

Cit this: *JOWSET*, 2018 (02), N°02, 376-382

Spatial Analysis of Erosive Runoff in the Mé Watershed (Côte d'Ivoire)

Z. A. Kouadio^{1*}, Y. A. N'go², K. B. Djè³, K. P. X. Adou², B. T. A. Goula², I. Savané

^[1] Université Jean Lorougnon GUÉDE de Daloa, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

^[2] Université Nangui Abrogoua, Laboratoire de Géosciences et Environnement (LGE), 02 BP 801 Abidjan, Côte d'Ivoire

^[3] Société de Développement et d'Exploitation Aéronautique, Aéroportuaire et Météorologique (SODEXAM) 15B.P. 990 Abidjan 15, (Côte d'Ivoire)

*Corresponding Author: Tel.: +225 07495359; e-mail: kazile2004@yahoo.fr

This work aims to quantify soil loss through a GIS in the Mé (Côte d'Ivoire) watershed. It has three major objectives. The analysis data consist of satellite images, thematic maps, and rainfall data from 05 stations covering the period 1940 to 2000. The land-use dynamics between 1987 and 2000 showed a decrease in dense forest of 18.54% and an increase in crop/fallow areas of 12.14%. The analysis of rainfall variability shows that the rainfall decline that began in the 1960s in the Mé basin continues. The average vulnerability to water erosion covers about 40% of the area of the Mé watershed. The average land loss of 16 t/ha/year. Soil losses over the entire Mé watershed amount to nearly 15 million t/year.

Received: 24 April 2018

Accepted: 5 October 2018

Available online: 8 October 2018

Keywords:

Land use

Erosive runoff

Mé watershed

Introduction

L'érosion hydrique est un phénomène naturel qui correspond à un déplacement de matière sous l'action de l'eau et leur dépôt dans les plaines alluviales. Lorsqu'elle concerne des zones agricoles, l'érosion hydrique devient un enjeu majeur de société [1]. Pour beaucoup de sols cultivés, l'érosion est liée à la dégradation structurale superficielle des sols par la formation de croûtes de battance qui réduisent la capacité d'infiltration des sols et entraînent l'augmentation du ruissellement. Ces bouleversements ont pour conséquences, entre autres, l'augmentation de la charge solide des cours d'eau, l'ensablement et l'envasement des retenues d'eau [2 ; 3], la modification des processus de régulation du cycle de l'eau, l'augmentation des polluants dans les milieux récepteurs.

Les particules en suspension issues de l'érosion des sols présentant à la fois un pouvoir d'adsorption et un pouvoir cohésif élevés, sont particulièrement impliquées dans le transport des polluants, le colmatage des lits et des milieux récepteurs [4]. Ces particules sont d'ailleurs considérées à la fois comme des vecteurs de transport [5] et comme des puits de

polluants (Voice et Weber, 1983). L'augmentation de la teneur en particules (MES, COD) des eaux est tributaire des saisons hydrologiques [6]. La sédimentation des matières en suspension entraîne une diminution de la diversité des habitats, un appauvrissement de la richesse biologique des cours d'eau [7], une diminution de la perméabilité et des teneurs en oxygène dans les eaux interstitielles [8]. Par ailleurs, cette augmentation des MES est généralement tributaire des variations de l'état de surface, des phénomènes climatiques et de l'érosion des sols.

Les conséquences du phénomène d'érosion des sols s'observent généralement par leurs effets sur les retenues d'eau. En effet, les auteurs comme [9,2,3] soulignent à travers des études variées que l'évolution actuelle de l'environnement biophysique favorise l'érosion et le comblement des lits des cours d'eau et des retenues d'eau. [10] a notifié l'impact de cet important apport des résidus continentaux sur la qualité chimique et biochimique des eaux.

La problématique de la dégradation du couvert végétal et des sols devient dès lors une préoccupation majeure dans le Sud de la Côte d'Ivoire. Cette dégradation semble s'être amplifiée avec

le temps en raison des transformations socio-économiques, des changements de l'environnement global, des spéculations du marché et de la mutation des systèmes culturels que connaît le monde agricole [11,12].

L'objectif général de ce travail est de caractériser la dynamique spatiale du ruissellement érosif dans le bassin versant de la Mé. Plus spécifiquement, il s'agit de caractériser la dynamique de l'occupation du sol, d'analyser la variabilité spatio-temporelle de la pluie du bassin et enfin de caractériser l'érosion hydrique sur le bassin versant de la Mé.

Materials and methods

1. Présentation de la zone d'étude

La Mé est un fleuve côtier du Sud de la Côte d'Ivoire qui draine un bassin versant de 4070 km². Ce fleuve prend sa source au Nord d'Adzopé sous l'appellation de «Min» ou Mé puis s'écoule du Nord au Sud parallèlement au cours inférieur du fleuve Comoé et de l'Agnéby. Le bassin versant est compris entre les longitudes 370000 et 441000 m et les latitudes 599000 et 699000 m (référentiel UTM WGS 84 zone 30 Nord). (Figure 1) De par sa situation, la Mé est totalement comprise dans la basse Côte d'Ivoire forestière où la pluviosité est supérieure à 1400mm/an. Son débit en période de crue est de 200m³/s et de 1 à 2 m³/s en période d'étiage. L'apport en eau douce de la Mé à la lagune est de 3m³/s (Figure 2). Le bassin est dominé par des sols ferralitiques. L'altitude du BVM varie de 1 à 42 m dans la partie Sud, cela correspond aux basses valeurs. Les grandes valeurs d'altitude sont observées dans la partie Nord et sont comprises entre 126 m et 281m.



Fig. 1 : Carte de localisation du bassin versant de la Mé

2. Données

Les données utilisées sont :

- les images LANDSAT 195-056 et 196-056 enregistrées en 1987 et 2000 disponibles sur le site : <http://earthexplorer.usgs.gov/>.
- les relevés pluviométriques mensuels de 05 stations du bassin versant de la Mé couvrant la période 1940-2000 ont été utilisés. Ces données ont été fournies par la SODEXAM.
- les cartes géologique et pédologique de la Côte d'Ivoire à l'échelle 1/2 000 000 réalisées par l'IRD ex-ORSTOM établie en 1972 par la SODEMI [13].

2. Caractérisation de l'occupation du sol

La dynamique de l'occupation du sol a été réalisée avec les images de décembre 1987 et de février 2000. Elles sont choisies à cette période (saison sèche) pour s'affranchir des nuages [12]. Ainsi à partir des statistiques obtenues pour chaque classe d'occupation du sol, le taux d'évolution des classes est calculé par la relation suivante :

$$T = \frac{V_1 - V_0}{V_0} \text{éq}(1)$$

T : taux d'évolution de la végétation entre les deux dates d'observation ;

V0 : la proportion de la classe d'occupation du sol prise à l'état initial et ;

V1 : la proportion de la classe d'occupation du sol prise à l'état final.

3. Caractérisation des dérèglements climatiques

La détermination des séquences sèches et humides a été faite à l'aide de l'indice de Nicholson [14]:

$$I = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} \text{éq}(2)$$

Avec :

I : indice de Nicholson

X_i = hauteur de pluie en mm de l'année i;

\bar{X} = hauteur de pluie moyenne en mm sur la période d'étude; σ = écart type de la série de pluie sur la période d'étude.

L'application de la méthode du filtre non récursif passe bas de Haning d'ordre 2 permet de dégager les grandes périodes excédentaires et déficitaires sur la période considérée.

Quant au test de Pettitt il permet de déterminer les années de ruptures dans les séries.

4. Vulnérabilité à l'érosion hydrique

À partir du MNT, la géométrie des cours d'eau en fonction des pentes est calculée. Ensuite, la densité de drainage (Dd) est obtenue à partir de la longueur totale (Li) de tous les cours d'eau (permanents ou intermittents) par maille, divisée par la surface de la maille (A) (km/km²). Enfin, les cartes de densité de drainage et d'occupation du sol sont fusionnées dans un SIG pour obtenir la carte de vulnérabilité à l'érosion.

5. Quantification des pertes en sols

Plusieurs modèles d'érosion des sols existent avec différents degrés de complexité. La quantification des pertes en sol par l'érosion hydrique a été réalisée en adoptant l'Equation Universelle des Perte en Sol (USLE) [15]. Elle prédit les pertes moyennes de sol au champ, pertes qui sont occasionnées par l'érosion de surface (érosion par l'impact des gouttes de pluie ou la battance, érosion en nappe et érosion en rigole). Elle s'exprime par :

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad \text{eq (3)}$$

où:

A = Taux de perte en sol en t/ha/an

R = Facteur d'érosivité des pluies (MJ/ha.mm/h)

K = Facteur d'érodibilité du sol (t/ha.MJ.ha/mm.h)

LS = Facteur topographique (adimensionnel)

C = Représentant l'effet de la couverture végétale (adimensionnel)

P = Facteur des pratiques de conservation ou gestion (adimensionnel).

Résultats et discussion

1. Caractérisation de la dynamique de l'occupation du sol

Les cartes d'occupation du sol issues de la classification supervisées ont permis de discriminer quatre classes à savoir : (1) les forêts, (2) les plans d'eau, (3) les zones de cultures et/ou de Jachères et (4) les habitats et/ou sols nus (Figure 2)

L'analyse statistique de la carte d'occupation du sol de 1987 révèle que le bassin versant est occupé dans l'ordre de prédominance par les cultures et jachères (44,42%), la forêt (32,20%), les habitats et sols nus (20,20 %) et eau (3,20%) (Tableau 1). En 2000, l'ordre de prédominance a subi une forte modification, avec des variations plus ou moins importantes des proportions occupées par chaque thème. Ainsi, les cultures et jachères sont passées à 49,81%, la forêt à 26,21%, les habitats et les/ sols nus à 21,64% et l'eau à 1,89%. On observe une régression de la forêt de 18,54% et de l'eau de 40,95%. La

régression de la forêt semble enrichir les zones de cultures et jachères, les habitats et sols nus qui ont augmenté respectivement de 12,14% et 7,10%.

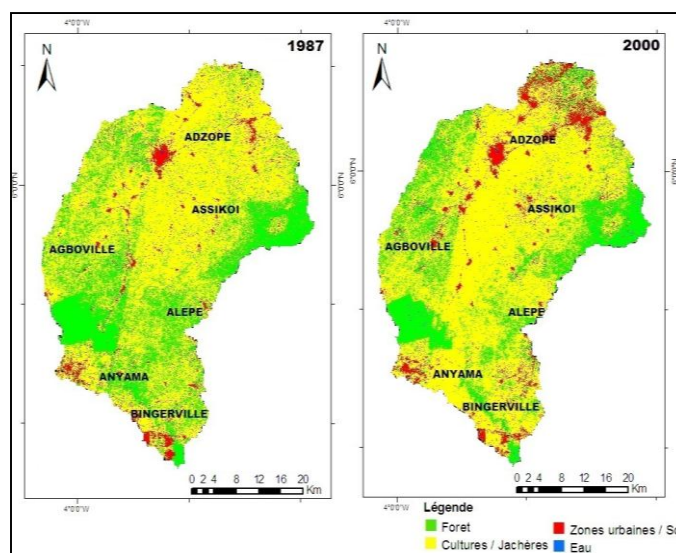


Fig. 2 : Dynamique de l'occupation du sol du Bassin Versant de la Mé en 1987 et en 2000

Tab 1 : Pourcentages des classes d'occupation du sol du bassin versant de la Mé.

Classe	1987		2000		Taux d'évolution
	Proportion (%)	Surface (km ²)	Proportion (%)	Surface (km ²)	
Forêts	32,20	1308,8	26,21	1066,8	-18,54
Habitats/sol nu	20,20	821,9	21,64	880,8	7,10
Eau	3,20	130,32	1,89	76,9	-40,95
Culture/jachère	44,42	1806,8	49,81	2027,4	12,14

2. Caractérisation des dérèglements climatiques

L'application de l'indice de Nicholson associé au Filtre de Hanning montre deux grandes périodes climatiques (Figure 3). Il s'agit d'une période à pluviométrie excédentaire par rapport à la moyenne de la série 1940-2000, observée entre 1940 et 1969 pour les stations d'Adzopé et d'Agboville, entre 1940 et 1964 pour la station d'Alépé et entre 1940 et 1982 pour la station d'Abidjan. Ces périodes indiquent un climat globalement humide.

Après cette grande période humide, on observe une longue période sèche caractérisée par des indices pluviométriques déficitaires. Cette phase sèche s'étend sur le reste de la période d'étude et marquée par une baisse significative des précipitations.

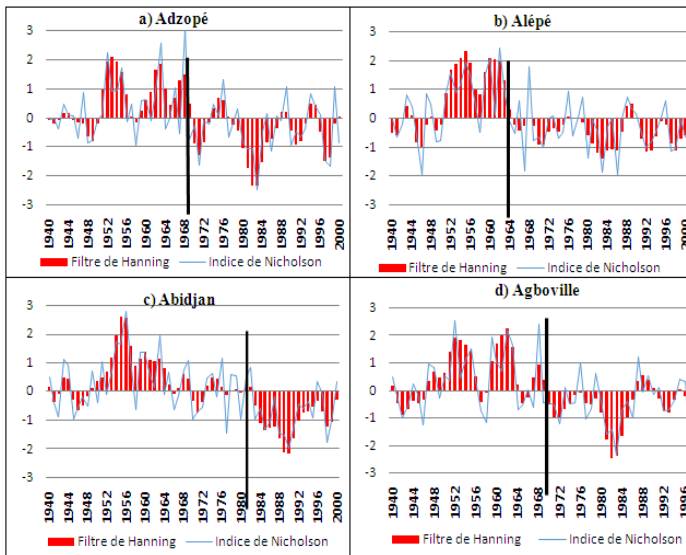


Fig. 3 : Variabilité interannuelle de la pluviométrie sur le bassin de la Mé entre 1940-2000 aux stations d'Adzopé a); Alépé b); Abidjan c) et d'Agboville d)

3. Caractérisation de la vulnérabilité à l'érosion hydrique

L'analyse multicritères de la carte de vulnérabilité à l'érosion hydrique des sols du bassin versant de la Mé (Figure 4) a donné cinq classes. Les faibles vulnérabilités sont caractérisées par la classe 2 tandis que les fortes vulnérabilités sont caractérisées par la classe 4.

Les valeurs de vulnérabilité du tableau 2 indiquent que la classe 3 (vulnérabilité moyenne) est prépondérante avec 44,60% de la surface totale. Cette classe couvre les zones de cultures et de jachères. La classe 4 de vulnérabilité forte qui occupe 27,70% du bassin montre que les sols de cette région sont vulnérables à l'érosion hydrique. La classe 2 (vulnérabilité faible) vient en troisième position avec environ 20,54%. On note que les zones de forêt recouvrent les classes de très faible vulnérabilité tandis que celle de cultures ou jachères et de sols nus recouvrent les classes de très forte vulnérabilité (Figure 4).

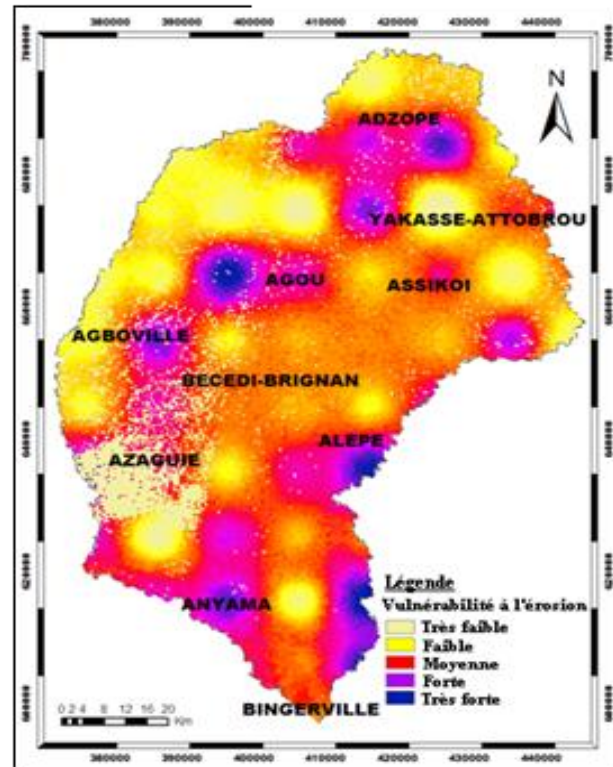


Fig. 4 : Carte de la vulnérabilité à l'érosion hydrique

Tab 2 : Répartition des classes de vulnérabilité

Vulnérabilité	Classes	Surface (km ²)	Pourcentage (%)
1	Très faible	18,27	0,45
2	Faible	836,06	20,54
3	Moyenne	1815,39	44,60
4	Forte	1127,26	27,70
5	Très forte	273,02	6,71
TOTAL		4070	100

4. Caractérisation des pertes de sols

La carte des pertes de sol (Figure 5) indique que la perte de sol sur le bassin varie de 0 à 604 t/ha/an avec une moyenne de 16 t/ha/an. La perte totale de terre sur l'ensemble du bassin versant s'élève à 15 millions de tonnes par année. Les surfaces les plus sensibles représentent 29,3 km² et peuvent céder jusqu'à 604 t/ha/an de matériaux.

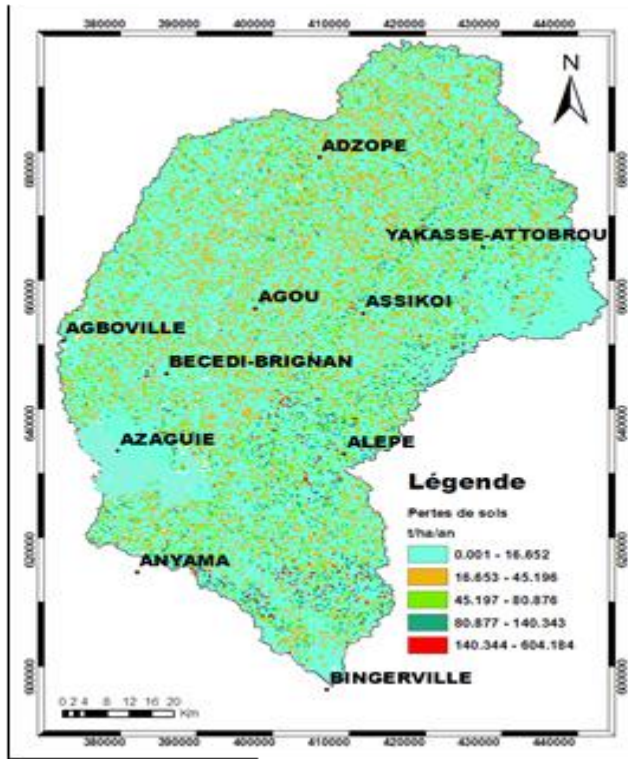


Fig. 5 : Carte des pertes de sols du bassin versant de la Mé

Discussion

Le traitement des images Landsat ETM+ par la classification supervisée par Maximum de vraisemblance a donné une précision globale de 90.61%. Cette précision comparativement à celles obtenues par [12] et de [16] de 90%) respectivement dans le Sud-ouest et à l'est de la Côte d'Ivoire confirme la validité des cartes d'occupation du sol.

Ainsi, la dynamique de l'occupation du sol sur les trente années de l'étude indique une diminution de la forêt de 18,54%. Cette forte réduction de la forêt se fait au profit des zones de culture, de jachères et d'habitat avec une proportion de (+19,24%). Ce bassin versant qui fait partie de l'ancienne boucle du café-cacao, est toujours colonisé par de nouvelles cultures moins exigeantes en sols fertiles (hévéa, palmier à huile, manioc, etc.) et de cultures irriguées (bananier, ananas, etc.). Ces cultures participent à la diversification de l'agriculture ivoirienne selon [17] et partant contribuent à une adaptation aux conséquences de la dégradation des terres fertiles.

L'application des tests statistiques sur les données pluviométriques indiquent une baisse des pluies. Cette baisse s'est manifestée par des ruptures au sein des séries chronologiques ; identifiées en 1968 à Adzopé, en 1963 à Alépé

et à Agboville et en 1969 à Abidjan. Ces résultats sont en accord avec ceux des travaux réalisés en Côte d'Ivoire en particulier [18,3,19-20] et en Afrique de l'Ouest en général [21-24]. Ces travaux indiquent l'apparition d'une rupture dans la zone subsaharienne autour de l'année 1970, avec une tendance à la sécheresse après la rupture.

L'analyse de la carte de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique a permis d'identifier cinq (05) classes allant de très faible à très forte. La classe prépondérante est la classe 3 (vulnérabilité moyenne) avec 44,60% de la surface totale. Ces résultats sont différents de ceux de [25] qui stipulent que les zones à risque moyen d'érosion ont des valeurs comprises entre 2% et 5% du secteur étudié. La classe 4 à vulnérabilité forte occupe une proportion de 27,7%. [25] dans une étude similaire à Man (Ouest de la Côte d'Ivoire) ont obtenu une proportion de d'occupation de zones à vulnérabilité forte de 26%. La vulnérabilité des terres semble homogène dans ces régions du pays.

La quantification de perte de sol a donné une valeur de perte moyenne en sol de 16 t/ha/an. La limite tolérable adoptée par [26] est de 20 t/ha/an pour les surfaces les plus sensibles. Suivant cette limite, la perte obtenue sur le bassin versant de la Mé paraît acceptable.

À l'échelle du bassin versant de la Mé, 15 millions de tonnes de sol peuvent être potentiellement arrachées contre 29,43 millions de tonnes par les études réalisées par [27] sur le bassin de la Bia. Ces 15 millions de tonnes de sol obtenus sont donc susceptibles de contribuer aux dynamiques du flux des sédiments actuels au cours d'une année. En effet, le modèle ne tient pas compte des processus de transport/sédimentation des matériaux, majoritairement dépendant de la compétence des cours d'eau. Cette estimation ne donne donc en aucun cas une prédiction des apports vers les cours d'eau, mais renseigne sur la quantité de matériaux potentiellement fournis par le bassin versant et révèle donc son altération actuelle.

Conclusion

La caractérisation et la cartographie des changements environnementaux a permis de montrer une modification de l'occupation du sol marquée par la conversion de la forêt naturelle en des zones de cultures, de jachères et d'habitats. Ainsi, la couverture forestière est passée d'une superficie de 1309 Km² en 1987 à 1067 Km² en 2000.

Au plan climatique, sur la période 1940-2000, l'analyse du dérèglement climatique a montré que la période de baisse

pluviométrique qui a débuté dans les années 1963 et 1969 dans le bassin de la Mé sur l'ensemble des stations et se poursuit actuellement.

L'étude de la vulnérabilité des sols a permis montrer que les zones de forte sensibilité à l'érosion hydrique constituent 27,7% de la superficie du bassin versant.

L'érosion des sols de cette région a entraîné une perte moyenne de 16 t/ha/an. Sa répartition est très homogène. Les pertes de sols les plus élevées sont disséminées sur l'ensemble du bassin et représentent jusqu'à 2929 ha. La perte totale de terre sur l'ensemble du bassin versant s'élève à 15 millions de tonnes par année.

L'érosion hydrique sur le bassin versant de la Mé arrache une quantité considérable de terre dont une partie est susceptible d'atteindre l'exutoire et combler le fond.

Il convient de mettre en place des stratégies de gestion telle que l'aménagement par des terrasses, les cultures à contre pente, destinées à réduire les pertes de terre.

Références

1. Y A N'go. 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, Université d'Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire. **2000**, 155.
2. Y A N'go, P Yacé, I Savané, K Aka. Impact de la variabilité climatique et actions anthropiques sur l'évolution hydrologique et sédimentologique de l'estuaire d'un fleuve de l'Afrique de l'Ouest : le Sassandra. *Bioterre, Rev. Inter. Sci. de la vie et de la terre*. **2004**, 4(1), 59-73.
3. K L Kouassi. Hydrologie, transport solide et modélisation de la sédimentation dans les lacs des barrages hydro-électriques de Côte d'Ivoire : cas du lac de Taabo (Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat unique, Université Abobo-Adjamé, Abidjan, Côte d'Ivoire. **2007**, 209.
4. J Lefrançois. Dynamiques et origines des matières en suspension sur de petits bassins agricoles sur schiste. Thèse de doctorat, Université Rennes I, France. **2007**, 261.
5. J M Martin M. Meybeck. Elemental mass-balance of material carried by major world rivers. *Marine chemistry*. **1979**, 7, 173-206.
6. D L Goné. Production d'eau potable à partir des eaux de surface en Afrique : Caractérisation et élimination de la matière organique naturelle par coagulation-floculation (Bassin versant de l'Agnéby, Côte d'Ivoire), Thèse de doctorat d'Etat, Université Abobo-Adjamé, Abidjan, Côte d'Ivoire. **2010**, 163.
7. L Maridet. La végétation rivulaire, facteur de contrôle du fonctionnement écologique des cours d'eau : influence sur les communautés benthiques et hyporhéiques et sur les peuplements de poissons dans trois cours d'eau du Massif Central. Thèse de l'Université Claude Bernard Lyon I, France. **1994**, 117.
8. F Massa. Sédiments, physico-chimie du compartiment interstitiel et développement embryo-larvaire de la truite commune (*Salmo trutta*) : étude en milieu naturel anthropisé et en conditions contrôlées. Thèse de doctorat mention Sciences de l'environnement. **2000**, 178.
9. K Aka. La sédimentation quaternaire sur la marge de la Côte d'Ivoire: Essai de modélisation. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles, Université d'Abidjan, Côte d'Ivoire, **1991**, 320.
10. O B Yapo. Evaluation de l'état trophique du lac de Buyo (Côte d'Ivoire), aspects physico-chimiques et biologiques. Thèse de Doctorat, Université d'Abobo-Adjamé, Abidjan, Côte d'Ivoire, **2002**, 296.
11. C Mbow, O Mertz, A Diouf, K Rasmussen, A Reenberg. The history of environmental change and adaptation in eastern Saloum-Senegal: Driving forces and perceptions. In: *Global and Planetary Change*. **2008**, 64, 3-4, 210-221.
12. Y A N'go. Hydrologie et dynamique de l'état de surface des terres dans le sud-ouest de la Côte d'Ivoire : impacts et moteurs de dégradation, Thèse de Doctorat, Université Nangui-Abrégoua, Abidjan, Côte d'Ivoire. **2015**, 220.
13. B Tagini. Esquisse structurale de la Côte d'Ivoire. Essai de géotectonique régionale. SODEMI, Abidjan, **1972**, 302.
14. S E Nicholson. The nature of rainfall fluctuation in subtropical West Africa, *Monthly Weather Review*. **1980**, 108, 473-487.
15. W H Wischmeier, D D Smith. Predicting Rainfall Erosion Losses. *Agriculture Handbook 537*. United States Department of Agriculture. Science and Education Administration. **1978**, 58.
16. Z A Kouadio, B T A Goula, F W Kouassi, K E Kouakou, I Savané. Apport des images satellitaires à l'étude de la dynamique de l'occupation du sol des bassins versants côtiers : exemple de l'Agnéby, de la Mé et du Boubo (Côte d'Ivoire). *Journal of applied remote sensing*. **2010**, 19.
17. J B Avit, P L Pedia, Y Sankaré. Diversité Biologique de la Côte d'Ivoire -Rapport de synthèse - Ministère de l'Environnement et de la Forêt. **1999**, 273.
18. Y T Brou. Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire. Mémoire de synthèse des activités scientifiques. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches. Université des Sciences et Technologies de Lille, France. **2005**, 226.
19. K E Kouakou, B T A Goula, I Savané. Impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau de surface en zone tropicale humide: Cas du bassin versant transfrontalier de la Comoé (Côte d'Ivoire - Burkina Faso). *European Journal of Scientific Research*. **2007**, 16 (1), 31-43.
20. T D Soro, N Soro, Y M-S Oga, T Lasm, G Soro, K E Ahoussi, J. Biemi. La variabilité climatique et son impact sur les ressources en eau dans le degré carré de Grand Lahou (Sud-ouest de la Côte d'Ivoire), *Physio-Géo*. **2011**, 5, 55-73.
21. E Servat, J E Paturel, B Kouamé, M Travaglio, M Ouedraogo, J F Boyer, H Lubès-Niel, J M Fritsch, J M Masson, B Marieu. Identification, caractérisation et conséquences d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest et Centrale. *Internationale Association of Hydrological Sciences*. **1998**, 252, 323-337.
22. M Ouedraogo. Contribution à l'étude de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'ouest. Analyse des conséquences d'une sécheresse persistante : normes hydrologiques et modélisation régionale. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, France. **2001**, 257.
23. B S Ardoin. Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, France. **2004**, 330.
24. D Sighomnou. Analyse et redéfinition des régimes climatiques et hydrologiques du Cameroun : perspectives d'évolution des ressources en eau. Thèse de Doctorat, Université de Yaoundé 1, Cameroun. **2004**, 290.
25. B H Kouadio, F K Koffi, M S Bachir, J Biémi et T Ibrahima. Insécurité climatique et géorisques en Côte d'Ivoire : étude du risque d'érosion hydrique des sols dans la région semi-montagneuse de Man (Ouest de la Côte d'Ivoire). *Sécheresse*. **2007**, 18 (1), 29-37.
26. M Hasbaia, A Hedjazi, L Benayada. Variabilité de l'érosion hydrique dans le bassin du Hodna: cas du sous-bassin versant de l'oued Elham. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.* **2012**, 1, 28-32.

27. N E H Mélédje Modélisation de la dynamique hydrologique et du flux des sédiments dans le lac du barrage hydroélectrique d'Ayamé 1. Thèse de doctorat en Sciences et Gestion de l'Environnement, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire. **2016**, 267.