

Cartographie de la sensibilité des sols à l'érosion hydrique dans le bassin versant du Banco

Yves YENE

yeneyvess@gmail.com

Célestin HAUHOUOT

Université Félix HOUPHOUËT-BOIGNY, Côte d'Ivoire

Résumé

Le bassin versant du Banco est caractérisé par un relief de plateau accidenté et fortement incisé par une série de vallées ramifiées. Au fil des années dans le bassin versant du Banco, l'érosion des sols cause d'énormes dégâts suite aux conditions naturelles et à l'impact humain. L'objectif de cette étude est de cartographier la sensibilité du bassin versant du Banco à l'érosion hydrique. La méthodologie utilisée s'appuie sur une modélisation basée sur l'intégration des principaux facteurs de l'érosion hydrique dans un système d'information géographique. Les résultats obtenus mettent en relief une forte sensibilité du bassin versant du Banco à l'érosion hydrique avec une perte de sol moyenne annuelle de 25,44 t/ha/an. La cartographie de la sensibilité à l'érosion hydrique effectuée établit une hiérarchie des zones sensibles à l'érosion hydrique. Elle se présente aussi comme un outil d'aide à la décision pour les autorités au niveau local et pour les projets d'aménagement afin d'orienter les différentes actions de conservation des eaux et des sols.

Mots clés : Abidjan, Bassin versant du Banco, Érosion hydrique, Inondation, RUSLE

Mapping of soil sensitivity to water erosion in the Banco watershed

Abstract

The Banco watershed is characterized by a rugged plateau relief, deeply incised by a series of branching valleys. Over the years, soil erosion in the Banco watershed has caused significant damage due to natural conditions and human impact. The objective of this study is to map the sensitivity of the Banco watershed to water erosion. The methodology used is based on modeling that integrates the main factors of water erosion within a geographic information system. The results obtained highlight a high sensitivity of the Banco watershed to water erosion, with an average annual soil loss of 25.44 t/ha/year. The mapping of sensitivity to water erosion establishes a hierarchy of areas vulnerable to erosion. It also serves as a decision-making tool for local authorities and for land management projects to guide various water and soil conservation actions.

Keywords: Abidjan, Banco watershed, water erosion, flood, RUSLE

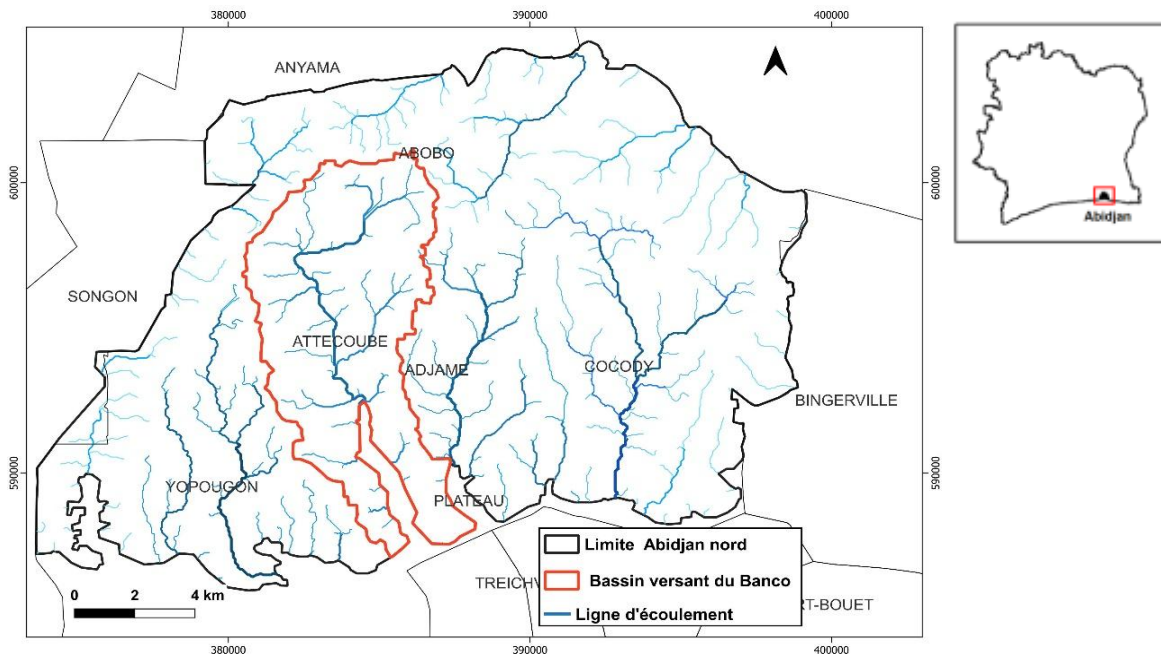
Introduction

L'érosion des sols est un phénomène naturel qui devient une problématique environnementale et économique quand elle est accélérée par les activités humaines (Alla, 2013). La pression démographique, l'extension des diverses activités humaines et l'urbanisation associées aux effets amplificateurs des changements climatiques ont conduit à l'exposition des terres au ruissellement, et à la dégradation des sols par l'érosion hydrique (Boudhar *et al.*, 2007). Les changements liés au développement des sociétés et aux activités humaines occasionnent la dénudation des sols, ce qui par conséquent accélère les processus d'érosion (Payet, 2015). Les marques d'une telle dynamique érosive sont aussi perceptibles dans le bassin versant du Banco qui connaît une érosion continue. Ce phénomène se traduit par des déchaussements de maisons, des ravinements qui ne font que s'étendre de plus en plus menaçant directement des habitations. Chaque saison des pluies, le bassin versant du Banco subit des glissements de terrain au cours desquels, la masse de sols détachée ensevelit des maisons, provoquant de nombreuses pertes matérielles et humaines. De plus, les particules de sol arrachées au cours des différentes formes d'érosion sont transportées et déposées dans les réseaux de drainage (N'Dri, 2017). Cela contribue à combler les caniveaux, occasionnant des difficultés d'évacuation des eaux pluviales, ce qui entraîne par la suite des inondations lors des pluies (Coulibaly *et al.*, 2014). Dans ce bassin versant où le relief est fortement disséqué, les sols quasiment dénudés sont soumis à une forte pression anthropique et deviennent sensibles à l'érosion hydrique. Ces constats posent alors le problème de la sensibilité du bassin versant du Banco à l'érosion hydrique. L'objectif de cette étude est de cartographier la sensibilité du bassin versant du Banco à l'érosion hydrique pour aider à orienter les actions de lutte contre l'érosion hydrique.

1- Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant du Banco est situé au nord-ouest de la ville d'Abidjan, avec une superficie de 58,143 km² soit 18,15 % de la superficie totale de la ville d'Abidjan. C'est le plus vaste des bassins versants inscrits dans la limite administrative de la ville d'Abidjan, il occupe toute la commune d'Attécoubé et est drainé par la rivière Banco. Le bassin versant du Banco est limité au Nord-Est par l'autoroute d'Abobo, à l'Est par le prolongement de la ligne du chemin de fer reliant Adjamé à Abobo, au Sud-Est par le boulevard Auguste Denis. Au nord-ouest par la voie Yopougon-N'Dotré, à l'ouest par le prolongement du boulevard Lanzeni Coulibaly, au sud-ouest par la ligne de crête séparant Attécoubé et Yopougon, au sud par la lagune Ébrié. Toutes

les eaux de ruissellement de ce bassin versant se concentrent au niveau de la baie du Banco pour se déverser dans la lagune (Figure 1).



Source : CIGN BNETD, 2014
Auteur : Yéné Yves

Figure 1 : Carte de localisation du bassin versant du Banco

Le relief du bassin versant du Banco est un plateau qui enregistre des altitudes de plus de 120 m, il est fortement incisé par une série de vallées aux versants escarpés et à fortes pentes. Sur le bassin versant du Banco affleurent les formations sédimentaires de texture sablo-argileuse, dont les matériaux proviennent de l'altération du socle cristallin (Dufaure et Tastet, 1983). Le bassin versant du Banco subit les pluies fréquentes et intenses pendant la saison pluvieuse et qui mettent à rude épreuve les formations sablo argileuses peu ou faiblement résistantes. La végétation naturelle à l'exception de la forêt du Banco n'existe presque plus en raison de l'urbanisation accélérée. Cette forêt du Banco est une relique de la forêt sempervirente qui couvrait autrefois l'ensemble du bassin versant.

2- Méthodologie

2-1 DONNEES UTILISEES

Pour la présente étude, nous avons eu recours à plusieurs types de données :

Des données topographiques provenant du CIGN du BNETD. Elles ont été produites en 2014 à l'échelle de 1:2 500, et se présentent sous forme numérique (courbes de niveau) avec une équidistance de 2 m entre les courbes intermédiaires.

Des données pluviométriques mensuelles acquises auprès de la Société d'Exploitation des Aéroports et de la Météorologie (SODEXAM). Elles concernent 10 stations se trouvant à proximité et à l'intérieur du bassin versant du Banco et couvrent des périodes comprises entre 1931 et 1994 et celles allant de 2006 à 2019.

Des données pédologiques et géotechniques issues de la carte géotechnique d'Abidjan au 1/50 000^e (LBTP, 1986). Et des proportions granulométriques de chaque type de sol issues de

la notice explicative de la carte pédologique du bassin sédimentaire de la Côte d'Ivoire au 1/200 000^e (ORSTOM, 1966).

Des données satellites constituées essentielles des images sentinel-2A du 26 janvier 2023 de résolution spatiale 10 m. Elles sont acquises à partir du site de l'U.S Geological Survey (USGS).

2-2 APPROCHE METHODOLOGIQUE

Cette approche méthodologique est basée sur le modèle empirique RUSLE qui est la version révisée et améliorée de l'équation universelle des pertes de sol. Le modèle se présente sous la forme d'une fonction multiplicative basée sur des lois mathématiques permettant d'évaluer le taux d'érosion annuel des sols (E). Son équation s'exprime comme le produit de six facteurs : l'érosivité des pluies (R), l'érodibilité des sols (K), la longueur et l'inclinaison des pentes (LS), l'occupation des sols (C) et les pratiques de conservation du sol (P).

$$E = R \times K \times LS \times C \times P \quad E \text{ s'exprime en t/ha/an.}$$

La première étape de la mise en œuvre du modèle RUSLE a été de calculer chaque facteur de l'équation de perte de sol et de les élaborer sous la forme de cartes thématiques. La deuxième étape fut, le croisement de ces cartes thématiques. Ce croisement repose sur une combinaison de couches d'information présentées sous format « raster », dont la valeur de chaque maille est égale à un niveau de sensibilité à l'érosion pour le paramètre considéré. Le résultat de cette opération est une couche « raster » donnant la sensibilité du sol à l'érosion hydrique sur l'ensemble de la zone d'étude.

2-2-1 Détermination des facteurs du modèle RUSLE

2-2-1-1 L'érosivité des précipitations (Facteur R)

L'érosivité c'est l'agressivité des gouttes de pluies, elle représente à la fois l'impact des gouttes de pluies (énergie cinétique) et l'effet du ruissellement sur le sol. L'équation proposée par Roose (1975, 1985) pour l'Afrique de l'ouest a été utilisée pour calculer le facteur R. Cette équation est exprimée par la relation suivante :

$$R_{am} = (0,6 H_{am}) \pm 0,05$$

où : R_{am} (indice d'érosivité annuelle moyenne)

et : H_{am} (la hauteur de pluie annuelle moyenne)

R_{am} est l'érosivité des pluies en **(MJ× mm)/(haxh×an)**

Une fois déterminée, l'interpolation spatiale du facteur R a été effectuée par la méthode d'interpolation à distance inversée (IDW) en utilisant l'outil géospatialisation de Qgis.

2-2-1-2 L'érodibilité des sols (Facteur K)

L'érodibilité du sol est défini comme étant la sensibilité d'un sol face à l'érosion. Elle exprime la cohésion et la résistance du sol vis-à-vis de l'érosion. Elle dépend uniquement des caractéristiques du sol qui influencent l'érosion (la texture, la structure, la teneur du sol en matière organique et la perméabilité du sol).

Le facteur K a été calculé à partir de la série d'équations qui imite et traduit le nomographe de Wischmeier et Smith (1978), en lieu et place de l'équation classique qui présente des limites et qui plus est à l'origine de plus de 50 % des erreurs de prédiction (Auerswald *et al*, 2014). Elle se présente comme suit :

$$K = 2,77 \times 10^{-5} \times ((f_{li} + f_{sf}) (100 - f_{arg}))^{1,14} \times (12 - f_{MO}) / 10 + (0,043 \times (S - 2) \times 0,033 \times (P - 3))$$

Avec **K** exprimé en [(t×h×h)/(h×MJ× mm)] dans le système métrique international (SI).

f_{li} + f_{sf} : Fraction de limon et de sable fin ; **f_{arg}** : Fraction d'argile ; **f_{MO}** : Fraction de Matière Organique ; **S** : Structure du sol ; **P** : Perméabilité du sol

Une fois la résistance de chaque type de sol calculé, on ajoute un nouveau champ contenant les valeurs calculées au fichier vecteur contenant les polygones correspondant aux différents types de sol, ce qui permet de spatialiser ce facteur et d'obtenir la carte de l'érodibilité des sols

2-2-1-3 Facteur topographique (LS)

Le facteur LS a été déterminé à partir d'un Module Numérique de Terrain de résolution 10 m. Il a été dérivé de l'équation de Wischmeier et Smith (1978) et modifiée dans le modèle RUSLE où la longueur de la pente "λ" a été remplacée par "un bassin versant spécifique" (Hrabalíkova et al 2017). L'équation du facteur LS est la suivante :

$$LS = (L/22,13)^m \cdot (0,0065 \cdot \theta^2 + 0,045 \cdot \theta + 0,065)$$

Avec : **L** = (L/22,13)^m pour la longueur de la pente

Et : **S** = 0,0065.θ² + 0,045.θ + 0,065 pour le degré de la pente.

Puis la commande SAGA GIS de Qgis procède au calcul de L (longueur de pente en m) et de S (angle de la pente en %) et détermine le facteur LS. Le résultat à la sortie est une carte du facteur topographique en format raster.

2-2-1-4 L'occupation du sol (Facteur C)

Les différentes classes d'occupation du sol ont été cartographiées à partir de la classification supervisée d'une image satellite Sentinel 2A. Le traitement de l'imagerie dans Qgis à travers le menu Classification semi-automatique (SCP) a subi d'abord des prétraitements. Une classification supervisée de type maximum de vraisemblance a ensuite été réalisée sur l'image en créant des zones d'Intérêt ROI. Une étape de validation des résultats a permis enfin d'obtenir une carte d'occupation du sol à six classes (bâti, eau, sol nu, broussaille, forêt, zone boisée). La classification de l'image a été validée à l'aide de l'image Google satellite et des points de références collectés sur le terrain. Une valeur de C, déterminant la sensibilité à l'érosion pour les différents types d'occupation du sol a été par la suite attribuée à chaque classe d'occupation du sol, selon la littérature de l'équation universelle de perte du sol (Tableau I).

Tableau I : Coefficient d'occupation du sol C en fonction du type d'occupation du sol

Type d'occupation du sol	Facteur C
Sol nu	1
Broussaille ou Mosaique de culture	0,5
Surface bâtie	0,2
Zone reboisée	0,18
Forêt dense	0,001
Plan d'eau	0

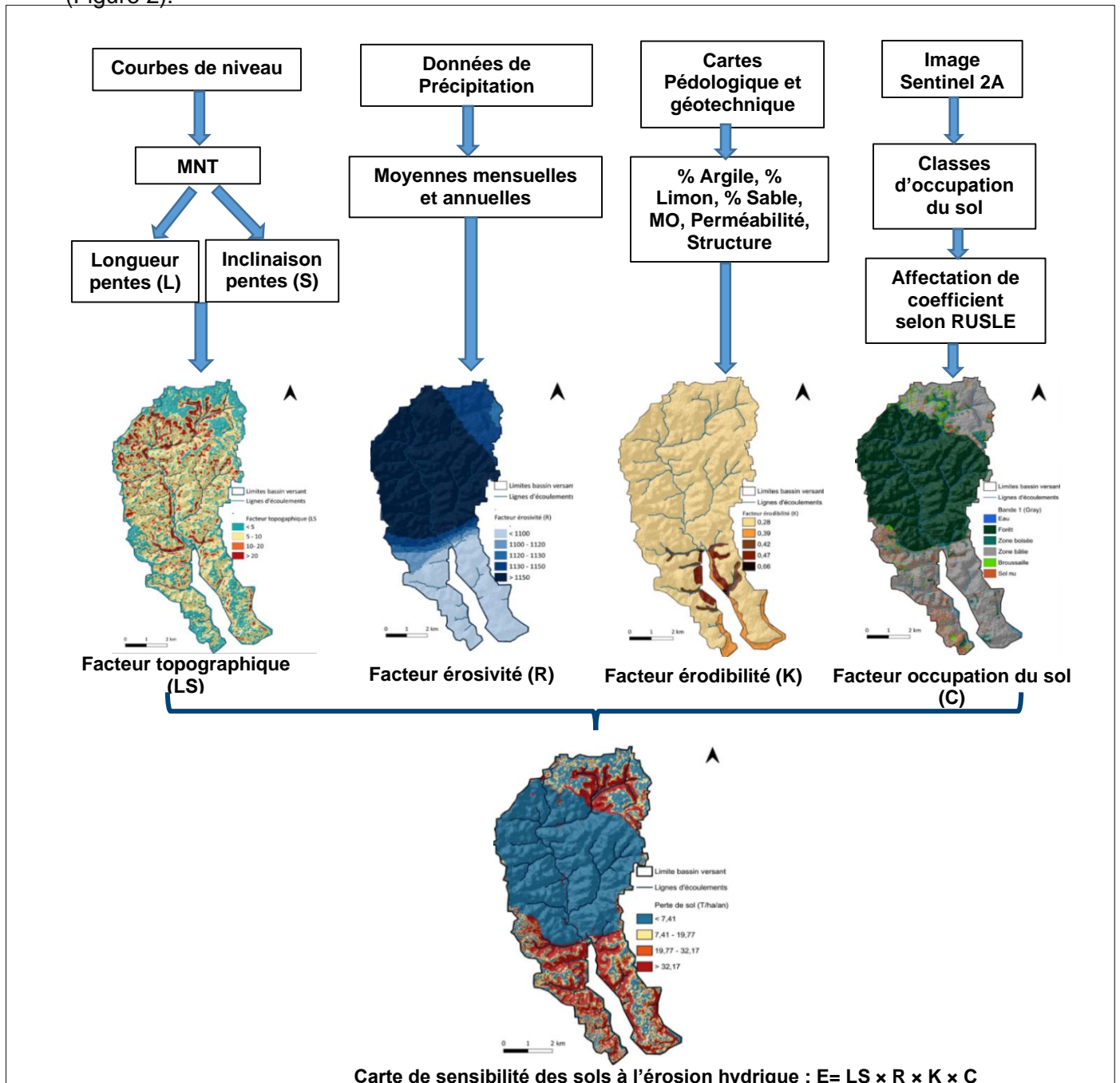
Source : Payet et al., (2015)

2-2-1-5 Facteur des pratiques antiérosives P

Le facteur P décrit les actions humaines conservatrices des sols qui se pratiquent pour contrer l'érosion hydrique. Il varie généralement de 0 à 1, selon la pratique adoptée et selon la pente. Cependant, vu le fait qu'il n'y a pas de pratiques antiérosives adoptées dans tout le secteur d'étude, ce facteur a été considéré comme valeur unitaire égale à 1.

2-2-2 Détermination de la carte de sensibilité à l'érosion hydrique dans le bassin versant du Banco

L'application des différentes équations mathématiques du modèle du modèle a permis d'obtenir les cartes factorielles de l'érosion hydrique. La combinaison des différents facteurs cartographiés a donné lieu à la carte de sensibilité à l'érosion hydrique sur tous les points du bassin versant du Banco selon l'organigramme méthodologique présenté ci-dessous (Figure 2).



Source : CIGN BNETD, 2014 ; SODEXAM ; LBTP 1986 ; USGS 2023
Auteur : Yéné Yves

Figure 2: Organigramme méthodologique du modèle RUSLE implémenté dans un SIG

3- Résultats

Dans le bassin versant du Banco 2949,39 ha possèdent la classe moyenne à très forte au niveau des valeurs topographiques. On observe d'une part, une différence marquée entre les interfluves, les fonds de vallées, les zones basses aux pieds des versants, aux pentes moins importantes et possédant des valeurs topographiques (LS) faibles (donc peu sensible au phénomène érosif). Et d'autre part, les pentes fortes des sommets et des versants possédant des valeurs topographiques (LS) élevées correspondent à un relief escarpé sensible à l'érosion. Les terrains possédant une valeur topographique susceptible d'influencée directement sur l'érosion hydrique occupent 50,8 % de la surface du bassin versant. Le facteur topographique (LS) dans le bassin versant du Banco a une valeur moyenne de 6,83, appartenant à la classe moyenne et varie de 0,065 à 55,46.

Les pluies sont d'une manière générale abondantes dans le bassin versant du Banco. Les précipitations moyennes annuelles sont de 2189,17 mm/an pour 73 années d'observation de 1931 à 1994 et de 2006 à 2019. La station de la forêt du Banco enregistre la valeur la plus élevée au niveau de l'agressivité des pluies 1 313,5 Mj.mm/ha/h/an. La distribution spatiale de l'érosivité indique un étagement croissant en fonction de la couverture végétale densifiée par la forêt du Banco. Ainsi l'érosivité des pluies augmente naturellement de l'aval vers l'amont du bassin versant du Banco, avec une valeur moyenne de 1 110,5 Mj.mm/ha/h/an.

Plus de 51 % de la surface du bassin versant du Banco est occupée par la forêt du Banco qui offre naturellement une forte résistance à l'érosion hydrique. Les zones bâties occupent 33 % de la zone étudiée, avec une bonne partie constituée d'habitations précaires. A Mossikro par exemple, les habitations sont parfois construites au mépris de certaines règles de construction. En dépit de la topographie accidentée, et des pentes fortes, les populations taillent souvent les versants pour implanter leurs maisons aggravant la pente du versant. Les surfaces ainsi conquises sont surplombées par des versants taillés verticalement. Le sol autour de ces habitations est soit mis à nu, ou soit la végétation herbacée naturelle existante est remplacée par des cultures vivrières moins protectrices du sol contre l'érosion hydrique.

Le sable argileux d'âge tertiaire couvre 92 % du bassin versant du Banco et offre une résistance moyenne à l'érosion avec une érodibilité de 0,28 ($t \times h \times h / h \times MJ \times mm$). Ce sol est composé de plus de 60 % de sable et couvre le plus souvent les interfluves et les sommets de versants. Le binôme sable argileux sur sable grossier affleure sur les fortes pentes, occupe 2 % du bassin versant, il offre une forte érodibilité à l'érosion hydrique avec une valeur de 0,47 ($t \times h \times h / h \times MJ \times mm$).

La superposition des quatre couches thématiques représentant les facteurs de l'érosion sous format Raster, a permis l'obtention de la carte de sensibilité du bassin versant du Banco à l'érosion hydrique (figure 3). Pour les besoins de lisibilité de la carte, ces différentes unités ont été regroupées en classes.

La classification adoptée est une classification établie aux Etats-Unis, fondée sur la tolérance des sols aux pertes de sol et rapportée par Sadiki (2005) et N'Go (2015). Selon cette classification, on considère que la sensibilité à l'érosion hydrique est faible lorsque les pertes de sol ne dépassent pas 7,41 t/ha/an, elle est moyenne lorsque les pertes de sol sont comprises entre 7,41 et 19,77 t/ha/an, elle est forte lorsque les pertes de sol ont des valeurs comprises entre 19,77 et 32,17 t/ha/an. La sensibilité à l'érosion hydrique est très forte lorsque les pertes de sol dépassent 32,17 t/ha/an

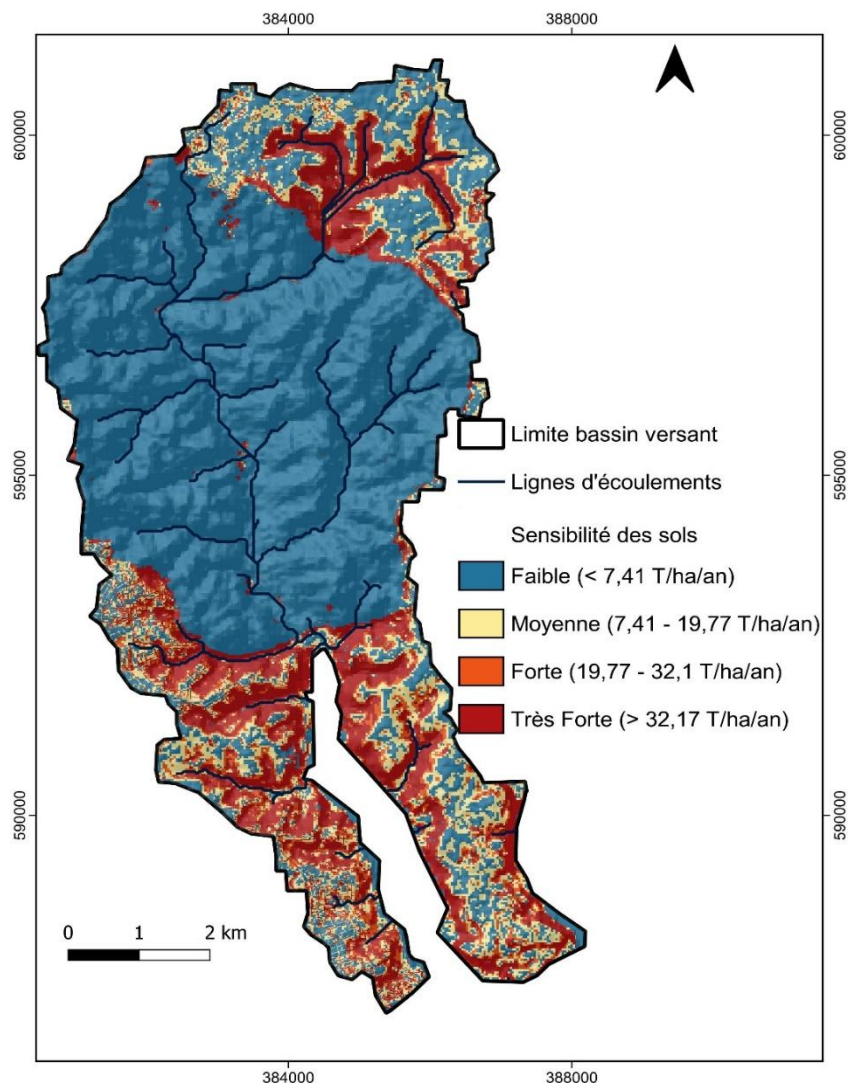


Figure 3 : Carte de sensibilité des sols à l'érosion hydrique du bassin versant du Banco

La classe de sensibilité faible à l'érosion hydrique occupe 65 % de la superficie totale du site avec une moyenne de 0,94 t/ha/an. Elle concerne la zone à forte couverture végétale occupée par la forêt du Banco, que les surfaces à faibles pentes soient bâties ou recouvertes de broussailles. La classe de sensibilité moyenne à l'érosion hydrique occupe une superficie de 675,70 ha, soit 12 % de la superficie du bassin versant du Banco. Elle concerne les surfaces de faibles pentes dont les sols sont nus et exposés directement à la pluie. Une superficie de 326,94 ha, soit 6 % du site, est occupée par la classe de forte sensibilité à l'érosion hydrique. On enregistre sur cette surface une perte de sol moyenne de 25,50 t/ha/an. Cette classe est localisée sur les pentes moyennes et les pentes fortes où le sol est partiellement recouvert de broussaille, d'arbres isolés ou complètement dénudé. La classe de très forte sensibilité à l'érosion hydrique occupe 18 % de la superficie du bassin versant du Banco, soit 1016,22 ha avec une perte moyenne de 108,51 t/ha/an. Elle recouvre les versants à très fortes pentes partiellement couverts et exposés à la précipitation où affluent le plus souvent les sables argileux sur sables grossiers. Les pertes totales annuelles du bassin versant du Banco sont de 7974250,44 t/an, avec une moyenne de 25,44 t/ha/an qui traduit le fait que les sols de ce bassin versant sont fortement érodés.

4- Discussion

La mise en œuvre du modèle RUSLE apporte des informations intéressantes sur les processus d'érosion en cours dans les bassins versants du nord d'Abidjan. Il convient cependant de discuter le résultat annoncé dans cette étude.

Le bassin versant du Banco subit une forte érosion et toutes les formes de l'érosion hydrique y sont visibles. Elle commence par mettre à nu progressivement les racines des arbres, à saper les murs et les fondations des maisons, à se concentrer et à inciser les terrains en pente, à mobiliser des masses variables de sol et à provoquer d'énormes dégâts. Ces sédiments ainsi mobilisés sont transportés et déposés dans les ouvrages de drainage qui s'avèrent incapables d'évacuer les sédiments et les eaux de ruissellement qui s'y déposent provoquant ainsi des inondations. Ces résultats confirment les observations effectuées par N'Dri (2017) dans cette zone, affirmant que les sédiments érodés se déposent et bouchent les caniveaux au niveau du marché de Mossikro entraînant des inondations dans le secteur pendant les fortes pluies.

Les valeurs les plus élevées de l'érosion observées au niveau du bassin versant du Banco dépendent essentiellement du facteur topographique (LS). On note que 50,8 % du bassin versant du Banco enregistre une classe de facteur topographique moyenne à très forte. La forte érosion dans cette zone est en grande partie liée au relief escarpé et aux fortes pentes qui y subsistent (Alla, 2013). Plus la pente est forte, plus elle est longue, plus l'intensité du ruissellement à détacher et à transporter les particules solides est plus intense (Roose, 1994).

Ces valeurs élevées de l'érosion observée dépendent aussi de l'occupation du sol (C) dans le bassin versant du Banco. On note que plus de 33 % de ce bassin versant est occupé par les habitats dont une bonne partie est précaire. L'érosion hydrique est généralement plus marquée sur les terrains des quartiers précaires, restés nus et dont les pentes sont assez prononcées et qui ne bénéficient pas d'infrastructures de drainage (Coulibaly *et al*, 2014). Le plus souvent, les problèmes subviennent lorsque les habitants exploitent les sommets des plateaux, les versants abrupts, les dépressions qui sont des zones jugées à risques (Allah, 2013). Ces exploitations créent en effet des conditions extrêmement favorables à l'érosion, du fait de la diminution de la perméabilité du sol par tassage et de l'élimination de tous les éléments pouvant faire obstacle au ruissellement (Kouassi *et al*, 2014). Les sols nus sont fortement sensibles aux problèmes d'érosion hydrique si bien que les faibles pluies suffisent à éroder le sol, quelle que soit la texture. D'où, les profondes et fréquentes ravines observées dans ces zones.

La broussaille, les formations herbacées et les cultures urbaines rencontrées dans le bassin versant du Banco favorisent l'activité érosive. En effet, la protection des sols, qui est un facteur prépondérant dans le processus érosif, est parfois assurée dans le bassin versant du Banco par des espèces végétales qui couvrent très partiellement le sol. Ce sont par exemple les cultures vivrières urbaines, des formations herbacées parfois isolées qui sont d'ailleurs, selon Roose (1994), parmi les plantes les moins protectrices du sol contre l'érosion. Le couvert incomplet du sol presque toute l'année ne protège en réalité pas suffisamment le sol (Tavarez, 2010). C'est justement l'une des raisons pour laquelle cette zone est très sensible à l'érosion. Cependant, le bassin versant du Banco affiche au niveau de la forêt du Banco, la classe d'érosion la plus faible, voire même négligeable, couvrant plus de la moitié de sa superficie avec une perte moyenne de 0,94 t/ha/an. Cela confirme le rôle de la couverture végétale dense dans la protection du sol contre l'érosion hydrique qui constitue un obstacle résistant pour freiner ou retenir les particules de sol (Roose, 1984). De ce qui précède, on comprend le rôle des espèces végétales dans la protection du sol contre l'érosion qui a déjà été prouvée et mise en évidence par N'Go (2000) dans la région forestière de Buyo.

Conclusion

La cartographie de la sensibilité des sols à l'érosion hydrique dans le bassin versant du Banco montre que 18 % de la superficie du bassin est très fortement sensible à l'érosion hydrique, soit 1016,22 ha concernés avec une perte moyenne de 108,51 t/ha/an. Les pertes totales annuelles du bassin versant du Banco sont de 7974250,44 t/an, avec une moyenne de 25,44 t/ha/an qui traduit le fait que les sols de ce bassin versant sont fortement érodés. Les facteurs majeurs qui expliquent les problèmes d'érosion hydrique dans le bassin versant du Banco sont d'une part la topographie avec des pentes prononcées. Et d'autre part le facteur d'occupation du sol qui favorise ou non le déclenchement de l'érosion, quelles que soient l'inclinaison du relief et la fragilité des sols (Roose, 1994). De ce fait, les stratégies de gestion pour réduire l'érosion hydrique dans ce bassin versant doivent être portées sur le renforcement du facteur d'occupation du sol, vu que le facteur topographie est relativement constant. Il s'agit de faire respecter le schéma directeur de la ville d'Abidjan afin d'éviter l'occupation des zones non constructibles. Et surtout à l'aide des espèces adaptées d'intensifier la végétalisation des zones sévèrement touchées par l'érosion hydrique. Cette végétalisation va permettre de fixer le sol, de faire baisser considérablement le volume de particules érodées qui comblent les zones basses, restreignent la capacité des canaux de drainage et ainsi aider à freiner les inondations dans le bassin versant du Banco dans une perspective de conservation durable des eaux et des sols.

Références bibliographiques

ALLA Della, 2011, « Croissance urbaine et émergence des risques naturels à Adiopodoumé (périphérie d'Abidjan - Côte d'Ivoire) » in Revue de géographie du LARDYMES, Laboratoire de Recherche sur la Dynamique des Milieux et des Sociétés, n° 6. Lomé, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, pp. 143-154.

ALLA Della., 2013, *Risques naturels dans l'agglomération d'Abidjan (côte d'ivoire)* Abidjan, Thèse d'État en Géographie, Université Félix Houphouët-Boigny, 387 p.

AUERSWALD K., FIENER, W. Martin, et D. Elhaus, 2014, « *Utilisation et mauvaise utilisation de l'équation du facteur K dans la modélisation de l'érosion du sol : une équation alternative pour déterminer les valeurs d'érosion du sol du nomographe USLE.* » Elsevier BV Catena 2014 Vol.118 pp. 220-225.

BAWA Dangniso, 2017, « Morpho-pédologie des versants, aménagements et risques hydromorphologiques dans la ville d'Atakpamé au Togo » Revue Ivoirienne de Géographie des Savanes, Numéro 3, ISSN 2521-2125

BOUDHAR, A *et al*, 2007, « Analyse de la dynamique des surfaces enneigées du Haut Atlas Marocain à partir des données spot végétation » Sécheresse 18 (4) : 278-88.

COULIBALY Talnan J H, COULIBALY Naga, 2014, « *Cartographie des zones à l'origine de l'ensablement des canaux du bassin versant du Gourou (Abidjan – Côte d'Ivoire)* » International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN 2028-9324 Vol. 6 No pp. 642-653.

DUFAURE et TASTET, 1983, *Présence de Miocène supérieur marin de plateforme dans des sondages peu profonds d'Abidjan (Côte d'Ivoire)*. IXème Colloque Afr. de Micropal. Paris, Géol. Med. Pp. 48-69.

HRBALIKOVA M. *et al*, 2017, *Comparaison de différentes approches des calculs de facteurs LS sur la base d'une perte de sol mesurée sous une pluie simulée*. Revue Sols et Ressources en eau. 13 p

KHALI Issa et al, 2016, « *Cartographie Quantitative du Risque d'Erosion des Sols par Approche SIG/USLE au Niveau du Bassin Versant Kalaya (Maroc Nord Occidental)* » Journal Mater. Environnement Sci. 18 p.

MARKHI Amal et al, 2015, «Quantification et évaluation de l'érosion hydrique en utilisant le modèle RUSLE et déposition intégrés dans un SIG, application dans le bassin versant n'fis dans le haut atlas de Marrakech (Maroc) » European Scientific Journal October vol.11, No.29 ISSN: 1857 – 7881 17 p.

N'DRI Brou, 2017, *Analyse des facteurs et quantification du ruissellement et de l'érosion hydrique par les outils de télédétection et Systèmes d'Information Géographique dans la commune d'Attécoubé*, Thèse unique de Doctorat, Université Nangui Abrogoua, Géosciences et Environnement, Hydrologie-SIG 214 p.

N'DRI Brou, NIAMKE Hilaire, 2017, «Cartographie des formes d'érosion hydrique dans la commune urbaine d'Attécoubé (Abidjan, Côte d'Ivoire) » International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN 2028-9324 Vol. 19 No pp. 960-968

N'Go Y. A., 2000, *Etude de l'érosion des sols de la région de Buyo : analyse des facteurs et essai d'évaluation des risques par la télédétection et les Systèmes d'Information Géographique*. Thèse de doctorat 3ème cycle de l'Université d'Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire, 155 p.

N'GO Yao A., 2015, *Hydrologie et dynamique de l'état de surf ace des terres dans le sud-ouest de la Côte d'Ivoire : impacts et moteurs de dégradation*, Thèse d'État, Université Nangui Abrogoua, Géosciences et Environnement, Hydrologie-SIG 218 p

ONAD, 2016, *Travaux d'urgence de curage des canaux et dalots du Banco route de Yopougon, (autoroute du Nord, du bassin de Riviéra Bonoumin, des bassins tampons du carrefour de l'Indénié et ouvrages annexes* Activités ONAD 9 p.

RENARD et al,1997, « Predicting soil erosion by water a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) » United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service (USDA-ARS) Handbook No. 703. 407 p.

ROMBA Jules Stanislas, 2014, : *caractérisation de l'érodibilité des sols à l'échelle du bassin versant du barrage de Mogtedo au Burkina Faso*, Master en Ingénierie de l'eau et de l'environnement option : Génie civil et Hydraulique 60 p.

ROOSE Eric, 1964, *Etude pédologique du bassin sédimentaire ivoirien entre Abidjan et Grand-Lahou*, Rapport de stage 142 p.

ROOSE Eric et CHEROUX M., 1966, « Les sols du bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire au 1/200 000 » Cahier O.R.S.T.O.M., série Pédologie, 43 p.

ROOSE Eric,1973, *Dix-sept années de mesure expérimentale de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de basse Côte d'Ivoire*. ORSTOM Abidjan,. Thèse Doc. Ing. Fac. Sei. Abidjan, n- 20. 125 p.

ROOSE Eric, 1975, *Application de l'équation de pévention de l'érosion de Wischmeier et smith en Afrique de l'ouest*, colloque sur la conservation et l'aménagement du sol dans les tropiques humides 27 p.

ROOSE Eric, 1981, *Dynamique actuelle d'un sol ferrallitique très désaturé sur sédiments sable-argileux sous-culture et sous forêt dense humide subéquatoriale du sud de la Côte d'Ivoire Adiopodoumé : 1964-1976 2e partie - Les transferts de matières*, Cahier O.R.S.T.O.M., série Pédologie, vol. XVIII, no 1, pp. 3-28.

ROOSE Eric, 1994, *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols*, Bulletins pédologique de la FAO, 387 p.

TAVARES de Pina, 2010, *Erosion des sols du Cap Vert : processus et quantification à l'échelle de trois Bassins Versants de l'île de Santiago*, Thèse de Doctorat en Science de la Terre et de l'environnement, Unité Mixte de Recherche (UMR) Biogéoscience Centre National de Recherche Scientifique (CNRS)-Université de Bourgogne 228 p.

PAYET Evelyne, 2015, *Étude des dynamiques de dégradation des sols, à l'échelle des bassins versants côtiers de l'océan Indien*, Spécialité Géographie, Université de la réunion école doctorale lettres et sciences humaines et sociales 316 p.

WISCHMEIER W.H, SMITH, 1978, *Prédire les sols d'érosion pluviale, un guide pour la planification de la conservation des sols et eaux*, Agriculture Handbook no 537, Washington D.C., 58 p.