

# **CARTOGRAPHIE DES ZONES A RISQUE D'EROSION DANS LA VILLE D'ANYAMA (PERIPHERIE NORD D'ABIDJAN)**

**ALLA Della André**

Institut de Géographie Tropicale (IGT)

Université Félix Houphouët Boigny (Côte d'Ivoire)

gnalladella@gmail.com

## **RESUME**

Le risque d'érosion résulte de l'interaction entre plusieurs facteurs dont certains relèvent de la nature et d'autres de l'homme et de l'aménagement qu'il fait de l'espace. A partir du cas de la ville d'Anyama, un modèle a été élaboré qui combine dans un Système d'Information Géographique (SIG) les facteurs susceptibles d'intervenir dans la manifestation de l'aléa érosion (pente du relief, résistance des sols, protection du sol) et les éléments qui pourraient être endommagés (population et bâtiments, à travers leur densité et les matériaux de construction utilisés). Pour ce faire, en s'appuyant sur la Méthode de Hiérarchie Multicritère de Saaty, chaque facteur d'aléa et chaque facteur d'enjeu a été hiérarchisé de 1 à 5, puis pondéré pour déterminer son poids dans le processus d'érosion ou dans l'exposition à l'érosion. Finalement, les facteurs d'aléa et d'enjeu pondérés ont été l'objet de plusieurs combinaisons qui ont abouti à la définition des zones à risque d'érosion.

Le résultat cartographique est donc l'état de la répartition actuelle des niveaux de risque d'érosion à Anyama : 45 % de l'espace urbain en risque d'érosion élevé, 36 % en risque d'érosion moyen et 19% en risque d'érosion faible. Ce résultat qui tient compte non seulement de la synergie d'action des paramètres, mais aussi de l'importance de chaque paramètre dans la détermination des niveaux de risque d'érosion, confirme les avantages scientifiques et opérationnels, en termes d'outil d'aide à la prise de décision, de la démarche proposée.

**Mots-clés** : aléa, enjeu, risque d'érosion, SIG, Anyama, Côte d'Ivoire

## ABSTRACT

### *Mapping of erosion risk areas in Anyama City (north edge of Abidjan)*

*Soil erosion result from a combination of several factors including natural and human induced ones through land development. In a case study on Anyama City, GIS was used to develop a model combining erosive natural factors (slope, soil composition, and soil protection), with anthropic elements (density of population and buildings and building materials used). Therefore, based on the Analytical Hierarchy Process (AHP) developed by Saaty, each factor and variable was ranked from 1 to 5 and the weight of each factor was determined in the erosion process or the exposure to erosion. Lastly, all these were subject to several combinations enabling to map out various zones of potential soil erosion.*

*The results showed that at Anyama, 45% of the urban area is considered as high risk of erosion, 36% as moderate and 19% as low risk of erosion. This result which, not only, takes into account a combination of factors, but also, the weight of each factor in determining the level of erosion risk, confirms the operational and scientific advantages as support to decision-making process for policymakers.*

**Keywords:** *risk, challenge, risk of erosion, GIS, Anyama, Côte d'Ivoire*

## INTRODUCTION

La cartographie des zones à risque d'inondation, de glissement ou d'éboulement de terrain, ainsi que des zones d'érosion a connu une révolution spectaculaire avec le développement de l'informatique. Ainsi, dans les études relatives aux risques naturels où il faut souvent manipuler plusieurs données spatiales, les chercheurs ont de plus en plus recours au système d'information géographique (SIG). En effet, l'identification des phénomènes naturels créateurs de dommages, communément appelés aléas naturels, passe par la réalisation puis la superposition ou le croisement d'un certain nombre de cartes. Selon Atsé (2001), ces cartes traduisent ce que l'on sait ou croit savoir de la répartition et de la variation spatiale de certains facteurs de prédisposition à la manifestation de certains types de phénomènes.

C'est dans ce cadre que nous plaçons ce travail de recherche qui se veut une démarche méthodologique pour aider au mieux à déterminer les zones à risque d'érosion en milieu urbain, plus particulièrement en Afrique subsaharienne où la croissance des villes fait apparaître que l'espace produit ne fait pas toujours l'objet d'un aménagement convenable. Ainsi, une bonne

partie du sol est exposée à l'érosion. A cet effet, des études ont été menées à Kinshasa (Pain, 1984), à Brazzaville (Peyrot, 1984), à Yaoundé et dans d'autres villes du Cameroun (Tchotsoua et Bonvallot, 1995, 2000), dans la périphérie d'Abidjan (Alla, 2012). Elles montrent que dans les pays tropicaux, l'urbanisation mal maîtrisée et parfois anarchique dans les quartiers périphériques favorise le ruissellement des eaux pendant les pluies. Ce ruissellement provoque l'érosion mécanique, facteur essentiel de dégradation des sites, de décapage du sol aux pieds des maisons et des infrastructures. Dans les rares cas où on aborde la répartition spatiale du risque d'érosion dans une recherche (par exemple, N'Goh, 2000 ; Kouadio Boyossoro, 2001), l'étude porte non seulement sur le milieu rural, mais aussi l'approche méthodologique n'est pas suffisamment poussée et les résultats ne facilitent pas la prise de décision, en termes de gestion du risque.

Pour contribuer à l'amélioration de la cartographie des zones à risque d'érosion et la rendre plus opérationnelle, notre étude prend appui sur le cas d'Anyama, ville de la périphérie nord d'Abidjan. En effet, Anyama, comme la plupart des villes ivoiriennes, se développe sans aménagement préalable sur tous les sites, ce qui est à l'origine d'une activité érosive dont les traces sont visibles dans l'espace. Comment cette érosion se répartit-elle ? Quels sont les paramètres qui influencent cette répartition et leur importance dans la manifestation de l'érosion à Anyama ?

L'approche choisie pour répondre à ces interrogations repose sur une analyse multicritère par laquelle les facteurs susceptibles d'intervenir dans la manifestation de l'aléa érosion et les éléments qui pourraient être endommagés subissent diverses combinaisons, en fonction de l'objectif visé.

## **1. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE**

Anyama fait partie des villes ivoiriennes qui se développent dans un environnement physique dont les caractéristiques prédisposent l'urbanisation à l'érosion.

### **1.1. Un site très accidenté**

Anyama est l'une des villes qui se sont développées dans la périphérie d'Abidjan. Peuplée de 96 475 habitants (INS<sup>1</sup>, 2005), elle est située entre 5°26' - 5°31' de latitude nord et 4°2' - 4°5' de longitude ouest et se déploie sur un relief particulièrement accidenté (figure 1). Il s'agit d'un plateau constitué par un interfluve allongé dans le sens nord-sud et coïncé entre deux vallées profondes creusées par les affluents de la rivière Bété : celle de l'Apépo à

---

<sup>1</sup> INS : Institut National de la Statistique

l'ouest, encaissée d'environ 30 m et celle de l'Abouabo à l'est, d'une quarantaine de mètres de profondeur (Alla, 2012). Au sud, le rapprochement de ces deux vallées bloque l'allongement de l'interfluve. De même dans la partie nord, une grande échancrure en arc de cercle laissée par la Bété et ses ramifications délimite l'interfluve.

Au-delà de ce site principal, le relief présente deux paysages topographiques contrastés : à l'est et au sud, le plateau est très disséqué, réduisant les interfluves en des croupes convexes ; à l'ouest, il est plutôt fait d'interfluves plus étendus, à surface légèrement ondulée et plus propices à l'urbanisation.

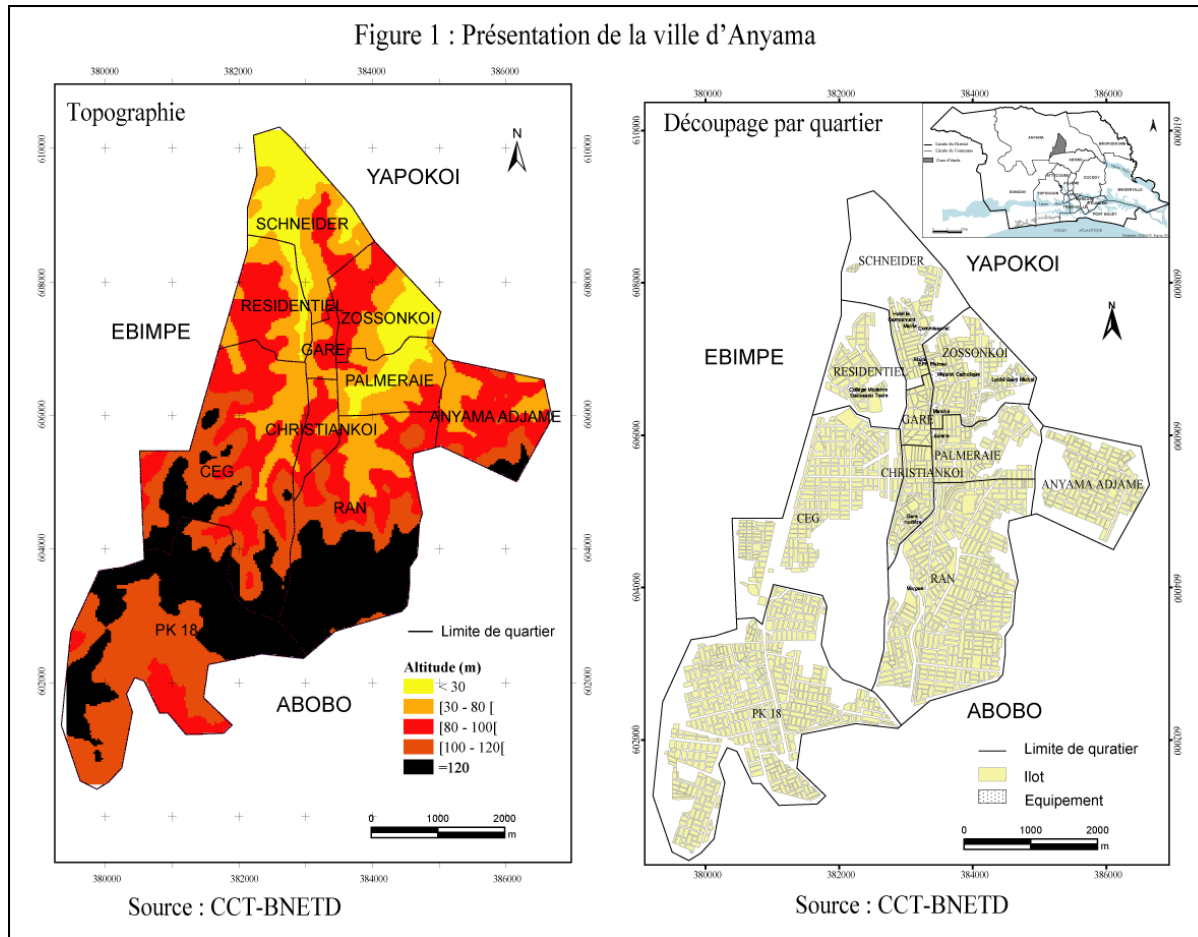
### **1.2. Des roches peu résistantes à l'érosion**

Anyama se développe sur des terrains taillés dans des sables argileux tertiaires, une formation sédimentaire plus ou moins épaisse qui constitue au nord de la lagune Ébrié le Continental terminal (Filleron et Monnier, 1979). Formés de sables à intercalations argileuses bariolées, les sables argileux sont des matériaux très homogènes tant au niveau latéral que vertical, sur des profondeurs assez importantes (10 à 20 mètres ou plus), dans lesquels le pourcentage de la fraction argileuse est important et croît avec la profondeur (Guéi et Don Mello, 1987). Ce sont donc des roches plus ou moins plastiques en fonction des proportions de sable et d'argile et qui, à l'état nu, n'opposent pas de résistance à l'impact des pluies.

### **1.3. Des pluies importantes et agressives**

La zone d'Anyama est sous l'influence des pluies qui tombent dans les stations du Banco et d'Azaguié, avec des moyennes annuelles qui varient entre 1600 et 2000 mm (données SODEXAM). Ces pluies se concentrent sur deux saisons dont la plus longue va de mars à juillet. Au cours de cette saison, les pluies sont plus fréquentes et plus violentes. En effet, il tombe entre 101 et 581 mm d'eau au Banco et 146 à 304 mm à Azaguié. Elles atteignent leur maximum en juin, le mois le plus pluvieux de l'année. La seconde saison humide est plus courte et moins arrosée que la précédente. Elle couvre les mois de septembre à novembre et est centrée sur octobre qui reçoit chaque année des pluies comprises entre 180 et 211 mm. C'est pendant ces deux saisons que le site urbain subit sa plus forte dégradation.

# CARTOGRAPHIE DES ZONES A RISQUE D'EROSION DANS LA VILLE D'ANYAMA (PERIPHERIE NORD D'ABIDJAN)



## 2. DONNEES ET METHODES

Pour mener à bien cette étude, on a eu recours à des données complémentaires dont l'analyse et le traitement étaient nécessaires pour avoir des résultats fiables.

### 2.1. Données utilisées et définition des couches d'information

Le choix des données est capital dans l'élaboration des cartes des zones à risques. Il est fonction du type de risque que l'on veut identifier. Dans le cas des zones où l'érosion serait susceptible de se produire, il s'agit des documents qui vont servir à extraire des couches d'information dont la superposition ou le croisement permet de traduire la variation spatiale des facteurs de prédisposition à la manifestation de l'érosion (aléa) et de ceux relatifs aux éléments exposés (enjeux).

Les photographies aériennes ou les images satellites mettent en évidence les formes d'occupation de l'espace à un moment donné. Pour Anyama, nous avons utilisé les images *Quickbird* de 2013 qui ont permis de délimiter l'espace urbanisé, de déterminer la densité des constructions (le bâti), la qualité des constructions (le bâti) sur la base des types d'habitat et le niveau de protection du sol urbain contre l'érosion. La définition de cette dernière couche s'est appuyée sur le niveau d'aménagement de l'espace urbain (bitumage, réseau de drainage, engazonnement, etc.) ;

La carte géotechnique à 1/50 000 d'Abidjan, élaborée en 1986 par le Laboratoire du Bâtiment et des Travaux publics (LBTP), a permis d'extraire la couche des limites des faciès géologiques de la zone d'Anyama;

La carte topographique d'équidistance de 2 m, présentant une bonne lisibilité des courbes de niveau, permet une analyse plus fine des formes de relief. La couche "pente" est dérivée de cette carte ;

Les données démographiques sont importantes pour évaluer l'endommagement potentiel des personnes (enjeux humains). A cet effet, les estimations de l'Institut National de la Statistique (INS) de 2005, disponibles à l'échelle des quartiers, ont servi à créer la couche "densité de population".

Pour les données pluviométriques, facteur déterminant dans le déclenchement de l'aléa érosion, les informations importantes sont les pluies journalières. Dans une ville comme Anyama où les pluies sont partout élevées et donc susceptibles de provoquer l'érosion dans tous les secteurs urbains, l'agressivité climatique est considérée comme invariable.

## 2.2. Étapes de la cartographie des zones à risque d'érosion

Elles reposent sur la Méthode de Hiérarchie Multicritère (MHM) de Saaty (1984) et sont relatives à la façon dont les couches d'informations sont hiérarchisées, pondérées et combinées pour élaborer les cartes des zones d'aléa érosion, des niveaux d'enjeux et des zones à risque d'érosion.

### 2.2.1. Détermination des zones d'aléa érosion

Pour identifier les zones prédisposées à l'aléa érosion à Anyama, on s'est appuyé sur les facteurs dont la combinaison permet de déterminer les zones où l'érosion peut se manifester ou se manifeste effectivement dans la ville. Il s'agit de la pente, de la protection du sol et de l'érodibilité des roches, l'agressivité des pluies étant considérée comme uniforme à l'échelle de la ville. Les cartes liées à ces facteurs ont été élaborées en fonction des niveaux d'exposition à l'aléa érosion. La première étape de cette opération est la hiérarchisation des facteurs.

#### Hiérarchisation des facteurs de l'aléa

L'appréciation de l'aléa érosion commence par la hiérarchisation des facteurs qui y contribuent, c'est-à-dire la pente, la protection du sol et l'érodibilité des roches. Pour chaque facteur, la gamme des variations de valeurs est divisée en classes. Chaque classe est affectée d'une note qui permet de situer les zones retenues dans l'étude sur des échelles de valeurs correspondant aux niveaux d'exposition à l'érosion. Le système de notation ainsi adopté est celui de la progression ordinale, de sorte que les points d'un facteur puissent être additionnés avec ceux des classifications relatives aux autres facteurs. Ces notes varient de 1 (indice très faible) à 5 (indice très élevé) pour tous les facteurs. Chacune de ces échelles se présente de la façon suivante (tableau I).

Tableau I. Notes attribuées aux indices de facteurs d'aléa érosion

Indice des facteurs	Note
Très faible	1
Faible	2
Moyen	3
Élevé	4
Très élevé	5

Sources : Laaribi, 2000 ; Le Bissonnais *et al.*, 2004

A Anyama, en tenant compte de la grande dissection du site et des contraintes d'aménagement des terrains urbains qui varient en fonction de

l'importance des pentes (Akré, 2002), on a déterminé les classes de pentes sur la base de leur susceptibilité à l'érosion:

- zone de faible érosion (pentes inférieures à 5 %) ;
- zone d'érosion moyenne (pentes de 5 à 7 %) ;
- zone de forte érosion (pentes de 7 à 15 %) ;
- zone de très forte érosion (pentes de plus de 15 %).

Des valeurs relatives au potentiel érosif (notes) sont attribuées aux différentes classes de pente. Elles vont de 2 pour les pentes inférieures à 5 %, à 5, là où elles sont supérieures à 15 %.

Au niveau géologique, une seule roche sédimentaire, formée de sables argileux du Tertiaire, de résistance moyenne à l'érosion, constitue le substrat de l'espace actuellement urbanisé. Sa note est de 3.

Concernant les niveaux de protection du sol contre l'érosion définis à partir de l'interprétation des images satellites, ils varient à Anyama de très faible sur les terrains dont la dénudation accroît la sensibilité à l'érosion (note 5) à élevé, là où le sol bénéficie d'une bonne protection (note 2).

#### Pondération des facteurs d'aléa érosion

L'objectif de la pondération est d'attribuer à chacun des facteurs (pente, roche et protection du sol) un "poids" qui correspond à l'importance du rôle qu'il joue dans la manifestation de l'aléa érosion. A ce niveau, la Méthode de Hiérarchie Multicritère prévoit trois étapes.

La première étape : la construction de la matrice et l'établissement des priorités. Dans le cas du processus érosif, la matrice permet de comparer les facteurs d'aléa entre eux. Cette comparaison est binaire et permet d'obtenir un classement des facteurs selon leur importance relative dans le développement de l'érosion. Pour remplir la matrice, on attribue des valeurs numériques à des jugements subjectifs sur l'importance d'un facteur par rapport à un autre. Ces jugements s'appuient sur les données du tableau II.

Les appréciations tiennent compte des travaux de recherche et de la culture scientifique du chercheur. En référence à ses connaissances, il émet des jugements relativement au processus érosif. Dans le cas d'Anyama, par rapport à la pente, la protection du sol a une importance déterminante. Elle prend la valeur 5. Comparée à la roche, la protection du sol a plutôt une importance attestée, ce qui lui vaut la valeur 7. Entre la roche qui est la même sur tout l'espace urbain (sables argileux) et la pente, c'est la pente qui a plus d'importance dans l'érosion. On lui attribue la valeur 4.

CARTOGRAPHIE DES ZONES A RISQUE D'EROSION DANS LA  
VILLE D'ANYAMA (PERIPHERIE NORD D'ABIDJAN)

Tableau II. Correspondance des appréciations

Degré d'importance	Définition	Commentaire
1	Importance égale de deux éléments	Deux éléments contribuent autant à la propriété
3	Faible importance d'un élément par rapport à l'autre	L'expérience et l'appréciation personnelle favorisent légèrement un élément par rapport à un autre
5	Importance forte ou déterminante d'un élément par rapport à un autre	L'expérience et l'appréciation personnelle favorisent fortement un élément par rapport à un autre
7	Importance attestée d'un élément par rapport à un autre	Un élément est fortement favorisé et sa dominance est attestée dans la pratique
9	Importance absolue d'un élément par rapport à un autre	Les preuves favorisant un élément par rapport à un autre sont aussi convaincantes que possible
2, 4, 6, 8	Valeurs intermédiaires entre deux appréciations voisines	Un compromis est nécessaire entre deux appréciations

Source : Saaty, 1984.

L'attribution de valeurs aux appréciations doit se faire avec la plus grande attention possible, en gardant à l'esprit l'objectif poursuivi qui est ici la contribution de chacun des facteurs à l'appréciation de l'aléa érosion.

Une fois les valeurs choisies, on remplit la matrice (tableau III). Pour cela, chaque facteur de la colonne de gauche est comparé successivement à chaque facteur de la ligne du haut de la matrice en fonction de l'objectif qui est le processus d'érosion. Si la comparaison est favorable au facteur de la colonne de gauche par rapport au facteur de la ligne, l'appréciation est exprimée à l'aide d'un entier (4 ou 5 par exemple) ; dans le cas contraire, elle est exprimée à l'aide d'une fraction (1/4 ou 1/5 par exemple). Le résultat d'un facteur comparé à lui-même prend la valeur 1 (voir tableau II).

Tableau III. Matrice de comparaison par paire des facteurs d'érosion à Anyama

Processus érosif	Roche	Pente	Protection du sol
Roche	1	1/4	1/7
Pente	4	1	1/5
Protection du sol	7	5	1

Source : Alla, 2013

En s'appuyant sur cette matrice, on détermine les vecteurs de priorité de chaque facteur. Pour ce faire, on procède à une série d'opérations :

- la sommation de chaque colonne ;
- la normalisation de la matrice qui consiste à diviser chaque valeur d'appréciation d'une colonne par la somme de cette colonne ;
- le calcul de la moyenne de chaque ligne, ce qui permet d'obtenir la priorité de chaque facteur, en fonction du processus d'érosion. La somme des priorités doit être égale à 1 ou 100 %.

A la fin de ces opérations, les vecteurs de priorité de chaque facteur d'aléa érosion sont : 0,08 pour le facteur "roche", 0,21 pour le facteur "pente" et 0,71 pour le facteur "protection du sol". Cela voudrait dire que dans le processus érosif à Anyama, la roche joue pour 8%, la pente pour 21% et la protection du sol intervient de façon incontestable avec 71%.

La deuxième étape est la cohérence logique. C'est la démarche par laquelle on teste la cohérence des appréciations. En effet, un raisonnement est dit cohérent si son indice de cohérence est inférieur ou égal à 10 %.

Pour déterminer l'indice de cohérence de la matrice d'appréciation des facteurs d'érosion, on multiplie d'abord les appréciations de chaque colonne (voir tableau III) par la priorité lui correspondant, puis on fait la somme des valeurs de chaque ligne. Ensuite, on divise chaque total de ligne par la priorité du facteur correspondant à cette ligne et on fait la moyenne des résultats précédents. Enfin, on calcule l'indice de cohérence :  $IC = \frac{\text{Moyenne} - \text{nombre colonnes}}{\text{nombre colonnes} - 1}$ . Plus l'indice de cohérence descend en dessous de 10 %, plus le raisonnement utilisé pour la matrice de comparaison des facteurs d'érosion est cohérent. C'est le cas à Anyama où il est  $\frac{3,11-3}{2} = 0,055$  ou 5,5 %.

La troisième étape est la pondération des facteurs qui consiste à affecter à chaque facteur d'érosion son coefficient de pondération pour tenir compte de l'importance qu'on lui accorde dans le développement de l'aléa érosion. Dans ce cas, les notes attribuées aux classes de pente, de roche et de protection du sol urbain définies plus haut sont multipliées par la priorité de chaque facteur.

Le résultat est un modèle mathématique qui se présente sous la forme d'une équation de type :  $AE = 0,08nr + 0,21np + 0,71nps$ , avec AE = aléa érosion ; n = notes affectées aux classes des facteurs d'aléa érosion ; r = roche ; p = pente du relief ; ps = protection du sol.

### Établissement de la carte d'aléa érosion

Dans cette étape, une première combinaison est faite entre les notes pondérées des facteurs "pente" et "type de roche". Les zones résultantes ont

## CARTOGRAPHIE DES ZONES A RISQUE D'EROSION DANS LA VILLE D'ANYAMA (PERIPHERIE NORD D'ABIDJAN)

---

permis de dégager des classes de zones sensibles à l'érosion dans la ville d'Anyama. Elles ont été regroupées en trois : zone de sensibilité faible ; zone de sensibilité moyenne ; zone de sensibilité élevée.

Ensuite, une seconde combinaison permet de passer à la carte de l'aléa érosion. Celle-ci résulte de l'addition des indices de sensibilité des zones à l'érosion avec les notes pondérées du facteur "protection du sol". L'analyse des valeurs issues de ce croisement a donné lieu à trois classes correspondant aux niveaux d'aléa érosion dans différentes zones d'Anyama : zone d'aléa érosion faible ; zone d'aléa érosion moyen ; zone d'aléa érosion élevé.

### *2.2.2. Définition des niveaux d'enjeu dans la ville d'Anyama*

En milieu urbain, les enjeux sont nombreux et peuvent être plus ou moins importants, en fonction de leur répartition. En effet, les foyers de vulnérabilité qui mettent en évidence l'inégalité des espaces face aux risques sont dus à la concentration spatiale des enjeux.

Pour déterminer les niveaux d'enjeu à Anyama, il a été retenu la densité de population pour les enjeux humains, la qualité des constructions (type de construction en fonction des matériaux utilisés) et leur densité pour les enjeux matériels. En effet, une forte concentration des maisons entraîne la dénudation de l'espace interstitiel et donc son exposition à la dégradation par les ruissellements et ravinements.

Une fois que les facteurs d'enjeu sont connus, on suit le même principe qui a servi dans le cas de l'aléa érosion. Il est d'abord procédé à la hiérarchisation des enjeux dans laquelle les valeurs de chaque facteur sont réparties en classes dont chacune est affectée d'une note allant de 1 à 5 qui exprime l'importance des enjeux ou leur niveau de vulnérabilité. Ensuite on est passé à la pondération des facteurs, en suivant les étapes de la hiérarchie multicritère ; ce qui a permis d'aboutir à la formule suivante :  $Ehm = 0,08ndp + 0,19ndb + 0,73nqb$ , dans laquelle  $Ehm$  = enjeux humains et matériels ;  $n$  = la note affectée aux classes des facteurs d'enjeux ;  $dp$  = la densité de population ;  $db$  = la densité du bâti ;  $qb$  = la qualité du bâti.

A partir de cette formule, la carte des enjeux matériels est réalisée. Celle-ci résulte du croisement des facteurs "densité" et "qualité du bâti", avec comme valeurs la somme des notes pondérées des indices d'enjeux de chacun des deux facteurs. Ainsi, trois niveaux d'enjeux matériels ont été déterminés : enjeux matériels faibles ; enjeux matériels moyens ; enjeux matériels importants.

En additionnant les résultats de ce premier croisement avec les notes pondérées du facteur "densité de population", on a défini trois classes d'enjeux humains et matériels (faibles, moyens et importants).

### ***2.2.3. La détermination des zones à risque d'érosion***

Le risque naturel étant la rencontre entre un aléa d'origine naturelle et des enjeux humains, économiques ou environnementaux, la phase finale de la démarche a été d'inventorier à l'intérieur de la ville d'Anyama les zones où l'érosion serait en mesure de créer des dommages en cas de manifestation. Elle repose sur la combinaison des couches d'information "aléa érosion" et "enjeux humains et matériels" et s'exprime par l'équation :  $RE$  (risque d'érosion) =  $(0,08nr + 0,21np + 0,71nps) \times (0,08ndp + 0,19ndb + 0,73nqb)$ . À travers le niveau d'aménagement du sol urbain et la qualité du bâti, la vulnérabilité, variable importante dans l'appréciation des niveaux de risque, est implicitement prise en compte.

Le résultat de cette combinaison par laquelle les valeurs pondérées de l'aléa érosion sont multipliées par celles des enjeux est une carte de synthèse qui a permis de spatialiser les zones à risque d'érosion dans la ville d'Anyama. Trois niveaux de risque ont été définis : faible, moyen et élevé.

Ainsi, l'évaluation du risque d'érosion résulte du croisement de plusieurs données, par une corrélation spatiale sur un support cartographique de type SIG. Autrement dit, en effectuant un traitement spatial de l'information, on détermine les zones qui se situent dans un secteur soumis simultanément à l'aléa et aux enjeux.

## **3. RESULTATS : LES CARTES ET LEUR ANALYSE**

### **3.1. La carte d'aléa érosion**

La carte des zones sensibles à l'érosion à Anyama indique que, dans cette ville où le site est très accidenté, les terrains de sensibilité élevée dominant (figure 2). Cela montre qu'on est dans un espace qui réunit des attributs favorables à l'érosion : une roche moyennement ou peu résistante sur des pentes fortes. Une analyse statistique fait apparaître à ce sujet que sur une superficie urbaine de 739 ha, les zones de sensibilité élevée s'étendent sur 368 ha ; celles de faible sensibilité couvrent 254 ha et celles de sensibilité moyenne 126 ha.

Le croisement des niveaux de sensibilité avec la protection du sol (figure 3) permet d'obtenir la carte de l'aléa érosion (figure 4). Celle-ci met en évidence la susceptibilité réelle des secteurs urbains à l'érosion du sol. Dans cette application de type SIG où chaque facteur est affecté de son poids

dans le processus érosif, une analyse minutieuse de la carte permet de confirmer le rôle prééminent de la protection du sol dans le processus érosif. En effet, dans cette ville où l'urbanisation est de type populaire ou précaire, avec une quasi absence de contrôle de l'occupation du sol, les zones d'aléa élevé (304 ha) correspondent aux quartiers où la densification de l'habitat a fini par mettre la roche à nu. Les zones où l'aléa érosion est moyen ou faible concernent par contre les secteurs en cours d'urbanisation, en particulier les quartiers RAN et Résidentiel.

### **3.2. La carte de répartition des enjeux**

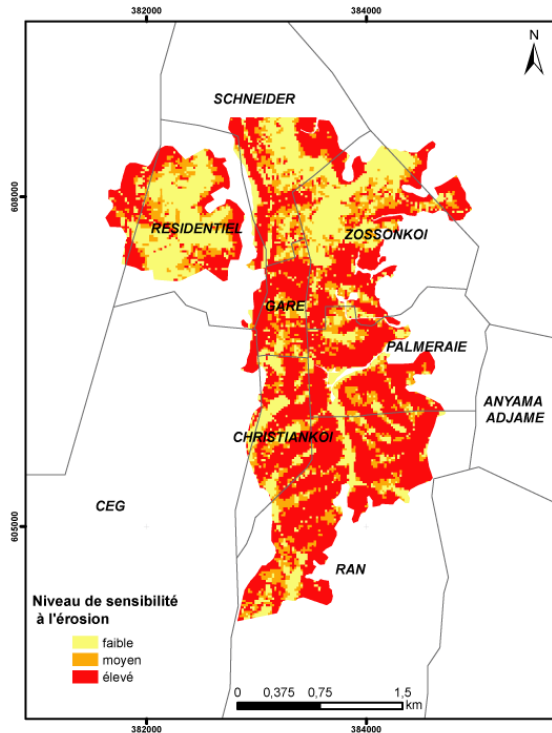
Au niveau des enjeux matériels, la carte montre que dans la ville d'Anyama, en termes de surface occupée, il y a une sorte d'équilibre dans la répartition des enjeux (31 % de faibles, près de 29 % de moyens et 40 % d'importants). Les zones où les enjeux sont importants sont plus étendues et correspondent entièrement ou en partie aux quartiers anciens que sont Gare, Schneider, Zossonkoi, Palmeraie et Christiankoi (figure 5). Dans ces quartiers densément bâtis, l'on trouve encore les vieilles maisons faites de banco et les constructions précaires, ce qui explique que le niveau de vulnérabilité de l'habitat est ici élevé.

En mettant en relation la couche "enjeux matériels" et celle des "enjeux humains" (figure 6), on obtient la carte de tous les enjeux (figure 7). Celle-ci modifie profondément les données précédentes, en ce sens qu'en couvrant 58 % de l'espace urbanisé, ce sont les surfaces de niveau d'enjeux moyen qui sont les plus étendues dans la ville d'Anyama. Les seules zones où les enjeux restent importants correspondent sur la carte à l'emplacement des poches d'habitat précaire au quartier Schneider.

### **3.3. La carte du risque d'érosion à Anyama**

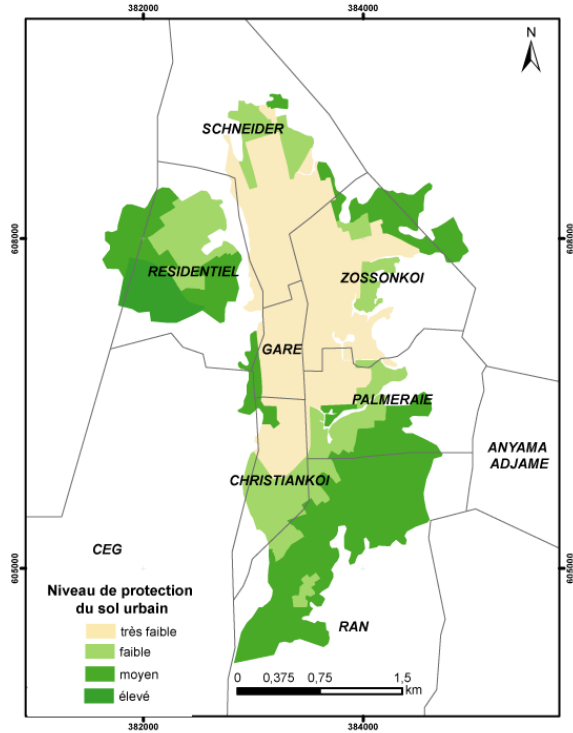
La figure 8 présente la distribution spatiale du risque d'érosion dans la ville d'Anyama. Elle révèle que les zones à risque d'érosion élevé et moyen connaissent les plus grandes extensions. En effet, 45 % du site construit est exposé à un risque d'érosion élevé et 36 % à un risque d'érosion moyen. En outre, les terrains soumis à un risque d'érosion élevé correspondent aux noyaux urbains anciens installés sur un relief fortement disséqué. Quant aux terrains urbains exposés à un risque d'érosion moyen, ils couvrent les zones d'extension périphérique, notamment dans les quartiers Palmeraie, RAN et Zossonkoi. Résidentiel est le seul quartier d'Anyama où le risque d'érosion est faible.

Figure 2. Répartition des terrains en fonction de leur sensibilité à l'érosion



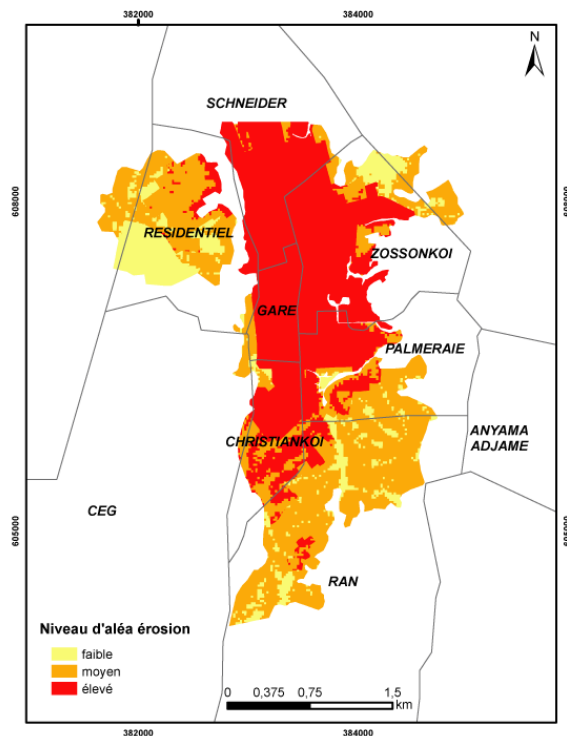
Sources : CCT/BNETD (Fond topographique) et LBTP (Carte géotechnique d'Abidjan, 1986)

Figure 3. Niveaux de protection du sol contre l'érosion



Sources : CCT/BNETD, images Quickbird de 2013

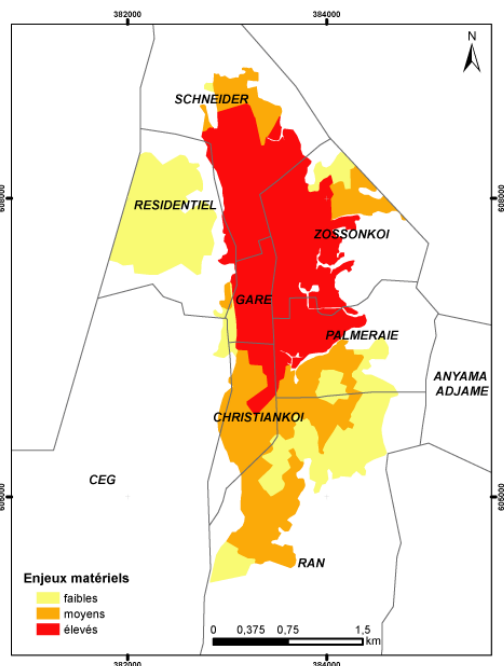
Figure 4. Répartition de l'aléa érosion



Sources : CCT/BNETD (Fond topographique et images Quickbird de 2013) et LBTP (Carte géotechnique)

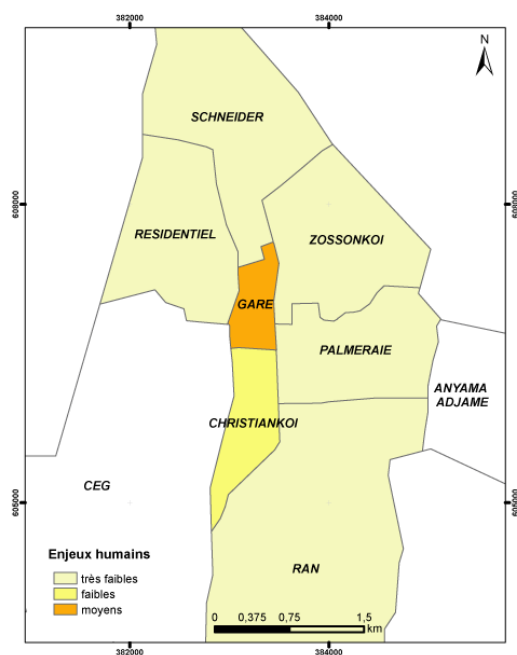
# CARTOGRAPHIE DES ZONES A RISQUE D'EROSION DANS LA VILLE D'ANYAMA (PERIPHERIE NORD D'ABIDJAN)

Figure 5. Répartition des enjeux matériels



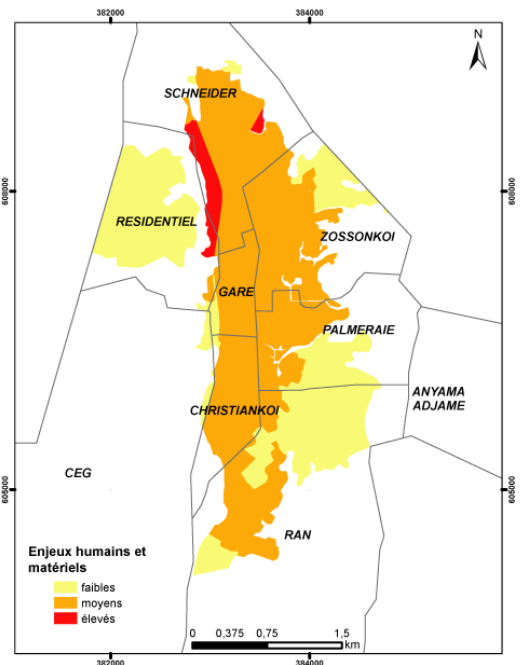
Source : CCT/BNETD, images Quickbird de 2013

Figure 6. Répartition des enjeux humains



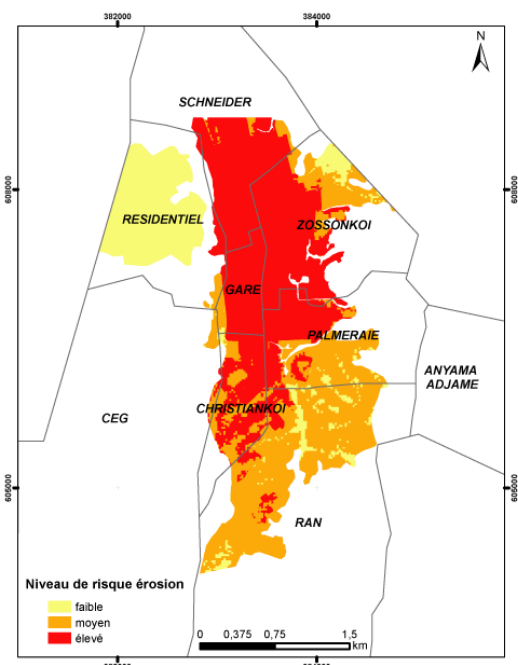
Source : INS, estimation de la population par quartier en 2005

Figure 7. Répartition des enjeux humains et matériels



Sources : CCT/BNETD (images Quickbird, 2013) et INS (estimation de la population par quartier, 2005)

Figure 8. Répartition du risque d'érosion



Sources : Données CCT/BNETD, LBTP et INS.

#### 4. DISCUSSION

Les données et les techniques d'analyse utilisées dans cette étude ont permis de répondre à deux préoccupations essentielles : proposer la hiérarchisation multicritère comme une démarche fiable de cartographie du risque d'érosion et présenter cette méthode comme un outil d'aide à la décision.

Sur le premier point, les cartes établies, à partir des différents facteurs intervenant dans le processus érosif (pente, érodibilité de la roche, protection du sol) ou dans la détermination des enjeux (densité de population, densité du bâti et qualité du bâti), ne constituent que des couches de base nécessaires à l'identification des zones à risque d'érosion. En effet, dans la nature les trois facteurs d'aléa érosion agissent de façon synergique, mais n'ont pas la même importance dans le développement de l'érosion. De même, les trois facteurs d'enjeux n'ont pas le même niveau d'exposition ou d'endommagement. Il a fallu alors définir le coefficient de pondération de chaque facteur. Cette étape manque dans les quelques études menées en Côte d'Ivoire sur la répartition du risque d'érosion en milieu rural où, dès la hiérarchisation des facteurs d'érosion, les chercheurs (N'Goh, 2000 ; Kouadio, 2001 ; etc.) réalisent des cartes de risque d'érosion. Ces documents aussi bien élaborés soient-ils ne reflètent pas la réalité, non seulement parce qu'il s'agit là de cartes d'aléa et non de risque, mais aussi parce que ces cartes considèrent que tous les facteurs ont la même importance dans le processus érosif ; ce qui n'est pas vrai.

Dans tous les cas, au cours de la pondération des facteurs, les appréciations doivent s'appuyer sur les travaux de terrain et sur la culture scientifique du chercheur, voire une parfaite connaissance des phénomènes étudiés et des facteurs qui interviennent dans leur développement. Par exemple, pour apprécier l'aléa érosion en Côte d'Ivoire, les travaux de Roose (1977, 1984, 1990) donnent des résultats appréciables. Ils montrent que dans l'aléa érosion, le facteur "couvert végétal" est de loin le plus important (Roose, 1984). Cette prééminence de la couverture végétale dans le développement de l'érosion est confirmée dans cette étude où le croisement de la carte de sensibilité (figure 2) avec la protection du sol (figure 3) modifie nettement la répartition des niveaux d'aléa érosion dans la ville d'Anyama (figure 4).

Concernant les enjeux, nous avons privilégié dans cette étude la sécurité de l'homme qu'il faut assurer, en nous inspirant des remarques faites par Dauphiné (2001). Ainsi, pour que l'homme soit affecté dans le cas de l'érosion, il faudrait que la maison qui le protège soit détruite par l'aléa. D'où l'importance accordée à la qualité du bâti à l'intérieur de laquelle l'habitat

précaire est le plus vulnérable. Cela voudrait dire qu'au départ, il faut savoir ce que l'on veut mettre en évidence. Sinon, en fonction de l'objectif, les enjeux peuvent être différents et plus nombreux.

En outre, la comparaison par paire des facteurs relève d'un exercice intellectuel qui n'est pas toujours aisé. C'est pourquoi, comme nous l'avons fait dans cette étude, il importe de faire intervenir plusieurs chercheurs pour avoir les meilleures appréciations possibles. Quoi qu'il en soit, le jugement que l'on porte sur l'importance d'un facteur par rapport à un autre étant subjectif, les valeurs attribuées aux jugements de deux chercheurs ne sont pas forcément les mêmes, mais elles doivent être soutenues par un raisonnement cohérent. A ce niveau, l'indice de cohérence permet de corriger les erreurs d'appréciation (lorsqu'il est supérieur à 10 %) et de rester dans une fourchette acceptable.

Le second point sur lequel nous insistons est tout aussi important que le précédent. En effet, si la superposition des différentes couches peut permettre dans tous les cas de réaliser des cartes de répartition du risque d'érosion, le message communiqué n'est pas toujours le même. Dans le cas de simples superpositions de couches, la carte résultante permet de connaître uniquement la répartition de l'érosion en fonction du niveau de risque encouru. Avec l'analyse multicritère, la carte devient un moyen de prise de décision. En effet, à l'étape de la pondération, il est déterminé la priorité de chaque facteur d'aléa ou d'enjeu. L'intérêt de cette priorité est de permettre aux décideurs, dans leurs tentatives de réduction du risque d'érosion, de savoir sur quel facteur agir. La présente étude indique que, dans le cas de l'érosion à Anyama, il faut agir soit sur la protection du sol dont la priorité, c'est-à-dire la contribution dans le processus érosif, est de 71%, soit sur la qualité du bâti ayant une priorité de 73%, en améliorant les matériaux de construction.

Plusieurs chercheurs qui s'intéressent à la cartographie de l'érosion vont dans ce sens, en utilisant diverses méthodes multicritères pour faire face à un problème décisionnel à référence spatiale. C'est le cas de Pouliot *et al.* (1993) qui ont utilisé la pondération des facteurs pour aider à l'identification des zones à haut risque d'érosion dans le bassin-versant de Merguelli (Tunisie). Il en est de même des méthodes exposées par Laaribi (2000) et de la modélisation de l'aléa érosion des sols, dans le département de l'Aisne (France), établie par Le Bissonnais *et al.* (2004).

## CONCLUSION

Le modèle présenté ici est une adaptation de la Méthode de Hiérarchie Multicritère de Saaty à l'étude de la répartition de l'érosion, en milieu urbain. Il a été appliqué à la ville d'Anyama, en intégrant dans un système d'information géographique des couches d'informations issues de l'analyse des données naturelles et humaines disponibles pour la zone d'étude.

Les résultats indiquent, à l'échelle de la ville d'Anyama, les tendances de la répartition spatiale de l'aléa érosion, des enjeux et finalement du risque d'érosion. Ils permettent également d'identifier les facteurs responsables de la distribution de l'aléa et des enjeux. Ce qui est encore plus fondamental, c'est que par la connaissance de la contribution de chaque facteur au processus érosif ou à l'exposition à l'aléa, ce modèle apparaît comme un véritable outil de prise de décision, dans le cadre des actions de lutte contre l'érosion des sols.

Dans la mesure où on s'est rendu compte que la répartition du risque d'érosion à Anyama est plus accentuée dans les quartiers anciens, à cause de la dénudation des sols, et qu'elle varie aussi avec la qualité de l'habitat, une réactualisation du modèle après la mise à jour des données de terrain sera nécessaire. Cela permettra de suivre l'évolution spatiale des zones à risque d'érosion et de mesurer l'impact de l'amélioration ou non du paysage urbain. Enfin, on pourrait appliquer la démarche multicritère aux villes ivoiriennes et africaines pour lesquelles les données d'entrée seraient disponibles. Une telle perspective permettra d'aider les gestionnaires urbains à prendre des décisions justes et à agir par anticipation, dans le cadre de la gestion préventive des risques naturels auxquels les villes d'Afrique subsaharienne sont de plus en plus confrontées.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AKRÉ (A. M.), 2002. *Urbanisme opérationnel*. Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny, Yamoussoukro, 38 p.
- ALLA (D. A.), 2013. *Risques naturels dans l'agglomération d'Abidjan (Côte d'Ivoire)*. Thèse de doctorat d'État, Institut de Géographie Tropicale, Université Félix Houphouët-Boigny, 385 p.
- ALLA (D. A.), 2012. « Anyama : une ville d'érosion » in *Perspectives de la géographie en Afrique subsaharienne*. Actes de colloque, tome 1, Abidjan, 14-17 septembre 2009. Sarrebruck (Allemagne), Éditions Universitaires Européennes, pp. 117-128.
- ATSE (J. P.), 2001. « Géomatique et gestion des risques urbains : vers des progrès attendus » in *Gestion spatiale des risques*, Paris, pp. 25-45.

CARTOGRAPHIE DES ZONES A RISQUE D'EROSION DANS LA  
VILLE D'ANYAMA (PERIPHERIE NORD D'ABIDJAN)

---

- DAUPHINÉ (A.), 2001. *Risques et catastrophes. Observer, spatialiser, comprendre, gérer*. Paris, Armand Colin, Coll. U, 264 p.
- FILLERON (J. C.) et MONNIER (Y.), 1979. « Oro-hydrographie » in *Atlas de Côte d'Ivoire*, deux feuilles recto verso, planche A1.
- GUEI (A.) et AHOUA (D. M.), 1987. « Étude en laboratoire de quelques propriétés géotechniques des sables argileux du "Continental Terminal" de Côte d'Ivoire » in *Bulletin du LBTP*, n° 7 "Spécial géotechnique". Abidjan, pp. 53-61.
- KOUADIO (B. H.), 2001. *Insécurité climatique et géorisques en Afrique de l'Ouest : apport des systèmes d'information géographique et de la télédétection à l'étude des phénomènes de risques naturels dans la région semi-montagneuse de Man (Ouest de la Côte d'Ivoire)*. Thèse de doctorat 3<sup>ème</sup> cycle (Hydrogéologie-environnement), Université d'Abidjan-Cocody, Abidjan, 167 p.
- LAARIBI (A.), 2000. *SIG et analyse multicritère*. Hermès Science Publications, Paris, 190 p.
- LE BISSONNAIS (Y.), DUBREUIL (N.), DAROUSSIN (J.) et GORCE (M.), 2004. « Modélisation et cartographie de l'aléa d'érosion des sols à l'échelle régionale : exemple du département de l'Aisne » in *Étude et Gestion des Sols*, Volume 11, n° 3, pp. 307-321.
- N'GOH (Y. A.), 2000. *Étude 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 3<sup>ème</sup> cycle (Hydrologie et système d'information géographique), Université d'Abobo-Adjamé, Abidjan, 155 p.
- PAIN (M.), 1984. « La ville, facteur de crise écologique » in *Kinshasa, la ville et la cité*. Études urbaines, Paris, ORSTOM, mémoires n° 5, pp. 59-72.
- PEYROT (B.), 1984. « Facteurs et processus de dégradation du site de Brazzaville » in *Travaux et Documents du CEGET*, n° 51, pp. 113-128.
- POUILOT (J.), THOMON (K.P.B.), CHEVALIER (J.J.) et BOUSSEMA (M.R.), 1993. « Utilisation des données satellitaires comme aide à l'identification des zones à haut risque d'érosion » in *16<sup>ème</sup> symposium canadien sur la télédétection*. Sherbrooke, juin, pp. 515-520.
- ROOSE (E.), 1977. *Érosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales*. Abidjan, ORSTOM, 108 p.
- ROOSE (E.), 1984. « Impact du défrichement sur la dégradation des sols tropicaux » in *Machinisme Agricole Tropical*, n° 87, pp. 24-36.

ROOSE (E.) et SARRAILH (J. M.), 1990. « Érodibilité de quelques sols tropicaux. Vingt années de mesure en parcelles d'érosion sous pluies naturelles » in *Cahiers ORSTOM*. Série pédologie, vol. xxv, n° 1-2, pp. 7-30.

SAATY (L. Th.), 1984. *Décider face à la complexité. Une approche multicritère d'aide à la décision*. Collection Université-Entreprise, Les Éditions ESF, 231 p.

TCHOTSOUA (M.) et BONVALLOT (J.), 1995. « Crise socio-économique et érosion accélérée à Yaoundé : une contribution à la gestion de l'environnement urbain en milieu tropical humide » in *Environnement humain de l'érosion*. Actes du colloque de Paris du 20 au 23 septembre 1994, Réseau Erosion, Bull. n° 15, pp. 214-231.

TCHOTSOUA (M.) et BONVALLOT (J.), 2000. « L'érosion urbaine au Cameroun : processus, causes et stratégies de lutte » in *Influence de l'homme sur l'érosion*. Actes du colloque international de Yaoundé du 09 au 19 décembre 1999, Réseau Erosion, Bull. n° 20, pp. 324-331.