

## ELEMENTS DETERMINANTS DE L'ÉROSION HYDRIQUE DANS L'ESPACE URBAIN DE KARA (NORD-TOGO)

Bidjo AFO\*, Doctorant, Email : [abidjo2003@yahoo.fr](mailto:abidjo2003@yahoo.fr)

Tak Youssif GNONGBO\*, Maître de Conférences, Email : [gnongboty@gmail.com](mailto:gnongboty@gmail.com)

Tchilabalo BANASSIM\*, Assistant, Email : [tchilaba@yahoo.fr](mailto:tchilaba@yahoo.fr)

\* Département de Géographie  
Faculté des Sciences de l'Homme et de la Société (FSHS)  
Université de Lomé (Togo)

### Résumé

Depuis trois décennies, la ville de Kara, située au nord du Togo, connaît une intense érosion hydrique affectant toute l'agglomération. L'étude a pour objectif d'identifier les principaux facteurs responsables de ce risque érosif en faisant une analyse de chacun de ces éléments à travers une méthodologie basée sur la collecte de données documentaires et de terrain, ainsi que sur les travaux de laboratoire. La ville a été subdivisée en cinq zones en tenant compte du degré des manifestations de l'érosion. Les données collectées ont été traitées à l'aide d'un modèle statistique et spatial à savoir la régression linéaire multiple. Les résultats montrent que les conditions topographiques, pédologiques, géologiques, pluviométriques et l'urbanisation sont, entre autres, les facteurs responsables de la dynamique érosive actuelle de cet espace urbain.

Mots-clés : érosion hydrique, facteurs, urbanisation, Kara, nord-Togo.

### Abstract

Three decades now, Kara city, located in the north of Togo, has experienced intense water erosion affecting the entire agglomeration. This study aims at identifying the main factors responsible for this erosive risk by analyzing each of these elements through a methodology based on the collection of documentary and field data, as well as laboratory works. The city was subdivided into five zones taking into account the degree of manifestations of erosion. The data collected were processed using a statistical and spatial model, namely multiple linear regressions. The results show that the topographic, soil, geological, rainfall and urbanization conditions are, among others, factors responsible for the current erosive dynamics of this urban space.

Keywords: water erosion, factors, urbanization, Kara, north-Togo.

### INTRODUCTION

Depuis 1980, les pays sous-développés dont ceux de l'Afrique connaissent une forte urbanisation qui est en partie responsable de l'érosion accélérée dans les villes africaines (Avenard, 1982 ; Peyrot, 1984 ; Vennétier, 1989 ; Tchotsoua, 1995 et 2007 ;). Le Togo n'échappe guère à cette situation alarmante (Marguérat, 1986 ; Nyassogbo, 1996 et 2011 ; Gngongbo, 2003 ; 2006 et 2013 ; Bouraïma, 2003). En effet, Les villes togolaises sont soumises à une intense érosion des sols et d'inondations y afférentes avec des impacts sur les habitants et leurs infrastructures (Klassou, 1998 ; Issaou, 2003 ; Biakouyé, 2002). C'est le cas de la ville de Kara qui connaît une érosion hydrique de plus en plus accélérée, se traduisant

par des déchaussements de maisons, des ravinements sur les versants, des alluvionnements et colluvionnements dans les bas-fonds. A chaque saison des pluies, l'on assiste à un réseau de ravinements spectaculaires à l'issue de très fortes averses qui multiplient les attaques érosives partout où le sol est dénudé. De vastes superficies de la ville sont souvent affectées par des processus érosifs dont les effets sont spectaculaires. La dégradation des habitations, des bâtiments et des équipements socio-collectifs et des voiries devient de plus en plus inquiétante. Partout, les ravins se sont ouverts en période de pluies. Les rues sont coupées par des rigoles qui entravent ainsi la circulation des engins et des personnes. Cependant, les manifestations de l'érosion hydrique ne sont pas les mêmes à l'échelle de toute la ville. En dehors du secteur nord de la ville où l'érosion est peu manifeste, les secteurs ouest, sud, est et centre connaissent une intense activité érosive marquée par un ravinement généralisé.

Aujourd'hui, l'érosion hydrique dans la ville de Kara est une réalité qui devient préoccupante aussi bien pour les populations urbaines que les pouvoirs publics. Malheureusement, cette situation n'a pas fait l'objet de nombreuses études portant sur cette ville. Certes, l'étude réalisée par Gngongbo, (2013) qui fait état des dégâts causés par l'érosion hydrique dans l'espace urbain de Kara n'a pas mis l'accent sur les éléments mis en cause.

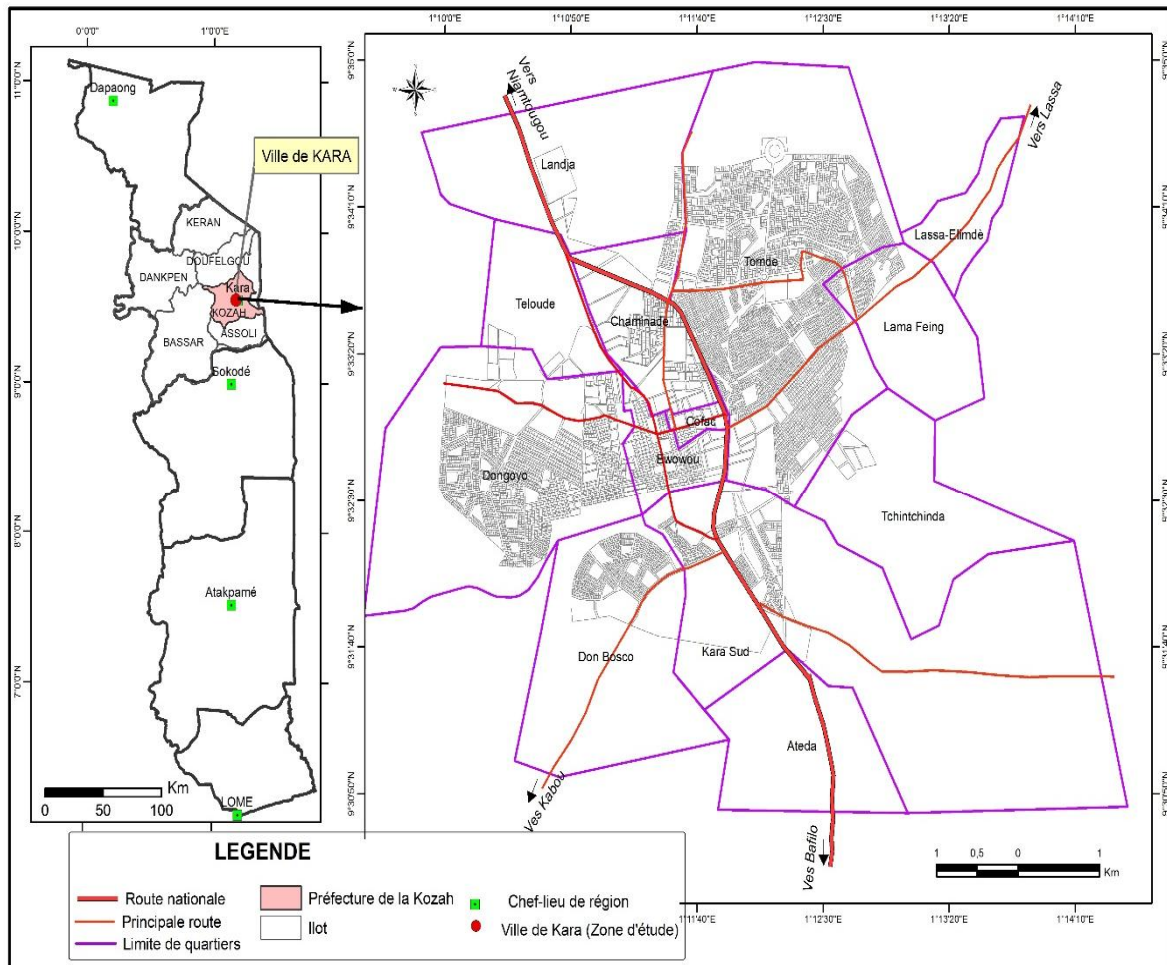
L'objectif visé par le présent article est de déterminer les facteurs explicatifs de l'accélération de l'érosion hydrique observée dans la ville de Kara ainsi que le poids de chacun dans le processus érosif. Pour y parvenir, une méthodologie de recherche appropriée a été adoptée à travers la collecte des données sur le terrain et leur traitement qui ont abouti à des résultats satisfaisants.

## 1 – CADRE GEOGRAPHIQUE DE L'ETUDE

La ville de Kara est située entre 9° 30' et 10° de latitude Nord et entre 1° et 1° 30' de longitude Est dans la partie septentrionale du Togo à plus de 400 km au nord de Lomé, la capitale (figure1). Elle est composée des cantons de Bohou et de Lama au Nord, le village d'Atéda au Sud, le canton de Lassa à l'Est et à l'Ouest, le village Adabawéré qui s'incorporent de nos jours au tissu urbain. Troisième ville du Togo au plan démographique derrière Sokodé (95 070 habitants), la ville de Kara concentre aujourd'hui 94 878 habitants (RGPH 4, 2010)

Cette ville a pris naissance sur les bords de la rivière dont son nom est issu et s'est développée sur un substratum géologique comprenant les orthogneiss de Kara et le complexe basique et ultrabasique du Massif kabyé. Sur le plan morphologique, la ville de Kara présente un aspect irrégulier. Elle est constituée par une alternance de plaines, de vallées, de plateaux dont les altitudes varient entre 300 et 400 mètres en contrebas du vieux massif de Lama très accidenté avec des altitudes de 700 à 800 mètres. Le régime climatique de la ville de Kara est de type tropical soudanien marqué par deux saisons : une saison sèche de novembre à avril, et une saison des pluies de mai à octobre. Le cumul pluviométrique annuel varie entre 1100 et 1700 mm. C'est au cours de la saison des pluies qu'on observe les manifestations de l'érosion hydrique.

Figure 1 : Localisation du secteur d'étude



Source : Fond de la carte topographique de Kara (1989.)

L'étude des facteurs de cette érosion hydrique observée çà et là dans la ville de Kara est basée sur une démarche scientifique rigoureuse.

## 2 - DEMARCHE METHODOLOGIQUE

L'approche méthodologique utilisée est basée sur la collecte des données de terrain et leur traitement. La zone d'étude a été subdivisée en cinq secteurs en tenant compte de l'ampleur des impacts. Il s'agit de la zone Est, Ouest, Centre, Nord et Sud.

### 2.1 - Collecte des données

Elle s'est faite en deux phases. La première phase a consisté à la collecte des données documentaires portant sur les cartes et les données de la météorologie. Pour les données cartographiques, il s'agit de la carte topographique de l'IGN au 1/50000<sup>e</sup> (feuille de Djougou 3a) réalisée en 1956, celle de la Région de la Kara au 1/200000 (1986), la carte géologique de Kara à l'échelle 1/200 000<sup>e</sup> réalisée en 1986, la carte pédologique de Lamouroux (1969). La deuxième phase a été consacrée aux observations directes sur le terrain. Ces observations ont porté essentiellement sur l'évolution des traces d'érosion, l'appréciation des valeurs pédologiques, topographique et d'occupation du sol en comparaison avec les données existantes. Les matériels utilisés au cours de cette phase de la recherche sont des repères fixes

(murs des maisons, poteaux électriques, arbres) pour l'évaluation de l'érosion, le GPS pour mesurer les altitudes et prendre les coordonnées géographiques des points de prélèvement des échantillons, une tarière hollandaise pour les sondages dans les sols, des sachets pour mettre les échantillons de sol, de même qu'un marqueur et papier pour les étiqueter et d'un décimètre pour mesurer les traces d'érosion. Au passage, des entretiens semi-structurés ont été organisés pour avoir la perception que les populations ont de la dégradation de leur environnement immédiat. Toutes les données recueillies ont été traitées, après quelques travaux de laboratoire

## 2.2- Travaux de laboratoire

Les analyses ont porté essentiellement sur la granulométrie

### 2.2.1 - Traitement des données

Le traitement des données s'est fait à partir de quelques indices caractéristiques.

L'Indice d'érosivité des pluies (C) de Fournier (1962) calculé suivant la formule  $C = \frac{p^2}{P}$  où, p est la précipitation moyenne du mois le plus humide et P, la précipitation moyenne annuelle.

L'indice d'érodibilité K de Wischmeier et Smith (1978) a été utilisé pour évaluer la susceptibilité des sols à l'érosion.  $K = ((2.1 \times 10^{-4} \times (12 - OM) \times M^{1.14}) + 3.25 \times (S-2) + 2.5 \times (P-3)) / 100$  avec K : érodibilité de sol (tons.acre.hr/hundreds.acre.ft.tonsf.in) ; OM : teneur en matière organique en % ; M : terme textural = (Limon + Sable fin) % x (100 - Argile %) ; S : code de structure du sol (1 à 4), 1 pour une structure grenue très fine et 4 pour une structure massive ou en bloc ; P : code de perméabilité (1 à 6), allant de 1 pour les sols à drainage rapide à 6 pour les sols à drainage très lent.

Les pentes topographiques et indices de pente ont été déterminés. La topographie a été déterminée à l'aide des modèles numériques de terrain (MNT) d'une résolution de 30 m et des cartes topographiques au 1/50 000.

Pour le taux d'imperméabilisation des sols, il a été choisi la densité de l'habitat par manque de données récentes sur la couverture aérienne. Ainsi, nous avons procédé à des observations sur le terrain. Les zones de fortes densités sont considérées comme celles à fort taux d'imperméabilisation. Ce taux a permis de mieux évaluer le niveau de ruissellement par rapport à l'infiltration des eaux de pluie.

Les données des enquêtes et les indices déterminés ont été traités dans Excel. La détermination des principaux facteurs explicatifs s'est faite à travers l'interprétation des données pluviométriques, topographiques, pédologiques et du taux d'imperméabilisation. Ces données sont complétées par les enquêtes socio-économiques et des entretiens. Les statistiques spatiales (par la méthode des moindres carrés ordinaires) ont permis de les pondérer. Deux types d'analyses ont été faits. Il s'agit des analyses descriptives et des analyses multi variées.

### *Analyse descriptive*

L'analyse descriptive a été faite à partir des tables de fréquences, des pourcentages au niveau des variables, de même que des graphiques et des cartes.

### *Analyse multi variée et spatiale : modèle de régression linéaire multiple*

La méthode d'analyse statistique multi variée par le modèle de régression linéaire multiple a été adopté pour cette étude. A cet effet, diverses techniques relevant des méthodes d'analyses ont été appliquées.

Il s'agit d'un ensemble de méthodes statistiques adaptées à l'analyse de l'organisation de l'espace géographique et de ses différenciations. La ville de Kara est découpée en cinq (05) secteurs et chaque secteur est décrit par une série d'indicateurs (variables) relatifs au problème analysé afin d'apprécier les similarités et/ou les différences qui existent entre les secteurs étudiés.

### *Pondération des facteurs explicatifs*

Elle a été faite à travers la méthode de régression linéaire simple. A cet effet, une variable dépendante et des variables explicatives ont été définies au préalable. Trois types de variables dépendantes (érosion diffuse, érosion linéaire par élargissement des talwegs et l'érosion linéaire par enfoncement des talwegs) ont été corrélés indépendamment avec les mêmes variables explicatives (topographie, pédologie et imperméabilisation). La validation des résultats du modèle passe par la mesure d'un certain nombre de paramètres comme : la performance et la signification du modèle.

Le modèle de régression linéaire simple est significatif si le coefficient de corrélation multiple calculé est supérieur à la valeur correspondante du coefficient lu dans la table du test de coefficient de Fisher (1953). L'erreur type aussi doit être inférieure ou égale à 5%. Les différentes approches méthodologiques utilisées ont permis d'obtenir des résultats qui, du coup, ont fait l'objet de discussion.

## 3- RESULTATS

Les résultats ont été traduits sous forme de tableaux, de cartes et de graphiques.

### 3.1-Performance du modèle utilisé

La performance du modèle a été vérifiée pour les trois manifestations de l'érosion observées à Kara.

#### 3.1.1-Erosion en nappe

Le tableau 1 donne les statistiques suivantes :

Tableau 1 : Statistique de la régression pour l'érosion en nappe

| <i>Statistiques de la régression</i>        |             |
|---|-------------|
| Coefficient de Corrélation multiple         | 0,99755214  |
| Coefficient de détermination R <sup>2</sup> | 0,995110273 |
| Coefficient de détermination R <sup>2</sup> | 0,490220546 |
| Erreur-type                                 | 1,921307538 |
| Observations                                | 5           |

Source : Travaux de laboratoire

Le coefficient multiple est égal à 0,9975. Cette valeur est supérieure à 0,88 trouvé dans la table du test du coefficient de corrélation pour une précision de 95% (marge d'erreur de 5%). Le coefficient de détermination R<sup>2</sup> est égale 0,49, ce qui signifie que la topographie, la pédologie et l'imperméabilisation expliquent à 49% le phénomène de l'érosion en nappe. Les coefficients de régression sont positifs (tableau2) ; ce qui veut dire que l'érosion en nappe et ces différentes variables évoluent dans le mêmes sens. Le tableau 2 montre que le taux d'imperméabilisation est le premier facteur du modèle agissant sur l'érosion en nappe, suivi de la pente et enfin de la pédologie.

Tableau 2 : Poids de chaque facteur explicatif

| <i>Variables explicatives (X)</i> | <i>Coefficients de régression</i> |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| PENTE                             | 0,54774629                        |
| PEDO                              | 0,350618                          |
| T_IMPER                           | 0,64788737                        |

Source : Travaux de laboratoire, PEDO : Pédologie, T IMPER : taux d'imperméabilisation

### 3.1.2-Erosion linéaire par élargissement des berges

Dans le cas de l'érosion linéaire par élargissement des berges, les statistiques de la régression (tableau 3) indique que le coefficient de détermination multiple est égal à 0.9984, supérieur 0.88 et R<sup>2</sup> qui donne 0.52. Ce qui signifie que les variables explicatives sont à 52% responsables de l'érosion linéaire par élargissement des berges (Tableau n°3).

Tableau 3 : Statistique de la régression pour l'érosion linéaire par élargissement des berges

| <i>Statistiques de la régression</i>        |        |
|---|--------|
| Coefficient de détermination multiple       | 0,9984 |
| Coefficient de détermination R <sup>2</sup> | 0,9969 |
| Coefficient de détermination R <sup>2</sup> | 0,5239 |
| Erreur-type                                 | 1,1854 |
| Observations                                | 5      |

Source : Travaux de laboratoire

Ces différentes variables ont des poids différenciés sur la dynamique érosive observée dans la ville de Kara. Les coefficients de régression sont positifs pour la pédologie et la pente, négatifs pour le taux d'imperméabilité. Ce résultat prouve que la pente et la pédologie évoluent dans le même sens que l'érosion linéaire par élargissement des berges (tableau 4). Le premier facteur qui agit est la pédologie suivi de la topographie.

Tableau 4 : Poids de chaque facteur explicatif

| <i>Variables explicatives (X)</i> | <i>Coefficients de régression</i> |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| PENTE                             | 0,5920                            |
| PEDO                              | 0,6292                            |
| T_IMPER                           | -0,8632                           |

Source : Travaux de laboratoire

### 3.1.3-Erosion linéaire par enfoncement des talwegs

Pour l'étude de l'érosion linéaire par enfoncement des talwegs, les statistiques de la régression linéaire (tableau5) montre un coefficient de détermination multiple égal à 0.9916. Ce coefficient est supérieur à 0.88 correspondant à la valeur trouvée dans la table du test du coefficient de corrélation pour une précision de 95%, soit une marge d'erreur de 5%. Ces variables participent à 46% à l'érosion linéaire par enfoncement des berges ( $R^2 = 0,46$ ).

Tableau 5 : Statistique de la régression pour l'érosion linéaire par enfoncement de talwegs

| <i>Statistiques de la régression</i>  |         |
|---------------------------------------|---------|
| Coefficient de détermination multiple | 0,9916  |
| Coefficient de détermination $R^2$    | 0,9833  |
| Coefficient de détermination $R^2$    | 0,46670 |
| Erreur-type                           | 2,56924 |
| Observations                          | 5       |

Source : Travaux de laboratoire

Les coefficients de régression sont tous positifs pour les trois variables explicatives retenues (tableau 6). Par conséquent, l'érosion linéaire par enfoncement des talwegs et ces facteurs évoluent dans le même sens. La variable la plus déterminante de l'érosion linéaire par enfoncement des talwegs est sans nul doute l'imperméabilisation.

Tableau 6 : Poids de chaque facteur explicatif

| <i>Variables explicatives(X)</i> | <i>Coefficients de régression</i> |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| PENTE                            | 0,24229                           |
| PEDO                             | 0,5502                            |
| T_IMPER                          | 0,6568                            |

Source : Travaux de laboratoire

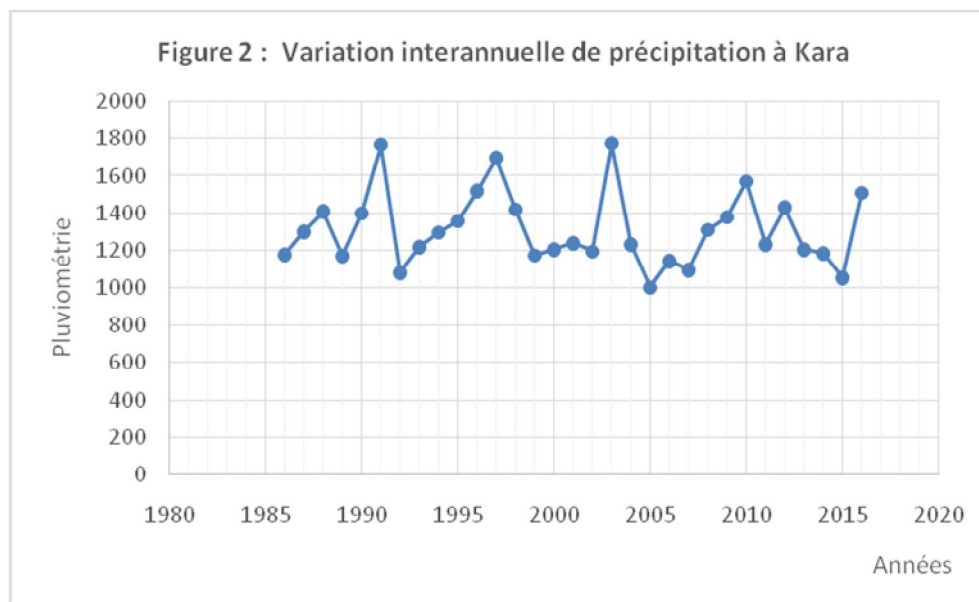
### 3.2-Analyse descriptive des facteurs explicatifs de la dynamique érosive

Cette analyse porte sur quatre facteurs d'érosion hydrique à Kara. Il s'agit de la pluviométrie, de la topographie, de la pédologie et du taux d'imperméabilisation.

#### 3.2.1-Une pluviométrie agressive

Ce facteur n'a pas été spatialisé car, d'après les données de la Direction de la météorologie nationale, l'espace urbain de Kara ne connaît pas de différence pluviométrique d'un quartier à un autre.

La vitesse ou l'ampleur de l'érosion dépend de la quantité d'eau de pluie de l'année (Roose, 1977). L'érosion pluviale ou splash est liée à l'impact des gouttes d'eau de pluie qui n'agissent que sur des sols meubles, nus ou cultivés. Depuis quelques années, les pluies diluviennes qui s'abattent sur Kara sont, pour une bonne part, responsables des crises morphogéniques que connaît la ville. La quantité annuelle de pluie pour la période de 1986 à 2016 se situe entre 1006 et 1771 mm à Kara. La quantité de pluie qui tombe dans cette ville est très importante. Ces valeurs indiquent que la quantité annuelle de pluie tombée chaque année est supérieure à 1100 mm à l'exception des années 1992, 2005, 2007 et 2014 qui ont enregistré respectivement 1079 mm, 1003 mm, 1093 mm et 1067 mm de hauteur. Notons que le maximum pluviométrique à Kara a été enregistré en 2003 avec une hauteur de 1771 (Figure2). Ceci révèle également que l'érosion varie d'une année à l'autre dans le secteur d'étude. De l'interprétation des résultats d'observations faites sur le terrain, il ressort que les années ayant enregistrées des quantités importantes de pluie sont par conséquent plus érosives. Cette situation explique la fluctuation interannuelle de l'action érosive des eaux de ruissellement.



Source des données : Station météorologique de Kara, 2017.

Dans l'ensemble, les précipitations annuelles sont élevées. Les années ayant connu des pluviométries dépassant 1300 mm (moyenne sur 30 ans entre 1986 et 2016) sont assez nombreuses. Ainsi, dans un tel milieu, on ne peut que s'attendre à un ruissellement



important et une érosion forte, surtout que les pluies se concentrent sur une courte période de l'année. En effet, le traitement des données pluviométriques montre une forte concentration des pluies au cours des mois de juin, juillet, août et septembre qui enregistrent plus de 71 % des précipitations annuelles comme on peut le remarquer à travers le tableau 7.

Tableau 7 : Concentration des précipitations sur les mois pluvieux

| Années  | Total annuel | Total de pluies au cours des mois de juin-Juillet-Août-Septembre | Pourcentage (%) |
|---------|--------------|--|-----------------|
| 2007    | 1093,6       | 781,4  | 71,45           |
| 2008    | 1308         | 971  | 74,23           |
| 2009    | 1377,1       | 1048,8   | 76,16           |
| 2010    | 1568,4       | 1176,1   | 74,98           |
| 2011    | 1231,3       | 731,5  | 59,40           |
| 2012    | 1427,9       | 878,8  | 61,54           |
| 2013    | 1202         | 969,9  | 80,69           |
| 2014    | 1181,7       | 756,9  | 64,05           |
| 2015    | 1053,4       | 792,9  | 75,27           |
| 2016    | 1506,9       | 1214,1   | 80,56           |
| Moyenne | 1295,03      | 932,14   | 71,97           |

Source : DGMN, 2017.

A travers la lecture de ce tableau, on comprend que l'érosion est accélérée dans la ville de Kara durant les mois de juin, juillet, août, septembre et même en octobre pour ce qui concerne les dernières pluies. Tout compte fait, la pluviométrie reste élevée mais au paramètre "hauteur de pluie" sont associés le nombre de jours de pluie et la durée.

Pour mieux rendre compte du potentiel agressif des pluies, nous avons considéré le nombre de jours de pluie enregistré par an sur une période de 30 ans (Tableau 8). C'est un indicateur très significatif dans l'explication des crises morphogéniques. Une année peut enregistrer une quantité très élevée de pluie tombée mais ceci sur un nombre important de jours également. Cette année serait bien évidemment moins catastrophique que celle ayant connu une même quantité de pluie mais avec un nombre moins élevé de jours de pluie.

Tableau 8 : Nombre de jours de pluie à Kara de 1986 à 2016

| Années             | Nombre de jours de pluie | Quantité annuelle de pluie | Années | Nombre de jours de pluie | Quantité annuelle de pluie |
|--------------------|--------------------------|----------------------------|--------|--------------------------|----------------------------|
| 1986               | 103                      | 1175,5                     | 2002   | 105                      | 1195,3                     |
| 1987               | 106                      | 1298,8                     | 2003   | 129                      | 1771,1                     |
| 1988               | 97                       | 1407,7                     | 2004   | 125                      | 1231,3                     |
| 1989               | 105                      | 1170,1                     | 2005   | 109                      | 1003,7                     |
| 1990               | 114                      | 1396,5                     | 2006   | 115                      | 1141                       |
| 1991               | 127                      | 1765,8                     | 2007   | 115                      | 1093,6                     |
| 1992               | 100                      | 1079,6                     | 2008   | 108                      | 1326,2                     |
| 1993               | 116                      | 1216,8                     | 2009   | 104                      | 1377                       |
| 1994               | 118                      | 1296,4                     | 2010   | 123                      | 1562,2                     |
| 1995               | 112                      | 1357,0                     | 2011   | 96                       | 1144,9                     |
| 1996               | 116                      | 1516,5                     | 2012   | 121                      | 1427,9                     |
| 1997               | 128                      | 1695,6                     | 2013   | 90                       | 1202                       |
| 1998               | 121                      | 1417,1                     | 2014   | 101                      | 1067,8                     |
| 1999               | 120                      | 1173,0                     | 2015   | 101                      | 1053,4                     |
| 2000               | 118                      | 1203,7                     | 2016   | 107                      | 1506,9                     |
| 2001               | 99                       | 1238,5                     | -      | -                        | -                          |
| Moyenne sur 30 ans | 111 jrs                  |                            |        | 1306,86                  |                            |

Source : DGMN, 2017

Sur 30 ans, le nombre de jours de pluie enregistré varie entre un minimum de 90 (2013) et un maximum de 129 jours (2003), avec une moyenne de 111 jours ou 3 à 4 mois de pluie par an à Kara. Cette moyenne est très élevée parce que sur six mois pluvieux au cours de l'année, la ville peut enregistrer jusqu'à quatre mois de pluie. L'année 1988 a été la plus érosive avec 1407,7 mm de pluie en 97 jours (Tableau 8) à Kara car elle a connu une quantité élevée de pluie en un nombre de jours réduit. L'agressivité du climat sur ce site urbain se traduit très bien à travers cet indicateur : La quantité de pluie élevée et le nombre de jours de pluie faible.

De plus, la quantité de pluie des mois les plus pluvieux est très remarquable (Tableau9). A travers ce tableau, on se rend compte qu'un mois peut avoir un nombre de jours de pluie faible mais enregistrer une quantité très importante de pluie. Par exemple, en 2013 au cours du mois d'août, nous avons eu douze jours de pluie pour une quantité de 351 mm. Cette situation prédispose cette ville à une intense activité érosive. Ainsi, les pluies de grandes quantités en si peu d'heures ou de jours génèrent un ruissellement intense car le sol étant déjà saturé.

Tableau 9 : Nombre de jours de pluies des mois les plus pluvieux à Kara sur 5 ans

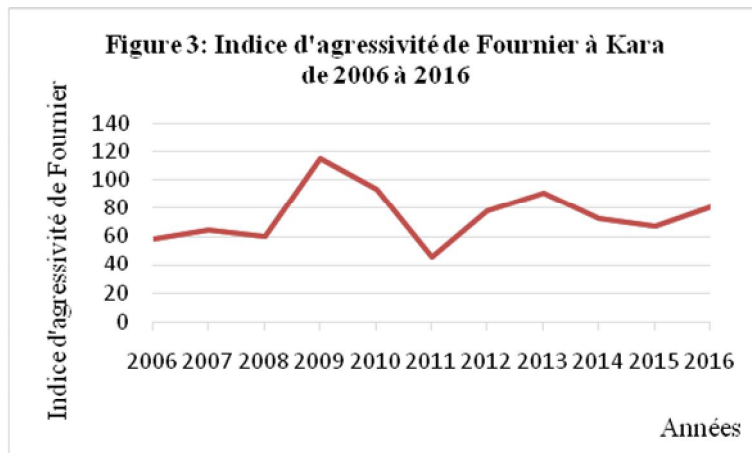
| Années | Mois      | Nombre de jours de pluies | Quantité (mm) | Rapport quantité nombre de jours de pluies |
|--------|-----------|---------------------------|---------------|--|
| 2011   | Juin      | 7                         | 81            | 11,57                                      |
|        | Juillet   | 12                        | 216,2         | 18,01                                      |
|        | Août      | 18                        | 194,7         | 10,81                                      |
|        | Septembre | 15                        | 239,6         | 15,97                                      |
| 2012   | Juin      | 16                        | 120           | 7,5  |
|        | Juillet   | 20                        | 137,4         | 6,87                                       |
|        | Août      | 17                        | 290           | 17,05                                      |
|        | Septembre | 21                        | 331,4         | 15,78                                      |
| 2013   | Juin      | 14                        | 151,4         | 10,81                                      |
|        | Juillet   | 16                        | 224,5         | 14,03                                      |
|        | Août      | 12                        | 351,4         | 29,28                                      |
|        | Septembre | 20                        | 242,6         | 12,13                                      |
| 2014   | Juin      | 4                         | 110           | 27,5                                       |
|        | Juillet   | 15                        | 246,4         | 16,42                                      |
|        | Août      | 12                        | 180           | 15   |
|        | Septembre | 22                        | 220,5         | 10,02                                      |
| 2015   | Juin      | 8                         | 51            | 6,37                                       |
|        | Juillet   | 14                        | 159,8         | 11,41                                      |
|        | Août      | 24                        | 401,7         | 16,73                                      |
|        | Septembre | 17                        | 180,4         | 10,61                                      |
| 2016   | Juin      | 13                        | 358,2         | 27,55                                      |
|        | Juillet   | 20                        | 244,6         | 12,23                                      |
|        | Août      | 17                        | 221           | 13   |
|        | Septembre | 24                        | 390,3         | 16,26                                      |

Source : DGMN, 2017

Pour mieux apprécier l'agressivité du climat local, nous avons utilisé l'indice d'agressivité climatique de Fournier qui nous paraît être bien adapté au climat ouest africain. C'est un indice qui prend en compte les précipitations des mois les plus arrosés et les pluviométries moyennes annuelles.

L'érosivité des pluies ne dépend pas seulement des hauteurs de pluies mais aussi et surtout de son intensité (Roose 1977). L'intensité est le rapport entre la hauteur de pluie tombée sur le temps qu'a duré cette pluie. L'impact des gouttes de pluies qui tombent dépend de leur masse et de leur vitesse de chute. C'est cette énergie qui est l'élément causal de l'érosion hydrique des sols par « effet-splash ». L'énergie de ces gouttes de pluies, leur masse et leur vitesse augmentent avec l'intensité des pluies. Il faut noter que, plus l'intensité est grande, plus le remodelage du sol est important.

Dans cette étude, l'indice de Fournier a été calculé par an afin de diminuer les écarts pouvant être liés aux variations interannuelles de précipitations. Au regard de la figure 3, cet indice est très élevé et dépasse largement la moyenne fixée par Fournier qui est de 40.



Des intensités moyennes et maximales des pluies journalières calculées pour les cinq dernières années sont compilées dans le tableau 10

Tableau 10 : Intensités remarquables (IR en mm/h) de 2012 à 2016 à Kara

| Mois  | J | F   | M    | A    | M    | J    | Jt   | At   | S    | O    | N    | D   | T     |
|-------|---|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-------|
| Année |   |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |       |
| 2012  | - |     | 21,7 | 61,7 | 20,2 | 32,6 | 54,8 | 18,0 | 30,3 | 23,0 | -    | 4,0 | 560,1 |
| 2013  | - | 4,1 | 6,5  | 46,8 | 21,4 | 26,2 | 25,2 | 32,3 | 19,5 | 32,0 | 15,6 | 3,0 | 232,6 |
| 2014  | - | 2,1 | 3,2  | 89,1 | 99   | 12,0 | 14,9 | 29,8 | 46   | 26,6 | 3,1  | -   | 237,0 |
| 2015  | - | 4,8 | 7,3  | 28,2 | 31,9 | 22,2 | 99,5 | 18,5 | 24,0 | 78,0 | -    | -   | 314,4 |
| 2016  | - | 8,8 | 19,9 | 55,9 | 23,4 | 22,7 | 21,1 | 39,3 | 50,7 | 60,0 | 8,6  | -   | 310,4 |

Source : DGMN (2016) et travaux de laboratoire

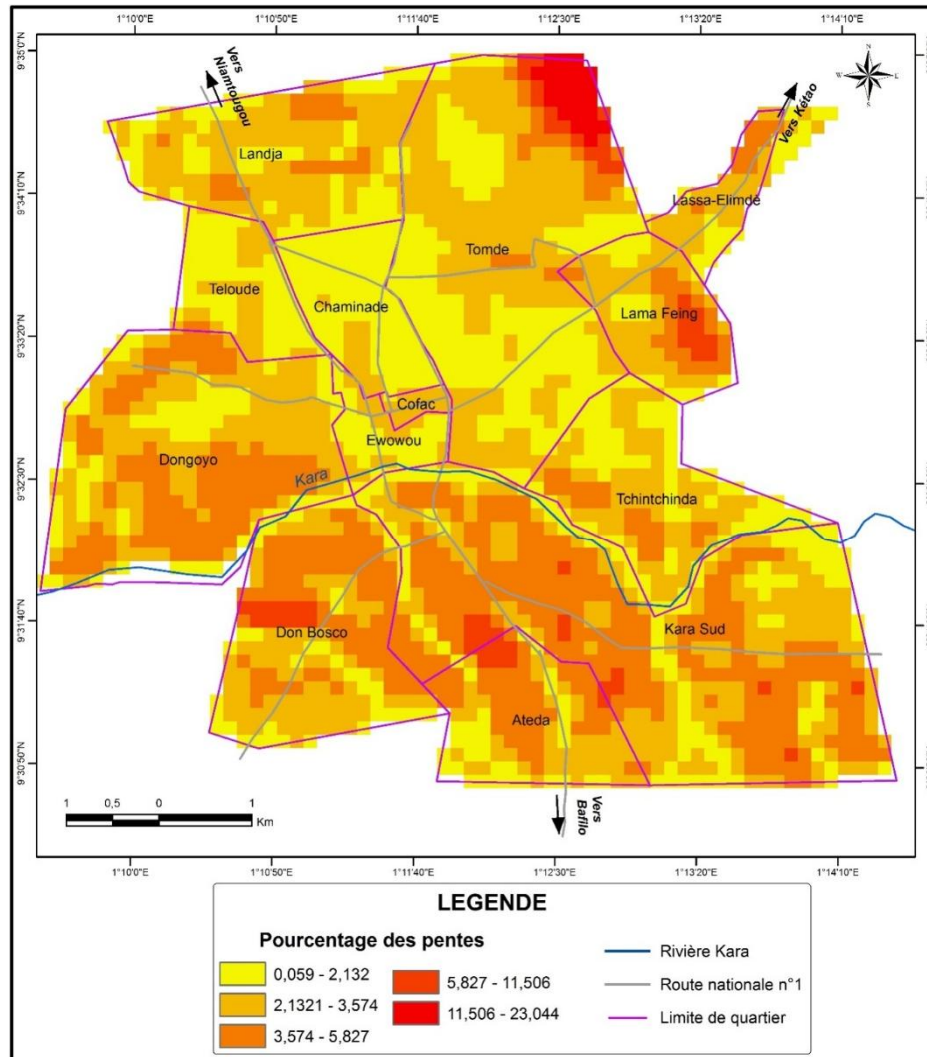
L'analyse des données du tableau montre que les pluies de forte intensité sont généralement enregistrées à partir d'avril qui s'annonce souvent avec une violence inouïe et durant les mois très pluvieux de juillet, août et septembre. Conjugées avec une fréquence élevée des précipitations, des pluies relativement importantes et prolongées et un sol dénudé, ces fortes intensités engendrent une forte activité érosive. Avec les changements climatiques, on assiste aujourd'hui à des pluviométries extrêmes aux effets positifs sur la dynamique érosive.

### 3.2.2-Des pentes faibles dans l'ensemble

Le relief de la ville de Kara présente des pentes qui convergent vers la rivière Kara. Les eaux de ruissellement se déversent dans cette rivière traversant grossièrement d'est en ouest le centre de la ville. Les altitudes varient entre 281 et 498 m. La carte des pentes montre que les

pentés sont dans l'ensemble très faibles ou faibles à moyenne sauf dans la partie nord et nord-est de la ville. Elles caractérisent un relief peu accidenté. Au regard de la figure 4, on constate qu'en dehors du secteur sud et du centre du périmètre urbain, le reste de la ville connaît des pentes faibles à très faibles. C'est cette situation de l'orientation topographique qui est responsable de la convergence de toutes les eaux de la ville vers la Kara qui constitue le niveau de base local contrôlant toute la dynamique de cet espace urbain.

Figure 4 : Répartition spatiale des classes des pentes dans la ville de Kara



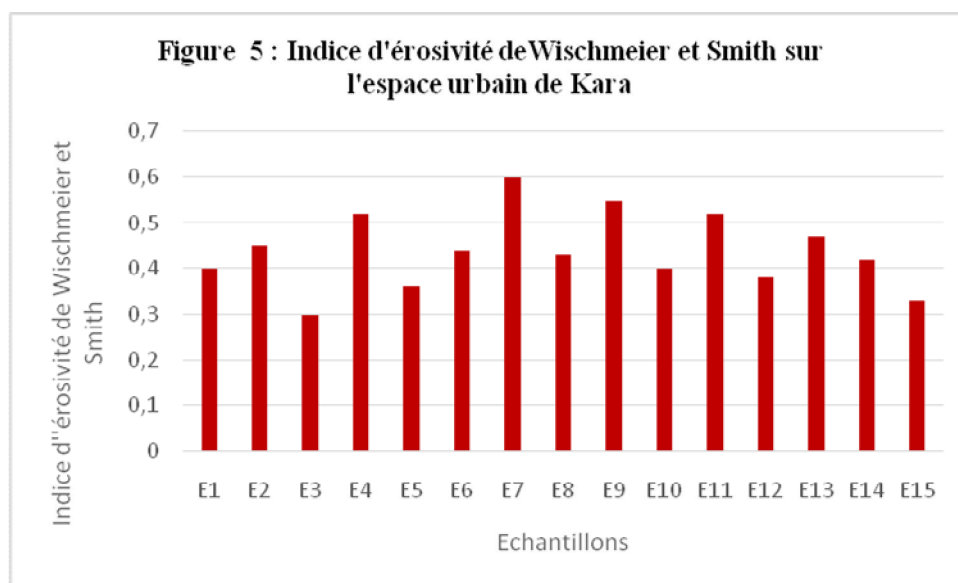
Source : MNT, 2014

D'une manière générale, la moyenne de l'indice topographique est de 0.4 sur l'ensemble de la ville, ce qui, à priori, ne semble pas théoriquement favorable à l'érosion. Pourtant, la ville de Kara connaît une activité érosive indéniable, car une pente, même faible, déclenche et entretient le ruissellement, influence positivement les transports des particules par l'eau et les remaniements de surface à condition que la nature du sol et du sous-sol le permette. Mais les pentes n'étant pas uniformes sur l'ensemble de l'espace urbain, le phénomène érosif est d'ampleur inégale d'un secteur de la ville à un autre. En effet, les quartiers nord et nord-est situés sur le piedmont du massif de Lama et ayant des pentes relativement plus fortes sont les plus soumis au processus d'érosion par ravinement. Par ailleurs, il convient de noter que

le facteur topographique ne permet pas à lui seul de justifier les manifestations de l'érosion puisque d'autres déterminants tels que la nature des sols y interviennent également dans le processus.

### 3.2.3-Des sols favorables à l'érosion

L'analyse granulométrique des échantillons de sol prélevés a permis de dégager les propriétés physiques des sols décrits dans l'espace urbain de Kara et qui sont dominés essentiellement par les sols ferrugineux tropicaux très sensibles à l'érosion. Les indices d'érodibilité de Wischmeier et Smith (1978) calculés donnent des valeurs comprises entre 0,3 à 0,6 avec une moyenne de 0,4. En se rapportant aux indices calculés pour la ville de Kara, les valeurs indiquent une sensibilité élevée des sols à l'érosion.



*Source : Traitement des données de terrain*

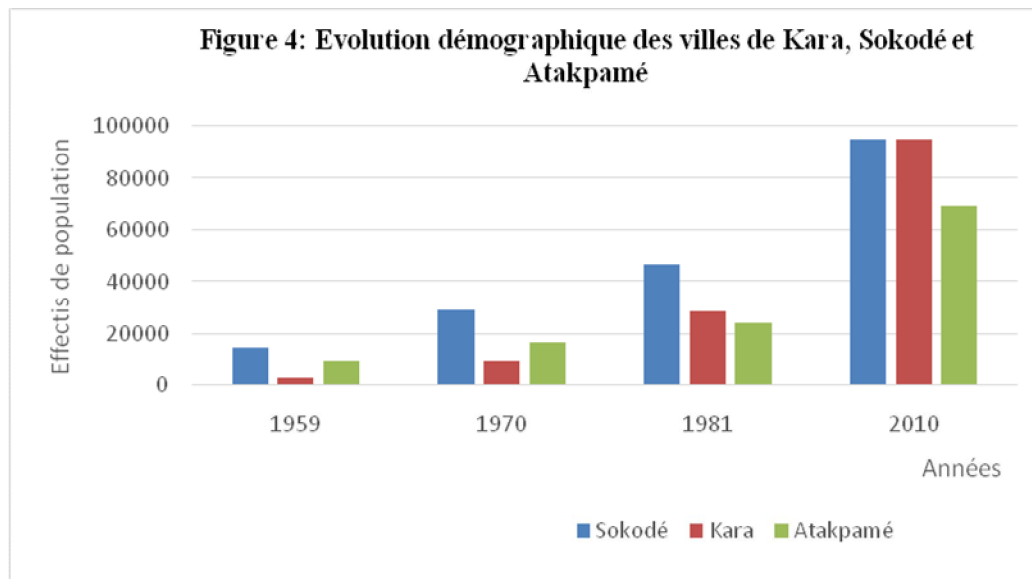
### 3.2.4-Une pression démographique inquiétante

Tout comme les autres villes secondaires des pays en voie de développement, les villes secondaires du Togo connaissent dans l'ensemble une croissance démographique soutenue, même si elle n'est pas comparable à celles des villes-capitales où la croissance est encore plus spectaculaire. Ces villes secondaires n'ont pas le même rythme de croissance. Certaines, telles que Parakou (Bénin), Kara (Togo) et Bouaké (Côte d'Ivoire), qualifiées de villes champignons, connaissent une dynamique très spectaculaire par rapport aux autres et ont des taux de croissance qui dépassent certaines villes-capitales (Nyassogbo, 2011).

Commune de plein exercice et double chef-lieu de la préfecture de la Kozah et de la Région de la Kara, la ville de Kara connaît une dynamique démographique spectaculaire avec un rythme de croissance exponentiel très poussé.

En effet, au premier Recensement Général de la Population et de l'Habitat en 1959, la population urbaine de Kara était de 2 875 habitants. Cette population a presque été multipliée par quatre, soit 9 440 habitants en 1970. L'effectif de la population de Kara a été multiplié par trois entre 1970 et 1981 et a atteint 28 902 habitants contre 46 660 pour Sokodé,

devenant ainsi la quatrième ville du Togo après Lomé, Sokodé et Atakpamé, alors qu'elle occupait le onzième rang en 1960. A cette date, le taux d'accroissement était de 8% pour Kara, soit le plus élevé du pays, contre 4,3% pour Sokodé, 6,1% pour Lomé et 4,8% pour la ville de Dapaong. Les travaux de cartographie et de pré-dénombrement réalisés en 1997 ont évalué la population de la ville de Kara à 53 100 habitants. Le quatrième Recensement Général de la Population et de l'Habitat de 2010 fait état de 94 878 habitants. La figure 6 illustre l'évolution comparée de la population de la ville de Kara à celle de certaines villes secondaires du pays.



Source : INSEED, 2017

Cette dynamique démographique a entraîné une densification de l'habitat et son extension anarchique au détriment de la couverture végétale avec comme conséquence, une augmentation des surfaces imperméables. En effet, dans la ville de Kara tout comme dans les autres villes, le taux d'imperméabilisation du sol varie d'un quartier à un autre. Les sols des quartiers à habitation dense sont les plus imperméables avec une concentration du ruissellement dans les rues produites par les constructions. Cette situation engendre l'ouverture des morsures sur les voies non bitumées et aux alentours des maisons.

#### 4 - DISCUSSION

L'évaluation des paramètres de l'érosion hydrique dans l'espace urbain de Kara a révélé que les facteurs responsables des crises morphogéniques sont multiples. Ces facteurs sont d'ordre naturel et humain. Les résultats que nous avons obtenus montrent clairement l'influence de ces paramètres. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Avenard J. M. (1982) au Burkina Faso, Peyrot B. (1984) au Congo Brazzaville, Tchotsoua M. (1994 ; 2007) au Cameroun, Gnongbo T.Y. (2003 ; 2013) et Bouraïma I. (2006) au Togo.

En effet, les facteurs naturels, notamment la pente, la nature du sol et la pluie, participent activement à l'érosion affectant le site urbain de Kara. Quant aux facteurs humains liés à l'urbanisation, ils constituent les éléments d'exacerbation du phénomène érosif.

Malgré l'importance des paramètres physiques, les résultats de la régression linéaire multiple indique que l'homme à travers ses installations anarchiques, sans souci des contraintes du milieu, reste l'élément le plus déterminant de l'érosion que connaît la ville de Kara. Ainsi, l'urbanisation incontrôlée des villes, à l'instar de Kara, reste le facteur clé de l'érosion. La maîtrise de l'érosion en milieu urbain doit être orientée vers des aménagements qui tiennent compte des normes d'urbanisme et surtout des impératifs du milieu naturel.

## CONCLUSION

Il apparaît au terme de cette étude que les facteurs d'érosion des sols dans l'espace urbain de Kara sont très variés. Il s'agit essentiellement de l'imperméabilisation liée à la nature du sol, la topographie et la pluviométrie. Cependant, ces facteurs n'ont pas la même intensité d'action érosive partout.

En effet, la méthode d'analyse linéaire multiple a permis de comprendre que l'imperméabilisation est très déterminante sur l'érosion dans le secteur étudié suivie de la pente topographique de par sa déclivité. De même, sur le plan pédologique, la nature du sol est un facteur à ne pas négliger dans le processus érosif. Tous ces facteurs s'interfèrent et agissent dans un contexte de dérèglement du climat actuel marqué par une forte agressivité pluviométrique. L'étude de l'érosion linéaire par élargissement des talwegs a permis de comprendre que le taux d'imperméabilisation est très capital. Dans les secteurs à forts taux d'imperméabilisation, l'élargissement des berges des ravins est très lent à cause de l'occupation de ces berges par les habitations.

Au regard de l'importance de ces facteurs, il se pose l'épineux problème de maîtrise des principaux déterminants de l'érosion hydrique par les différents acteurs de développement dans le secteur étudié.

## BIBLIOGRAPHIE

AVENARD J-M. (1982) : La dégradation du milieu à la périphérie de Ouagadougou (Burkina Faso), ULP, strasbourg, 20 p.

BIAKOUYE K. A. (2002) : Dynamique urbaine et dégradation de l'environnement urbain en milieu tropical humide: le cas de Kpalimé au Togo, Mémoire de DEA de géographie, UL, Lomé, 71 p.

BOURAÏMA I. (2006) : Système d'érosion et cartographie de la dynamique de l'environnement du site urbain de Sokodé. Mémoire de Maîtrise, Université de Lomé, 140 p.

FOURNIER F. (1962) : La recherche en érosion et en conservation des sols sur le continent africain ; sols africains 121 ; n°1, pp 5-33

GNONGBO Y.T. (2003) : Morphodynamique actuelle et urbanisation à Lomé. In Revue de géographie, Univ. de Lomé, pp 6-15.

GNONGBO Y.T. (2006) : Problèmes morphologiques, inondations et cartographie des zones à risque du site de Lomé. CERLESHS, n° spécial, Actes du 2<sup>ème</sup> colloque international sur « Télédétection et système d'information géographique (SIG), Ouagadougou, 18-19 janvier 2005, Projet ENRECA, pp. 155-172.



GNONGBO T.Y. (2013) : Les dégâts de l'érosion hydrique dans la ville de Kara, In : Ahoho, Revue de Géographie du LARDYMES, Université de Lomé, Lomé, pp. 5-16.

ISSAOU L. (2003) : Problèmes des inondations dans la ville de Lomé. Mémoire de Maîtrise, Dépt. Géo. FLESH, Université de Lomé, 123 p.

KLASSOU K. S. (1998) : Croissance urbaine et inondation à Lomé. Réflexion sur les facteurs responsables et les perspectives d'avenir. Actes du colloque sur le Centenaire de Lomé, Capitale du Togo (1897-1997), Lomé 3-6 mars 1997, Coll. Patrimoine, n°7, pp 221-231.

LAMOUREUX M. (1969) : Notice explicative n°34 de la carte pédologique du Togo au 1/1 000 000, ORSTOM, Paris, 91 p.

MARGUERAT Y. (1986) : Dynamique sociale et dynamiques spatiale d'une capitale africaine. Les étapes de la croissance de Lomé, ORSTOM, Lomé, 37 p.

NYASSOGBO K. G. (1996) : Urbanisation et dégradation de l'environnement : le cas des quartiers riverains de la lagune de Lomé au Togo. Communication aux premières journées géographiques du Cameroun, Yaoundé, 15 p.

NYASSOGBO K. G. (2011) : Les villes togolaises vues par rapport à leur trajectoire de croissance et de développement, Atelier sur le changement climatique à l'intention des collectivités locales togolaises, du 04 au 06 mai, Kara, 9 p.

PEYROT B. (1984) : Facteurs et processus de dégradation du site de Brazzaville. In : Géomorphologie générale, Trav. et Doc. Géogr. Tropic., n° 51, pp. 113-128.

RGPH4, 2010 : Recensement général de la population et de l'habitat au Togo, résultats définitifs, DGSCN, 65 p.

ROOSE E.J. (1977) : Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. Trav. et Doc de l'ORSTOM, n°78, Paris, 108 p.

TCHOTSOUA M. (1995) : « Urbanisation et érosion accélérée dans la ville de Yaoundé : comment améliorer la conservation de l'environnement urbain en milieu tropical humide », Rapport d'étude (Programme de petites subventions pour la recherche en population et développement), CODESRIA, n°15, Dakar, 127 p.

TCHOTSOUA M. (2007) : « Les risques morfo-hydrologiques en milieu urbain tropical : cas de Yaoundé au Cameroun », Actes des JSIRAUF, Hanoi, 9 p.

VENNETIER P. (1989) : La périurbanisation dans les pays tropicaux'' ; CEGT ; Talence, France ; 383 p.