Etude de la vulnérabilité aux risques d'érosion hydrique de la route nationale n^0 10 (rn10), tronçon Kouya - Alleme dans le district d'Ewo (République du Congo)

Study of the vulnerability to the risks of water erosion of the national road n° 10 (rn10), Kouya - Alleme section in the Ewo district (Republic of Congo)

[1]OBELANDO ASSOUNGA Schistel et [2]SITOU Léonard

Résumé
La dégradation des pistes agricoles par l'érosion hydrique affecte gravement la circulation des hommes et des biens. En raison des conséquences qu'il engendre, le phénomène préoccupe tous les acteurs surtout les scientifiques qui cherchent à comprendre les causes. La présente étude vise l'évaluation de la vulnérabilité à l'érosion hydrique du tronçon routier Kouya-Allemé dans le district d'Ewo (Département de la Cuvette ouest). Les observations et les mesures de terrain ainsi que les analyses effectuées au laboratoire sur certaines variables du milieu montrent que cette route en est très exposée. Les principaux indicateurs de cette fragilité sont : la présence, le long du tronçon, des fortes pentes atteignant ou dépassant 25%, favorables aux ruissellements ; la texture des formations géologiques sensible aux affouillements en raison de la domination des sables dont le taux moyen dépasse 85% avec plus de 45% de sables grossiers ; texture favorable aux infiltrations à cause des faibles taux d'argile et des taux d'érodibilité situés entre 0,30 et 0,35 t.ha.h/ha.MJ.mm ; l'érosivité des pluies dont la moyenne décennale s'élève à 6520,89 MJ.mm/ha.h.an, et la faible résilience de la population liée au non respects des normes de construction et à l'absence des mesures de protection de cette piste. Approfondir l'analyse de cette vulnérabilité à travers la perception de la population riveraine constitue la principale perspective de cette étude.
Mots clés : Congo, Erosion hydrique, Risques, Route, Vulnérabilité.

Abstract
The degradation of agricultural tracks by water erosion seriously affects the movement of people and goods. Because of the consequences it causes, the phenomenon is of concern to all stakeholders, especially scientists who are trying to understand the causes. This study aims to assess the vulnerability to water erosion of the Kouya-Allemé road section in the district of Ewo (Cuvette West Department). Field observations and measurements as well as laboratory analyses of certain environmental variables show that this road is highly exposed to erosion. The main indicators of this fragility are: the presence, along the section, of steep slopes reaching or exceeding 25%, which are conducive to runoff; the texture of the geological formations, which is sensitive to scouring due to the dominance of sands, the average rate of which exceeds 85% with more than 45% of coarse sands; a texture conducive to seepage due to the low clay rates and erodibility rates of between 0.30 and 0.35 t ha.h/ha.MJ.mm; the erosivity of rainfall, with a ten-year average of 6520.89 MJ.mm/ha.h.year, and the low resilience of the population due to the non-respect of construction standards and the absence of measures to protect the runway. The main objective of this study is to analyse this vulnerability through the perception of the riparian population.
Key words: Congo, Water Erosion, Risks, Road, Vulnerability.

Introduction

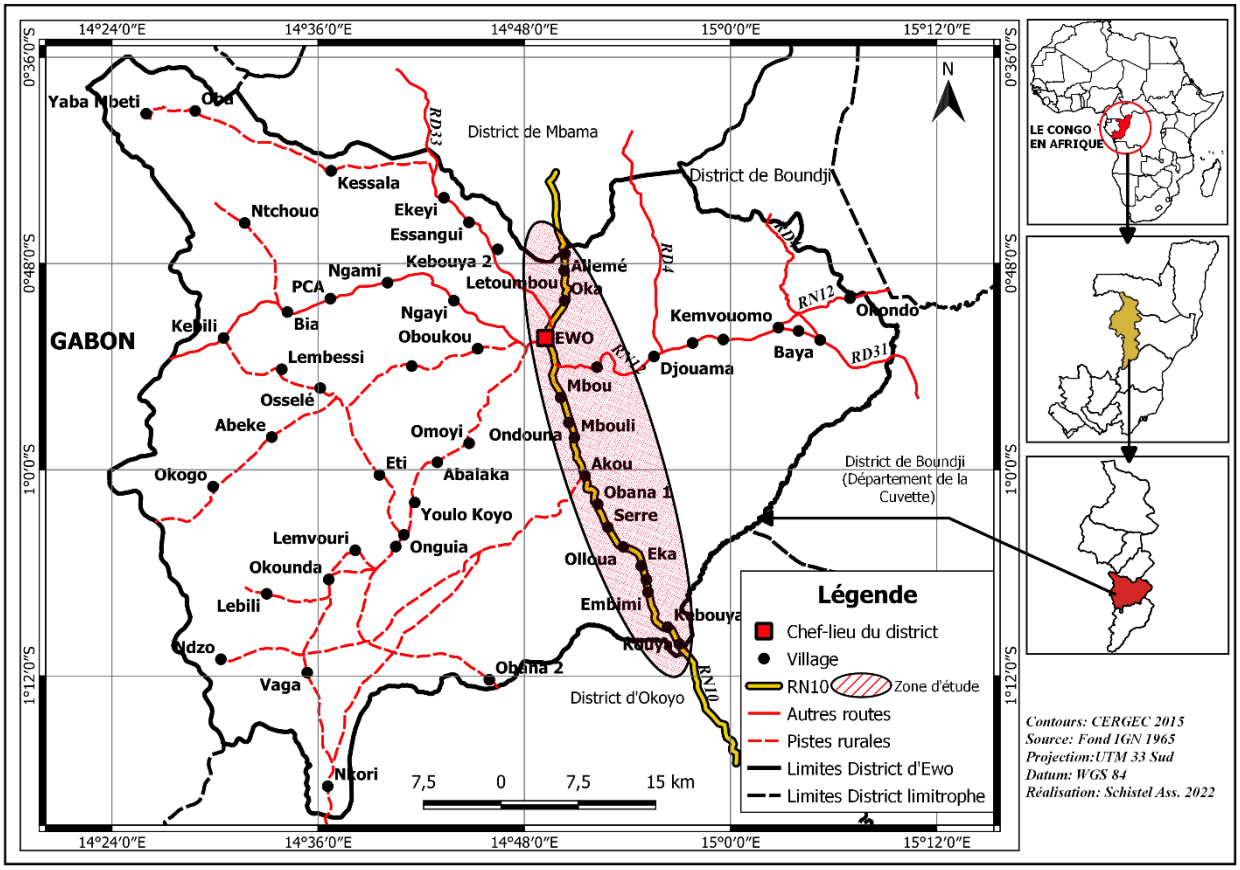
Le Congrès Mondial de la Route qui s'est tenu à Durban (Afrique du Sud) en 2003, a lancé un slogan qui stipule que « *la route du développement passe par le développement de la route* » (I. A. W. M'BOUKA MILANDOU, 2019, p. 12). En effet, jouant un rôle important dans le décollage économique, la route est considérée comme le soubassement sur lequel repose le développement socio-économique d'un pays (S. BURNINGHAM & et N. STANKEVICH, 2005, p. 1). Malheureusement, au Congo, la dégradation, par l'érosion hydrique, des routes rurales surtout non bitumées, affecte gravement la circulation des hommes et des biens. Elle influe négativement sur le développement socioéconomique des campagnes et y accentue la pauvreté. Cette situation qui risque de s'amplifier sous l'effet des changements climatiques, constitue aujourd'hui une grande préoccupation tant pour les décideurs politiques, les populations qui en sont les principaux utilisateurs que pour les scientifiques qui cherchent à comprendre le phénomène (I. MBOUKA-MILANDOU et L. SITOU, 2017, p. 117). La présente étude porte sur la route nationale N°10, Djambala-Mbomo-frontière Gabon, notamment sur son tronçon Kouya-Allemé dans le district d'Ewo, dans le département de la Cuvette ouest. Cet axe routier joue un rôle important dans le désenclavement de l'arrière-pays ; le ravitaillement des localités comme Mbama, Okoyo, Ewo, etc. en produits de tout genre ; l'évacuation des grumes de bois entre les unités forestières aménagées (UFA) du nord de la Cuvette-ouest vers le port de Pointe-Noire). Il constitue en fait une alternative à la Route Nationale N°2, en permettant aux exploitants forestiers et aux populations du nord de la Cuvette-ouest de joindre Brazzaville sans passer par Makoua dans le département de la Cuvette. Traversant le centre-ouest du Congo sur plus de 200 Km, ce tronçon a été réhabilité en 2011 à l'occasion de la municipalisation accélérée qu'a bénéficié le Département de la Cuvette-ouest. Aujourd'hui il est exposé aux risques de dégradation par l'érosion hydrique. Sa maintenance, qui implique la connaissance des facteurs de sa fragilité, est donc primordiale. Le présent travail porte sur l'étude de quelques variables du milieu naturel considérées comme les principaux indicateurs de vulnérabilité de cette route face à ces risques de dégradation par l'érosion hydrique. Une question principale résume donc la problématique de cette étude à savoir quelles sont les indicateurs ou facteurs de la vulnérabilité qui exposent cette route aux risques d'érosion hydrique. La présentation du cadre général de la zone d'étude, la description de la méthodologie d'approche et l'analyse des principaux indicateurs de la vulnérabilité de cette route face aux risques de dégradation par l'érosion, constituent les

principales articulations de cet article qui se termine par une conclusion précédée de la discussion des résultats.

1. Cadre général

La route Nationale N°10 est longue de plus de 200 Km allant de Djambala dans les Plateaux Batékés jusqu'à Mbomo dans le nord de la Cuvette-ouest. Notre étude porte uniquement sur le tronçon Kouya- Ewo-Allemé, long de 51 km, dans le district d'Ewo. Géographiquement, ce tronçon est situé entre 0º 47' 15'' de latitude sud et 1º 10' 25'' de latitude sud (figure 1).

Figure 1 : Localisation du tronçon étudié



Le tronçon étudié traverse l'extrême nord-ouest des plateaux batékés dominés ici par des hautes collines d'environ 600 m d'altitude moyenne. Ces collines aux flancs convexo-concaves sont entourées par des vallées profondes dont la plupart sont drainées par des cours d'eau permanents (P. de BOISSEZON, 1963, p.18). Ce plateau qui s'étend jusqu'au Gabon dans la province du Haut-Ogooué, est taillé dans deux assises géologiques qui se superposent à savoir, à la base, la série du Stanley Pool constituée de grès polymorphes d'âge Secondaire et, au sommet, la série des plateaux Batékés formée de sables ocres jaunes d'âge Tertiaire (Atlas de la République Populaire du Congo, 1977, p. 08). Les grès polymorphes affleurent au fond de certaines vallées dont l'enfoncement a permis de les atteindre. Les sols formés à partir

de ces roches sont généralement ferralitiques et fortement désaturés, avec des taux de matière organique faibles, oscillant entre 1 et 2% (R. JAMET et J.M. RIEFFEL 1976, p. 24).

Le district d'Ewo a un climat de type subéquatorial (Atlas du Congo, 2001, p.15), caractérisé par l'alternance d'une saison sèche d'environ 3 mois (juin-août) et d'une saison de pluie de 9 mois (septembre à mai). Le réseau hydrographique est constitué par la rivière Kouyou et ses affluents dont les plus importants sont la Ngoko et la Lembéssi, qui ont presque le même gabarie que le Kouyou. Ce réseau est tributaire des données climatiques. Il est bien drainé au cours de la période pluvieuse où il charrie de grandes quantités de sédiments arrachés en amont par l'érosion. Pendant la saison sèche le volume des eaux baisse et la traversée à gué de quelques petits cours d'eau redevient facile. La végétation se présente comme une mosaïque de forêts mésophiles occupant surtout les abords des cours d'eau et de savanes, tantôt hautes, tantôt basses, mais en général arbustive avec, pour principales strates ligneuses, *Anonna arenaria, Bridelia ferruginéa* et *Hymenocardia-acida* (P. VENNETIER, 1966 p.50).

2. Matériels et méthodes

2.1. Matériels utilisés

Le matériel utilisé au cours de cette étude est composé, entre autres, d'un appareil téléphonique muni d'une caméra HD de marque Samsung, pour la prise d'images ; d'un récepteur GPS de marque Garmin 60S, pour la prise des points GPS des formes observées et la mesure des dimensions de certaines formes étudiées.

2.2. Méthodes et données utilisées

Trois opérations complémentaires ont été menées pour réaliser ce travail. Il s'agit de l'étude documentaire, des observations de terrain et des analyses de laboratoire. L'analyse documentaire des travaux antérieurs a permis de collecter les informations sur la zone d'étude et le thème de recherche. A cet effet, plusieurs ouvrages, mémoires, thèses et articles scientifiques, rapports d'étude, ont été consultés et analysés. Cette documentation nous a en outre permis de faire l'état de la question qui a surtout servi pour la discussion des résultats. Le travail de terrain a consisté à arpenter le tronçon routier de manière à identifier et analyser les indicateurs ou facteurs de risques. Il a aussi porté sur la collecte des échantillons de sol pour l'étude, au laboratoire, des variables du milieu naturel. Cette approche nous a permis d'évaluer essentiellement la sensibilité du milieu naturel.

2.2.1. Evaluation de la sensibilité du milieu naturel

La sensibilité du milieu vis-à-vis de l'érosion a été appréciée à travers l'étude, d'une part, des caractéristiques physiques et mécaniques des sols et, d'autre part, de l'agressivité du climat. Les caractéristiques physiques du sol ont été évaluées à travers la texture des formations

géologiques obtenue par les méthodes granulométriques. Les propriétés mécaniques ont été évaluées à travers la densité apparente du matériel remanié (MR) de la surface de roulement (SR), l'érodibilité (K) et la porosité des sols.

a) Les analyses granulométriques

Elles ont porté sur quatre (4) échantillons soit deux (2) prélevés à Mbou au sud d'Ewo, directement sur la paroi du talus routiers à 50 cm et 100 cm de profondeur et deux (2) à Oka, localité située au nord d'Ewo (fig. 1). La granulométrie a été réalisée au laboratoire de Chimie de l'Institut de Recherches en Sciences Exactes et Naturelles (IRSEN) de Pointe-Noire, par les méthodes de tamisage pour la fraction sableuse et de la pipette de Robinson pour les inférieurs à 50 microns.

b) Détermination de la teneur en MO par incinération

La granulométrie a été complétée par le dosage de la matière organique qui a été réalisé dans le même laboratoire par la méthode de perte au feu (PAF) dont le protocole est le suivant : l'échantillon de sol est broyé et tamisé à 2 mm est séché pendant une nuit (16 heures) à moins de 100 °C ; nettoyer les creusets en les chauffant au rouge ; les laisser refroidir au dessiccateur pendant 10 minutes ; prendre le poids des creusets vides ; mettre 10 g de sol séché dans chaque creuset ; peser le tout ; calciner le sol au four à moufle à 375 °C pendant 16 heures ; laisser refroidir dans un dessiccateur et peser le creuset contenant les cendres. Le calcul et l'expression des résultats sont effectués à partir de l'équation suivante : $\%\boldsymbol{MO}. = ((\boldsymbol{P1} - \boldsymbol{PO}) - (\boldsymbol{P2} - \boldsymbol{PO}))\ \boldsymbol{P1} - \boldsymbol{PO}\ \boldsymbol{x}\ \mathbf{100}$, avec **MO**. : matière organique ; **P0** : poids du creuset vide ; **P1** : poids final ; **P2** : poids du creuset contenant les cendres.

c) Détermination de la densité apparente

La route en étude est taillée directement dans la roche en place. La couche de roulement est constituée du matériel remanié (MR) par les passages répétés des usagers de la route. La détermination de la densité apparente (*da*) de ce MR a permis d'apprécier la compacité et la porosité de la SR. Ces variables influent sur les ruissellements. Quatre échantillons ont été prélevés sur ce tronçon routier à différentes sections, par la méthode de cylindre de 100 cm^3 de volume, de 4 cm de diamètre et 4 cm de hauteur. Le protocole utilisé depuis l'échantillonnage jusqu'au traitement au laboratoire est le suivant : Pour l'échantillonnage, le cylindre est enfoncé verticalement dans le matériel de la route. Il est ensuite retiré délicatement de façon à maintenir l'échantillon à l'intérieur. Le cylindre est rasé sur ces deux côtés avec une truelle. Au laboratoire, les échantillons sont séchés à l'étuve pendant 48 heures à 105°C et pesés par la suite pour obtenir la masse sèche. Connaissant le volume total (Vtot.) du matériel remanié qui est celui du cylindre (100 cm^3) et sa masse sèche (msec), la densité

ISSN 2707-5028

apparente a été déterminée avec la formule : $\boldsymbol{da} = \boldsymbol{msec} / \boldsymbol{Vtot.}$, avec da : densité apparente (g/cm^3), msec : masse sèche du MR (g) et Vtot. : volume du MR qui est le volume du cylindre (cm^3).

d) Evaluation de l'érodibilité des sols (K)

L'érodibilité du sol exprime la facilité de celui-ci à être érodé par la pluie. Cette variable dépend des propriétés physiques du sol, notamment la texture, l'agrégation, la stabilité structurale, la porosité, la teneur en MO, etc. Ces éléments permettent d'estimer la valeur de K en appliquant l'équation de régression de W.H. WISCHMEIER, C.B. JOHNSON & B.V. CROSS, 1971, p 191. Les formules suivantes ont ainsi été utilisées pour estimer l'érodibilité K :

$$\boldsymbol{100K = 2{,}1 * 10^{-4} * M^{1{,}14} (12 - MO) + 3{,}25 (b - 2) + 2{,}5 (c - 3)}$$

M est le facteur granulométrique ; **MO** : matière organique ; **b** : code de structure de sol et **c** : classe de perméabilité du profil.

M est déterminé par la formule : **M = [Sable fin (%) + Limon (%)] x [100 – argile (%)]**

L'analyse des résultats a été faite en s'appuyant sur la classification de A. BOLLINNE & P. ROSSEAU, 1978, p 138, (Tableau I).

Tableau 1 : Indice d'érodibilité et de sensibilité des sols à l'érosion hydrique

Valeurs de K	Sensibilité des sols à l'érosion hydrique
K <0,l0	Sols très résistants à l'érosion
0,l0 à 0,25	Sols assez résistants à l'érosion
0,25 à 0,35	Sols moyennement sensibles à l'érosion
0,35 à 0,45	Sols assez sensibles à l'érosion
> 0,45	Sols très sensibles à l'érosion

Source : *Bollinne et Rosseau, 1978*

e) Calcul de l'indice de battance (IB)

L'indice de Battance (IB) permet d'apprécier la capacité des formations superficielles à former la croupe de battance qui empêche les infiltrations au profit des ruissellements. L'indice de Battance a été calculé à partir de la formule suivante : **IB** = $\frac{1{,}5\ \%LF + 0{,}75\ \%LG}{\%\ A + 10\ \%\ MO}$ LF : Limons fins ; LG : Limons grossier ; A : Argile ; MO : Matières organiques

Cet indice a été obtenu sur les deux échantillons de l'horizon supérieur (50 cm) et les résultats ont été analysés à partir de la classification de Re**my et Martin-Laflèche** (tableau 2)

Tableau 2 : Classification de l'indice du risque de battance et d'érosion

Description	Risque de battance (IB)
IB> 2	sol très battant
1,8 <IB< 2	sol battant
1,6<IB< 1,8	sol assez battant
1,4<IB< 1,6	sol peu battant
IB< 1,4	sol non battant

Source : Rémy et Marin-Laflèche (1974), cité par Etoua Ndouniama R. (2021).

- ***Calcul de l'indice de porosité (IP)***

L'indice de porosité permet d'apprécier la porosité du sol qui influe sur l'infiltration des eaux et partant des ruissellements. Il fait partie des indicateurs de vulnérabilité du sol à l'érosion hydrique. Cet indice a été évalué uniquement sur les échantillons prélevés à 50 cm et à partir de la formule suivante. : $\mathbf{IP} = \frac{\%\ \mathbf{Sablesgrossiers}}{\%\ \mathbf{Argile}}$

Les résultats, ont été analysés par rapport à la classification suivante : ***si IP < 3****, la porosité est défavorable (moins d'aération)* ***et si IP > 3****, la porosité est favorable.*

f) Étude de l'agressivité climatique

L'agressivité du climat a été appréciée à travers l'indice d'érosivité des pluies (R) calculé à partir de la formule proposée par RENARD et FREIMUND (1994) cité par DOUAY et LARDIEG (2010 p. 13). Cet indice (R) dépend surtout de l'intensité des pluies ou de l'énergie cinétique qui en résulte directement (STENGEL et GELIN, 1998, cité par R. NGATSE et *al*. (2017, p. 100). Cette énergie permet à la goutte de pluie de désagréger les agrégats du sol à travers l'effet « splash ». Mais l'utilisation de cette formule implique de disposer les valeurs de la pluie totale et des intensités maximales sur 30 minutes des épisodes pluvieux sur une période de 30 ans. Nous n'avons pas disposé de ces intensités. Aussi avons-nous utilisé la formule simplifiée suivante proposée par les mêmes auteurs.

$$\mathbf{R = 587,8 - 1,219P + 0,004105P^2}$$

R : *paramètre d'érosivité* (MJ.mm/ha.h.an) ; **P** : *précipitation annuelle (mm)*

Cette formule intègre uniquement la hauteur des pluies annuelles moyennes (P) en mm et concerne les zones où les précipitations moyennes annuelles sont supérieures à 850 mm comme dans notre zone d'étude. A cet effet, les données de la pluviométrie mensuelle et annuelle de 2005 à 2015 de la station d'Ewo ont été utilisées.

Les résultats obtenus ont été analysés en tenant compte de la classification établie par DOUAY et LARDIEG, (2010 p. 13) (tableau 3).

Tableau 3 : Classes des indices d'érosivité (R) des pluies

Classe	Erosivité (R)		Vulnérabilité des sols
4	> 5000	Forte érosivité	Très élevée
3	4000 à 5000		Elevée
2	3000 à 4000		Modérée
1	2000 à 3000		Faible
0	0 à 2000	Faible érosivité	Très faible

Source : Douay et Lardieg, 2010 p. 13

g) Cartographie

La carte des pentes utilisée dans ce travail ont été réalisées à l'aide des logiciels QGIS 3.20 Arc Gis 10.1. Elle montre le caractère disséqué du site traversé par le tronçon étudié.

3. Résultats

Les observations et les mesures effectuées montrent, que plusieurs paramètres naturels constituent des facteurs qui exposent cet axe routier aux risques de dégradation par les phénomènes d'érosion.

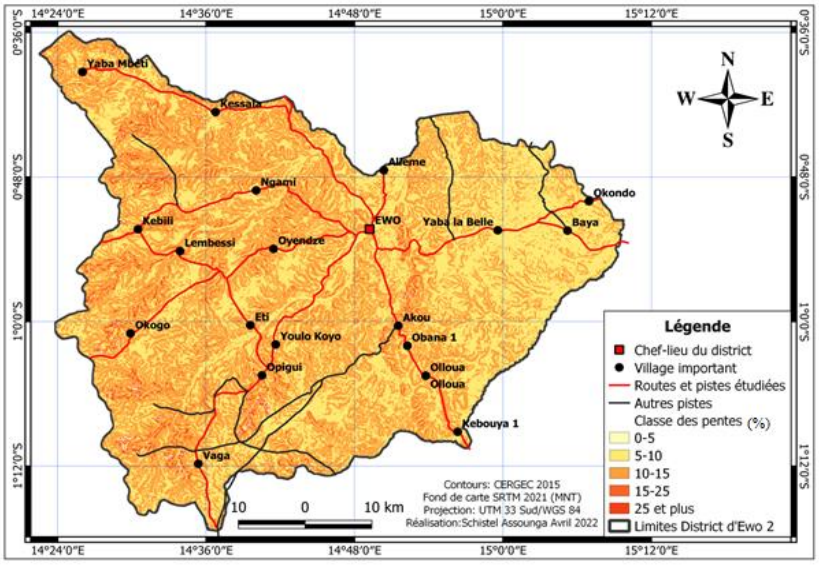
3.1. Les indicateurs naturels de vulnérabilité de la RN10 à l'érosion hydrique

3.1.1. Une topographie accidentée

Les caractéristiques topographiques constituent un indicateur important de la vulnérabilité du milieu face aux risques d'érosion hydrique. La présence des pentes notamment la longueur, la forme et surtout la valeur de l'inclinaison des versants sont des paramètres qui influencent considérablement l'érosion des sols (E. ROOSE 1994 p. 86).

La route Kouya-Allemé, traverse un ensemble morphostructural au relief très tourmenté (Figure. 2).

Figure 2 : Carte des pentes du district d'Ewo traversé par la RN10, tronçon Kouya-Ewo-Allemé.



DaloGéo, revue scientifique spécialisée en Géographie, Université Jean Lorougnon Guédé, numéro 007, décembre 2022
ISSN 2707-5028

Il s'agit dans l'ensemble d'un plateau disséqué par un réseau assez dense de vallées encaissées qui ont isolé, à certains endroits, des collines massives aux flancs très inclinés et allongés. En effet, les vallées ont plusieurs dizaines de mètres de profondeur avec des versants très inclinés pouvant atteindre et dépasser 25% de pente (figure 2).

Ainsi, la route est aménagée tantôt sur les sommets d'interfluves, tantôt sur des terrasses taillées à mi-hauteur des versants. Ces positions topographiques placent la route en hauteur, au-dessus des surfaces inclinées sur lesquelles se forment des ruissellements abondants responsables de ravinements régressifs susceptibles de remonter depuis la base jusqu'au niveau de la route (photos 1 et 2, planche I). A plusieurs autres endroit la route est aménagée à la base des versants, en position basse, où elle est affectée ou menacée par les épandages de colluvions drainés par les ruissellements qui descendent des versants (photo 3 planche 1).

Planche 1 : Localisations topographiques de la RN10 au nord d'Ewo

Photos 1 et 2 : *Sections de la route dominant des versants inclinés, affectés par des ravinements au nord d'Ewo*. ***Photo 3 :*** *Tronçon de la route situé au bas d'un versant affecté par des rigoles à environ un km au nord du Village Mbou. (1© Schistel Obelando Assounga, Mai 2021).*

En effet, les versants, bien que couverts par la savane, sont parsemés de ravinements qui, d'une part, constituent des menaces pour les sections de la route situées en hauteur et, d'autre part, sont pourvoyeurs de colluvions qui s'accumulent sur les tronçons en position basse. Par ailleurs, en raison de ce relief accidenté, le tracé de la route est très ondulé avec des sections plus ou moins inclinées et des sections déprimées aux pentes faibles ou nulles. Les sections inclinées sont favorables aux ruissellements qui affectent aussi bien longitudinalement le milieu et les bords de la route (photos **4** et **5,** planche **2**) que transversalement (photo **6,** planche **2**). Les parties déprimées à pentes faibles ou nulles, sont des zones d'épandage de sédiments qui complique entravent la circulation des automobiles (photo **7**, planche **2**). Tous ces phénomènes accélèrent la dégradation de cet axe routier.

Planche 2 : Caractéristiques topographiques de la RN10 au sud d'Ewo

Photos 4, 5, 6 et 7 : Quelques sections de la route fortement inclinées et ravinées par les Ruissellements (1© Schistel Obelando Assounga, Mai 2021).

Ainsi, la présence quasi généralisée des versants fortement inclinés constitue un indicateur important de la vulnérabilité de cette route face aux risques d'érosion hydrique. Mais si les pentes sont très favorables aux ruissellements, ceux-ci exploitent la sensibilité des formations géologiques.

3.1.2. Le rôle des propriétés physiques et mécaniques des formations géologiques

La sensibilité des formations géologiques, sur lesquelles repose la route constituent un autre indicateur essentiel dans l'évaluation de la vulnérabilité aux risques d'érosion hydrique. Le tronçon routier repose sur les sables des plateaux batékés, réputés très vulnérables aux phénomènes érosifs. La sensibilité de ces sables est avant tout liée à leur texture. Les analyses granulométriques que nous avons effectuées sur les quatre échantillons indiqués dans la méthodologie montrent que dans l'ensemble, la texture de ces formations géologiques est à dominance sableuse, avec des taux moyens de sables qui dépassent les 85%, avec plus de 45% de sables grossiers et environ 40% de sable fins. Les taux d'argiles varient entre 5 et 11% avec une moyenne de près de 9% (tableau 4).

Tableau 4 : Texture et matière organique des formations géologiques de la RN10

Site de Prélèvement	Profondeur Echantillon	Texture (%)					M.O
		Sables (%)		Limons (%)		Argiles (%)	
		SG	SF	LG	LF	A	
Village Mbou	50 cm	52,66	40,41	0,81	0,00	5	0,31
	1 m	47,69	41,43	1,01	2,50	7	0,30
Village Oka	50 m	46,53	32,05	3,00	2,66	11,00	1,26
	1 m	36,25	46,59	1,54	3,00	11,50	1,89
Moyenne		**45,77**	**40,17**	**1,59**	**2,04**	**8,62**	**0,94**

SG – Sable grossier **; SF** – sable fin ; **LG** – Limon grossier ; **LF** – Limon fin ; **A** – Argile ; **M.O** – Matière organique ; **H** – Humidité.

Source : analyses de laboratoire effectuées par les auteurs

L'importance des sables surtout grossiers, les faibles taux d'argile et l'absence ou presque de matière organique confèrent à ces formations une faible cohésion qui devraient favoriser les infiltrations au détriment des ruissellements. Ceci est autant évident que l'Indice de Porosité (IP) calculé sur ces formations est supérieurs à 3 et donc très favorable, c'est-à-dire confère aux formations géologiques une grande aération favorable aux infiltrations (Tableau 5). La capacité potentielle d'absorption des eaux de pluie des formations géologiques est aussi indiquée par le caractère non battant des sols. En effet l'Indice de Battance calculé sur les deux échantillons de l'horizon supérieur est inférieur à 1, ce qui place ces formations dans la classe des sols non battants, selon la classification de REMY et MARIN-LAFLECHE (1974), cité par R. ETOUA NDOUNIAMA (2021, p. 39). Un sol non battant ne favorise pas la formation de la croûte de battance qui empêche les infiltrations et favorise les ruissellements. Cet indice de battance inférieure à 1(Tableau 5) indique une probabilité nulle de formation de croûtes de battance sur le terrain, ce qui réduit la possibilité de ruissellement au profit des infiltrations.

Tableau 5 : Densité apparente, Indices de Battance et de Porosité des sols

Site	Densité Apparente (Da) g/Cm^3	Indice de battance IB	Indice de Porosité IP
Village Oka	1,1442	0,07	10,5
Village Mbou	1,1850	0,26	4,23

Source : résultats obtenus par les auteurs

Ainsi, en raison des propriétés physiques et mécaniques des roches qui favorisent les infiltrations au détriment des ruissellements, le milieu est en principe peu exposé aux ravinements. De même, ces propriétés physiques confèrent aux formations géologiques une érodibilité moyenne. En effet, l'érodibilité K des sols qui varie entre 0,26 et 0,33 t.ha.h/ha.MJ (tableau 6), place ces formations dans la catégorie des sols moyennement sensibles à l'érosion selon la classification de A. BOLLINNE & P. ROSSEAU, (1978, p. 138).

Tableau 6 : Indice d'érodibilité (K)

Site	Profondeur de l'échantillon	M^{1,14}	MO	b	C	K (t.ha.h/ha.MJ.m)	Sensibilité des sols à l'érosion
Village Mbou	50 cm	12468,9	0,31)	1	4	0,29	Sols moyennement sensibles à l'érosion
	100 cm	13429,9	(0,30)	1	4	0,32	
Village Oka	50 cm	10458,4	1,26	2	4	0,26	
	100 cm	14703	1,89	2	4	0,33	

Source : résultats obtenus par les auteurs

La faible possibilité de ruissellement et l'érodibilité moyen semblent indiquer une faible vulnérabilité du milieu aux risques d'érosion hydrique

Pourtant, cette faible vulnérabilité indiquée par les propriétés physiques et mécaniques des roches contraste avec la réalité observée sur le terrain où les ruissellements sont particulièrement abondants, notamment de part et d'autre de la route où ils ravinent profondément le sol et constituent une menace pour la durabilité de cet axe routier. En effet, la surface de roulement de la route est un espace imperméable où se concentrent les eaux de pluies qui finissent par se déverser sur les versants que ladite route domine à cause de sa position topographique. L'imperméabilité de la chaussée s'explique par la compacité du matériel qui est fortement tassé lors de la construction de la route. Sur les sections où les couches construites n'existent plus, le tassement est lié aux passages répétés des automobiles. Sur ces sections tassées par les usagers de la route, la densité est inférieure à 1,2 (tableau 5), ce qui indique une grande compacité favorable aux ruissellements.

Ainsi l'abondance des ruissellements de part et d'autre de la route s'explique par cette imperméabilité liée à la compacité de la chaussée. Mais les ruissellements sont d'abord l'œuvre des pluies dont l'abondance et l'érosivité déterminent l'agressivité climatique vis-à-vis de l'érosion.

3.1.3. L'agressivité climatique

Le diagramme de la figure 3, combine les précipitations annuelles et l'indice d'érosivité R de 11 ans. Il montre en premier lieu, qu'avec une hauteur moyenne annuelle de 1354 mm, les volumes annuels sont relativement abondants. Toutes les années prises comme échantillon ont une pluviosité supérieure à 1000 mm avec six années supérieures à 1400 mm (Tableau 7). Mais la pluviosité est ici marquée par une variation interannuelle qui se répercute aussi sur l'érosivité des pluies (Tableau 7). Il est important de relever que plus l'année est pluvieuse plus l'érosivité augmente. L'indice d'érosivité des pluies (R), calculé à partir de la formule de RENARD et FREIMUND (1994), cité par DOUAY et LARDIEG (2010, p. 13), indique des valeurs largement supérieures à 5000 MJ.mm/ha.h.an pour toutes les années étudiées ou presque, avec une moyenne décennale qui s'élève à 6520,89 MJ.mm/ha.h.an (Tableau 2).

Tableau 7 : Evaluation de l'indice d'érosivité des pluies (R) entre 2005 et 2015 à Ewo

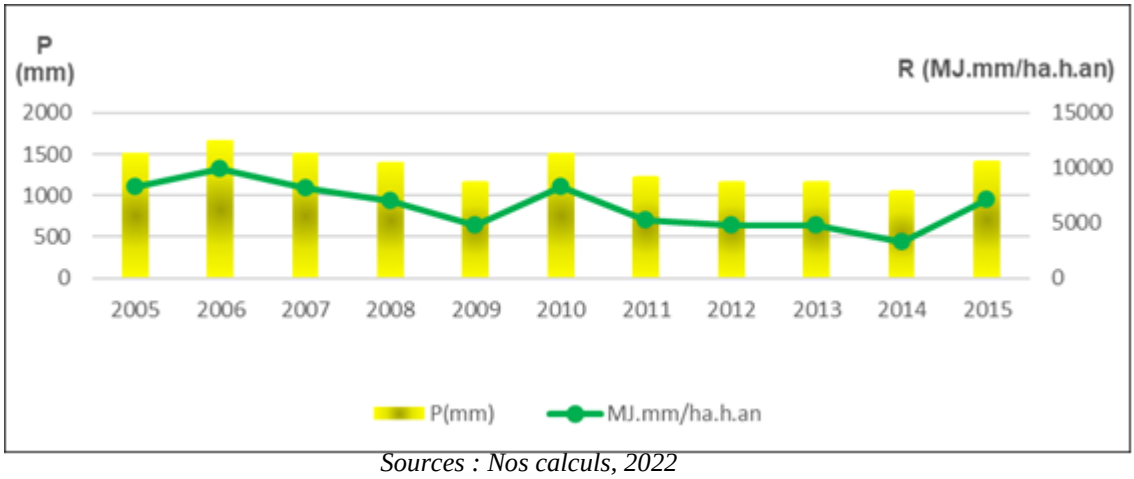
Année	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Moyenne.
P (mm)	1522	1664	1514	1404	1173	1523	1232	1174	1173	1067	1421	1354,54
R MJ.mm/ha.h.an	8241,16	9925,70	8151,69	6968,16	4806,10	8252,92	5316,65	4814,51	4806,10	3302,36	7144,58	6520,89

Notes : **R** : paramètre d'érosivité et **P** : précipitation annuelle (mm)

Sources : Nos calculs, 2022

On rappelle que, selon la classification de DOUAY et LARDIEG (2010), l'indice 5000 MJ.mm/ha.h représente une érosivité très forte et une vulnérabilité des sols très élevée. Ainsi, sur 11 années étudiées, 7 (2005 à 2008, 2010, 2011 et 2015) ont un indice largement supérieur à 5000 avec 3 années (2006, 2007et 2010) ayant des indices supérieurs à 8000 MJ.mm/ha.h.an. Quatre (4) années seulement (2009, 2012, 2013 et 2014) ont des valeurs inférieures à 5000 dont 3 situées entre 4000 et 5000, un intervalle qui indique une érosivité élevée des pluies et traduit une vulnérabilité élevée des sols à l'érosion hydrique (figure.3).

Figure *3* : Evolution des précipitations et de l'indice d'érosivité (R) entre 2005 et 2015 à Ewo.



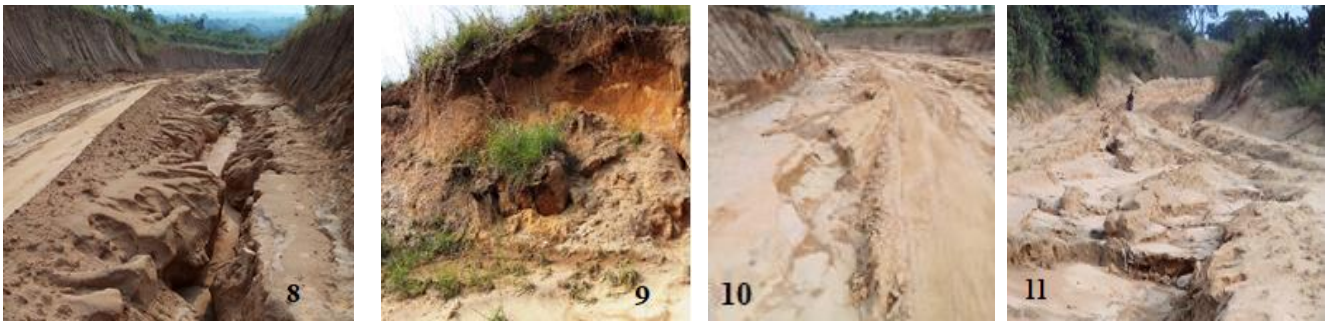
Sources : Nos calculs, 2022

Ces données indiquent le caractère agressif du climat de la zone d'étude et constituent un des indicateurs de vulnérabilité de cet axe routier aux risques d'érosion.

La texture du milieu caractérisée par l'abondance des sables surtout grossiers confère aux formations géologiques une grande affouillabilité qui est aussi un facteur de vulnérabilité aux risques d'érosion hydrique. Cette affouillabilité s'apprécie facilement sur le terrain à travers la facilité avec laquelle se produisent les mouvements de masse le long des parois de la route. En effet, sur la plupart des interfluves, la route a évolué en surcreusements, c'est-à-dire en tranchées aux parois abruptes et croulantes (photo 8, planche III). Ces parois qui, avec le

temps, dominent la chaussée de plusieurs mètres de haut, sont affectées par des mouvements de masse de types éboulements, écroulement, … (photo 9, planche III.) dont les mécanismes montrent la fragilité du matériel. Les surcreusements constituent de ce fait un important facteur de vulnérabilité de la route. En effet les débris détritiques des mouvements de masse qui s'amoncellent sur la chaussée compliquent son utilisation, car ces accumulations forment de véritables bourbiers pendant la saison des pluies ou de bancs de sable difficilement franchissables pendant la saison sèche (photos 10 et 11, planche III).

Planche 3: Caractéristiques topographiques de la RN10 au sud d'Ewo



Photos 8 : *Ravinement de la chaussée par des ruissellements concentrés dans le surcreusement près du village Akou;* ***photo 9 :*** *Eboulements sur les parois de l'axe Kouya-Ewo aux alentours du village Obana 1****;*** ***photos 10*** *et* ***11****: bancs de sables et bourbier dans les surcreusements au village Kouya*

De même, les surcreusements sont responsables de la concentration des ruissellements sur la chaussée. En effet, en transformant la route en une véritable tranchée comme on le voit sur les photos **8**, **10** et **11**, le surcreusement la transforme en un canal qui concentre toutes les eaux de pluie qui s'y accumulent à cause de son imperméabilité décrite supra. En empêchant les ruissellements de se répandre sur les versants, le surcreusement augmente le volume d'eau qui circule directement sur la chaussée et donc les possibilités de ravinement de celle-ci.

La route est, de ce fait, un facteur de sa propre destruction. Grâce à sa compacité qui réduit les infiltations, elle pourvoit l'essentiel des ruissellements qui se déversent sur les côtés. Mais plusieurs paramètres liés à l'homme favorisent la dégradation de cette route. Il s'agit d'abord de l'absence des caniveaux qui favorise ces déversements ; ensuite du non-respect des normes de construction de la route car, à plusieurs endroits, elle n'a pas toutes les couches constitutives ; puis de l'inexistence des mesures antiérosives le long du tronçon et enfin de l'indifférence des autorités. Tous ces manquements qui relèvent de l'homme, traduisent une faible résilience, c'est-à-dire une faible capacité à faire face à ce phénomène. L'analyse approfondie de cette faible résilience constitue la principale perspective de cette étude.

4. Discussion

La RN10 dans son tronçon qui, traverse le district d'Ewo du Sud au Nord (Kouya-Allémé), se situe dans une zone morphostructurale sensible. Cette sensibilité est liée d'abord à la présence quasi généralisée des versants pentus favorables aux ruissellements. Le rôle de la pente dans l'accélération de l'érosion est connu de tous les spécialistes de ces questions d'érosion. F.L. DULEY & O.E. HAYS (1933), J.H. NEAL (1938), A. ZINGG (1940), H.L. BORST et R. WOODBURN (1949), tous cités par E. ROOSE, (1977, p. 42), ont montré que les pertes en terre dues à l'érosion des sols croissent de façon exponentielle avec l'inclinaison de la pente. R.P.C MORGAN (2005, p. 435) a aussi indiqué que l'inclinaison augmente la vitesse et la force des ruissellements et les transports solides croissent de façon exponentielle avec le pourcentage de la pente. M'BOUKA MILANDOU (2019) est arrivé aux mêmes conclusions dans le district de Goma tsé-tsé, qui a le même type de relief (collinaire). Mais, « l'existence d'érosion intense sur des pentes minimes (1 à 2% en Casamance), indique par contre qu'il n'est point besoin de son intervention pour déclencher le phénomène : l'action pluviale y suffit » (F : FOURNIER, 1967, cité par E. ROOSE 1977, p. 41). Cette étude indique aussi que la route repose sur un support pédo-géologique très fragile en raison de la dominance des sables surtout grossiers avec des taux d'argiles, de limons et de matière organique faibles. Cette texture confère à ces formations géologiques une grande affouillabilité et constituent de ce fait un facteur accélérant de la dynamique actuelle et un indicateur de vulnérabilité aux risques d'érosion. Mais cette texture favorise les infiltrations au détriment des ruissellements qui sont le principal agent du ravinement. La capacité d'absorption de ces formations est corroborée par l'indice de porosité qui est supérieurs à 3 et donc très favorable, c'est-à-dire confère aux formations géologiques une grande aération favorable aux infiltrations. Elle est aussi confirmée par l'indice de battance qui est inférieur à 1. Ces résultats ont une similarité avec ceux obtenus sur le plateau de Mbé par DENIS (1974), cité par I. W. MBOUKA-MILANDOU, 2021, p. 234). Ici, les taux de sables fins sont supérieurs aux sables grossiers, mais les taux d'argile, des limons, et de la matière organique restent très bas. L'indice de porosité atteint et dépasse 100 alors que l'indice de battance est par endroit inférieur à 1. Par contre, ces résultats contrastent avec celles de I. W. M'BOUKA MILANDOU (2019, p. 229) qui a travaillé sur un substrat sablo argileux avec des taux d'argile qui dépassent à certains secteurs les 24 % avec des taux de limons supérieurs à 5% et de matière organique de plus de 2%.

Toutefois, en dépit de la grande porosité favorable aux infiltrations, on note une abondance des ruissellements qui se forment sur la route et se déversent sur les versants que celle-ci domine. Ces écoulements d'eau constituent non seulement les agents qui dégradent la route mais aussi les principales menaces auxquelles elle est exposée. Cette responsabilité des routes dans le déclenchement des érosions a aussi été mise en évidence par P. OZER (2014) qui a noté que la plupart des ravinements sont provoqués par les infrastructures routières et les pistes piétonnes qui tendent à canaliser les eaux pluviales. Par ailleurs, il a été relevé que ce tronçon routier évolue, à certains endroits, en surcreusements qui sont des tranchés dont les parois bordières sont en proie à des processus liés à la gravité et à la pesanteur. Ces mécanismes de fonctionnement de la route ont été décrits par L. SITOU et I.A.W. MBOUKA-MILANDOU (2017) qui ont indiqué que « une plus grande domination des sables dans les horizons supérieurs peut conférer au matériel une certaine pulvérulence responsable des mouvements de masse de type reptation qu'on observe dans les parties supérieures de certains surcreusements ». Enfin l'indice d'érosivité des pluies (R) très élevé, avec une moyenne décennale évaluée à 6520,89 MJ.mm/ha.h.an, a aussi été indiqué comme l'un des indicateurs de vulnérabilité de la route aux risques d'érosion hydrique. Cette valeur est largement supérieure à celle trouvée en Côte d'Ivoire qui s'élève à 1 260 MJ.mm/ha.h.an, (E. ROOSE et F. LELONG, 1976 cité par L. SITOU et I. A.W. MBOUKA MILANDOU (2017, p. 131).

Conclusion

Le tronçon routier Kouya-Allemé, malgré sa réhabilitation en 2011 à l'occasion de la municipalisation accélérée de la Cuvette-ouest, est aujourd'hui affecté et menacées par les phénomènes d'érosion. Les principaux paramètres du milieu naturel qui exposent la route aux risques d'érosion hydrique sont : les fortes pentes favorables aux ruissellements ; la texture des formations géologiques qui, en raison de la dominance des sables surtout grossiers et des faibles taux d'argiles, de limons et de matière organique, leur confère une grande affouillabilité et l'agressivité du climat marquée par une érosivité élevée des pluies. Et pourtant cette texture marquée par des forts indices de porosité et des faibles indices de battance, devrait favoriser les infiltrations au détriment des ruissellements et constituer par conséquent un facteur protecteur de la route vis-à-vis de l'érosion hydrique. Ceci est d'autant vrai que cette texture confère aux sols une sensibilité moyenne à l'érosion avec des indices d'érodibilité moyens. Or, le milieu est marqué par une abondance notoire des ruissellements qui dégradent ou menacent la route. Ces ruissellements se forment pour l'essentiel sur la chaussée avant de se déverser sur les bas-côtés où ils constituent de réelles menaces. La

compacité de la route est le principal facteur explicatif de la formation de ces ruissellements et l'absence de canalisation justifie leur déversement sur les versants. Malheureusement cette défaillance du système de canalisation des eaux de pluie qui indique une ~~la~~ faible résilience des populations vis-à-vis de ce phénomène d'érosion, n'a pas fait l'objet d'une étude détaillée. Son analyse approfondie et l'étude de la perception de ce phénomène par les populations, constituent les principales perspectives de cette étude.

Références bibliographiques

Atlas du Congo, 2001 éd. Jeune Afrique Jaguar, Paris, 76 p.

BATOLA Ghislain Ulrich, 2011, *Tentatives de lutte antiérosive dans les quartiers nord de Brazzaville : analyse de l'efficacité des méthodes et des techniques utilisées*, Mémoire de Maîtrise de géographie, Université Marien Ngouabi, FLSH, Brazzaville, 120 p.

BOLLINNE Arthure & ROUSSEAU Pierre, 1978, « Erodibilité des sols de moyenne en haute Belgique. Utilisation d'une méthode de calcul du facteur K de l'équation universelle de perte en terre », in : *Bulletin Société Géographique de Liège*, 14 (4), p. 127-140.

BURNINGHAM Sally & STANKEVICH Natalya, 2005, *Importance de l'entretien des routes et moyens d'y parvenir*, Banque Mondiale/Transport Note n° TRN-4 Juin. Washington, DC (USA), 12 p.

DE BOISSEZON Paul, 1963, *Les ·Sols des Plateaux de Djambala et Koukouya et la Zone avoisinante des hautes collines*, ORSTOM-IRSC - Pédologie- N° 587, Brazzaville, Congo, 97 p.

DOUAY D & LARDIEG E., 2010, *Méthodologie de cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des captages d'eau superficielle*, ANTEA, GINGER et GALLIGGE / Agence de l'eau – Adour-Garonne / Ets public de l'état (France). 28 p.

ETOUA NDOUNIAMA Rozan, 2021, *Dynamique de l'érosion hydrique et des inondations dans les quartiers mikalou-madzouna et matari de l'arrondissement 9 Djiri (Brazzaville, République du Congo)*, Mémoire de Master de géographie physique, Université Marien Ngouabi, Faculté des Lettres, Arts et Sciences humaines (FLASH), Brazzaville, Congo. 86 p.

FOURNIER Fréderic, 1960, *Climat et érosion : la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques,* Presses universitaire de France (PUF), Paris, 201 p.

JAMET R. et RIEFFEL J.M., 1976, *Notice Explicative n° 65 Carte Pédologique du Congo à 1/200.000, Feuillent de Pointe-Noire et de Loubomo*, ORSTOM, 176 pages et annexes.

MAYIMA Brice Anicet, NGAZZI Paul Miki Junior et SITOU Léonard, 2019, « Etude Des Facteurs De Risques De Dégradation Par L'érosion Hydrique Du Tronçon Routier Dolisie/Pointe Noire Au Sud Du Congo Brazzaville Et Évaluation Des Aménagements Antiérosifs », in : *European Scientific Journal* édition Vol.15, N°2, p. 121-138.

MAYIMA Brice Anicet, 2016, *Erosion hydrique sous plantation d'eucalyptus des plateaux côtiers de Pointe-Noire (sud du Congo)*- Thèse de doctorat unique en Géographie physique, spécialité Géomorphologie, Université Marien Ngouabi, Brazzaville, Congo. 226 p.

M'BOUKA MILANDOU Idriss Auguste Williams, 2009, *Étude de l'érosion à linzolo et ses environs, Au sud de Brazzaville*, Mémoire de Maîtrise de Géographie physique, Université Marien Ngouabi, FLSH, Brazzaville, Congo, 85 p.

M'BOUKA MILANDOU Idriss Auguste Williams, 2016, « Évaluation du ravinement sur la Route de Linzolo, dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé (Congo) entre les périodes 2008-2009 / 2014-2015 », in : *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie* 28 (2016) p. 349 - 366

M'BOUKA MILANDOU Idriss Auguste Williams, 2019, *Etude de la dégradation des routes en terre, par l'érosion hydrique, en milieu rural : cas de la sous-préfecture de Goma tsé-tsé (sud du Congo),* thèse de Doctorat unique de géographie, Université Marien Ngouabi, FLASH, Brazzaville, Congo, 369 p.

MORGAN R.P.C. (2005): « Soil Erosion and Conservation » in: *3rd ed.; Blackwell Publishing Ltd.: Oxford, UK. 57*. **p**. 426–445.

NGATSE René, SITOU Léonard et M'BOUKA MILANDOU Idriss Auguste Williams, 2017, « L'érosion hydrique dans le bassin versant de la Djiri au nord de Brazzaville (République du Congo) : analyse et quantification », in : *Revue Marocaine de Géomorphologie*. N°1 (2016-2017) p. 95- 112.

NKOULOU, Fridelle Petula, 2012, *Les risques de dégradation par l'érosion hydrique de la route, deuxième sortie nord de Brazzaville : caractérisation et évaluation*, Mémoire de maitrise, Université Marien Ngouabi, FLSH, Brazzaville, Congo, 94 p.

OZER Pierre, 2014, « Catastrophes naturelles et aménagement du territoire ; intérêt des images Google Earth dans les pays en développement », in : Géo-Eco-Trop., 38,1,n.s. p. 209-220.

ROOSE Éric, 1994, *Introduction la gestion conservatoire de l'eau, de la Biomasse et de la fertilité des Sols (GCES)*, Bulletin pédologique FAO n°70, Rome, 420 p.

ROOSE Éric, 1977, *Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest : vingt années de mesures en petites parcelle expérimentale*, Travaux et Documents de L'ORSTOM N^0 78. Paris, 108 p,

SITOU Léonard et M'BOUKA MILANDOU Idriss William, 2017, « Etude des surcreusements des pistes rurales ou forestières sur le plateau des Cataractes : cas des routes Koubola - Kibossi et Koubola – Bissinza (République Du Congo) », in : *European Scientific Journal* July édition 13(21), p. 116-138.

VENNETIER Pierre, 1966, *Géographie du Congo-Brazzaville*, Centre d'enseignement Supérieur de Brazzaville, ORSTOM, 142 p.

Auteurs

[1]Université MARIEN NGOUABI, Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines, Laboratoire de Géographie, Environnement Aménagement (LAGEA), Brazzaville, République du Congo, assoungaschistel@gmail.com

[2]Université MARIEN NGOUABI, Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines, Laboratoire de Géographie, Environnement Aménagement (LAGEA), Brazzaville, République du Congo, leonardsitou@gmail.com