

Revue Ivoirienne de Géographie des Savanes



RIGES

www.riges-uao.net

ISSN: 2521-2125

Numéro 15

Décembre 2023



Publiée par le Département de Géographie de l'Université Alassane OUATTARA de Bouaké

INDEXATIONS INTERNATIONALES



<https://journal-index.org/index.php/asi/article/view/12202>

Impact Factor: 1,3

MIRABEL

<https://reseau-mirabel.info/revue/14910/Revue-ivoirienne-de-geographie-des-savanes-RIGES>

SJIF Impact Factor

<http://sjifactor.com/passport.php?id=23333>

Impact Factor: 6,785 (2023)

Impact Factor: 4,908 (2022)

Impact Factor: 5,283 (2021)

Impact Factor: 4,933 (2020)

Impact Factor: 4,459 (2019)

ADMINISTRATION DE LA REVUE

Direction

Arsène DJAKO, Professeur Titulaire à l'Université Alassane OUATTARA (UAO)

Secrétariat de rédaction

- **Joseph P. ASSI-KAUDJHIS**, Professeur Titulaire à l'UAO
- **Konan KOUASSI**, Maître de Conférences à l'UAO
- **Dhédé Paul Eric KOUAME**, Maître-Assistant à l'UAO
- **Yao Jean-Aimé ASSUE**, Maître de Conférences à l'UAO
- **Zamblé Armand TRA BI**, Maître de Conférences à l'UAO
- **Kouakou Hermann Michel KANGA**, Maître-Assistant à l'UAO

Comité scientifique

- **HAUHOUOT Asseypo Antoine**, Professeur Titulaire, Université Félix Houphouët Boigny (Côte d'Ivoire)
- **ALOKO N'Guessan Jérôme**, Directeur de Recherches, Université Félix Houphouët Boigny (Côte d'Ivoire)
- **BOKO Michel**, Professeur Titulaire, Université Abomey-Calavi (Benin)
- **ANOH Kouassi Paul**, Professeur Titulaire, Université Félix Houphouët Boigny (Côte d'Ivoire)
- **MOTCHO Kokou Henri**, Professeur Titulaire, Université de Zinder (Niger)
- **DIOP Amadou**, Professeur Titulaire, Université Cheick Anta Diop (Sénégal)
- **SOW Amadou Abdoul**, Professeur Titulaire, Université Cheick Anta Diop (Sénégal)
- **DIOP Oumar**, Professeur Titulaire, Université Gaston Berger Saint-Louis (Sénégal)
- **WAKPONOU Anselme**, Professeur HDR, Université de N'Gaoundéré (Cameroun)
- **SOKEMAWU Koudzo**, Professeur Titulaire, Université de Lomé (Togo)
- **HECTHELI Follygan**, Professeur Titulaire, Université de Lomé (Togo)
- **KADOUZA Padabô**, Professeur Titulaire, Université de Kara (Togo)
- **GIBIGAYE Moussa**, Professeur Titulaire, Université Abomey-Calavi (Benin)

EDITORIAL

La création de RIGES résulte de l'engagement scientifique du Département de Géographie de l'Université Alassane Ouattara à contribuer à la diffusion des savoirs scientifiques. RIGES est une revue généraliste de Géographie dont l'objectif est de contribuer à éclairer la complexité des mutations en cours issues des désorganisations structurelles et fonctionnelles des espaces produits. La revue maintient sa ferme volonté de mutualiser des savoirs venus d'horizons divers, dans un esprit d'échange, pour mieux mettre en discussion les problèmes actuels ou émergents du monde contemporain afin d'en éclairer les enjeux cruciaux. Les enjeux climatiques, la gestion de l'eau, la production agricole, la sécurité alimentaire, l'accès aux soins de santé ont fait l'objet d'analyse dans ce présent numéro. RIGES réaffirme sa ferme volonté d'être au service des enseignants-chercheurs, chercheurs et étudiants qui s'intéressent aux enjeux, défis et perspectives des mutations de l'espace produit, construit, façonné en tant qu'objet de recherche. A cet effet, RIGES accueillera toutes les contributions sur les thématiques liées à la pensée géographique dans cette globalisation et mondialisation des problèmes qui appellent la rencontre du travail de la pensée prospective et de la solidarité des peuples.

**Secrétariat de rédaction
KOUASSI Konan**

COMITE DE LECTURE

- KOFFI Brou Emile, Professeur Titulaire, UAO (Côte d'Ivoire)
- ASSI-KAUDJHIS Joseph P., Professeur Titulaire, UAO (Côte d'Ivoire)
- BECHI Grah Félix, Professeur Titulaire, UAO (Côte d'Ivoire)
- MOUSSA Diakité, Professeur Titulaire, UAO (Côte d'Ivoire)
- VEI Kpan Noël, Maître de Conférences, UAO (Côte d'Ivoire)
- LOUKOU Alain François, Maître de Conférences, UAO (Côte d'Ivoire)
- TOZAN Bi Zah Lazare, Maître de Conférences, UAO (Côte d'Ivoire)
- ASSI-KAUDJHIS Narcisse Bonaventure, Maître de Conférences, UAO (Côte d'Ivoire)
- SOKEMAWU Koudzo, Professeur Titulaire, U L (Togo)
- HECTHELI Follygan, Professeur Titulaire, U L (Togo)
- KOFFI Yao Jean Julius, Maître de Conférences, UAO (Côte d'Ivoire)
- Yao Jean-Aimé ASSUE, Maître de Conférences, UAO
- Zamblé Armand TRA BI, Maître de Conférences, UAO

Sommaire

<p>ASSEMIAN Assiè Emile</p> <p><i>Caractéristiques morphologiques et hydrographiques du bassin versant du Bandama rouge, centre de la Côte d'Ivoire</i></p>	7
<p>ALLARAMADJI MOULDJIDE, BAOHOUTOU LAHOTÉ, Robert MADJIGOTO</p> <p><i>Géomatique appliquée à l'analyse hydrologique et hydrogéologique dans la province du Logone occidental au Tchad</i></p>	26
<p>Babacar FAYE</p> <p><i>Apports socio-économiques de Parkia biglobosa ((Jacq.) R.Br. ex G. Don) dans les terroirs villageois de Kartiack et Mlomp (Bignona, Ziguinchor, Sénégal)</i></p>	43
<p>COULIBALY YVONNE, Nassa Dabié Désiré Axel</p> <p><i>Problématique de la hausse des prix de légumes sur le marché de détail de Songon-Agban (Abidjan-Côte d'Ivoire)</i></p>	66
<p>KOTCHI Koffi Joachim, Dien Kouayé Olivier, KANGA Koco Marie-Jeanne, N'GUESSAN Kouassi Guillaume, KONAN Kouamé Pascal</p> <p><i>La transformation du riz paddy, un défi majeur pour le développement durable de la riziculture dans la région du Goh (Côte d'Ivoire)</i></p>	87
<p>MOATILA Omad Laupem</p> <p><i>Pénuries en eau et stratégies paysannes d'adaptation sur le tronçon Ngo-Djambala en République du Congo</i></p>	103
<p>Kouamé TANO</p> <p><i>Problématique de la dynamique des localités rurales en Côte d'Ivoire : cas de l'électrification villageoise dans la sous-préfecture de Daloa (Centre-Ouest, Côte d'Ivoire)</i></p>	117
<p>DOSSO Yaya</p> <p><i>Pêche et amélioration des conditions de vie des populations dans la sous-préfecture de Kossou (Côte d'Ivoire)</i></p>	131

OUATTARA Yagnama Rokia-Coulibaly <i>Production artisanale de l'huile de palme rouge et valorisation des déchets à Toupah dans la région des grands-ponts, Côte d'Ivoire</i>	152
Hetemin Cavalo SILUE, Konan KOUASSI, N'goh Koffi Michael YOMAN, Arsène DJAKO <i>La recrudescence des conflits agriculteurs-éleveurs dans la Sous-préfecture de Sikasso : une cohésion sociale à rude épreuve</i>	167
YEBOUE Konan Thiéry St Urbain, ZOGBO ZADY EDOUARD <i>Offre et consommation du riz dans la ville de Bouaké</i>	184
DJE Bi DJE Ruffin, KOUASSI Konan <i>Cartographie de la situation épidémiologique dans la partie urbaine du District Sanitaire Bouaké Nord-Ouest (Centre, Côte d'Ivoire)</i>	213
SEWADE SOKEGBE Grégoire, GNIMADI Codjo Clément <i>Evaluation de la mise en œuvre de la politique de gestion de l'eau potable en milieu rural dans la commune de Djakotomey au sud-ouest du Bénin : éléments de bilan et leçons apprises</i>	229
MEITE Issoumaila, ATTA Kouacou Jean-Marie, N'GUESSAN Kouassi Fulgence <i>Analyse cartographique et statistique de l'occupation du sol dans la Sous-Préfecture de Séguéla (Côte d'Ivoire)</i>	249
AGBAMARO Mayébinasso, DANDONOUGBO Iléri <i>Infrastructures routières et ferroviaires pendant la période coloniale au Togo (1884-1960) : analyse cartographique</i>	266
BASSOLE Zelbié, YANOOGO Pawendkigou Isidore, OUEDRAOGO Joël <i>Perceptions paysannes de la dégradation de la fertilité des sols autour des bas-fonds dans la commune de Réo (Burkina Faso)</i>	289
COULIBALY Salifou <i>Étalement urbain et le difficile accès des populations à l'eau potable dans la ville de Hiré (Côte d'Ivoire)</i>	309
YAO N'goran Yannick, SERHAN Nasser, MAFOU Kouassi Combo <i>Dynamique des populations migrantes et mutations spatiales à Assinie-Mafia</i>	328

CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES ET HYDROGRAPHIQUES DU BASSIN VERSANT DU BANDAMA ROUGE, CENTRE DE LA COTE D'IVOIRE

ASSEMIAN Assiè Emile, Maître Assistant,

Université Alassane Ouattara de Bouaké (Côte d'Ivoire),

Département de Géographie, Laboratoire de géographie. Adresse : 01 BP V 18

Bouaké 01, E- mail : assmilea@gmail.com

(Reçu le 10 août 2023 ; Révisé le 15 Octobre 2023 ; Accepté le 15 novembre 2023)

Résumé

La présente étude aborde le problème de la méconnaissance de la morphologie du paysage et du réseau hydrographique engendré dans le bassin versant du Bandama rouge. L'objectif de cette étude est de mettre en évidence les caractéristiques des formes, des types de relief et le réseau hydrographique dans ce bassin versant, car elles conditionnent les activités économiques des populations qui y vivent. Pour atteindre cet objectif, la méthodologie utilisée s'est appuyée sur la cartographie des facteurs d'organisation de la morphologie du paysage et l'extraction du réseau hydrographique en utilisant une image du modèle numérique de terrain (MNT) de 30 m de résolution spatiale. Le logiciel utilisé pour les traitements est Arcgis version 10.5. La méthode de Gravelius a permis de déterminer la forme du bassin versant. Les résultats montrent que le bassin versant du Bandama rouge est une zone de plateau d'altitude variant entre 80 à 500 m, avec des chaînes de collines à l'extrême nord. Les pentes varient entre 0 à 73%. Ce plateau est très disséqué avec des vallées servant la circulation des cours d'eaux. Les résultats indiquent aussi que ce bassin versant a une forme allongée. La méthode de Strahler appliquée montre que le réseau hydrographique est d'ordre cinq. En s'appuyant sur les traitements automatiques et les lois relatives à l'analyse du réseau hydrographique, nous avons fait ressortir l'organisation, la hiérarchisation et le degré de développement du réseau hydrographique. La densité de drainage évolue entre 0,12 km/ km² et 1,11 km/ km². L'indice de hiérarchisation diminue lorsque l'ordre augmente. Par ailleurs, le résultat de densité de drainage montre qu'il y'a une bonne couverture du réseau hydrographique.

Mots clés : Topographie, réseau hydrographie, bassin versant du Bandama rouge

Abstract

This study addresses the problem of the lack of knowledge of the landscape morphology and hydrographic network generated in the Bandama Rouge watershed. The aim of this study is to highlight the characteristics of the forms, types of relief and hydrographic network in this watershed, as they condition the economic activities of the populations living there. To achieve this objective, the methodology used was based on the mapping of landscape morphology organization factors and the

extraction of the hydrographic network using a digital terrain model (DTM) image of 30 m spatial resolution. The software used for processing was Arcgis version 10.5. The Gravelius method was used to determine the shape of the watershed. The results show that the Bandama Rouge watershed is a plateau zone, with altitudes ranging from 80 to 500 m, and ranges of hills in the extreme north. Slopes vary from 0 to 73%. The plateau is highly dissected, with valleys used for river circulation. The results also indicate that this watershed has an elongated shape. The Strahler method applied shows that the hydrographic network is of order five. Based on automatic processing and the laws relating to hydrographic network analysis, we have highlighted the organization, hierarchization and degree of development of the hydrographic network. Drainage density ranges from 0.12 km/ km² to 1.11 km/ km². The hierarchy index decreases with increasing order. Furthermore, the drainage density result shows that there is good coverage of the hydrographic network.

Keywords : Topography, hydrographic network, Bandama rouge watershed

Introduction

L'étude de la morphologie et du réseau hydrographique d'un bassin versant sont des facteurs importants dans l'aménagement des localités ou des régions (FAO, 2007, p.12). Les formes de la surface terrestre évoluent en réponse à une combinaison de processus naturels et anthropiques (T. COULIBALY, 2009 p 45). Située en Afrique de l'Ouest, la Côte d'Ivoire depuis 1960 connaît une croissance rapide de la population (RGPH, 2014 p.2). Ainsi, cette croissance galopante n'est pas sans impact sur la ressource en eau utilisable. Les activités économiques développées autour des eaux de surface (rivières, fleuves, lacs) et des barrages ont des impacts négatifs sur la qualité et la quantité des eaux (O. Fofana et al, 2017, p.305). En plus, les effets néfastes du réchauffement climatique impacte négativement dans certains endroits, les eaux de surface, entraînant ainsi, une réduction de la disponibilité en eau et le disfonctionnement des réseaux hydrographiques. De nos jours, des nouvelles techniques de production de MNT qui permet d'étudier le relief et le réseau hydrographie sont apparues telles que celles basées sur les données RSO (Radar à Synthèse d'Ouverture) et LIDAR (Light Detection And Ranging). La production de Modèles Numériques de Terrain (MNT) a subi d'importantes évolutions durant les deux dernières décennies en réponse à une demande croissante pour des besoins scientifiques et industriels. De nombreux satellites d'observation de la Terre, utilisant des capteurs tant optiques que radar, produisent des images MNT couvrant la plupart de la surface terrestre, permettent d'étudier la morphologie des bassins versants et le réseau hydrographique (A. CRAVE 1995, p.49). De plus, les algorithmes de traitement d'images ont subi d'importants développements. Ces évolutions ont fourni des MNT à différentes échelles pour tout utilisateur. Le MNT est une expression numérique de la topographie sous forme matricielle. Les applications basées sur la morphologie et

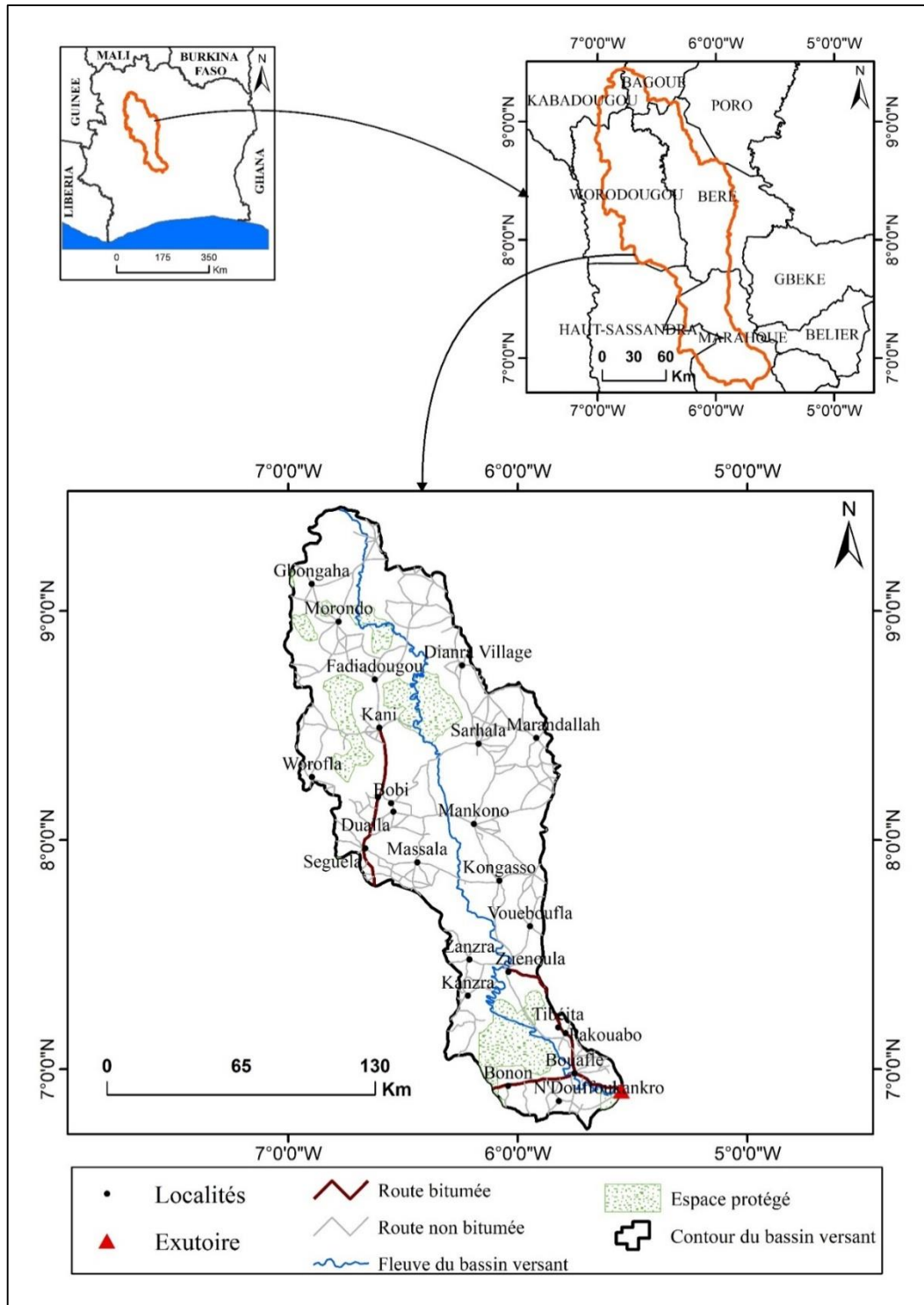
l'extraction du réseau hydrographie ont profité de ces progrès. En effet, ces applications exploitent les formes du terrain dont le MNT constitue une donnée de base. La Côte d'Ivoire, comme tout pays de l'Afrique de l'ouest, représente presque une uniformité de façon générale (J. M. AVENARD, 1971, p.10). Beaucoup de modèles permettent de distinguer son paysage. On a un paysage de montagne à l'ouest et dans les autres régions un paysage de plateau. Dans le bassin versant du Bandama rouge, le paysage est marqué d'une part par un relief peu accidenté et d'autre part, par une très forte pression humaine. L'espoir des populations rurales et urbaines repose désormais sur la maîtrise des caractéristiques de la morphologie du paysage et de son réseau hydrographique. Toutes les initiatives de développement prises dans ce sens se focalisent préalablement sur l'inventaire des paramètres morphologiques du milieu naturel (H. KONE, 1993, p.5). Ainsi, les caractéristiques morphologiques (altitude, forme, relief, pente) sont indispensables pour caractériser son environnement physique et leurs influences sur l'écoulement superficiel et l'aménagement (A. LAABIDI *et al*, 2016, p.261). Dans ce cas, il sera question d'analyser le réseau hydrographie et la morphologie du bassin versant de Bandama rouge afin de développer une meilleure gestion et une exploitation rationnelle de ses ressources naturelles. La méconnaissance du relief et le réseau hydrographique du bassin versant, qui est en perpétuel évolution suscitera l'intérêt de notre étude. Ce travail a donc pour objectif d'analyser les caractéristiques du réseau hydrographique et la morphologie du bassin versant à l'aide des images MNT de 30 m de résolution. Il est spécifiquement questions de mettre en évidence, les types d'altitudes, les caractéristiques hiérarchiques et la formes de ce bassin versant. La connaissance et la gestion du réseau hydrographique dans ce bassin versant pourraient résoudre le problème de pénurie d'eau potable dans les villes et villages situés dans ce bassin versant. Il s'agira aussi dans cette étude, d'analyser l'organisation du réseau hydrographique dans le bassin versant du Bandama rouge à l'aide des images du modèle numérique de terrain (MNT) du satellite STRM. L'extraction du réseau hydrographique à des fins cartographiques ou pour des analyses spatiales peut être réalisée automatiquement à l'aide du logiciel Arcgis 10.5. sur une image MNT.

1. Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant du Badama rouge s'étend du nord au centre de la Côte d'Ivoire, précisément entre les longitudes 5° 0'0'' et 7°0'0'' ouest et les latitudes 6°45' et 9°28' nord (figure1). Il occupe une superficie de 24300km² ce qui représente 25% de la superficie du bassin versant du fleuve Bandama. Le bassin versant du Bandama rouge est limité par le bassin du Bani Niger au Nord, par celui du Bandama blanc au Sud et à l'Est et celui du Sassandra à l'Ouest. Il prend sa source au Sud de Boundiali et se jette dans le Bandama blanc près du village de Bozi à Bouaflé. Les formations géologiques sont les granitoïdes et les formations du paléo protérozoïques. Le sol est hydromorphes dans les fonds des vallées et ferralitiques sur les versants et les

sommets. La végétation est une savane arborée au nord et au sud des forêts claires. Le bassin versant du Bandama rouge regorge de nombreuses caractéristiques qui influencent le système d'écoulement. Dans cette optique l'analyse des caractéristiques morphométriques permettra d'apprécier le mode d'écoulement des eaux dans le bassin versant.

Figure 1. Situation géographique du bassin versant du Bandama rouge



2. Matériels et méthodes

2.1. Matériels et données

Pour la réalisation de ce travail, nous avons d'abord utilisé des cartes topographiques (échelle 1/50000), fournies par le Centre d'Information Géographique et Numérique (CIGN). Ensuite, nous avons téléchargé des images raster Modèle Numérique de Terrain de 30 m de résolution sur le site www.earthexplorer.org qui proviennent des images Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Enfin, nous avons effectué une mission de terrain qui a permis de faire des observations visuelles pour valider les résultats des différents traitements des images. Les logiciels utilisés pour les différents traitements sont Arcgis 10.5 et Excel.

2.2. Méthodes

2.2.1. Prétraitement de l'image MNT

Pour reconstituer la zone d'étude qui est à cheval sur deux bandes de l'image MNT, une mosaïque est faite. Ensuite l'application de l'outil « remplissage » ou « fill sink » du logiciel Arcgis10.5 a permis de combler les vides contenus dans l'image pour éliminer les déformations géométriques et radiométriques. A l'issue de cette étape, une image MNT sans anomalie caractérisant la réalité de terrain est obtenue. La dernière phase de prétraitement de l'image MNT a consisté à extraire la zone d'étude à l'aide de l'outil « Spatial Analyst » et de la fonction « extraction par masque » du logiciel Arcgis10.5.

2.2.2. Analyse morphométriques

Un certain nombre de critères morphométriques ont été développés pour caractériser la topographie des terrains. Les critères les plus utilisés sont la vue en 2D des altitudes et le calcul des pentes. A l'aide du logiciel Arcgis 10.5, nous avons déterminé et établi la carte des pentes et la variabilité des altitudes en 2D pour élucider les reliefs et la morphologie du paysage du bassin versant du Bandama rouge. D'autres critères plus généraux sont aussi très précieux, comme ceux liés à l'analyse du réseau hydrographique de la zone d'étude, surface totale du bassin versant, longueur du réseau et ordre de Strahler du réseau. Le travail de morphométrie repose en très grande partie sur l'exploitation du MNT, qui permettent une automatisation des calculs sur Arcgis 10.5.

2.2.3. Indice de compacité de Gravelius

La forme du bassin versant du Bandama rouge a été déterminée grâce à l'indice de compacité de Gravelius (A. Laabidi et al., 2016, p.262). L'indice de compacité de Gravelius permet de qualifier les formes des bassins versants. Cet indice est proche de 1 pour un bassin versant quasiment circulaire et supérieur à 1 lorsque le bassin versant

est de forme allongée (L. KONATE, 1996 p 96). Les surfaces et les périmètres des bassins versants ont été mesurés automatiquement par le biais des techniques de digitalisation et la formule de calcul est la suivante :

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec :

K_G : est l'indice de compacité de Gravélius,

A : surface du bassin versant [Km²],

P : périmètre du bassin [Km].

2.2.4. Extraction du réseau hydrographique

Le traitement de l'image raster MNT a permis d'obtenir différents résultats. Nous avons entre autres : la carte du réseau hydrographique, la densité de drainage etc.... Cela a été possible grâce au logiciel Arcgis10.5. De plus, les autres résultats comme la vérification des lois de drainages ont été possibles grâce à Excel. En effet, le MNT téléchargé a permis d'extraire le réseau hydrographique de manière automatique. Pour cette extraction automatique du réseau hydrographique sur l'image MNT, nous avons utilisé dans l'outil « Spatial Analyst » la fonction hydrology (Fill, Flow direction, Flow accumulation, Stream to feature and Watershed) et la fonction conditional (con).

2.2.5. Hiérarchisation du réseau hydrographique

Une fois le réseau hydrographique extraite, une hiérarchisation s'en suit. La description de l'organisation du réseau hydrographique nécessite une hiérarchisation des cours d'eau. Pour cette hiérarchisation, la méthode de Strahler (1952) citée par J ALBAN (2014, p 10) fut appliquée. Cette méthode fut appliquée par certains auteurs en Côte d'Ivoire, à savoir M SYLLA (2021, p 37) et A.S.C KONE (2022, p 41). Dans cette classification de Strahler, tout drain qui n'a pas d'affluent se voit attribuer la valeur 1. Puis, le calcul de la valeur de chaque drain se fait selon la méthode suivante : un drain d'ordre n+1 est issu de la confluence de deux drains d'ordre n. L'ordre de Strahler d'un bassin versant est l'ordre du drain principal à l'exutoire. R CALOZ et C. COLLET, (2011, p.199) estiment que le nombre de Strahler d'une arborescence est une mesure numérique de sa complexité de branchement. Cette méthode est simple d'usage et accessible sur le logiciel Arcgis 10.5 où nous avons fait la manipulation. La classification d'un réseau hydrographique est une manière de hiérarchiser l'ensemble des branches de ce réseau en attribuant à chacune une valeur entière qui caractérise son importance.

2.2.6. Indice de hiérarchisation

C'est la proportion centésimale des segments hydrographiques d'un ordre donné par rapport au nombre total de segments du bassin versant. Il permet de mesurer la régularité et l'homogénéité de la maille hydrographique. L'indice est représenté sur un papier semi-logarithmique où les ordres sont placés en abscisse et les valeurs de l'indice en ordonnée. Si les points sont alignés, la hiérarchie est régulière et homogène. Cette formule s'écrit de la manière suivante :

$$IH = \left(\frac{N_x}{N} \right) 100$$

Avec :

IH : Indice de hiérarchisation

N_x : Nombre de cours d'eau d'un ordre x

N: Nombre total de cours d'eau

2.2.7. Rapport de confluence et le rapport de longueur

Le rapport de confluence est le rapport entre le nombre total de segments hydrographiques d'un ordre donné à celui de l'ordre immédiatement supérieur. Il est défini selon la formule ci-dessous :

$$rc = \frac{N_x}{N_{x+1}}$$

Avec :

rc : rapport de confluence

x : ordre d'un cours d'eau, x varie de 1 à ω (ω est l'ordre du cours d'eau principal)

N_x : nombre de cours d'eau d'ordre x ;

N_{x+1} : nombre de cours d'eau d'ordre x + 1

Introduit par A. CRAVE (1995, p 29), le rapport de longueur est le rapport de la longueur totale des rivières d'un ordre donné à celle des rivières de l'ordre immédiatement inférieur. On le définit selon la formule suivante :

$$RL = \frac{Lu}{Lu-1} \quad (5)$$

Avec :

RL : rapport de longueur

Lu : longueur des cours d'eau d'ordre u

Lu - 1 : longueur des cours d'eau d'ordre u - 1.

Le rapport de confluence et le rapport de longueur sont des formules empiriques qui permettent de différencier les formes du réseau hydrographique. Ils expriment le développement du réseau de drainage.

2.2.8. Densité de drainage

La mise en évidence de la densité de drainage est importante pour comprendre l'organisation du réseau hydrographique dans un espace donné. C'est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant. Elle est introduite par Horton (1957) cité par Y. D KOUASSI (2014, p35). Elle s'obtient par la formule suivante :

$$D = \frac{\sum Lx}{A}$$

Avec :

D : densité de drainage (km/km²) ;

Lx : longueur d'ordre x (km) ;

A : aire de la zone d'étude (km²)

La densité de drainage est un paramètre qui reflète la dynamique du bassin et le type de ruissèlement. Elle dépend de la géologie, des caractéristiques topographiques du bassin et les conditions climatologiques et anthropiques

3. Résultats

3.1. Caractéristique morphologique du bassin versant du Bandama rouge

3.1.1. Relief du bassin versant du Bandama rouge

Les caractéristiques morphologiques du bassin versant du Bandama Rouge seront détaillées comme suite : la forme, la variabilité des altitudes et les pentes. Le périmètre du bassin versant est 936 km et sa superficie est de 24300 km². Lorsque l'indice de compacité de Gravelius se rapproche de 1 le bassin versant est de forme circulaire. Cependant, dans notre cas la valeur de l'indice de compacité est **1,68** et est strictement supérieure à 1, alors notre bassin versant est de forme allongée. La carte de la figure 2, met en exergue la morphométrie du relief en 2D. Elle permet de voir la morphologie et la variabilité des altitudes du bassin versant de façon détaillé. Ici les altitudes varient entre 80 et 800 m. Les valeurs des altitudes les plus élevés (500 à 800 m) se trouve à l'extrême nord. Les altitudes variant entre 400 à 500m se trouvent aussi au nord, en amont du bassin versant (figure 2). Les altitudes variant entre 300 à 400 m se rencontrent au centre. Les altitudes évoluant entre 200 à 300 m s'observe au centre et

au sud du bassin versant. Les plus faibles altitudes, c'est-à-dire celles évoluant entre 80 à 200 m s'observe au sud, en aval du bassin versant. Dans ce bassin versant, on rencontre donc les chaînes de collines dans l'extrême nord. Leur altitudes évoluent entre 500 à 800 m. C'est à cet endroit que le cours d'eau principal prend sa source. Les zones de basses altitudes correspondent aux zones d'écoulement. En aval du bassin versant, les altitudes sont faibles, surtout à l'exutoire. Le sens de l'écoulement du cours principal se fait du nord vers le sud. En suivant l'évolution de la variabilité des altitudes qui diminuent progressivement du nord vers le sud, on comprend pourquoi le cours d'eau principal coule du nord vers le sud. Vu l'évolution des altitudes, la région d'étude est donc une zone de plateau, avec des chaînes de collines à l'extrême nord ou le cours d'eau principal prend sa source.

Figure 2 : Forme de relief et variabilité des altitudes du bassin versant du Bandama rouge

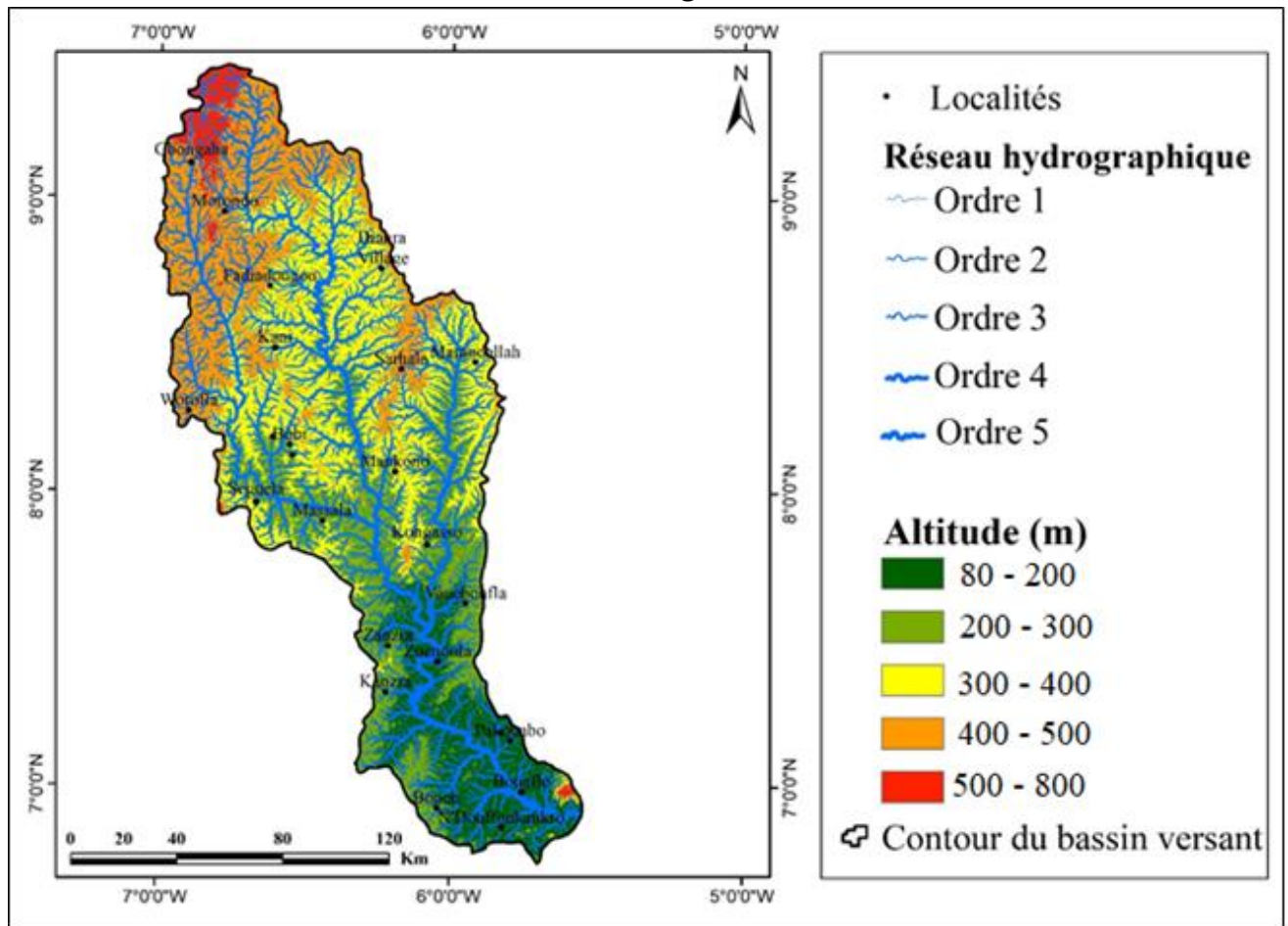
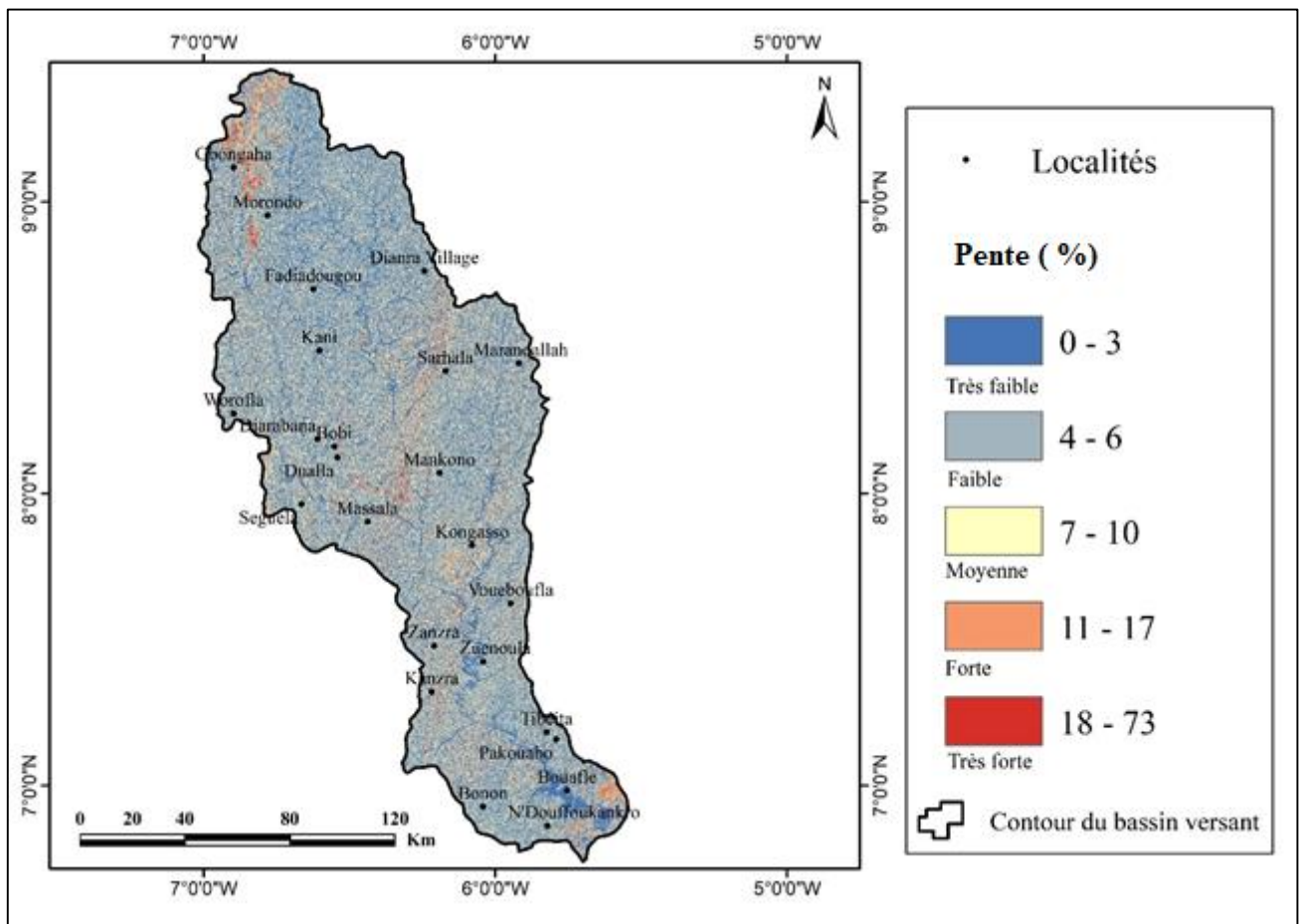


Figure 3 : Carte des pentes du bassin versant du Bandama rouge

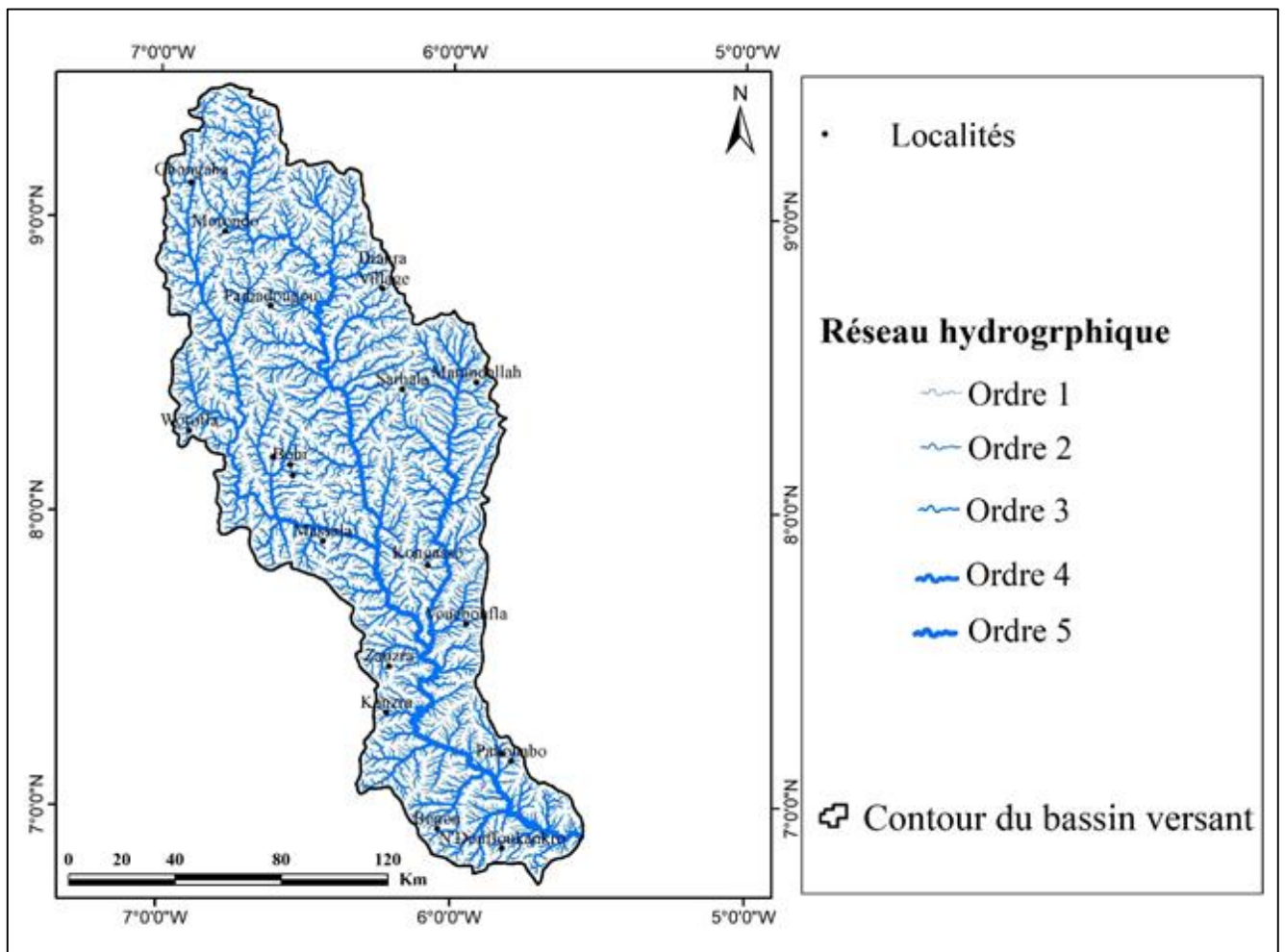


Source : image MNT, 2022

3.2. Caractéristique du réseau hydrographique

L'extraction du réseau hydrographique sur l'image raster MNT, a permis d'obtenir la carte du réseau hydrographique du bassin versant du Bandama rouge. La méthode de Strahler appliquée pour la hiérarchisation des cours d'eau a permis d'obtenir 5 ordres dans cette région d'étude (figure 4). La géométrie d'un réseau hydrographique peut être caractérisée par des règles simples basées sur la structure hiérarchique des affluents (segments) organisés en ordre. En effet, la classification d'un réseau hydrographique est une manière de hiérarchiser l'ensemble des branches de ce réseau en attribuant à chacune une valeur entière qui caractérise son importance. Les segments d'ordre 1 sont les cours d'eau sans affluent. Les segments d'ordre 2 naissent à la confluence de deux biefs d'ordre 1. Alors que ceux d'ordre 3 sont les résultats des rencontres de deux cours d'eau d'ordre 2. Quant aux segments d'ordre 4, ils apparaissent au contact de deux biefs d'ordre 3. Tandis que l'apparition des cours d'eau d'ordre 5 est le fait d'une confluence de deux segments hydrographiques d'ordre 4.

Figure 4. Réseau hydrographique du bassin versant du Bandama rouge

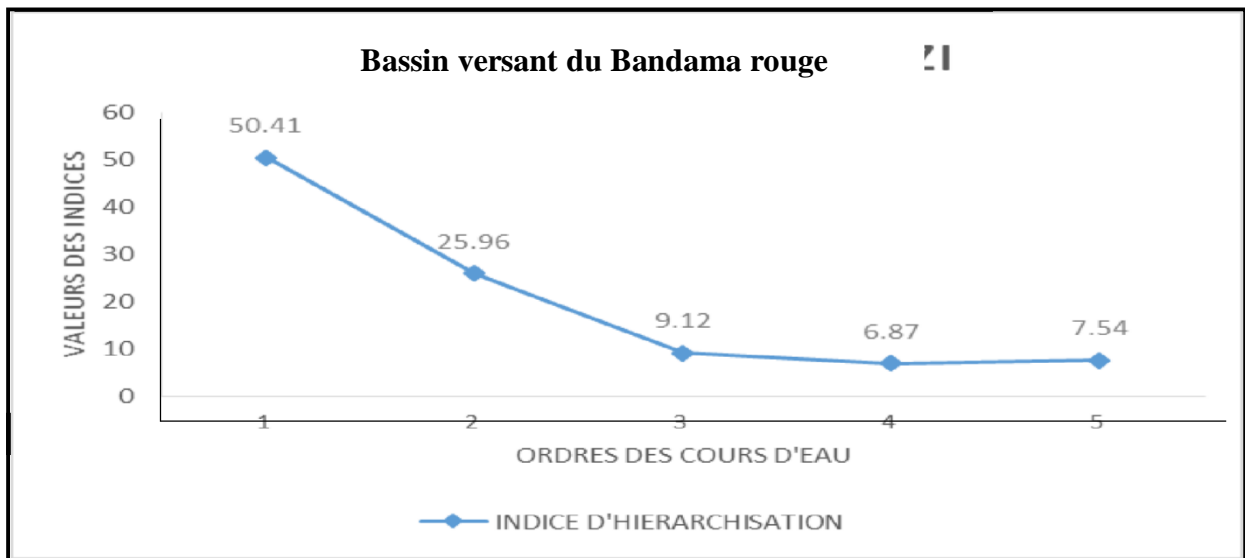


Source : image MNT, 2022

3.2.1. Indice de hiérarchisation

L'indice de hiérarchisation est la proportion centésimale des segments hydrographiques d'un ordre donné par rapport au nombre total de segments du bassin. Il permet de mesurer la régularité et l'homogénéité de la maille hydrographique. La figure 5 ci-dessous nous présente un semi-logarithmique où les ordres des cours d'eau sont placés en abscisse et les valeurs de l'indice en ordonnée. Cette hiérarchisation est hétérogène. Le graphique nous présente des points non alignés. De ce fait, le bassin versant présente une irrégularité du réseau hydrographique. L'allure générale de la courbe est descendante ce qui explique que les valeurs des cours d'eau sont décroissantes de l'ordre 1 à l'ordre 5. Toutefois, ces valeurs indiquent que les cours d'eau d'ordre 1 sont majoritaires avec 50,41% comblent directement la zone d'étude. Quant aux cours d'eau d'ordre 5, ils sont minoritaires avec 7,54 %. L'indice de hiérarchisation nous présente une courbe non linéaire. Nous pouvons conclure qu'il existe une hiérarchisation au sein des ordres.

Figure 5 : Indice d'hierarchisation des cours d'eaux

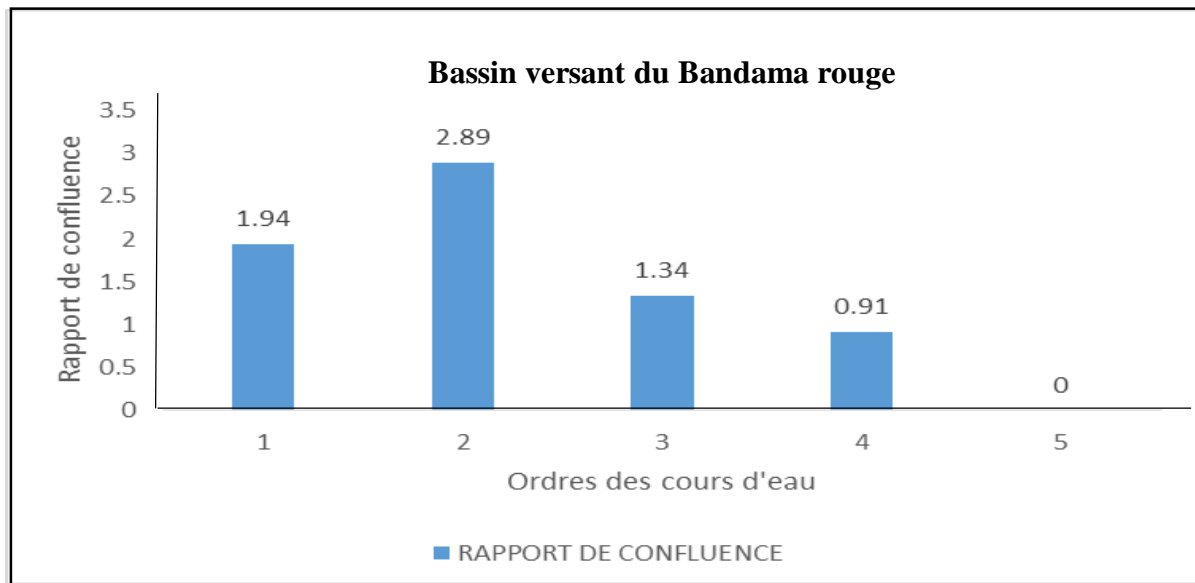


Source : image MNT, 2022

3.2.2. Rapport de confluence et le rapport de longueur

La figure 6 ci-dessous représente le rapport de confluence du bassin versant du Bandama rouge. Le rapport de confluence entre les différents ordres des cours d'eau de notre zone d'étude est appréciable. Il en ressort de ce graphique que la majorité des ordres des cours d'eau ont un rapport inférieur à 2. Notamment, pour les ordres 1,3 et 4, nous avons respectivement 1,94 ; 1,34 et 0,94. Pourtant le rapport de confluence d'un bassin versant présente un bon degré de développement que lorsqu'il varie entre 3 et 5. Seul le cours d'eau d'ordre 2 a un rapport de confluence se rapprochant de 3 soit 2,89. En ce qui concerne l'ordre 5, il a un degré nul soit 0. Nous pouvons donc dire que notre bassin versant ne présente pas un bon degré de développement.

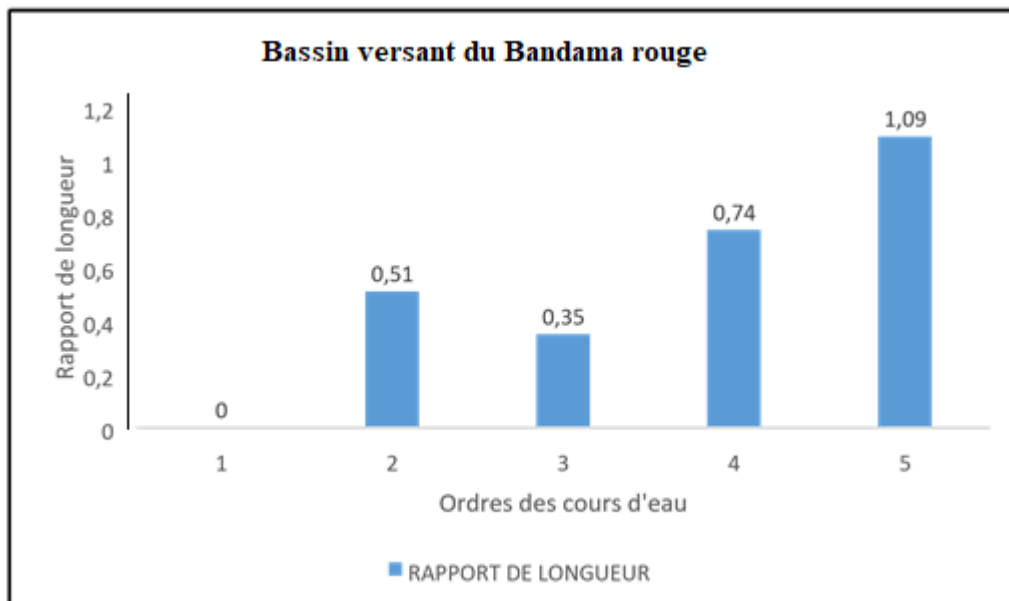
Figure 6. Rapport de confluence



Source : image MNT, 2022

Par ailleurs, la figure 7 ci-après représente le rapport de longueur du bassin versant du Bandama rouge. Pour ce qui est du rapport de longueur, nous notons un degré plus élevé au niveau des cours d'eau d'ordre 5 qui est de 1,09. Cependant, notre bassin compte plus de cours d'eau d'ordre 1 soit 301 avec un rapport totalement nul soit 0. Les autres ordres tels que les ordres 2,3et 4 ont respectivement 0,51 ; 0,35 et 0,74. Ces cours d'eaux ont une longueur totale de 597 Km. De ce fait, dans notre bassin, nous constatons une inégale répartition des cours d'eaux. Cela s'explique en grande partie par la topographie du terrain, qui apparait comme une zone très accidentée.

Figure 7: Rapport de longueur des cours d’eaux



Source : image MNT, 2022

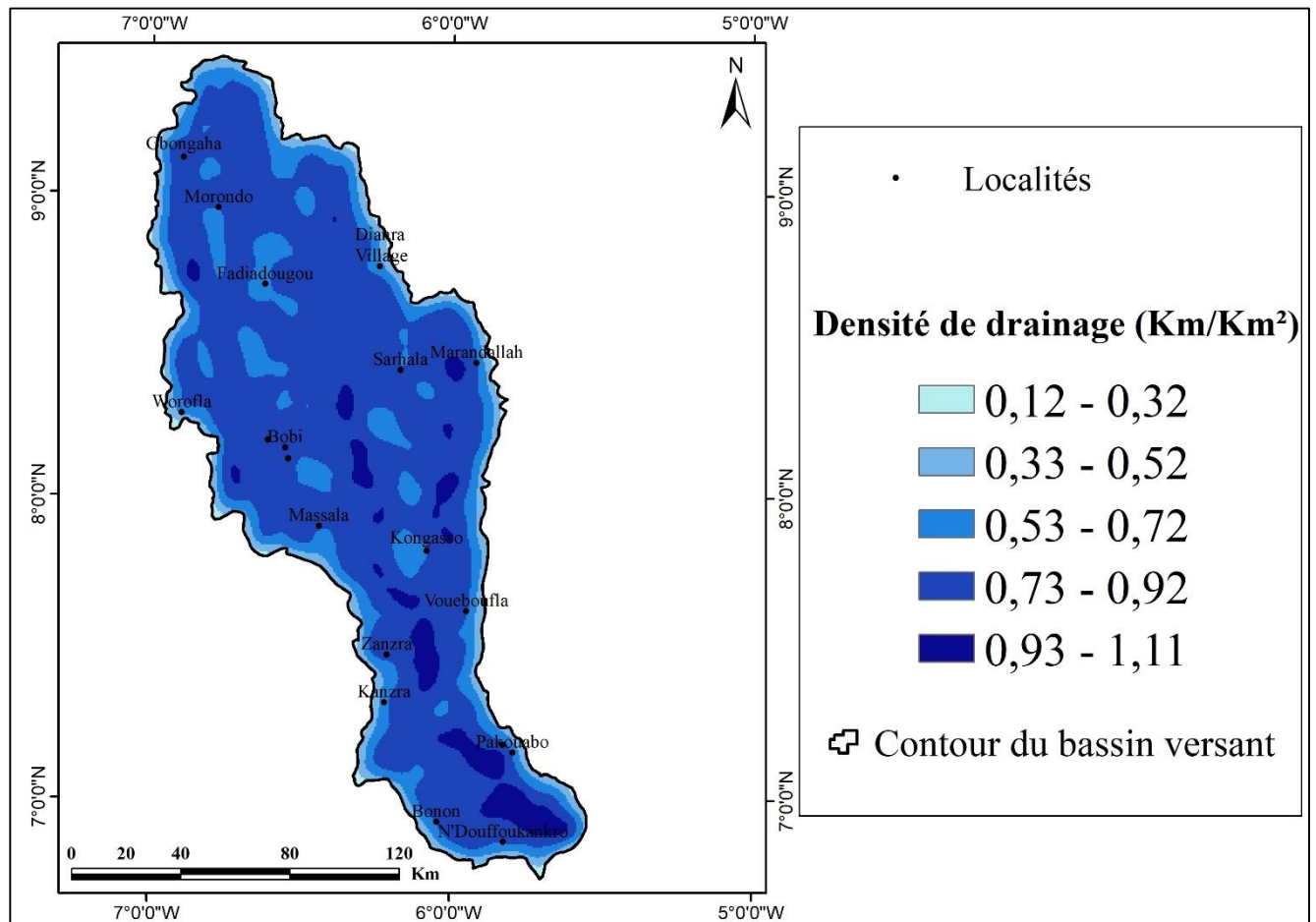
3.3. Densité de drainage

La carte de densité de drainage nous permet de mieux visualiser la densité de drainage dans notre zone d'étude (figure 8). La densité de drainage dans le bassin versant du Bandama rouge évolue entre 0,12 km/km² à 1,11 km/km². La classification nous a permis de distinguer 5 classes à savoir :

- De 0,12 km/km² à 0,32 km/km²
- De 0,33 km/km² à 0,52 km/km²
- De 0,53 km/km² à 0,72 km/km²
- De 0,73 km/km² à 0,92 km/km²
- De 0,93 km/km² à 1,11 km/km²

Les classes les plus fortes (0,73 km/km² à 1,11 km/km²) s'observent presque partout dans le bassin versant. Dans l'ensemble, le réseau hydrographique est dense, ce qui favorise le bon drainage de l'eau dans le bassin versant. Le sud et le centre semblent les plus fortement drainés par rapport aux autres localités. Cela pourrait s'expliquer par la présence de certains cours d'eau qui constitue les différents points de ravitaillement des populations en eau potable et aussi pour les activités socio-économiques. Quant à la densité de drainage moyenne (0,33km/km² à 0,72 km/km²), elle occupe une place plus ou moins grande par rapport aux classes précédentes.

Figure 8 : Densité de drainage du bassin versant du Bandama rouge



4. Discussion

La présente étude aborde les problèmes de la morphologie et du réseau hydrographique d'un bassin versant qui évacue les eaux de surface et oriente l'aménagement du territoire. L'objectif de l'étude est de mettre en évidence le relief et le potentiel hydrographique de ce bassin versant. Pour atteindre cet objectif, la méthodologie s'est appuyée sur la cartographie du réseau hydrographique et la représentation en 2D sur une image du modèle numérique de terrain MNT à l'aide du logiciel Arcgis10.5. Dans le cadre de cette étude, le MNT utilisé provient des images SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de 30 m de résolution. L'image raster MNT a été bien prometteuse dans cette étude. L'analyse du réseau hydrographique extrait par des techniques automatiques sur Arcgis10.5, dans cette étude, montre une bonne couverture du réseau, mais est inégalement répartie sur l'ensemble du bassin versant du Bandama. Ces résultats obtenus sont semblables à ceux de Y. D. KOUASSI (2014, p.50) qui en étudiant la cartographie du réseau hydrographique à l'échelle de la région de Gbêkê, montre que le réseau de cette zone est hiérarchisé et dispose d'une bonne couverture hydrographique. L'ordre maximal des cours d'eau est cinq selon la méthode de Strachler. Cependant, l'alimentation de ce réseau hydrographique en eau dépendra de la pluviométrie. On a enregistré dans cette localité, une forte densité

de drainage. En effet, la densité de drainage dépend de plusieurs facteurs tels que la lithologie, la tectonique, l'exposition, le couvert végétal, les pentes et le climat. L'élaboration et l'interprétation de la carte de densité de drainage permettent de donner un contenu à la notion du chevelu; chevelu dense ou lâche. D'une manière générale, des faibles densités de drainage sont caractéristiques des régions où le sol et le sous-sol sont fortement résistants ou perméables, où la couverture végétale est dense et où le relief est faible. Dans les conditions inverses, on rencontre le plus souvent des densités très élevées. Par ailleurs, à l'instar de la région savanicole ivoirienne, la région de Gbêkê enregistre une baisse pluviométrique de plus de 20 % depuis près de quatre décennies (Y. BROU *et al.*, 2005 p8). Cette baisse est d'autant préoccupante du fait que la pluie est la principale source du renouvellement des eaux du réseau hydrographique (L. KONATE, 1996, p.102). Dans cette même veine idée B. GOULA *et al.*, (2006, p.8) affirme que le volume d'eau moyen annuel qui s'écoule du sous-bassin versant du Bandama va être réduit de 21 % en raison de la baisse pluviométrique de ces dernières années. Quant à V. H N'GUESSAN 2011, p.23), les tendances pluviométriques régionales en Côte d'Ivoire du fait du changement climatique, révèle une baisse généralisée des précipitations dans l'ensemble du pays. Cela est de nature à perturber les régimes des cours d'eau réduisant ainsi la disponibilité des ressources en eau de surface importants pour les activités économiques. Compte tenu de l'étalement urbain dû à l'explosion démographique dans le bassin versant du Bandama rouge, il serait judicieux de prévoir par des études prospectives la question des ressources en eau afin de maintenir un équilibre entre le mode de vie des populations et son espace. L'analyse de la morphologie du paysage montre que le bassin versant du Bandama rouge est dominé dans l'ensemble par un plateau et des chaînes de collines à l'extrême nord. Ce plateau est très disséqué, avec des vallées servant la circulation des eaux de surface. Ainsi dans ce milieu, le réseau hydrographique est d'ordre 5 selon D. B. Soro (2021, p.52). Les paramètres morphologiques sont ceux les plus déterminants pour l'écoulement des eaux dans un bassin versant et peuvent influencer dans une moindre mesure la gravité des crues (I. KOUEDJOU *et al.*, 2021, p 191). L'étude de la morphologie du paysage permet de faire l'état des paramètres participant à cette organisation. Cette étude réalisée à l'aide de l'image MNT, met en évidence les différentes altitudes, les pentes faibles et fortes, et les chaînes de collines caractérisant le réseau hydrographique.

Conclusion

L'étude de la morphologie de ce bassin versant est importante, car elle permet de mieux comprendre les formes du relief qui conditionnent la répartition de l'homme, ces activités et le réseau hydrographique. Ce travail qui a pour objectif de caractériser la morphologie du paysage et le réseau hydrographique du bassin versant du Bandama rouge à l'aide des images MNT a permis d'obtenir des résultats. La méthodologie développée a consisté à déterminer la variabilité des d'altitudes, les

grands ensembles de reliefs, les pentes et l'extraction du réseau hydrographique. Ces résultats montrent que la zone d'étude est caractérisée par un plateau d'altitudes variant entre 80 à 500 m, avec des chaînes de collines dans l'extrême nord d'altitude variant entre 500m à 800m. Les pentes varient entre 0 à 73 %. Les résultats montrent aussi que la forme du bassin versant n'est pas circulaire mais allongées. Cette étude donne une idée de l'organisation et le degré de développement du réseau hydrographique. Des traitements de l'image raster du modèle numérique de terrains (MNT) de 30 m de résolution sur le logiciel Arcgis 10.5 a permis d'extraire le réseau hydrographique et de déterminer l'ordre cinq selon la méthode de Strahler. La densité de drainage évolue entre 0,12 km/ km² et 1,11 km/ km². L'indice de hiérarchisation diminue lorsque l'ordre augmente. La loi des longueurs des talwegs et des nombres de talweg présentent des graphiques presque linéaires. En effet, le réseau hydrographique du bassin versant est structuré et hiérarchisé par ordre dans le milieu. Quant au degré de développement, le réseau hydrographique de cette zone est important. Cela s'observe par les densités de drainage assez fortes par endroit. L'on pourrait recourir aux eaux de surface de la région pour le développement économique et social du bassin versant, car il y a une bonne couverture du réseau hydrographique.

Référence bibliographique

ALBAN Joly, 2014, *Identification cartographique et hiérarchisation des têtes de bassin versants sur les périmètres des SAGE EVRE-THAU-Saint Denis et Layon-Aubance* [rapport de stage], hydrogéologie, hydrologie, hydrochimie, université de Rennes 1, Rennes, 48p.

ASSEMIAN Assiè Emile, 2014. Etude des potentialités en eau souterraine du département de Bongouanou (centre-est de la Côte d'Ivoire) par télédétection et SIG. Université Félix Houphouët Boigny. Thèse de doctorat 208 p.

AVENARD Jean Michel, 1971, « Aspect de la géomorphologie dans le milieu naturel de la Côte d'Ivoire, mémoire ORSTOM, n°50, Paris, pp.11-72.

BROU Yao Téléphore, BIGOT Sylvain, OSZWALD Johan, DIEDHIOU Arona, 2005, « Facteurs de la variabilité pluviométrique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales », in revue *Sécheresse*, vol. 16, N° 1, pp 5 - 13.

CALOZ Régis, COLLET Claude, 2011, *analyse spatiale de l'information géographique*, «collection ingénierie de l'environnement», presse polytechnique et universitaire romande, Lausanne, 384p.

COULIBALY Talnan, 2009, Répartition spatiale, gestion et exploitation des eaux souterraines : cas du département de Katiola, région des savanes de Côte d'Ivoire, thèse en science de la terre, université Paris-Est, Paris, pp1-80.

CRAVE Alain, 1995, Quantification de l'organisation des réseaux hydrographiques, thèse en science de la terre, université de Rennes I, Rennes, 203p.

FAO, 2007, « La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture : payer les agriculteurs pour leur services environnementaux », *In revue Collection FAO : Agriculture*, n°38, pp.1-38.

FOFANA Oumar, KOUASSI Ernest Ahoussi, Koffi Stéphane Avy, 2017, « Cartographie et identification des activités sources de nuisances et de pollutions dans le bassin versant du barrage du Kan de Bouaké (Côte d'Ivoire) », *in revue European scientific journal*, volume 1, n°5, Université Péléforo Gon Coulibaly de Korhogo-Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody, Côte d'Ivoire, pp 303-316.

GOULA Bi Tié Albert, KOUASSI Jean, SAVANE Issiaka, 2006, « Impacts du changement climatique sur les ressources en eau en zone tropicale humide : cas du bassin versant du Bandama en côte d'ivoire », *In revue Agronomie Africaine*, 10p.

KONATE Lamine, 1996, *Les bas-fonds dans le réseau hydrographique du fleuve Gambie (cartographie, régime hydrologique, valorisation et typologie)*, thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop, Sénégal, 207p.

KONE Alawele Stephanie Clothilde 2022, Analyse des caractéristiques hydrologiques du bassin versant du Bandama rouge dans le centre de la Côte d'Ivoire. Université Alassane Ouattara. Mémoire de Master p 106.

KONE Haïkayamba, 1993, Cartographie des paysages et des formations superficielles de la région de bidbyatenga, mémoire de master, Géographie, Université de Ouagadougou, 120p.

KOUASSI Yao Dieudonne, 2014, *La cartographie du réseau hydrographique de la région de Gbêké*, mémoire géographie physique, université Alassane Ouattara, Bouaké, 98p.

KOUEDJOU Idriss, ANABA Banimb Robert, 2021, « analyse morphométrique du bassin versant de la MENOUA pour une meilleure gestion des risques morphohydrologiques », *In revue American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*, Vol 12, n°5, pp.188-197.

LAABIDI Ahmed, EL HMAIDI Abdellah, GOURARI Lahcen, EL ABASSI Mourad, 2016, « Apport du modèle numérique de terrain MNT à la modélisation du relief et des caractéristiques physiques du bassin versant du moyen Beth en amont du barrage el pansera (sillon Sud rifain, Maroc) », *in revue european scientific journal*, volume 12, numéro 29, ESI, Paris, pp258-288.

N'GUESSAN BI Vami Hermann, 2011, *Étude de l'impact des changements climatiques sur les ressources en eau : application de l'analyse du risque d'inondation dans le département de Sinfra (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire)*, programme international de formation sur le

changement climatique atténuation et adaptation 2010-2011, rapport final du projet individuel, ONG-Cellule Ivoirienne pour le Développement Durable (CI 2D)/Centre Universitaire de Recherche et d'application en Télédétection (CURAT), Abidjan, 42p.

RGPH, 2014, *répertoire des localités : région du Gbêkê*, INS, Abidjan, 46p.

SORO Dosselimingnon Benoit 2021. « Analyse du réseau hydrographique et morphologie du paysage dans le département de Bouaké ». Université Alassane Ouattara, département de géographie. Mémoire de Master, 3 123 p.

SYLLA Mamadou 2021, Etude hydrologique du bassin versant du lac Kan : enjeux socio-économiques. Université Alassane Ouattara. Mémoire de Master. 116p.