

CARTOGRAPHIE DE LA VULNÉRABILITÉ MULTIFACTORIELLE AUX RISQUES D'ÉROSION HYDRIQUE DES SOLS DE LA RÉGION D'ADIAKÉ, SUD-EST CÔTIER DE LA CÔTE D'IVOIRE

**Sampah Georges EBLIN^{1*}, Affoué Berthe YAO¹,
Kouao Armand ANOH¹ et Nagnin SORO²**

¹ *Université Jean Lorougnon Guédé, Unité de Formation et de Recherche
Environnement, Sciences de la Terre, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire*

² *Université Félix Houphouët Boigny, Unité de Formation et de Recherche
des Science de la Terre et des Ressources Minières,
Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement
(LSTEE), 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire*

*Correspondance, e-mail : sampah_e_georges@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Cette étude a pour objectif de cartographier le risque d'érosion hydrique des sols de la région d'Adiaké (Sud-est côtier de la Côte d'Ivoire). L'approche méthodologique est basée sur l'élaboration d'un Système d'Information Géographique (SIG) intégrant des données multisources (Erodabilité des sols, Erosivité de la pluie, Pente topographique, Occupation du sol) pour établir une carte de vulnérabilité à l'érosion hydrique à partir d'une combinaison additive. Trois classes de vulnérabilité ont été distinguées : les zones fortement vulnérables (44,55 %), les zones moyennement vulnérables (55,35 %) et les zones à faible vulnérabilité, quasi-inexistantes dans la région (0,10 %). Ainsi, les zones à moyenne et forte vulnérabilité représentent 99,9 % de la superficie de la région. Cette carte de sensibilité des sols à l'érosion hydrique montre que la région d'Adiaké est fortement exposée aux pertes en terre et se présente comme un outil d'aide à décision qui permet de mieux guider les décideurs dans les mesures de conservation des sols pour un développement durable.

Mots-clés : *vulnérabilité multifactorielle, érosion hydrique, SIG, Côte d'Ivoire, région d'Adiaké.*

ABSTRACT

Mapping of multifactorial vulnerability to soil erosion risks in the region of Adiaké, south-east coastal of Côte d'Ivoire

The aim of this study is to map the risk of water soil erosion in the Adiaké region (south-east coastal of Côte d'Ivoire). The methodological approach is based on the development of a Geographical Information System (GIS) integrating multisource data (soil erodibility, rainfall erosivity, topographic slope, land use) to establish a vulnerability water soils erosion map from an additive combination. Three classes of multifactorial vulnerability to water erosion have been identified : areas with a high vulnerability (44.55 per cent), area with a middle vulnerability (55.35 per cent) and area with low vulnerability, virtually non-existent in the region (0.10 per cent). Thus, middle and high vulnerability areas represent 99.9 per cent of the region Adiaké. This water soil erosion sensitivity map shows that the region is highly exposed to soil loss and presents itself as a decision-making tool that better guides policymakers in soil conservation measures for sustainable development.

Keywords : *multifactorial vulnerability, water erosion, GIS, Côte d'Ivoire, region of Adiaké.*

I - INTRODUCTION

L'érosion du sol survient sous l'effet de trois principaux phénomènes : le vent, l'eau et peut être accélérée par certaines activités agricoles (jachères, cultures en rang, etc.) [1]. Elle est aussi provoquée directement par la méthode de travail du sol, qui entraîne un mouvement progressif du sol vers le bas des pentes, donnant ainsi lieu à une perte de sol au sommet et à une accumulation à la base des pentes [1]. Cette situation est considérée avec gravité, d'autant que les pertes sont irréversibles et menacent la durabilité des sols productifs [2]. Ainsi, la pérennisation de l'agriculture dépend de la protection des sols contre l'érosion, qui diminue de façon importante le potentiel de production et la productivité jusqu'à provoquer l'abandon de terres devenues incultes [3]. En 2000, [4] a estimé que plus de 16 % des terres dans le monde sont vulnérables aux risques d'érosion et considère que l'érosion hydrique est la principale cause de dégradation des sols. Elle génère des conséquences importantes au niveau économique, humain et écologique. En aval, le dépôt des particules de terre engendre de lourdes dépenses pour le traitement des eaux, le curage des fossés, le dragage des ports [5, 6]. En effet, ce phénomène naturel majeur de la dégradation des sols cause une perte annuelle estimée à 25 milliards de tonnes à l'échelle mondiale ; soit un volume approximatif de 16 km³ de sol [6]. Or

selon [6], les agronomes considèrent qu'une perte supérieure à 1 t/ha/an est irréversible au-delà d'une cinquantaine d'années. De plus, avec une augmentation de la population mondiale quasi exponentielle, la perte de surfaces cultivables apparaît comme étant le problème le plus fondamental pour l'avenir de l'humanité [6]. Par conséquent, la problématique de l'érosion hydrique mobilise la communauté scientifique pour la recherche de solutions susceptibles d'assurer la conservation des sols. Plusieurs travaux ont été menés dans différentes régions climatiques du monde, par des approches souvent similaires : dans les zones viticoles du Fronsadais [7], sur les berges de la rivière du Lièvre au Québec [8], pour l'Atlas de la ville de Béni Mellal (Maroc) par [9], dans le sous bassin versant de oued Bouguedfine-wilaya de Chlef [10], dans le bassin versant de la Vie du Ligneron et du Jaunay [11], dans l'Etat de Telangana en Inde [12], etc. En Côte d'Ivoire, des études d'érosion hydrique ont été menées dans la région montagneuse de l'Ouest (Man) [13], dans la commune d'Attécoubé (Abidjan) [14], dans de la région de Bonoua [15], etc. Tous ces différents travaux de recherche montrent que le caractère spatial de l'érosion hydrique est mis en évidence à partir de l'intégration de données multi-sources dans un système d'information géographique (SIG) [16].

En effet, l'utilisation d'un SIG présente un double avantage : la possibilité d'utiliser des données multisources et de les regrouper en différentes couches d'information, lesquelles peuvent être remaniées suivant les besoins exprimés par les utilisateurs. Par ailleurs, l'application d'un SIG peut permettre d'intégrer ultérieurement des données additionnelles qui peuvent être fort utiles dans l'évaluation des risques associés aux phénomènes d'érosion des sols [17, 18]. Les excellentes conditions naturelles dont bénéficie la région d'Adiaké : région côtière située en forêt dense équatoriale avec une abondante pluviométrie, un réseau hydrographique bien fourni, etc., ont favorisé le développement des activités agricoles, agro-industrielles, minières, halieutiques, etc. [19, 20]. Avec la pression foncière due à la pression démographique et surtout à l'agriculture intensive et extensive, qui contribuent considérablement à la dégradation du couvert végétal et à la mise à nue des sols, la région est exposée à de hauts risques d'érosion hydrique. La présente étude vise à identifier les zones fortement vulnérables au phénomène érosif et les zones nécessitant des mesures urgentes de conservation. Elle adopte une approche méthodologique qui s'appuie sur un SIG, en utilisant l'analyse multicritère avec pondération de facteurs intégrateurs de la réponse à la sensibilité à l'érosion, tels que : érodabilité des sols, pente topographique, érosivité des pluies et occupation des sols.

II - MÉTHODOLOGIE

II-1. Présentation de la zone d'étude

La région d'Adiaké est une plaine côtière de 0 à 200 m d'altitudes et située à l'extrême sud-est de la Côte d'Ivoire, entre les latitudes 5°04' et 5°29' Nord et les longitudes 2°43' et 3°33' Ouest (*Figure 1*). Elle est limitée au Sud par l'Océan Atlantique, au Nord par la région d'Aboisso, à l'Ouest par la sous-préfecture de Bonoua et à l'Est par le Ghana. Elle couvre tout le département d'Adiaké, une partie du département d'Aboisso, totalisant une superficie de 3 054 km², soit 40,11 % de la région du Sud-Comoé. Sa densité est de 78 hbts/km², supérieure à la moyenne nationale qui est 48 hbts / km² [21]. La région est drainée par les bassins hydrographiques des rivières côtières Bia et Tanoé, et leurs affluents. Ces principaux cours d'eau forment avec d'autres rivières, le complexe lagunaire Aby-Tendo-Ehy (427 km²) et le canal d'Assinie, un important réseau hydrographique.

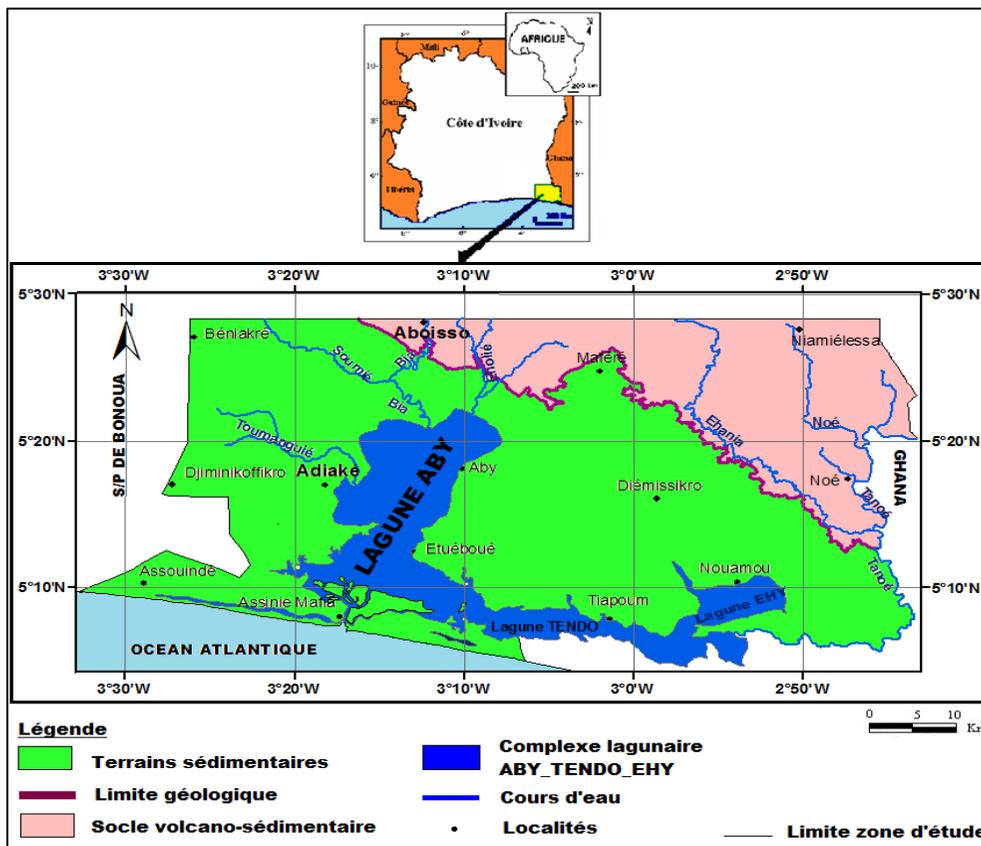


Figure 1 : Localisation de la région d'Adiaké

La zone d'étude est à cheval sur deux domaines géologiques constitués des formations du bassin sédimentaire côtier et celles du socle cristallin et cristallophyllien. On y distingue deux types d'aquifères : au Sud, les aquifères continus du bassin sédimentaire constitués des aquifères du Quaternaire et du Mio-Pliocène (Continental Terminal) et au Nord, les aquifères discontinus du socle précambrien constitués des aquifères des altérites et du socle fissuré. La région appartient au secteur ombrophile du domaine guinéen caractérisé par des groupements végétaux particuliers répondant à des conditions écologiques différentes [22] : la mangrove, le secteur ombrophile, la forêt mésophile ou semi-décidue et la zone de contact forêt-savane caractérisée principalement par la présence de lambeaux de forêts mésophiles et de larges mailles de savane séparées par des forêts-galeries. Le fourré littoral se caractérise par des groupements sur les sables vifs au contact de la mer. Cette forêt a fait place à des plantations de palmiers à huile, de cocotiers et d'hévéa, donnant un autre type de végétation [23]. Le climat équatorial de transition (climat Attiéen) qui y règne est caractérisé par quatre saisons dans l'année : deux saisons pluvieuses (avril-juillet et octobre-novembre) et deux sèches (décembre-mars et août-septembre). Les précipitations moyennes annuelles atteignent 2000 mm. Les températures de la période 2008-2011 oscillent entre 24,8°C et 28,6°C (**Figure 2**).

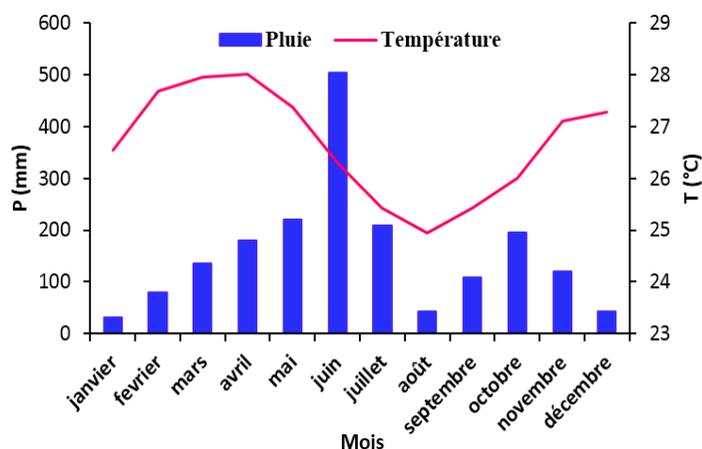


Figure 2 : Diagramme ombrothermique de la région d'Adiaké (période 2008-2011)

Les sols appartiennent à trois (3) types distincts de sols issus des différents terrains géologiques : les sols ferrallitiques très lessivés sous une forte pluviométrie, les sols hydromorphes et les sols peu évolués [24]. Cette diversité de sols de la région a favorisé une diversification et un développement de l'agriculture, principale activité économique des populations de la région, avec 60 % à 80 % des membres actifs et plus de 50 % de la superficie de la région [19, 25].

II-2. Données et Méthodes

II-2-1. Données

Les données utilisées dans cette étude sont constituées des données de pluies, des données cartographiques et d'images satellitaires. Les données pluviométriques sont fournies par la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire et Météorologique (SODEXAM). Elles se composent de la série des pluies mensuelles de la station d'Adiaké (5°18N, 3°18W) allant de 1970 à 2005 et de 2008 à 2011. Les données cartographiques se composent des cartes géologique au 1/200 000 du degré carré de Grand-Bassam [23], de l'esquisse pédologique de la Côte d'Ivoire au 1/500 000 (feuille Sud-Est) dressée par [26], du couvert végétal au 1/200 000 faisant le bilan forestier du degré carré de Grand-Bassam [27] et d'occupation du sol au 1/200 000 de la zone sud-est/Côte d'Ivoire [28]. Les données images satellitaires sont de deux types :

- L'image "Shuttle Radar Topography Mission" (SRTM) de 2000, de résolution 90 m, a servi à établir la carte des pentes à partir du modèle numérique d'élévation (MNE). Pour la couverture de la zone d'étude, nous avons utilisé la coupure N05W004 ;
- L'image ETM+ (Enhancement Thematic Mapper plus) de Landsat 7 du 2 février 2000, résolution de 30 m (28,5 m sur le site), est issue de la scène p195-r056. Elle a permis de réaliser la carte d'occupation du sol.

Ces données multisources ont été traitées par les logiciels ENVI 4.3 qui a permis de générer la carte des pentes à partir du Modèle Numérique d'Élévation (MNE) et de traiter l'image satellitaire Landsat 7 pour ressortir la carte d'occupation du sol , et ArcGIS 10.1 qui a été utilisé pour la production et combinaison des cartes thématiques.

II-2-2. Méthodes

La méthodologie développée dans cette étude utilise des règles qualitatives, des évaluations et un croisement des paramètres considérés [5, 7, 9, 11]. L'ensemble des données est intégré et analysé dans un environnement SIG pour la restitution et la cartographie des zones vulnérables à l'érosion hydrique suivant l'organigramme de la *Figure 3*.

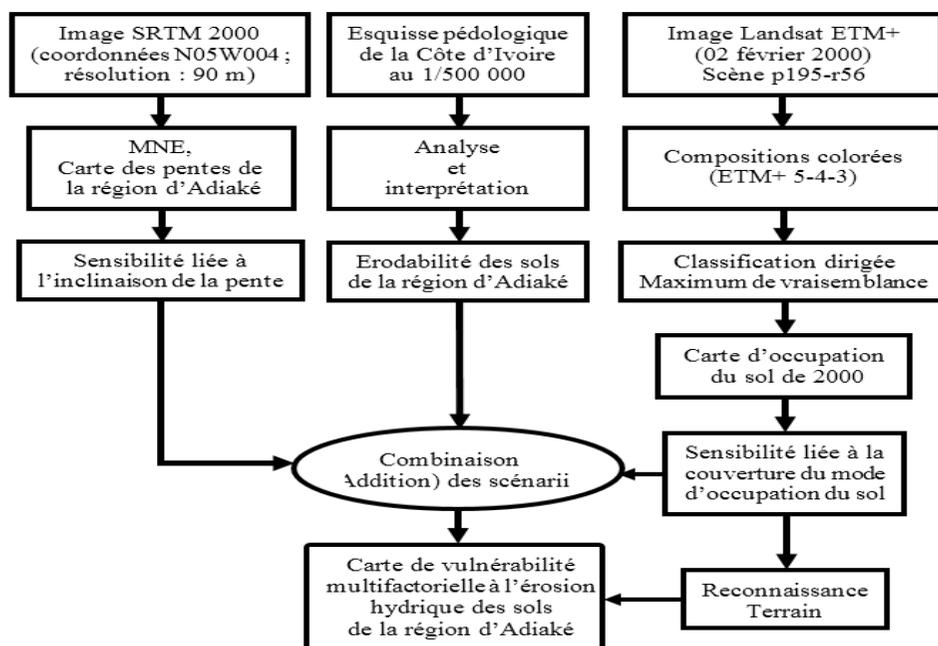


Figure 3 : Organigramme de la méthodologie suivie dans cette étude

II-2-2-1. Etablissement de cartes de vulnérabilité monofactorielle

La carte de la sensibilité à l'érosion hydrique a été établie à partir de la carte des facteurs érodabilité des sols, pente topographique, occupation du sol, érosivité des pluies ou agressivité des gouttes de pluies issus des données du terrain.

❖ *Erodabilité des sols*

La carte des sols a été établie sur la base de la carte pédologique de la région dressée par [26], de certains travaux [13 - 15, 29], des connaissances de terrain. Elle s'est basée principalement sur la "typologie des sols" : sols ferrallitiques très lessivés sur granites et schistes, sols ferrallitiques très lessivés sur sables néogènes (sables tertiaires), sols hydromorphes minéraux et organiques, sables quaternaires et marins (*Figure 4*).

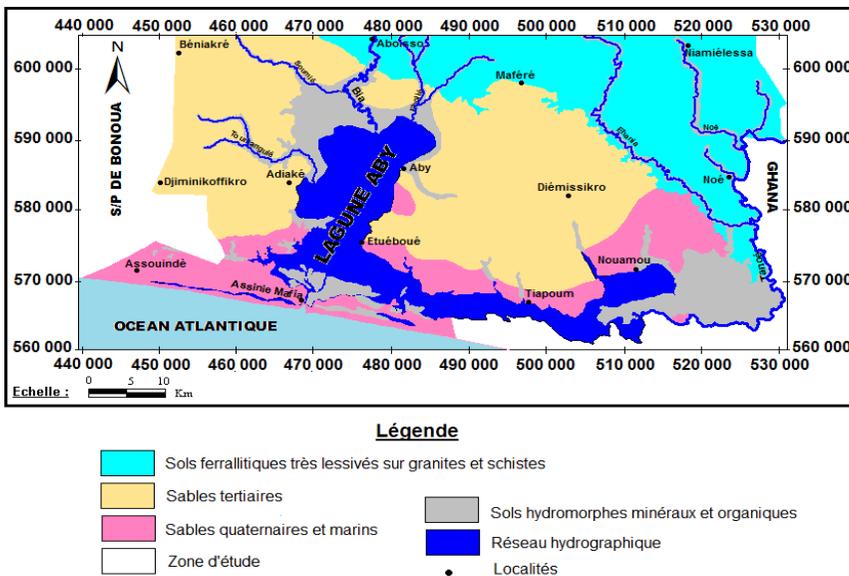


Figure 4 : Carte des types de sols de la région d'Adiaké

Les textures très sensibles sont souvent le facteur prépondérant de l'érosion sur de faibles pentes [7]. Pour l'érodabilité, nous avons tenu compte de la texture, dont dépendent la formation et la stabilité des agrégats, et qui résulte en grande partie de la nature des matériaux parentaux. Chaque classe de sols réagit différemment à l'érosivité du climat en fonction des caractéristiques de la pente. Les sols peuvent être ainsi regroupés en quatre classes : résistants (sols hydromorphes), moyennement résistants (sols ferrallitiques typiques sur granite ou remaniés sur schiste), vulnérables (sables tertiaires) et très vulnérables (sables quaternaires et marins). À chaque classe est assigné un indice variant de 100 à 400 (*Tableau 1*).

Tableau 1 : Classes d'érodabilité des sols et indices attribués

Typologie des sols	Erodabilité	Indice attribué
Sols hydromorphes	Résistants	100
sols ferrallitiques typiques sur granite ou remaniés sur schiste	Moyennement résistants	200
Sables tertiaires	Vulnérables	300
Sables quaternaires et marins	Très vulnérables	400

❖ *Erosivité ou agressivité des pluies*

Il est généralement difficile de cartographier ou de mesurer avec précision l'érosivité des pluies. En raison d'une seule station pluviométrique dans la région, ce facteur a été considéré comme uniforme et donc invariant sur toute la zone d'étude.

❖ Occupation du sol

La carte d'occupation du sol a été réalisée par la classification de l'image Landsat ETM+ de 2000. La composition colorée issue des canaux 5/4/3 a permis de discriminer neuf (9) classes d'occupation du sol : « Eau et zones humides », « Sols nus et zones d'habitation », « Forêt dense », « Forêt dégradée », « Mosaïque forêt/culture », « Mosaïque culture/jachère », les cultures industrielles « Hévéa », « Palmier à huile » et « Coco ». Ensuite, la classification dirigée par la méthode du maximum de vraisemblance, basée sur l'observation directe des catégories d'utilisation des terres, a permis d'obtenir la carte d'occupation du sol (**Figure 5**). Cette carte a été validée par les cartes du couvert végétal (1/200 000) faisant le bilan forestier du degré carré de Grand-Bassam [27] et d'occupation du sol (1/200 000) de la zone sud-est/Côte d'Ivoire [28].

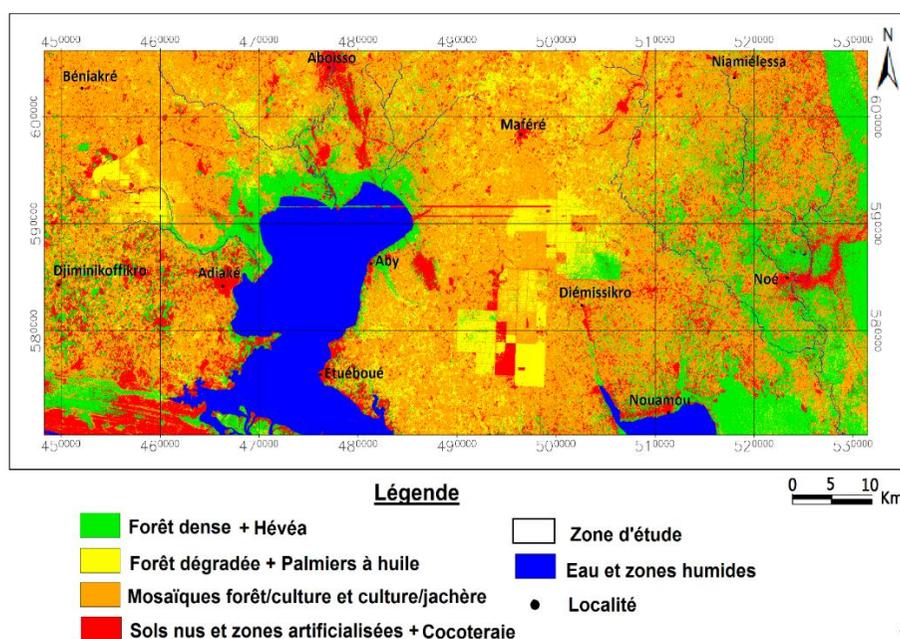


Figure 5 : Carte d'occupation du sol dans la région d'Adiaké en 2000

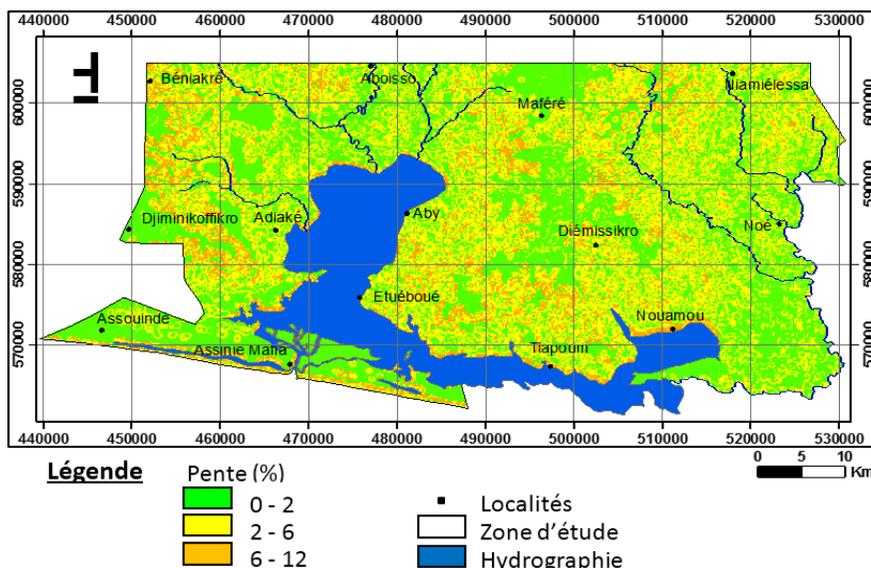
En tenant compte des données du terrain (types d'occupation des sols) et de la bibliographie, nous avons regroupé les huit classes d'occupation du sol en quatre classes, en fonction de leur vulnérabilité à l'érosion hydrique : faible (Forêt dense et Cultures industrielles d'hévéa), moyenne (Forêt dégradée et Cultures industrielles de palmiers à huile), élevée (Mosaïque cultures/jachère et Mosaïque forêts/cultures), très élevée (Cultures industrielles de cocotiers et Sols nus et zones d'habitation) (**Tableau 2**). A chaque classe est assignée une note variant de 1 à 4 ; 1 étant affecté à la classe la moins vulnérable et 4 à la classe la plus vulnérable [9, 15].

Tableau 2 : Classes d'occupation du sol et indices attribués

Classes d'occupation du sol	Vulnérabilité à l'érosion	Indice attribué
Forêt dense Cultures industrielles d'hévéa	Faible	1
Forêt dégradée Cultures industrielles de palmiers	Moyenne	2
Mosaïque culture / jachère Mosaïque forêts / cultures	Elevée	3
Cultures industrielles de cocotiers Sols nus et zones d'habitation	Très élevée	4

❖ *Inclinaison de la pente topographique*

Le descripteur retenu est l'intensité de la pente. Cette classification qui a fait l'objet de plusieurs applications [13 - 15] retient quatre classes : 0-5 % (pente faible), 5 - 15 % (pente moyenne), 15 - 50 % (pente forte) et les pentes très fortes (> 50 %). La région d'Adiaké est une plaine côtière dont les pentes varient de 0 à 12 % (**Figure 6**).

**Figure 6 : Carte des pentes de la région d'Adiaké**

Les formes d'érosion sur le sol changent avec la pente. Avec les pentes faibles de la région d'Adiaké (0 à 12 %), une autre classification a été adoptée et considère les classes de pentes suivantes : 0 - 2 % ; 2 - 6 % ; 6 - 12 % et la classe des pentes supérieures à 12 % (pour uniformiser les classes). Les notes assignées à ces classes varient de 10 (classe des pentes faibles) à 40 (classe des pentes très élevées) (**Tableau 3**).

Tableau 3 : Classes des pentes et indices attribués

Intensité de pente (%)	Indice attribué
0 - 2 %	10
2 - 6 %	20
6 - 12 %	30
> 12 %	40

II-2-2-2. Etablissement de la carte des risques d'érosion hydrique des sols

Les facteurs érodabilité des sols, pente topographique et occupation des sols sont combinés. Après combinaison, la distinction est ainsi facilitée, car on saisit aisément que la classe "412", par exemple, provient du croisement des classes "400", "10" et "2". Les trois facteurs considérés n'étant pas hiérarchisés, la vulnérabilité multifactorielle à l'érosion d'un secteur donné est évaluée en sommant les trois chiffres constitutifs du code représentatif de ce secteur [15]. Ainsi, pour la classe 412, l'indice est de 7 (4 + 1 + 2). Quatre classes de vulnérabilité sont définies selon les valeurs des indices de vulnérabilité (**Tableau 4**).

Tableau 4 : Critère d'évaluation de la vulnérabilité aux risques d'érosion hydrique

Degré de vulnérabilité	Indices de vulnérabilité
Faible	3 - 5
Moyen	6 - 8
Elevé	9 - 12
Très élevé	13 - 16

La confrontation des résultats obtenus aux observations de quelques sites localisés à l'aide d'un GPS nous a permis de valider la carte finale. Cette approche de la vulnérabilité des sols aux risques d'érosion hydrique est qualitative.

III - RÉSULTATS**III-1. Sensibilité des facteurs à l'érosion hydrique**

Le traitement des données utilisées ont donné les cartes de sensibilité des facteurs à l'érosion.

III-1-1. Vulnérabilité en fonction de l'érodabilité des sols

La carte de la sensibilité des sols à l'érosion hydrique présente quatre (4) zones (**Figure 7**) :

- Les zones à faible érodabilité : elles s'observent pour la plupart sur les sols hydromorphes. Ce sont les sols hydromorphes minéraux situés

dans les dépressions lagunaires, sur sables anciens du cordon littoral et les sols hydromorphes organiques limités à la bordure lagunaire. Elles couvrent 12 % de la zone étudiée. Ce sont des lieux de dépôt de sédiments arrachés et transportés par les eaux de ruissellement ;

- Les zones à érodabilité moyenne : elles couvrent 21 % de la zone d'étude. Elles sont localisées au Nord et à l'Est et sont représentées par les formations du socle cristallin et cristallophyllien. Ces zones sont exclusivement constituées de sols ferrallitiques typiques sur granite ou remaniés sur schiste ;
- Les zones à forte érodabilité : elles représentent 38 % de la zone étudiée. Elles occupent la partie centrale de la région, avec des extensions à l'Ouest et au Nord-ouest. Les sols ont ici une texture sablo-argileuse ;
- les zones à très forte érodabilité : elles se rencontrent généralement dans le Sud de la région, particulièrement autour du complexe lagunaire Aby-Tendo-Ehy et en bordure de l'Océan Atlantique. Ces terrains sont constitués de sables quaternaires et marins actuels, très fins avec une faible cohésion entre les grains ; donc sensibles à l'érosion hydrique. Elles occupent 14 % de la zone étudiée.

Le réseau hydrographique, non classifié et constitué majoritairement du complexe lagunaire Aby-Tendo-Ehy, représente 15% de la zone d'étude.

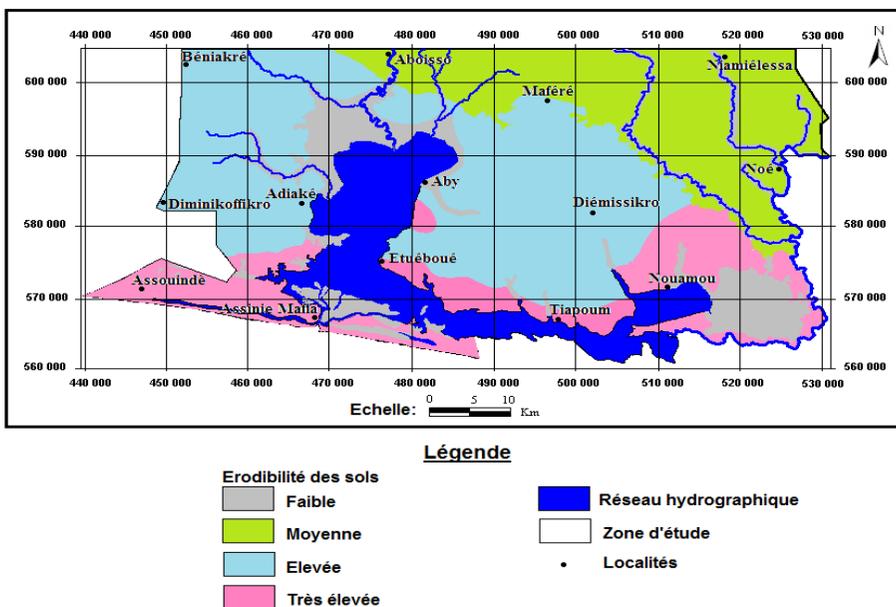


Figure 7 : Carte d'érodabilité des sols à l'érosion hydrique de la région d'Adiaké

III-1-2. Vulnérabilité en fonction de la pente topographique

La carte de sensibilité de la pente à l'érosion hydrique a donné à trois (3) zones (*Figure 8*) :

- Les zones à faibles pentes (0 à 2 %) : elles couvrent 47 % de la région et concernent les terrains plats majoritairement rencontrés sur toute l'étendue de la zone ;
- Les zones à pentes moyennes (2 à 6 %) : elles représentent 41 % de zone d'étude. Les risques d'érosion demeurent relativement faibles ;
- Les zones à pentes fortes (6 à 12 %) : elles couvrent 12 % de la zone d'étude. Les risques d'érosion deviennent relativement forts.

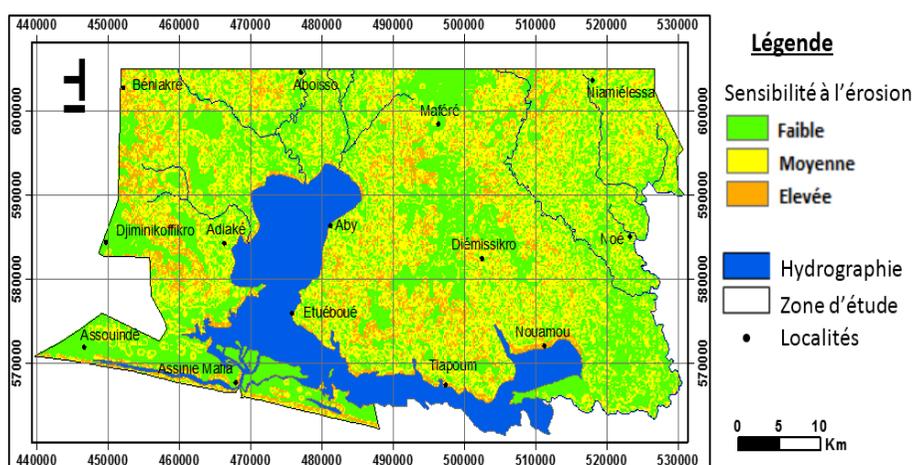


Figure 8 : Carte de sensibilité des pentes à l'érosion hydrique des sols de la région d'Adiaké

III-1-3. Vulnérabilité en fonction de l'occupation du sol

La carte obtenue présente quatre (4) zones de sensibilité à l'érosion hydrique (*Figure 9*) :

- Les zones à faible vulnérabilité au phénomène érosif : elles représentent 16% de la région et concernent la forêt dense et les plantations d'hévéa. Dans la région, la forêt dense est constituée de la réserve botanique de N'ganda N'ganda, du Parc National des Îles Ehotilés, de forêts classées et celles observées du côté du Ghana ;
- Les zones à moyenne vulnérabilité au phénomène érosif : elles couvrent 12 % de la région. Elles renferment les cultures de palmiers à huile et la forêt dégradée, présentant toutes deux une couverture végétale moins dense que les deux classes suscitées ;
- Les zones à forte vulnérabilité représentent 49 % de la région. Elles

occupent près de la moitié de la superficie totale de la zone d'étude. Elles sont constituées des mosaïques cultures/jachère et forêt/cultures. Ces classes témoignent de l'ampleur de la dégradation de l'environnement qui expose les sols aux intempéries. En effet, en l'absence de la voûte des arbres qui sert d'amortisseur des gouttes de pluies, ces surfaces sont généralement exposées à l'action de ces dernières et du ruissellement ;

- Les zones à très forte vulnérabilité occupent 13% de la région et concernent les cultures industrielles de cocotiers généralement sur les sables marins et quaternaires (en bordure de la lagune Aby) et, les sols nus et zones d'habitation. Ces classes représentent les espaces les plus vulnérables au phénomène d'érosion hydrique.

La classe « Eau et zones humides », non classifiée, représente 10% de la fenêtre d'étude.

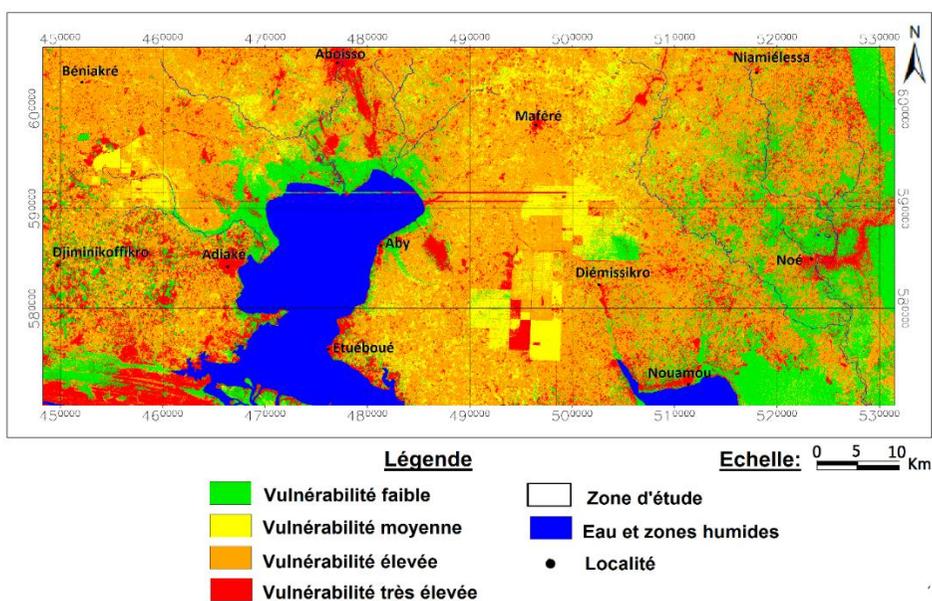


Figure 9 : Carte de sensibilité de l'occupation du sol à l'érosion hydrique de la région d'Adiaké

III-2. Carte de vulnérabilité multifactorielle aux risques d'érosion hydrique

La carte de vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique des sols de la région obtenue présente trois (3) classes de vulnérabilité (**Figure 10**) :

- les zones à faible vulnérabilité à l'érosion hydrique : elles n'existent pratiquement pas dans la région (0,10 %) ;

- les zones à moyenne vulnérabilité à l'érosion hydrique : elles représentent plus de la moitié (55,35%) de la région et occupent presque toute la moitié nord. Ces zones présentent des pentes relativement faibles (entre 2 et 6%) et sont généralement couvertes de mosaïques forêt/cultures et cultures/jachère, avec la présence de grandes unités agro-industrielles de palmiers à huile (Toumanguié, Ehania, etc.). A celles-ci, s'ajoutent de grandes plantations privées d'ananas, de bananes poyo, d'hévéa, etc. ;
- les zones à forte vulnérabilité à l'érosion hydrique : elles se rencontrent dans toute la moitié Sud de la région, avec une poche autour de Maféré. Elles concernent 44,55 % de la région. Ces zones sont associées aux plantations de cocotier et à la forte démographie autour du complexe lagunaire Aby-Tendo-Ehy (Dibi, 2008 et Ohouot, 2004) qui ont pour conséquences, la mise à nu des sols par la création de zones d'habitation. Cette forte vulnérabilité est liée également à la faible cohésion des sables quaternaires et marins actuels, à texture très fine, qui sont très érodables.

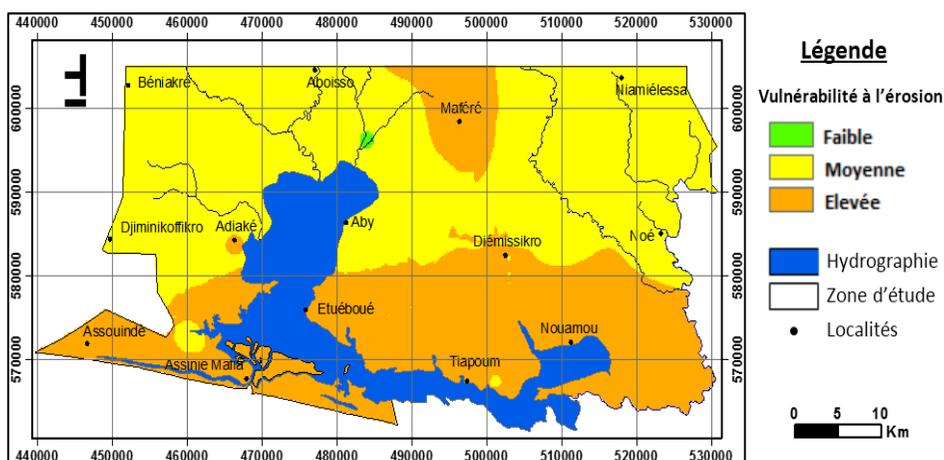


Figure 10 : Carte de vulnérabilité aux risques d'érosion hydrique des sols de la région d'Adiaké

IV - DISCUSSION

La carte de vulnérabilité aux risques d'érosion hydrique produite révèle trois classes de vulnérabilité : une classe faible et quasi inexistante (0,10 %), une classe moyenne (55,35 %) et une classe forte (44,55 %). Ainsi, dans la région d'Adiaké, les classes à moyenne et forte vulnérabilité multifactorielle représentent 99,9 % de la superficie. Dans la région de Bonoua, [12] sont

parvenus également à ces trois classes de vulnérabilité, avec cependant une vulnérabilité concentrée entre forte et moyenne (71 %). Cette situation est considérée avec gravité, d'autant que les pertes de sol sont irréversibles et menacent la durabilité des sols productifs (Van-Camp *et al.*, 2004). Cet état de fait résulte de la forte démographie et de l'intensification de l'agriculture qui expose davantage les sols de la région à cet aléa. D'autres travaux ayant utilisé la même méthodologie ont abouti à des résultats similaires [4, 6, 7, 10]. En dehors des territoires agricoles, les coulées de boues issues de l'érosion hydrique ont de nombreuses et importantes conséquences sur les activités humaines. Les plus notables concernent la dégradation des biens publics et privés, l'augmentation des risques d'accident sur voirie, le comblement des réseaux et des ouvrages de protection contre les inondations, les coûts de nettoyage et de curage importants, les pollutions des plans et cours d'eau, le transfert de produits phytosanitaires dissous ou associés aux matières en suspension (Ouvry, 2012).

Les effets de l'érosion sont généralement bien perçus dans les localités du Sud où les populations sont fortement regroupées [19]. Selon [29], sous l'influence de la pression démographique et de l'extension des cultures d'exportation, le temps de jachère accordé au sol en Afrique de l'Ouest s'est fort réduit. Dès lors, les dangers d'érosion se sont considérablement accrus en certaines zones de forte densité. En effet, la pression sur le milieu naturel contribue non seulement à la mise à nu des sols mais à lever tout obstacle au déclenchement du processus de l'érosion hydrique. Dans la région, entre 1986 et 2000, les sols nus et zones d'habitation ont connu une évolution extraordinaire d'environ 18 320 Ha, soit une fréquence de plus de 1 300 Ha/an [20]. En effet, la forte migration de populations allochènes et allochtones dans la région du Sud-Comoé, à la recherche de terres productives [30], ainsi que le développement de cultures de subsistance de cette population déplacée et la création de nombreux sites d'habitation ont contribué à mettre à nu les sols de la région, les rendant ainsi vulnérables au phénomène érosif.

Dans la région, les pentes sont douces (0 à 12 %) et ne présentent pas de risque majeur au phénomène d'érosion hydrique des sols. Les zones à faible vulnérabilité multifactorielle à l'érosion ont une pente généralement inférieure à 2 % et situées sur les sols hydromorphes. Dans la région, les pentes sont concentrées entre faibles et moyennes, représentant 88 % de la superficie totale, avec une dominance des pentes faibles (47 %). Cette tendance des pentes ne justifie pas la tendance de la vulnérabilité à l'érosion hydrique moyenne et forte. Cependant, elle est en parfait accord avec la dominance de la classe de vulnérabilité moyenne. En effet, l'énergie cinétique d'une goutte de pluie se transforme à l'impact en énergie mécanique capable de déplacer les particules du sol, même sur une pente très faible. En effet, l'eau ruisselant en surface suit les lois de la gravitation et se dirige vers le bas de la pente [6]. Si les facteurs "pente" et "occupation du sol" sont déterminants dans l'évaluation de la vulnérabilité à l'érosion hydrique des sols, la texture sablo-argileuse de

nombreux sols vient renforcer les pertes de terre. En effet, d'après [6], en l'absence de couvert végétal, les caractères des horizons superficiels, en particulier la stabilité structurale et la perméabilité du sol, jouent un rôle primordial dans le déclenchement et le développement de l'érosion. Bien que les sables soient peu cohérents, comme c'est le cas dans le Sud de la région, il n'est pas pour autant certain que les zones sableuses soient toujours très sensibles à l'érosion hydrique, car l'eau peut s'y infiltrer rapidement. Le paramètre sol dans ce travail a été inspiré de la carte pédologique dressée par [26], avec les caractères structuraux et texturaux supposés n'avoir pas subi un bouleversement notable depuis cette date. En revanche, la carte des modes d'occupation du sol de l'image Landsat ETM+ (2000) ne prend pas en compte les nombreuses modifications récentes (plus d'une décennie) survenues dans la région de plus en plus orientée vers le développement de l'agriculture agro-industrielle. La carte est un outil indispensable dans une démarche de lutte contre l'érosion car elle permet de localiser les secteurs nécessitant une intervention prioritaire dans une perspective de gestion durable des sols. C'est un guide pour les décideurs dans l'attribution des zones de cultures et des sites d'implantation d'infrastructures socioéconomiques [13]. Pour affiner les résultats, il sera nécessaire d'actualiser les données, d'améliorer les méthodes combinatoires mises en œuvre et d'intégrer des paramètres complémentaires (variabilité spatiale de l'érosivité des pluies, infiltrabilité des sols, etc.). Par ailleurs, la prise en compte de paramètres hydromorphométriques (longueur et orientation de la pente, courbure du terrain, organisation des écoulements, etc.) pourrait apporter une contribution significative.

V - CONCLUSION

Un SIG intégrant des données multisources (Erodabilité des sols, Erosivité de la pluie, Pente topographique, Occupation du sol) est mis en place pour cartographier la vulnérabilité aux risques d'érosion hydrique des sols de la région d'Adiaké. La carte obtenue présente trois classes distinctes de vulnérabilité : les zones à faible vulnérabilité, quasi inexistantes (0,10 %) ; les zones à moyenne vulnérabilité (55,35 %) et les zones à forte vulnérabilité, qui représentent 44,55 % de la région. Le résultat obtenu, validé par des travaux de terrain, est une carte de sensibilité des sols à l'érosion hydrique qui s'avère un document utile pour identifier facilement les zones vulnérables à tout développement (habitation, aménagement agricole, villégiature ou autres). Cette carte montre que la partie sud de la région et la zone de Maféré présentent uniquement un risque élevé au phénomène érosif.

RÉFÉRENCES

- [1] - L. J. P. VLIET VAN, G. A. PADBURY, H. W. REES et M. A. MATIN, "Érosion du sol : Érosion hydrique. L'agriculture écologiquement durable au Canada : Série sur les indicateurs agroenvironnementaux" - Rapport N° 2, C. Qualité du sol, (2003) 94 - 100
- [2] - L. VAN-CAMP, B. BUJARABAL, A.-R. GENTILE, R.J.A JONES, L. MONTANARELLA, C. OLAZABAL and S.-K. SELVARADJOU, "Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection". EUR 21319 (2004) EN/2, 872 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, Consulté le 30 novembre 2017
- [3] - J.-F. OUVRY « Dégradation des sols par l'érosion hydrique : quels remèdes en région de grandes cultures », *Pour*, 2012/1 (N° 213), pp. 163-176. DOI : 10.3917/pour.213.0163. URL : <https://www.cairn.info/revue-pour-2012-1-page-163.htm>, Consulté le 30 novembre 2017
- [4] - FAO (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture), "Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD)". FAO, Rome, (2000)
- [5] - C. DUCOMMUN, "Connaître la sensibilité des sols à l'érosion pour améliorer la qualité de l'eau. Syndicat Mixte des Marais de la Vie, du Lignerion et du Jaunay. SAGE du bassin de la Vie et du Jaunay". Fiche N° 25 juillet-août 2011, (2011) 2 p.
- [6] - C. PAUTROT "Érosion et dégradation des sols", Mémoires de l'Académie Nationale de Metz, (2012) 203 - 221
- [7] - V. HERBRETEAU, B. BOUCHETA, L. COMMAGNAC, A. LEE et P. CHERY, "Évaluation de la sensibilité à l'érosion des zones viticoles. Influence des pratiques culturales (exemple du Fronsadais). SYMPOSCIENCE : Evaluation des risques environnementaux pour une gestion durable des espaces-IALE France", Cemagref, Parc national des Écrins, (2003) 31 - 38
- [8] - D. SAINT-LAURENT et M. SCHNEIDER, "Application d'un système d'information géographique à l'analyse cartographique des berges sensibles à l'érosion (rivière du lièvre, Québec, Canada)". Bulletin de la Société géographique de Liège, N° 44 (2004) 71 - 86
- [9] - B. BACHAOUI, E. M. BACHAOUI, EI HARTIA, A. BANNARI et EI A. GHMARI, "Cartographie des zones à risque hydrique : exemple du haut atlas marocain". *Revue Télédétection*, Vol. 7, N° 1-2-3-4 (2007) 393 - 404
- [10] - A. ABDELBAKI, C. ABDELBAKI, E. OULDACHE et H. SEMMAR, "Mise en place d'un système d'information géographique pour l'élaboration d'un plan d'aménagement de protection anti-érosive. Cas

- du sous-bassin versant de Oued Bouguedfine, wilaya de Chlef, Algérie". Revue Nature et Technologie, N°1 (2009) 24 - 32*
- [11] - M. R. CRAVO, "Cartographie des zones sensibles à l'érosion sur le bassin versant de la Vie, du Ligneron et du Jaunay". Mémoire de fin d'études du Centre d'Angers - Institut National d'Horticulture et de Paysage, (2010) 48 p.
- [12] - H. BISWAS, A. RAIZADA, D. MANDAL, S. KUMAR, S. SRINIVAS and P. K. MISHRA, "Identification of areas vulnerable to soil erosion risk in India using GIS methods", *Solid Earth*, 6 (2015) 1247 - 1257
- [13] - B. H. KOUADIO, K. F. KOUAME, M. B. SALEY, J. BIEMI, 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*, Vol. 18, N° 1 (2007) 29 - 37
- [14] - B. E. N'DRI, Y. A. N'GO, H. N. KADIO, A. OUATTARA, B. TOURÉ et J. BIÉMI, "Effect of soil slope and cover on runoff and rate soil loss from experimental plots in area of Attécoubé". *European Journal of Scientific Research*, Vol. 21, N° 3 (2008) 459 - 470
- [15] - G. É. AKE, B. H. KOUADIO, M. G. ADJA, J.-B. ETTIEN, K. R. EFFEBI et J. BIEMI, "Cartographie de la vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique des sols de la région de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire)", *Physio-Géo* [Online], Volume 6 | 2012, Online since 06 April 2012; URL : <http://physio-geo.revues.org/2285> ; DOI: 10.4000/physio-geo.2285 ; Consulté le 30 septembre 2013
- [16] - M. BOUGHALEM, M. MAZOUR et M. ZAAGANE, "Utilisation des SIG pour l'aménagement du bassin versant de l'Isser (Nord Ouest de l'Algérie)". Lutte antiérosive, réhabilitation des sols tropicaux et protection contre les pluies exceptionnelles, IRD Editions Marseille, (2012) 79 - 90
- [17] - D. DEMONCEAU, "Prototypage d'un SIG urbain pour la gestion des risques naturels, Bamenda-ville (Cameroun)", Mémoire de Master en sciences géographiques, Université de Liège, Belgique, (2010) 83 p.
- [18] - H. E. H. HASSAN, "Les apports d'un S.I.G. dans la connaissance des évolutions de l'occupation du sol et de la limitation du risque érosif dans la plaine de la Bekaa (Liban) : exemple d'un secteur du Bekaa el Gharbi" Géographie. Université d'Orléans. Français, (2011) 42 p.
- [19] - C. HAUHOUOT, "Les pressions anthropiques sur les milieux naturels du sud-est ivoirien". *Geo-Eco-Trop*, Vol. 28, N° 1-2 (2004) 69 - 82
- [20] - S. G. EBLIN, "Dégradation des écosystèmes environnementaux dans la région d'Adiaké (Sud-est côtier de la Côte d'Ivoire) et risque de pollution des eaux : apport d'un SIG" Thèse unique de Doctorat, Université de Cocody-Abidjan (Côte d'Ivoire), (2014) 185 p.

- [21] - JICA, "Plan Directeur de Gestion intégrée des ressources en eau en Côte d'Ivoire -Rapport Final", (2001) 949 p.
- [22] - J. M. AVENARD, M. ELDIN, G. GIRARD, J. SIRCOULON, P. TOUCHEBEUF, J. L. GUILLAUMET, E. ADJANOHOOUN et A. PERRAUD, "*Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire : Aspect de la géomorphologie, le climat, aperçu sur les régimes hydrologiques, la végétation, les sols*". Mémoires ORSTOM, N° 50, ORSTOM, PARIS, (1971) 391 p.
- [23] - C. DELOR, I. DIABY, B. YAO, Y. SIMÉON, J-P. TASTET, M. VIDAL, J-C. CHIRON et A. DOMMANGET, "*Notice explicative de la carte géologique de la Côte d'Ivoire à 1/200.000, feuille Grand-Bassam*", Mémoire de la Direction de la géologie (Abidjan/Côte d'Ivoire), N°4 (1992) 30 p.
- [24] - B. DABIN, N. LENEUF et G. RIOU, "*Notice explicative de la carte pédologique de la Côte d'Ivoire à l'échelle de 1/2.000.000*", ORSTOM, Institut d'Enseignement et de Recherches Tropicales d'Adiopodoumé (Côte d'Ivoire), (1960) 31 p.
- [25] - A. H. G. KOUA, "*Situation de la production de café en côte d'ivoire : cas du département d'Aboisso, état des lieux et perspectives*". Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du Diplôme d'Agronomie Approfondie, Ecole Supérieure d'Agronomie (ESA), Département Agriculture et Aménagement Rural, 2007, www.memoireonline.com/10/07663/m_situation-production-café-cote-d-ivoire-aboisso.html. Consulté le 15 juin 2013
- [26] - A. PERRAUD et P. DE LA SOUCHERE (1971). *Esquisse pédologique de la Côte d'Ivoire à l'échelle de 1/500000. Feuille Sud-Est*. Édit. ORSTOM, Centre d'Adiopodoumé, (1971)
- [27] - DCGTx-CCT (Direction et Contrôle des Grands Travaux//Centre de Cartographie et de Télédétection), "*Bilan forestier. Carte du couvert végétal*". DCGTx, Abidjan, Côte d'Ivoire, (1993)
- [28] - BNETD/CCT (Bureau National d'Etudes Techniques et de Développement/Centre de Cartographie et de Télédétection), "*Carte d'occupation du sol de la zone sud-est (Côte d'Ivoire)*", Abidjan, Côte d'Ivoire, (2007)
- [29] - É. ROOSE, "*Dix-sept années de mesures expérimentales de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de basse Côte d'Ivoire : Contribution à l'étude de l'érosion hydrique en milieu intertropical*", Thèses de Docteur-Ingénieur de l'Université d'Abidjan, (1973) 140 p.
- [30] - D. M. GADOU et H. O. KIGBAFORI, "*Allochtonie et autochtonie, rapports autour de la terre : une étude de cas à Akroaba Akoudjekoa et Ono14 dans le sud-est ivoirien*". Colloque international "Les frontières de la question foncière-At the frontier of land issues", Montpellier, (2006) 21 p.