

Détermination par télédétection de l'influence des formations géologiques sur l'expression de l'érosion hydrique latérale : cas de l'indice d'or Baoulé-Est, Centre de la Côte d'Ivoire

Kadio Hilaire NIAMKE^{1*}, Brou Etienne N'Dri¹, Aimé KOUDOU¹ et Koffi Fernand KOUAME²

¹ *Université Jean Lorougnon Guédé, UFR Environnement, Département des Sciences de la Terre, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire*

² *Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection, UFR Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan-Cocody, 22 BP 582 Abidjan, Côte d'Ivoire*

* Correspondance, courriel : niamkehilaire@yahoo.fr

Résumé

L'objectif de cet article est d'établir un lien entre la nature des roches et l'expression de l'érosion hydrique latérale. A cet effet, les corrélations des bandes d'une image Landsat 7 ETM+ furent suivies par une Analyse en composante principale et la composition colorée des bandes ACP. Les morphologies de drains furent décrites et validées par la vérité-terrain. Les bandes ETM + 2, ETM + 3 révèlent la meilleure des corrélations ($R^2 = 0,92$), tandis que, ETM + 2 et ETM + 4 présentent la plus forte décorrélation ($R^2 = 0,23$). Les deux premiers canaux résultant de l'ACP montre une répartition équitable de la majorité des informations (88 %). le canal ACP2 qui est caractérisé par un amincissement de toutes les composantes du paysage a mis en évidence les contours du réseau hydrographique. Cinq comportements drains qui délimitent autant de régions ont été identifiés. Le granite (Nord-Ouest et Sud) est peu affecté par l'érosion hydrique latérale. Il conduit à la formation de vallées étroites. Les schistes arénacés, au contraire des granites, sous un couvert végétal peu dense (Nord, Centre-Ouest et Sud-Ouest) réagissent à l'érosion en formant de larges vallées qui constituent des terres fertiles. Le mode d'affleurement du granite est lié au couvert végétal, tandis que, les niveaux sains des schistes arénacés ne sont observés que dans les cours d'eau. Ces observations confirment les résultats du traitement de l'image.

Mots-clés : *Landsat 7 ETM+, analyse en composantes principales, vérité-terrain, granite, schistes arénacés, affleurement.*

Abstract

Determination of rocks effect by remote sensing, on side water erosion : case of Baoule-East gold occurrence

The goal of this paper is to make a link between rocks type and side water erosion expression. About this, Landsat ETM + 7 image, channels links were followed by Principal Component Analysis and PCA channels colored make up. Streams morphology were described and validated by a field validation. Channels ETM + 2, ETM + 3 reveal best correlations ($R^2 = 0.92$), while channels ETM + 2 et ETM + 4 have the bad one ($R^2 = 0.23$). PCA two first channels show an equal distribution of the most information (88 %). Channel PCA

2 which is characterized by the thinning down of landscape components has shown river system outlines. Five performances which marked off areas were identified. Granit (North-West and South) is low affected by side water erosion. It leads to the formations of narrow valleys. Sand schist under a weak vegetable cover (North, Middle West and South West) reacts at erosion by forming wide and fertile valleys. Granit way of outcropping is link to vegetable cover, while, sand schist bedrock lays only in the rivers. These observations confirm the results of image treatment.

Keywords : *Landsat 7 ETM+, principal component analysis, field validation, granit, sand schist, outcropping.*

1. Introduction

La télédétection s'applique à l'étude de la lithologie qui décrit la nature physico-chimique des roches et à la tectonique en expliquant leurs dispositions [1]. Les objets ou les phénomènes géologiques n'apparaissent pas directement sur les images. Les images saisies par les senseurs sont en effet des paysages. La géologie régionale y apparaît à travers les particularités du relief, de la végétation et des cours d'eau [2]. Selon les travaux de [3], dans une image satellitaire, les formations géologiques décrivent des surfaces (basses fréquences) aux formes multiples séparées les unes des autres par des courbes ou des lignes (hautes fréquences). Dans les régions tropicales, l'épaisseur de la couche d'altérite ainsi que la couverture végétale, constituent une entrave à la confirmation du lien direct ci-dessus établi entre les basses fréquences et les formations géologiques. Aussi, l'impossibilité de réaliser une approche directe a milité en faveur d'une approche indirecte par l'étude d'une composante du paysage naturel. [4] attestent la morphologie des drains est un excellent moyen de détection des formations géologiques du substratum et des recouvrements superficiels. Or la morphologie des drains est la conséquence directe de l'érosion latérale. L'indice Baoulé-Est présente les caractéristiques techniques pour constituer un excellent champ d'expérimentation. En effet, la cartographie géologique de cet indice est un exercice complexe à cause de la rareté des affleurements et du recouvrement terrigène important. C'est dans ce contexte, que fut élaboré le projet du présent article qui s'intitule : Détermination par télédétection de l'influence des formations géologiques sur l'intensité de l'érosion latérale : cas de l'indice d'or Baoulé-Est. L'objectif de cette étude est d'établir un lien entre la nature du socle et l'expression de l'érosion hydrique latérale afin d'utiliser la morphologie des drains dans l'interprétation des formations géologiques. Cet objectif comprend les objectifs spécifiques tels que (i) cartographier par télédétection les marques de l'érosion hydrique latérale, (ii) classer et déterminer le regroupement spatial des marques de l'érosion latérale et (iii) superposer les regroupements des marques de l'érosion latérale hydrique et les formations géologiques

2. Méthodologie

2-1. Présentation du milieu d'étude

La zone d'étude est une région du centre de la Côte d'Ivoire comprise entre les longitudes 4°00'O et 4°45'O et les latitudes 6°30'N et 7°00'N (Ivoiregéo, 2002). Elle est à cheval sur les régions administratives du N'zi, du Moronou et de l'Ifou dont les chef-lieu sont respectivement Dimbokro, Bongouanou et Daoukro (**Figure 1**). La zone d'étude est à cheval sur les bassins versants du N'zi et de l'Agnéby (**Figure 2**). Les affluents du N'zi (Ourougo, Mandia, Boya, Songan, N'tipin) occupent 80 % de la zone d'étude. Ceux de l'Agnéby dans la partie Est ne représentent que 20 % du secteur. Le tracé du N'zi est méandrique. Il circule dans des vallées larges au sein d'un ensemble monotone caractérisé par des plateaux. L'écoulement est doublement orienté ESE et ENE. L'Agnéby est représenté par l'Agbo et ses affluents. L'Agbo circule dans des vallées étroites et entaillées. Ce paysage accidenté bien que ne présentant pas de véritables pics (les altitudes ne dépassent guère 100 m),

est favorisé par l'action de la couverture des forêts ombrophiles. En effet, la couverture végétale importante protège le sol tout en accentuant le creusement des lignes d'écoulement existantes. Dans un tel contexte, les pentes sont fortes et diversement orientées. La carte géologique (*Figure 3*) produite par [5] montre une vaste aire de granitoides dans l'Ouest. Ils constituent des entités circonscrites de dimensions modestes aux seins des schistes. En dehors du bloc ouest, la région est essentiellement constituée d'une variation latérale de schistes silteux, schistes arénacés fines arkosiques. Elle est parfaitement intégrée dans le paleobassin de la Comoé [6, 7]. Au Nord-Ouest, il est observé la terminaison sud d'une formation ampélique. Cette formation décrit un biseau relativement étroit entre la vaste aire granitique et les schistes. Les formations de recouvrement sont représentées par les sables et les vases fluviales. Les sables et vases fluviales de ce paysage géologique datent du quaternaire. Elles occupent la large vallée du N'zi.

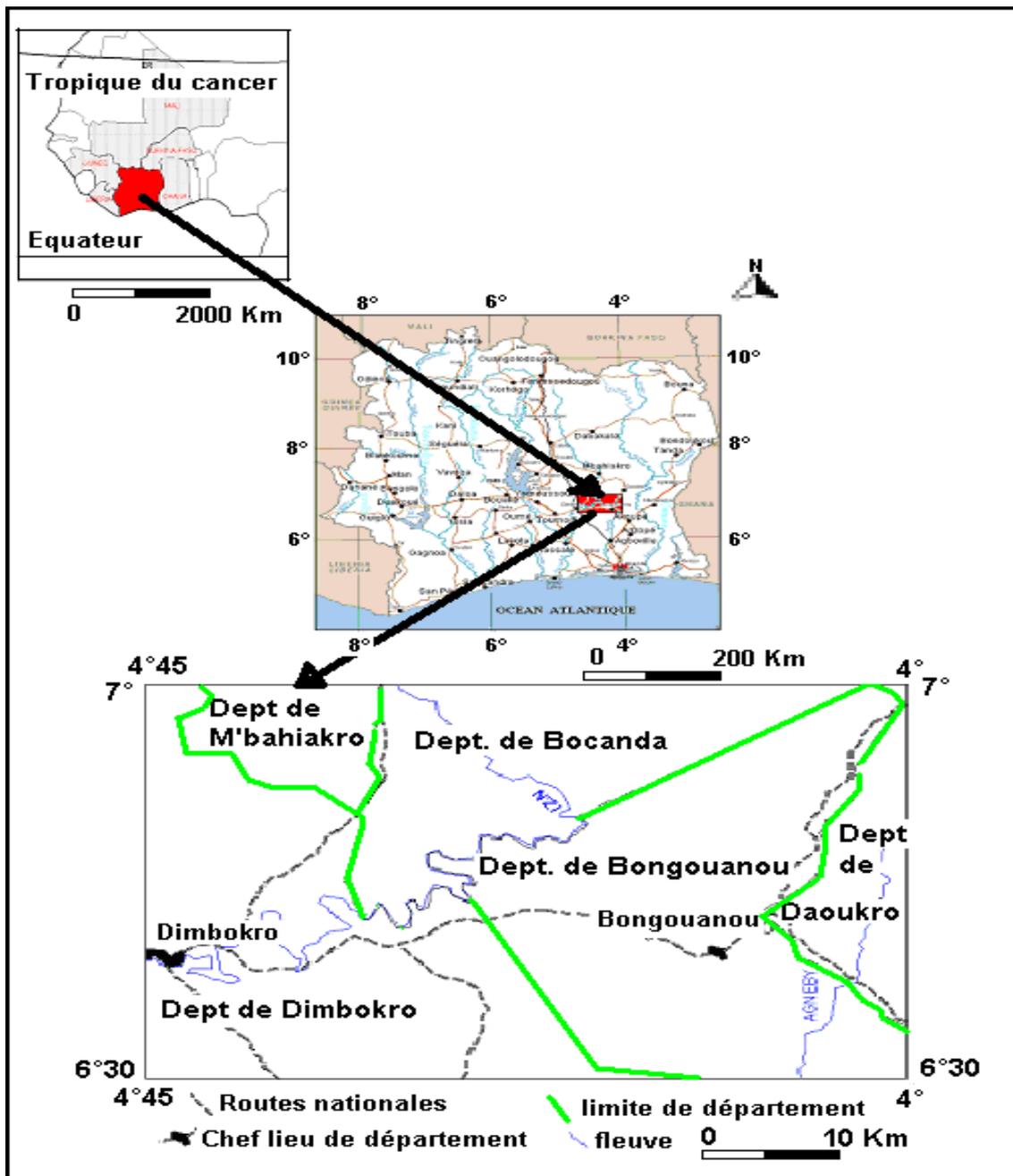


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude (Source, Ivoiregéo, 2002 ; CCT, 1994)

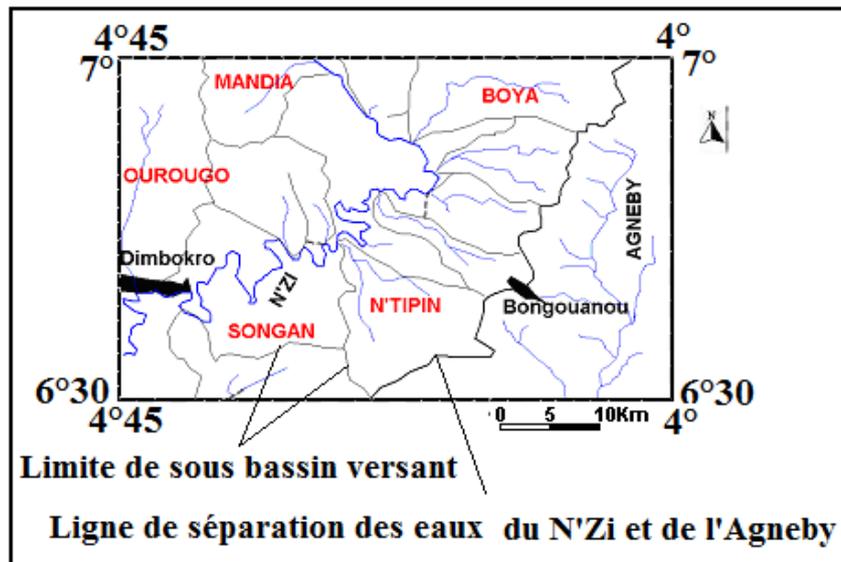


Figure 2 : Principaux sous bassins versants de la région d'étude (extrait de la carte topographique de Dimbokro au 1 / 200000 du CCT)

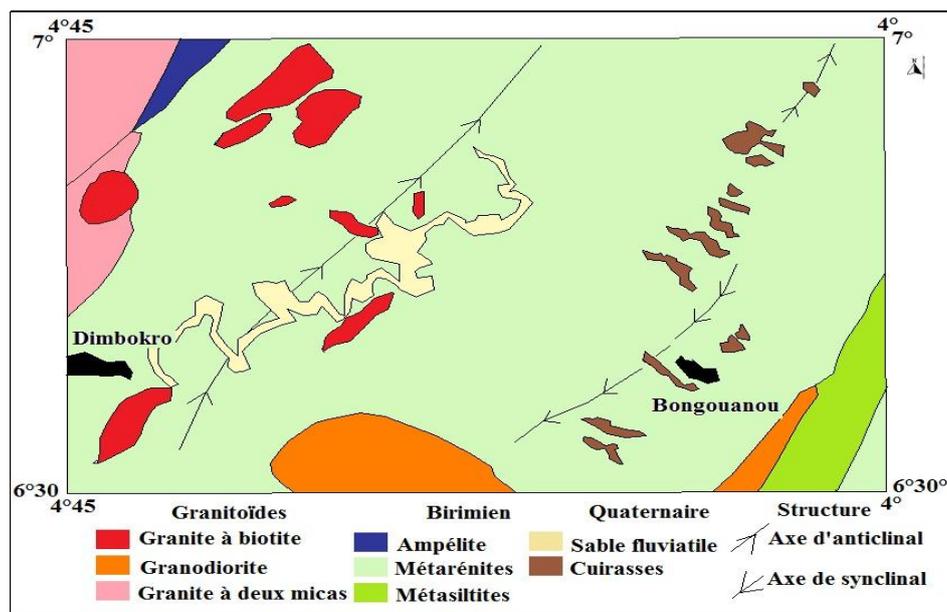


Figure 3 : Carte géologique de la région d'étude (Source : Delor et al, 1995)

2-2. Matériel

L'imagerie Landsat 7 ETM + a constitué le support de l'étude géologique par télédétection. L'image utilisée est une portion extraite de la scène 196-55 acquise le 02 avril 2002. Cette image a 8 bandes, la bande complémentaire étant le canal panchromatique qui a une résolution de 15 m. Les canaux du visible et les bandes du PIR, IR, IRL ont une résolution de 30 m ; le canal thermique (IRT) en a une de 60 m. Les données cartographiques prises toutes à l'échelle 1 / 200000 sous formes numériques sont :

- la carte topographique de Dimbokro produite par le CCT en 1995 à partir des données de l'Institut de Géographie National Paris récoltées en 1966 ;
- la carte géologique de Dimbokro produite par la Direction de la Géologie.

Les travaux ont été réalisés à l'aide du logiciel Envi V 3.2 qui regroupe en son sein des fonctionnalités multiples relatives au traitement des images et à la cartographie thématique. Le logiciel Envi V 3.2 contient en son sein des modules qui permettent de réaliser l'extraction de l'information souhaitée. Cette fonctionnalité facilite les opérations car elle évite l'exportation des thèmes de l'image vers d'autres logiciels et son lot de pertes d'informations [8].

2-3. Prétraitement de l'image

Le but assigné au prétraitement est de définir les méthodes de traitement qui conviendraient à la mise en évidence des informations recherchées [9]. Dans le cas de notre étude, les techniques de prétraitement utilisées furent :

- les statistiques radiométriques ;
- le contenu visuel des images ;
- l'étude des corrélations existant entre les différentes bandes de l'image.

Les statistiques radiométriques furent obtenues automatiquement. Elles ont porté sur la répartition des pixels sur l'échelle des niveaux de gris. Les techniques d'étalement radiométriques (étalement linéaire, égalisation, racine carrée, etc.) qui ont assuré la visualisation du contenu des bandes furent fonction de l'allure de la répartition des pixels. L'étude corrélative des canaux fut une étude automatique réalisée à l'aide du module "Scater plot" du logiciel Envi V 3.2. Ce module récapitule le coefficient de corrélation des bandes deux à deux sur un graphe orthonormé. Le but de cette étude corrélative fut de révéler l'importance de la redondance et de la disparité des informations contenues dans l'image.

2-4. Analyse en composante principale

En télédétection, l'ACP est une opération qui a pour objectif de réunir le maximum d'informations des canaux images sur un canal [3, 10]. Les huit bandes originelles ne furent pas impliquées dans l'opération. L'étude s'est appuyée sur les résultats de l'étude corrélative des canaux. En effet, pour obtenir le maximum d'informations tout en réduisant le nombre de bandes originales à impliquer, le choix des bandes fut réduit aux deux bandes qui présentent les plus fortes corrélations. A ces bandes, il fut associé une troisième qui présente vis à vis des deux premières, les plus fortes décorrélation. Lors de l'opération, plusieurs itérations ont été réalisées afin que les composantes du recouvrement de la surface, généralement des polygones, soient séparées des éléments rectilignes.

2-5. Composition colorée des bandes ACP

Le comportement de l'érosion latérale fut observé au sein de la Composition colorée des ACP. Cette observation a été faite avec une focalisation sur la répartition spatiale des types de comportements afin de déceler la possibilité de regroupement qui exprimerait des formations différentes.

2-6. Vérité-terrain

Deux missions de terrains ont été réalisées afin de valider les résultats des traitements de l'image. Ces vérités terrains ont consisté en l'identification et la description des marques de l'érosion, Ces missions ont réalisée l'une au cours de la saison sèche afin d'étudier les dépôts récents (janvier 2003). La seconde mission s'est déroulée durant de la saison des pluies (juin 2003). Elle a permis l'étude des anciennes terrasses. Il important de noter que les sites sont très accessibles durant la saison sèche. La **Figure 4** est le récapitulatif du cheminement de la méthode.

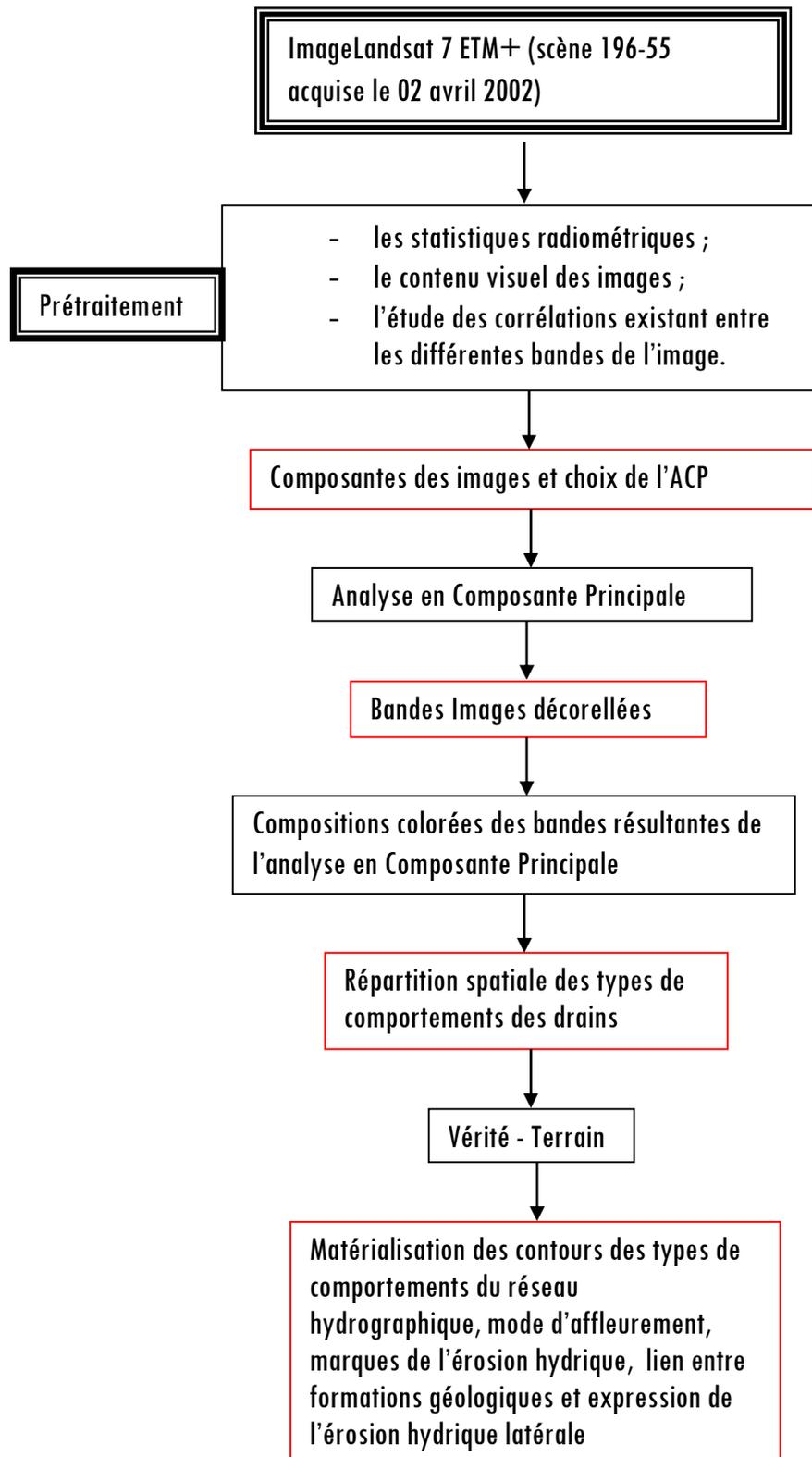


Figure 4 : Récapitulatif du cheminement de la méthode

3. Résultats

3-1. Corrélations des bandes

Les résultats de l'étude corrélative sont consignés dans le **Tableau 1**. Il s'est avéré que les bandes ETM + 2, ETM + 3 révèlent la meilleure des corrélations ($R^2 = 0,92$) tandis que, ETM + 2 et ETM + 4 présentent la plus forte décorrélation ($R^2 = 0,23$).

Tableau 1 : Coefficients de corrélation des bandes de l'image ETM+7

E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
E2	1	0,92	-0,17	0,64	0,54	0,60
E3		1	0,23	0,76	0,70	0,80
E4			1	-0,23	-0,59	-0,47
E5				1	0,49	0,79
E6					1	0,71
E7						1

La redondance des informations des bandes ETM +2 et ETM+3 s'exprime au niveau des pixels dont les valeurs radiométriques sont comprises entre 74 et 90 (**Figure 5**). Au contraire, L'étude corrélative présente deux pics asymétriques qui expriment la disparité des informations au niveau des pixels dont les valeurs radiométriques sont comprises entre 73 et 90.

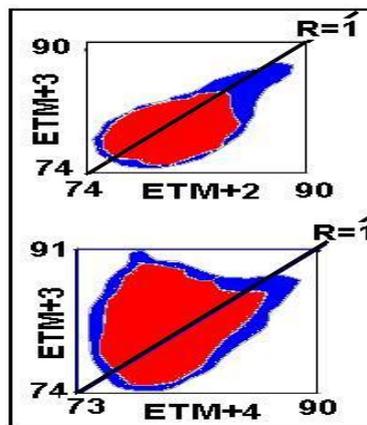


Figure 5 : Corrélations des bandes ETM + 2, ETM + 3, ETM + 4

Les caractéristiques radiométriques des bandes retenues pour l'ACP sont récapitulées dans le **Tableau 2**.

Tableau 2 : Caractéristiques des bandes radiométriques

band	vr min	vr max	médiane	eendg	écart type	nature
etm+2	71	222	82	151	3,77	vert
etm+3	63	255	79	192	5,12	rouge
etm+4	36	140	59	104	5,74	PIR

Vr : valeur radiométrique ; min : minimum ; max : maximum ; eendg : étalement sur l'échelle des niveaux de gris.

La bande ETM + 2 est particulière car de par sa nature le capteur absorbe tout le rayonnement vert. La bande ETM + 3 qui est à la limite du visible et l'infra rouge, montre une bonne discrimination au sein du couvert végétal. Les bandes ETM + 2 et ETM + 3 étant des bandes du visible, la redondance d'informations est un fait normal. La bande ETM + 4 (Proche InfraRouge) capte naturellement un rayonnement différent des bandes du visible.

3-2. Caractéristiques des bandes ACP

Les informations résultant de l'ACP sont réparties de la façon suivante : 47 % pour le canal ACP 1 ; 41 % pour le canal ACP2 et 12 % pour le canal ACP3. Les deux premiers canaux résultant de l'ACP montrent une répartition équitable de la majorité des informations (88 %). Une telle séparation des informations, comble les attentes qui ont suscité l'opération. En effet, les canaux significatifs assurent une bonne discrimination des composantes par catégories. A cet effet, le canal ACP2 (*Figure 6*) est caractérisé par un amincissement de toutes les composantes du paysage. Dans cette image. Les composantes qui empruntent des canevass tels que les cours d'eau sont bien rehaussées par la squelettisation des lits mineurs. Il se dégage de l'image un grand nombre de linéaments ainsi que des entités curvilignes. On y observe des drains qui sont reliés à un collecteur qui circule dans une vallée large (Nord-Ouest) ; des drains qui affluent vers un collecteur qui circule dans une vallée moyenne (Sud) ; des drains fins reliés à un collecteur entaillé.

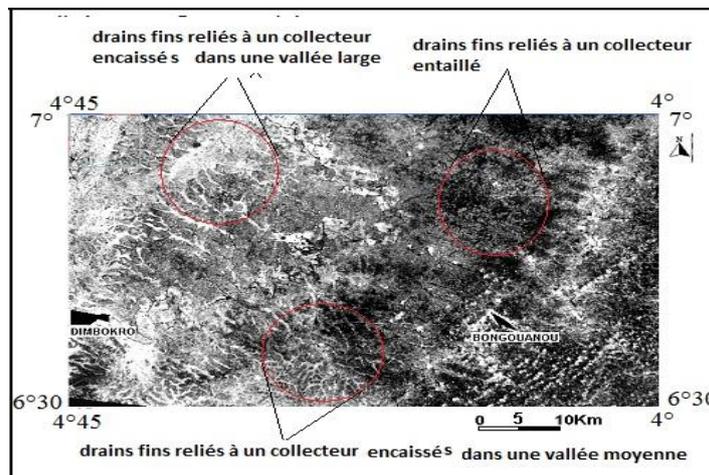


Figure 6 : Canal ACP 2

3-3. Marques de l'érosion hydrique latérale et regroupement par types

La composition colorée des trois canaux ACP a permis de révéler les différentes réactions à l'érosion hydrique latérale. Ces différentes réactions qui sont chacune propres à un espace géographique donné (*Figure 7*) ont permis la délimitation de cinq zones. Au sein de la dite composition colorée, les composantes terrestres sont rougeâtres. Elles s'expriment dans une gamme qui commence avec le jaune. Les teintes associées sont vives et claires. Au Nord-Ouest et à l'Est, les marques de l'érosion latérale ne sont pas observées à l'échelle de l'image satellitale. Les cours d'eau y sont filiformes. Elles s'expriment à travers les forêts galeries qui les bordent. Au Nord, l'érosion hydrique latérale ne s'exprime qu'au niveau des collecteurs secondaires. La Mandia qui est le principal collecteur est filiforme. Elle est incluse au sein d'une surface dont les bordures lui sont parallèles. Au niveau de cette surface, les composantes terrestres (teinte claire et fushia) ont une plus forte expression que la végétation (teinte verte et bleu). Au Centre-Ouest et au Sud-Ouest, l'érosion latérale délimite de larges bandes. Ces bandes sont plus nettes dans le Centre-Ouest où elles sont visibles au niveau de tous les collecteurs quel que soit leur importance. Dans le Sud-Ouest, les dites bandes sont formées par le regroupement des teintes rougeâtres qui expriment une exploitation à des fins agricoles.

3-4. Corrélation entre les formations géologiques et les marques de l'érosion hydrique latérale

En se référant aux travaux de [5], le Nord-Ouest (zone 3) est une portion de la vaste aire granitique du Centre de la Côte d'Ivoire tandis que, l'Est correspond aux métasédiments du paléobassin de la Comoé. Cette réalité permet d'affirmer que les recouvrements superficiels des granites sont peu affectés par l'érosion hydrique latérale. La dite assertion est confirmée par le comportement de la Mandia (zone 1) dans le Centre-Ouest. En effet, Les bordures de la surface qui englobe la Mandia correspondent aux limites du granite concordant interprété par [5]. Contrairement aux granites, les métasédiments sont très affectés par l'érosion hydrique latérale lorsqu'ils sont sous un faible couvert végétal. C'est le cas dans le Centre-Ouest (zone 2). En zone préforestière, notamment dans le Sud-Ouest (zone 4), l'érosion hydrique met en place des dépôts minéraux qui aux contacts de la couverture forment des terres arables. Cet aspect explique la présence des sites d'exploitations agricoles qui sont observés au niveau des espaces créés par l'érosion hydrique. A l'Est, en zone forestière (zone 5), la couverture végétale assure la protection des formations schisteuse qui à l'ouest sont très marquées par l'érosion hydrique latérale.

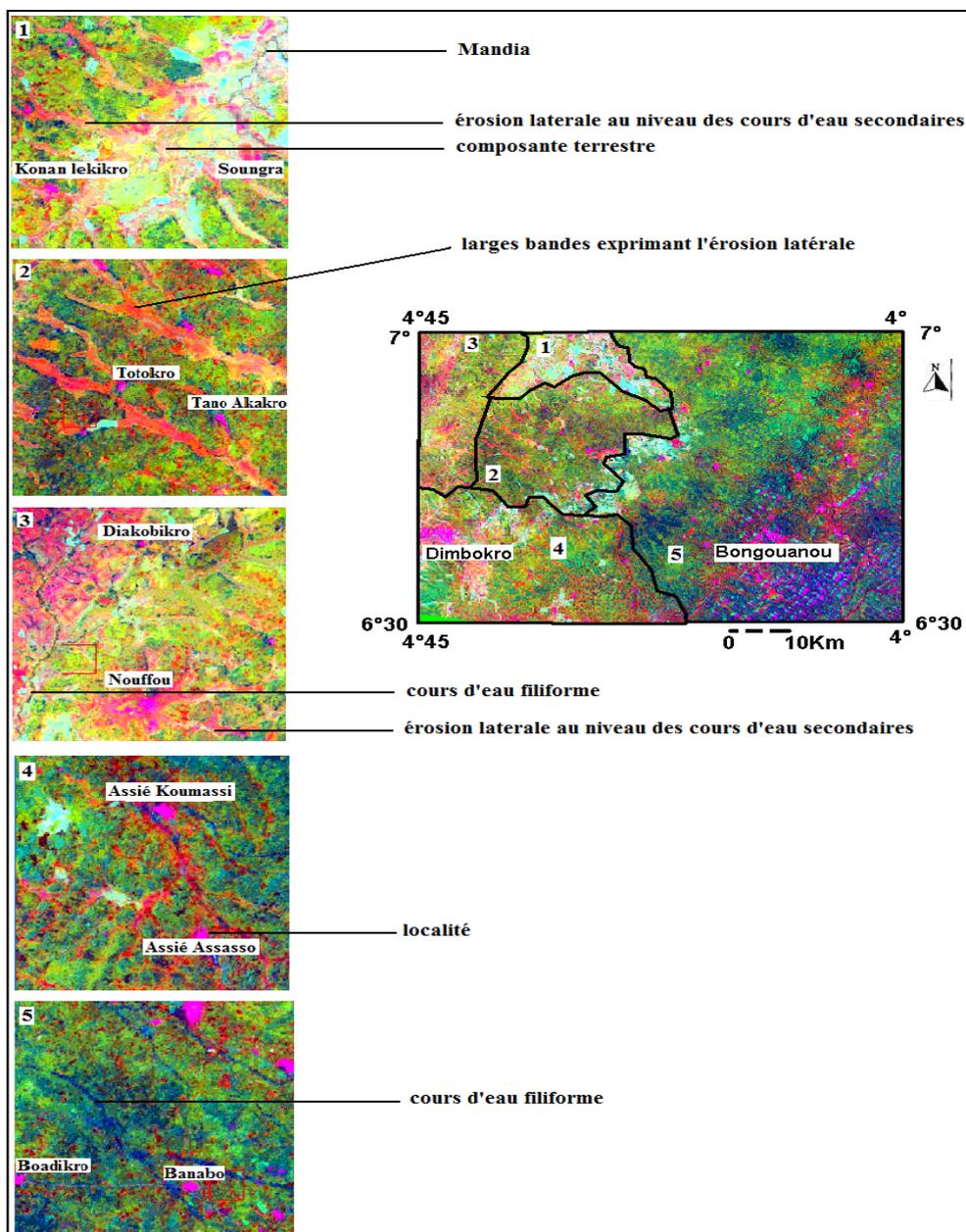


Figure 7 : Résultats de la composition des ACP

3-5. Validation

3-5-1. Formations géologiques et leurs modes d'affleurement

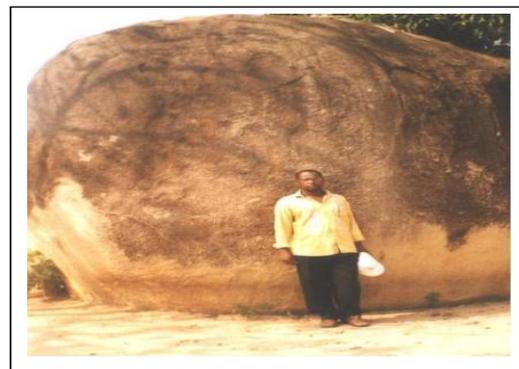
Les affleurements sont rares. En effet, seuls cinq affleurements ont été observés sur la zone d'étude (4537,5 km²) qui représente approximativement la moitié de la surface d'un degré carré (12100 km²). Ils sont tous localisés sur la rive droite du N'Zi, précisément à Dida-Moessou (Centre), Kouadio-Tèkro (Sud-Ouest) et Kprakro (Ouest). Le mode d'affleurement (**Figure 8**) dans cette zone savanicole est fonction de la nature des roches et de la densité du couvert végétal. En effet, Les granites sont sous forme de "boules flottantes" sur les surfaces non couvertes (villages). Ils sont sous forme de blocs lorsque la végétation est de type arbustif. Lorsque la couverture végétal est faible (paille), les granites sont sous forme de dalles. Les affleurements sains de schistes sont localisés dans le N'Zi, précisément dans les zones de rupture de pentes (Kouadio-Tèkro et à Yébouébo). Les affleurements sont caractérisés par une faible extension qui est de l'ordre de l'hectare. Cette réalité explique en partie, l'impossibilité de la détection des affleurements dans l'image satellitale (1 / 200000). Les formations géologiques présentent de légères variations au sein de leurs familles respectives. La différence entre les schistes qui sont tous sériciteux et chloriteux est liée à la granulométrie des constituants des feuilletés. A Agoua, ils sont fins, tandis qu'à Broukro, ils sont grossiers. Riche en quartz, les grains de ce matériau peuvent être anguleux, mats, quelque fois arrondis ou émoussés. La formation présente des enrichissements locaux en hématite. Ces observations pourraient avoir une origine structurale. En effet, les schistes à Agoua sont caractérisés par l'existence de micropilis fins et serrés. Le granite qui affleure à Kprakro, révèle une chloritisation plus intense de la biotite. Au sein de ces différents granites, la texture, notamment la taille des grains, n'a pas permis de délimiter des sous faciès. Dans l'ensemble, ces observations de terrain sont conformes à celles de [5]. Ce constat conforte l'interprétation de la réaction des roches que nous avons élaborée dans le paragraphe 3.4.

3-5-2. Marques de l'érosion

A l'affleurement, les roches présentent des marques (**Figure 9**) de leur réaction à l'altération superficielle. Ces marques varient en fonction du mode d'affleurement. En effet, sur les dalles, les écailles qui proviennent de la mise en place du magma par des dépôts successifs, se détachent sous forme d'entités plates et subcirculaires. Les dalles révèlent également des crevasses ovales individualisées ou juxtaposées. Ces crevasses montrent une zonalité d'altération qui est marquée par une intensité décroissante de l'extérieur vers l'intérieur. Sur les blocs, ces marques écailles décrivent des discontinuités de grande taille à sections rectiligne ou courbes. Le volume de ces discontinuités augmente avec l'action de l'érosion. Ainsi dans les zones où le couvert végétal est inexistant, les lèvres de ces discontinuités sont ouvertes et larges. L'érosion hydrique est une dynamique qui s'exerce sur les roches dont les réactions qui sont dépendantes de la nature de celles-ci impriment une signature au paysage. Ces informations sont sur l'image et également sur la roche.



Blocs de granite sous arbuste



Boule flottante à Dida-Moessou

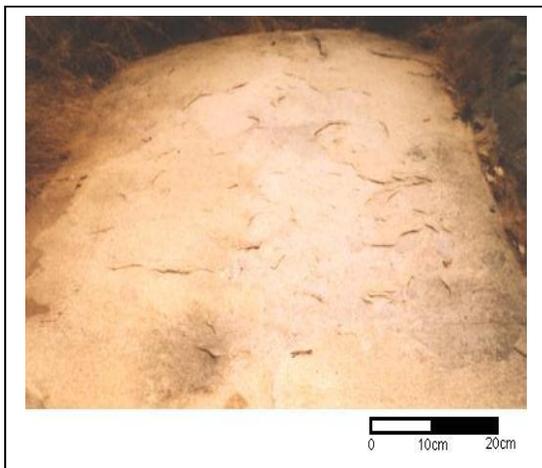


Dalles à Kouadio-Tèkro

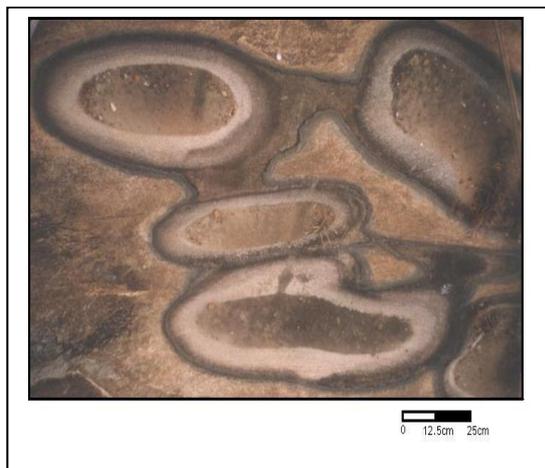


Schistes sains dans le N'zi

Figure 8 : Modes d'affleurement



Ecaille de desquamation



Crevasses ovales



Accentuation de l'écaillage sur terrain nu (cours d'école à Dida-Moessou)

Figure 9 : Marques de l'altération météorique

4. Discussion

Dans le Baoulé-Est, il existe un lien direct entre les formations géologiques et l'expression de l'érosion hydrique latérale. En effet, les granites sont peu affectés à grande échelle par l'érosion hydrique latérale. *A contrario*, les formations pélitiques schisteuses sont très affectées par ce type d'érosion. Cette observation majeure a pour corolaire direct la validation de l'utilisation des empreintes de l'érosion hydrique latérale dans l'interprétation de la cartographie géologique par télédétection. Cette situation confirme le rôle géologique de l'eau dans la modélisation de la topographie comme l'a affirmé [11]. Bessoles s'étant appuyé sur les travaux de [12, 13]. Ces auteurs ont été cités par [14]. Ces situations ont montré qu'une exploitation de l'expression de l'érosion hydrique à des fins géologiques a pour fondement la morphologie des drains. Toutefois, [4] avait suggérer une approche méthodologique qui intègre le couvert végétal. En effet, dans l'indice Baoulé-Est, la confirmation du lien direct ci-dessus établi entre l'expression de l'érosion hydrique latérale et les réactions des formations géologiques, est nuancée à la fois par le couvert végétal et l'épaisseur des couches d'altérites. Dans la zone granitique, sous un couvert végétal identique, c'est la végétation qui est le facteur inhibiteur de l'érosion hydrique latérale. Dans une étude récente, [15] ont montré que les zones vulnérables à l'érosion sont caractérisées par un substrat fragile à pente raide où le couvert végétal est peu protecteur. Les résultats de la présente étude ont confirmé les conclusions de [15]. Les composantes terrigènes lorsqu'elles sont épaisses, constituent un frein à l'expression de l'érosion hydrique latérale. Cette observation est conforme aux conclusions de [16]. Qui stipulent que, à l'échelle des parcelles et des bassins versants, l'épaisseur d'une couche précise est un facteur important de l'évaluation de l'érosion hydrique latérale. [17] ont révélé que dans un environnement montagnard, les zones qui subissent une forte érosion, sont caractérisées par un couvert végétal peu dense. Cette observation est bien établie dans l'Est montagnard schisteux de l'indice du Baoulé-Est où l'érosion hydrique latérale est peu visible à cause du couvert forestier. En effet, les schistes en zone savanicole sont fortement affectés par l'érosion hydrique latérale. A l'opposé, [18] avaient conclu que la pente est un facteur essentiel de l'évaluation de l'érosion hydrique latérale.

5. Conclusion

L'approche adoptée a confirmé que la lithologie est un facteur essentiel de l'érosion hydrique. Aussi la démarche qui consiste à utiliser les effets de l'érosion hydrique latérale dans la cartographie géologique est valable et même conseillée. Les résultats de cette approche montrent que les bandes ETM + 2, ETM + 3 révèlent la meilleure des corrélations ($R^2 = 0,92$) tandis que, ETM + 2 et ETM + 4 présentent la plus forte décorrélation ($R^2 = 0,23$). La redondance d'informations tout comme la disparité de l'information s'exprime dans les mêmes niveaux de tons. Concernant les canaux ACP, ils assurent une distribution équitable de l'information ainsi qu'une bonne discrimination des composantes par catégories. Le canal ACP 2 rehausse parfaitement les cours d'eau et leurs environnements immédiats. Cinq types de réactions à l'érosion hydrique latérale ont délimité cinq zones géographiques. Au Nord-Ouest et à l'Est, les marques de l'érosion latérale ne sont pas observées à l'échelle de l'image satellitale. Au Centre-Ouest et au Sud-Ouest, l'érosion latérale délimite de larges bandes. Au Nord, l'érosion hydrique latérale ne s'exprime qu'au niveau des collecteurs secondaires. La composition du substratum montre que les recouvrements superficiels des granites sont peu affectés par l'érosion hydrique latérale. Les métasédiments sont très affectés par l'érosion hydrique latérale lorsqu'ils sont sous un faible couvert végétal. En zone forestière, la couverture végétale assure la protection des formations schisteuse. La validation sur le terrain, a révélé que le mode d'affleurement est fonction de la nature des roches et de la densité du couvert végétal. Sur la roche, les marques de l'érosion hydrique latérale, notamment les écailles et les crevasses évoluent en discontinuités ouvertes et larges. L'intensité de ces dégradations est tributaire dans une large mesure du couvert végétal et du recouvrement terrigène.

Références

- [1] - G. GUILLESPSIE, "Measurement and characterization of spatial distribution", *Tectophys*, Vol. 226 (1993) 113 - 115
- [2] - J. Y. SCANVIC, "Utilisation de la télédétection dans les sciences de la terre", Bureau de recherches géologiques et minières, *Manuel et méthodes*, N°7 (1983) 50 p.
- [3] - F. BONN et G. ROCHON, "Précis de télédétection, Principes et Méthodes", Presses de l'Université du Québec/AUPELF, Sainte Foy, Québec, Vol. 1 (1992) 210 - 235
- [4] - J. P. DEROIN, J. CHOROWICZ, A. L. G.TAMAIN, T. D EROIN, PH. DUTARTRE, J. F MALON, et J. Y. SCANVIC, "Combinaison d'images de télédétection et de données exogènes pour la compréhension géologique des paysages. Application à la cartographie lithologique et à l'analyse structurale en pays Cevenol (massif central français)", *Bulletin de la Société française de photogrammétrie et de télédétection*, N°122 (1991) 100 p.
- [5] - C. DELOR, Y. SIMEON, A. KOUAMELAN, J. J. PEUCAT, "Persistance de processus archaïques de création crustal au birimien (Paléoprotérozoïque) en Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest)", *Réunion des Sciences de la Terre*, S. G. Fr., N°10 (1995) 20 p.
- [6] - B. TAGINI et M. GOBERT, "Carte géologique de la Côte d'Ivoire", SODEMI, (1972) 20 p.
- [7] - I. YACE, "Initiation à la géologie : l'exemple de la Côte d'Ivoire et de l'Afrique de l'Ouest", SODEMI, CEDA, (2002) 183 p.
- [8] - J. P. LACOMBE, "Initiation au Logiciel ENVI 3.2", Télédétection spatial, Cahier de travaux dirigés, Ecole Normale Supérieure Agronomique de Toulouse, (2001) 87 p.
- [9] - M. GONZALES, "Digital image processing", *Wesley publishing company*, (1993) 7716 p.
- [10] - J. BIEMI, "Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants subsahéliens du socle cristallin d'Afrique de l'Ouest : hydrostructurale, hydrodynamique et isotopie des aquifères discontinus des sillons et aires granitiques de la haute Marahoué (Côte d'Ivoire)", Thèse de Doctorat d'état, Université nationale de Côte d'Ivoire, (1992) 479 p., 178 fig.
- [11] - B. BESSOLES, "Géologie de l'Afrique : le craton Ouest-africain", Mém. BRGM, France, N°88, (1977) 403 p.
- [12] - R. E. HORTON, "Erosional development of streams and their drainage bassins : hydrological approach to quantitative morphology", *Bull. Géol. Soc. Am.*, New York, Vol. 56 (1945) 275 - 370
- [13] - A. D. HOWARD, "Drainage analysis in geological interpretation", *Bull. Am. Geol.*, N°20, (1967) 330 p.
- [14] - P. GIOAN, "Description et analyse préliminaire des alignements hydrographiques du massif du Chaillu et de sa bordure méridionale (République du Congo)". *Rév. Géologie dynamique et de géographie physique*, Paris, Vol. 26 (1985) 299 - 310
- [15] - S. BOUGERRA et A. BOUANANI, Cartographie qualitative de la sensibilité du sol à l'érosion hydrique : Cas du bassin versant oued Boukiou (nord-ouest de l'Algérie), *Étude et Gestion des Sols*, Vol. 23 (2016) 91 - 100
- [16] - L. MARTIN, "Morphologie, sédimentologie et paléogéographie du quaternaire récent du plateau continental ivoirien", Thèse de doctorat d'état, Université de Paris VI, ORSTOM, (1973) 340 p.
- [17] - H. EL HAGE HASSAN, L. CHARBEL et L. TOUCHART, Cartographie des conditions de l'érosion hydrique des sols au Mont-Liban : exemple de la région d'El Aaqouira, *Physio-Géo*, Vol. 9 (2015) 140 - 156
- [18] - A. EL GAROUANI, H. CHEN, L. LEWIS, A. TRIBAK, M. ABAHROUR, Apport de la Télédétection et du SIG pour le suivi spatio-temporel de l'occupation du sol et de l'érosion nette dans le bassin de l'Oued Tlata (Maroc), *Actes des JSIRAUF*, Hanoi, (6-9 novembre 2007) 1 - 9
IVOIREGEO, "Côte d'Ivoire géographie", (2002). www.africanchess.com