sont très couteux selon le propriétaire de la maison.



Figure 14: Bâtiment Maintenu En Equilibre Par Les Piliers, Situé En Aval D'un Versant A Boriyouré.

Prise De Vue: SABI DAN Antoine

Le Dépôt Des Sacs De Sables

C'est une méthode qui consiste à limiter l'action érosive tout en stabilisant les particules arrachées en amont ou a désorienté les eaux de ruissellement lorsque les sacs de sable sont déposés sur leurs lignes de conduite.

Ce travail est peu résistant, car elle est balayée par les vagues de torrent à chaque saison de pluie car les sacs ne sont résistants au soleil pendant la saison sèche.



Figure 15: Soubassement D'une Maison Protégé Par Les Sacs De Sable A Boriouré.

Prise De Vue: SABI DAN Antoine

Les Ouvrages De Franchissement

A certains endroits de la ville, nous remarquons que ce sont les ravins qui rendent pénible l'accès à des concessions. C'est ainsi que les marches ou les terrasses sont construites pour faciliter l'accès aux habitations. Notons qu'il est parfois prévu sous ces ouvrages des canalisations pour rendre aisé le ruissellement. On les rencontre souvent à la devanture des maisons construites en matériaux définitifs.

Cet ouvrage de franchissement facilite le ruissellement et la circulation des habitants de cette concession y compris leurs engins de toutes sortes. Pour la plupart de nos enquêtés, cet ouvrage nécessite des moyens financiers.

Ce sont là les différents aménagements réalisés par les populations dans quelques quartiers de la ville. Mais leurs inefficacités et la persistance de l'érosion, ont incité le pouvoir public à réaliser quelques ouvrages modernes.



Figure 16: Un Ouvrage De Franchissement Réalisé Dans Le Quartier yimporima.

Prise De Vue: SABI DAN Antoine

DISCUSSIONS

L'analyse des impacts de l'érosion dans la ville de Natitingou révèle que plusieurs facteurs sont à la base de ce phénomène : la précipitation, le relief, la pente et le sol. La tendance à la baisse des précipitations dans la ville montre que la pluie n'est pas le seul facteur déterminant de l'érosion dans la ville. Le relief accidenté avec une altitude qui varie entre 320 et 600 m, les fortes pentes (37 %), la dégradation du couvert végétal, le sol peu perméable avec une texture grossière sont les facteurs physiques engendrant les érosions. Ces résultats sont conformes à ceux de A. Sadiki *et al.*, (2004, p. 76) qui trouvent que l'érosion dans le bassin de l'oued Boussouab est due à plusieurs facteurs (l'inclinaison des pentes, l'érodibilité des sols, le couvert végétal, l'agressivité climatique). Ce bassin est exposé à une érosion très élevée non tolérée par les sols qui subissent un climat agressif avec des précipitations faibles mais à caractère orageux. Une étude menée par L. Khali Issa *et al.* (2016, p. 2791), a montré que les impacts de l'érosion sont observés sur les sols nus et les terres agricoles. De même nos résultats ont montré que les impacts de l'érosion sont observés au niveau des zones dépourvues de végétation : les routes, le pied des maisons.

Comparativement aux travaux de M. Boughalem (2016, p. 02), sur l'utilisation des SIG pour l'aménagement du bassin-versant de l'ISSER (ALGERIE) qui a proposé des techniques antiérosives (correction torrentielle et le reboisement), visant à atténuer les effets négatifs des pertes en terre aussi bien à l'amont qu'à l'aval du bassin versant. La population de Natitingou développe des mesures d'adaptations traditionnelles et modernes avec la construction des ceintures tout autour des maisons, le dépôt des sacs remplis de sable pour freiner la vitesse de l'écoulement de l'eau et la construction des ouvrages de franchissement comme les ponts. Néanmoins ses mesures présentes sont insuffisantes il urge donc de revoir ces mesures d'adaptation afin de les renforcer pour pouvoir assurer ou atténuer les effets des érosions dans la ville.

CONCLUSIONS

La présente étude dans la ville de Natitingou a montré que la ville est exposée au phénomène de l'érosion pluviale. Les facteurs physiques responsables de l'érosion sont les fortes pentes, l'absence du couvert végétal, le relief et le sol. Il y a aussi les facteurs anthropiques qui accélèrent le phénomène. Cette situation oblige la population à recourir à des stratégies d'adaptation comme la construction des ceintures autour des maisons, la construction des ouvrages d'affranchissement.

REFERENCES

1. ADETONA Luc, VODOUNOU Jean Bosco et GBADAMASSI Fousséni, 2019, *Stratégies d'adaptation au changement climatique et sécurité alimentaire dans la commune de Tchaourou (Bénin)*, XXXIIème Colloque Internationale de l'AIC, Thessaloniki – Grèce, pp. 3–8.
2. ASRI Abir, 2017, *Cartographie de vulnérabilité à l'érosion hydrique du bassin versant d'Oued Zeddine (W.Ain Defla)*, Mémoire de master, ENSH -ARBAOUI Abdellah / DHU, 47 p.
3. BOUGHALEM Mostafia, 2012, *Utilisation des SIG pour l'aménagement du bassin versant de l'ISSER (Algérie)*, IRD EDITIONS Marseille, 12 p.
4. CHABAAN Chayma, 2016, *Modélisation de l'érosion hydrique par le modèle SEAGIS. Cas du bassin Versant du barrage Siliana*, Mémoire de master, Université de Tunis el Manar Faculté des sciences de Tunis /DEPARTEMENT DE GEOLOGIE, 83 p.

5. *KHALI ISSA Liamiaie, BEN HAMMAN LECH-HAB Khadidja, RAISSOUNI Ahmed., EL ARRIM Abdelkrim, 2016, Cartographie Quantitative du Risque d'Erosion des Sols par Approche SIG/USLE au Niveau du Bassin Versant Kalaya (Maroc Nord Occidental), J. Mater. Environ. Sci. 7 (8), ISSN : 2028-2508, pp. 2778–2795.*
6. *LAMB Peter John, 1982, Persistence of Subsaharan drought. Nature, London, 299, pp. 46–47.*
7. *ROOSE Eric et DE NONI Georges, 2004, Recherches sur l'érosion hydrique En Afrique : revue et perspectives, Institut de recherche pour le développement (IRD), BP 64501, 34394 Montpellier cedex 5, France, 129 p.*
8. *SADIKI Abdelhamid, BOUHLASSA Saïdati, AUAJJAR Jamal, FALEH Ali et MACAIRE Jean-Jacques, 2004, Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'Equation universelle des pertes en sol dans le Rif oriental (Maroc) : cas du bassin versant de l'oued Boussouab, Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre, n°26, p. 69–79.*