

Caractérisation et quantification de la relation entre le réseau hydrographique et la fracturation du bassin versant côtier de l'Agnéby en Côte d'Ivoire

Aimé KOUDOU^{1*}, Tchimou Vincent ASSOMA², Kadio Hilaire NIAMKE³, Kouao Armand ANOH¹, Bernard ADIAFFI³ et Koffi Fernand KOUAME²

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

² *Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody-Abidjan, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection, 22 BP 801 Abidjan 22, Côte d'Ivoire*

³ *Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody-Abidjan, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire*

* Correspondance, courriel : kdaime@yahoo.fr

Résumé

L'objectif de cette étude est de caractériser et de quantifier à partir d'une analyse statistique et d'un SIG la relation entre les drains du réseau hydrographique et la fracturation majeure du bassin versant de l'Agnéby. Le réseau hydrographique vectorisé sur un fond topographique et la carte de fracturation majeure extraite de l'exploitation de l'imagerie Asar Envisat ont servi de données aux différents traitements. La hiérarchisation du réseau hydrographique du bassin versant de l'Agnéby met en évidence des cours d'eau d'ordre 1 à 7. Les ordres 1 et 2 caractérisent les petits cours d'eau ou têtes de bassin. Les ordres 3 à 6 caractérisent les grands et permanents cours d'eau du socle. L'Agnéby est d'ordre 7 à l'exutoire du bassin. La distribution des drains du réseau hydrographique obéit à la loi exponentielle. L'analyse corrélative directionnelle met en évidence la direction dominante identique entre les linéaments hydrographiques et de la fracturation. Au seuil de signification de 10 %, elle est de N0-10 en nombre et de N100-110 en longueurs cumulées. L'analyse des drains hiérarchisés révèle que leur distribution est hétérogène. Les directions dominantes sont N90-100 (33,3 %), N00-10 (25 %) et N30-40, N70-80, N130-140, N150-160 et N160-170 à 8,3 % chacune. Suivant les quatre grandes familles directionnelles, la direction dominante du réseau hydrographique NO-SE (26 %) épouse celle des fractures (45 %). Les drains hiérarchisés dominants d'ordres 2 et 5 épousent aussi cette direction de fractures. Le couplage du réseau hydrographique et de la fracturation montre que la plupart des cours d'eau d'ordres 3, 4 et 5 sont sous contrôle structural tandis que d'autres taillent leur propre chemin.

Mots-clés : *fracturation, réseau hydrographique, SIG, Agnéby, Côte d'Ivoire.*

Abstract

Characterization and quantification of the relationship between hydrographic network and fracturing of the Agnéby coastal watershed in Côte d'Ivoire

The objective of this study is to characterize and quantify from a statistical analysis and a GIS, the relationship between drains of the hydrographic network and the major fracturing of the Agnéby watershed.

The hydrographic network vectorized on a topographic background and the major fracturing map extracted from the exploitation of the Asar Envisat imagery were used as data for the different treatments. The hierarchy of the hydrographic network of the Agnéby watershed highlights rivers of order 1 to 7. Orders 1 and 2 characterize small streams or heads of the watershed. Orders 3 to 6 characterize the large and permanent streams of the bedrock. The Agnéby is of order 7 at the outlet of the watershed. The distribution of the drains of the hydrographic network obeys the exponential law. Correlative directional analysis highlights the identical dominant direction between hydrographic lineaments and fracturing. At the 10 % significance level, it is N0-10 in number and N100-110 in cumulative lengths. The analysis of hierarchical drains reveals that their distribution is heterogeneous. Dominant directions are N90-100 (33.3 %), N00-10 (25 %) and N30-40, N70-80, N130-140, N150-160 and N160-170 at 8.3 % each. According to the four major directional families, the dominant direction of the NO-SE (26 %) hydrographic network matches that of the fracturing (45 %). The dominant hierarchical drains of orders 2 and 5 also follow this fracture direction. The coupling of the hydrographic network and the fracturing shows that most of the rivers of orders 3, 4 and 5 are under structural control while others make their own way.

Keywords : *fracturing, hydrographic network, GIS, Agnéby, Côte d'Ivoire.*

1. Introduction

La Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) et leur protection pour un développement durable demeure un problème crucial dans le monde [1]. La mise en œuvre de la GIRE par bassin versant constitue un engagement majeur de la politique nationale de l'eau de Côte d'Ivoire [2]. L'une des stratégies pour la mise en œuvre de la GIRE concerne l'amélioration des connaissances sur la quantité et la qualité des ressources en eau. Dans les environs des principales villes africaines et singulièrement dans celles de la Côte d'Ivoire, les retenues d'eau et les cours d'eau sont constamment sollicités pour fournir de l'eau à la population sans cesse croissante. Ces eaux sont généralement sujettes aux pollutions de tout genre et à la variabilité climatique. Une mauvaise qualité de ces eaux de surface peut manifestement affecter les eaux souterraines. En réalité, les eaux de surface contenues dans les lacs de barrages, les rivières, les fleuves et les terres humides interagissent avec les eaux souterraines dans un sens ou dans l'autre [3 - 5]. Selon les travaux de [6], les eaux de surface et les eaux souterraines présentent des relations et une interdépendance hydrologique si étroite qu'en fait toutes deux constituent une ressource unique. En zone de socle cristallin et cristallophyllien du territoire ivoirien, les accidents imposent des allures rectilignes aux principaux fleuves et affluents des bassins versants qui empruntent leurs tracés. La linéarité de ces cours d'eau fait supposer qu'ils coulent toujours ou tout au moins en grande partie dans les axes de fracturation du socle [7, 8]. La rectilinéarité des cours d'eau peut donc être consécutive à un guidage structural [9, 10]. Dans la région de l'Agnéby, l'alimentation en eau de la population est assurée par les ressources en eau de surface et/ou souterraine. Une part très importante est cependant réservée aux eaux de surface (marigots, lacs, rivières, fleuves, etc.). Les 53 barrages et retenues d'eau réalisés sur le cours du fleuve Agnéby [11] assurent l'approvisionnement continu en eau des industries et des activités agricoles de la région. L'eau de consommation des grandes villes telles que Agboville, Rubino est assurée par la Société de Distribution d'Eau en Côte d'Ivoire (SODECI). Ce réseau moderne a permis d'améliorer les conditions d'accès à l'eau à usage domestique pour 69 % des populations de la région [12]. Depuis près de 45 ans selon les travaux de [13], cette alimentation effectuée par la SODECI s'est faite exclusivement par le captage de la rivière Agbô du fleuve Agnéby. Malheureusement, la qualité de l'eau de cette rivière confrontée à une eutrophisation poussée s'est considérablement dégradée ces dernières années et cela depuis 1995 [14]. L'eau de robinet demeure généralement colorée (jaune/brun) avec présence de dépôts lorsqu'elle est laissée au repos [15]. Les traitements physico-chimiques classiques n'arrivent plus à rendre l'eau potable

vue les dépôts et la couleur rougeâtre qu'elle présente parfois. La qualité des eaux du réseau fluvial naturel du fleuve Agnéby est donc mise en cause. Le fleuve Agnéby concentre la fourniture d'eau et de matériaux sédimentaires depuis les versants jusqu'au cours d'eau principal et de l'amont vers l'aval. Le bassin versant de l'Agnéby présente de ce fait un bon exemple de nombreuses problématiques actuelles telles que la gestion des sédiments et du transfert des polluants, la gestion de l'eau, la gestion environnementale. La présente étude a pour objectif de mettre en évidence les éventuelles relations entre le réseau hydrographique et les fractures majeures du bassin versant de l'Agnéby. Il s'agit de prouver, par les possibilités d'une analyse quantitative et qualitative du réseau hydrographique et de la fracturation, les éventuelles coïncidences suivant différentes directions. Le SIG, par ses possibilités de gestion et d'analyse de données géographiques spatiales, est utilisé pour évaluer la relation entre le réseau hydrographique et la fracturation.

2. Matériel et méthodes

2-1. Présentation de la zone d'étude

Le bassin côtier de l'Agnéby est localisé au sud-est de la Côte d'Ivoire entre les longitudes 4°45' et 3°43' ouest et les latitudes 5°18' et 6°56' nord (**Figure 1**). Il est drainé par le fleuve Agnéby dans l'interfluve entre le N'zi et la Comoé. Il représente le plus grand bassin côtier de la Côte d'Ivoire. Le fleuve Agnéby prend sa source dans une petite localité à Angoua dans le département de Bongouanou à 260 m d'altitude et s'écoule du nord au sud. Le cours du fleuve s'étend entièrement dans la zone forestière. Dans son cours inférieur, il coule dans les marais pour se jeter dans la lagune Ebrié près de Dabou. Il dispose d'un profil en long assez régulier dont la pente moyenne est de 1,25 m par km et d'altitude moyenne de 105 m [16]. La superficie du bassin côtier de l'Agnéby est de 8628,2 km² pour 277 km de lit (longueur). Les trois principaux affluents de rive droite de l'Agnéby sont le M'Pébo, le Kavi et le Ségué. Les affluents mineurs se composent de M'borou en rive droite, et de Asseubié et Niéké en rive gauche. L'architecture du chevelure hydrographique du bassin présente un réseau très dense de type dendritique dans un relief peu adouci, monotone et relativement plat. Quelques chaînes d'altitude comprises entre 260 à 560 mètres s'observent dans le département de Bongouanou dans la partie nord-est du bassin. Au plan climatique, le bassin côtier de l'Agnéby appartient au climat subéquatorial caractérisé par quatre saisons : deux saisons sèches (décembre-mars et juillet-septembre) et deux saisons pluvieuses (avril-juillet plus importante et septembre-novembre très irrégulière) centrées en juin et octobre. Au plan pédologique, il est caractérisé par plusieurs types de sol. Des sols de type ferrisol occupent la frange septentrionale du massif forestier. Des sols ferralitiques moyennement ou fortement lessivés se rencontrent sur les schistes. Des sols hydromorphes qui se caractérisent par un excès d'eau dû soit à un engorgement profond, soit à une inondation temporaire ou permanente, se rencontrent également dans le bassin. L'hydromorphie de la plaine alluviale du bassin côtier de l'Agnéby est totale à permanente. Au plan géologique, les formations précambriennes d'âge Paléoproterozoïque sont constituées de roches cristallines essentiellement schisteuses, fortement plissées et métamorphisées du birimien, auxquels sont associées des formations granitiques isolées ou intrusives (métagranites, granitoïdes et granodiorites). La partie inférieure sédimentaire, de formation Tertiaire et Secondaire est constituée de sédiments sableux, argileux ainsi que des sédiments côtiers du Quaternaire occupant le lit aval. La **Figure 1** illustre la carte lithologique du bassin côtier de l'Agnéby élaborée à partir des cartes géologiques [17] de la Direction des Mines et de la Géologie d'Abidjan (Feuilles d'Abidjan, Dimbokro et Abengourou).

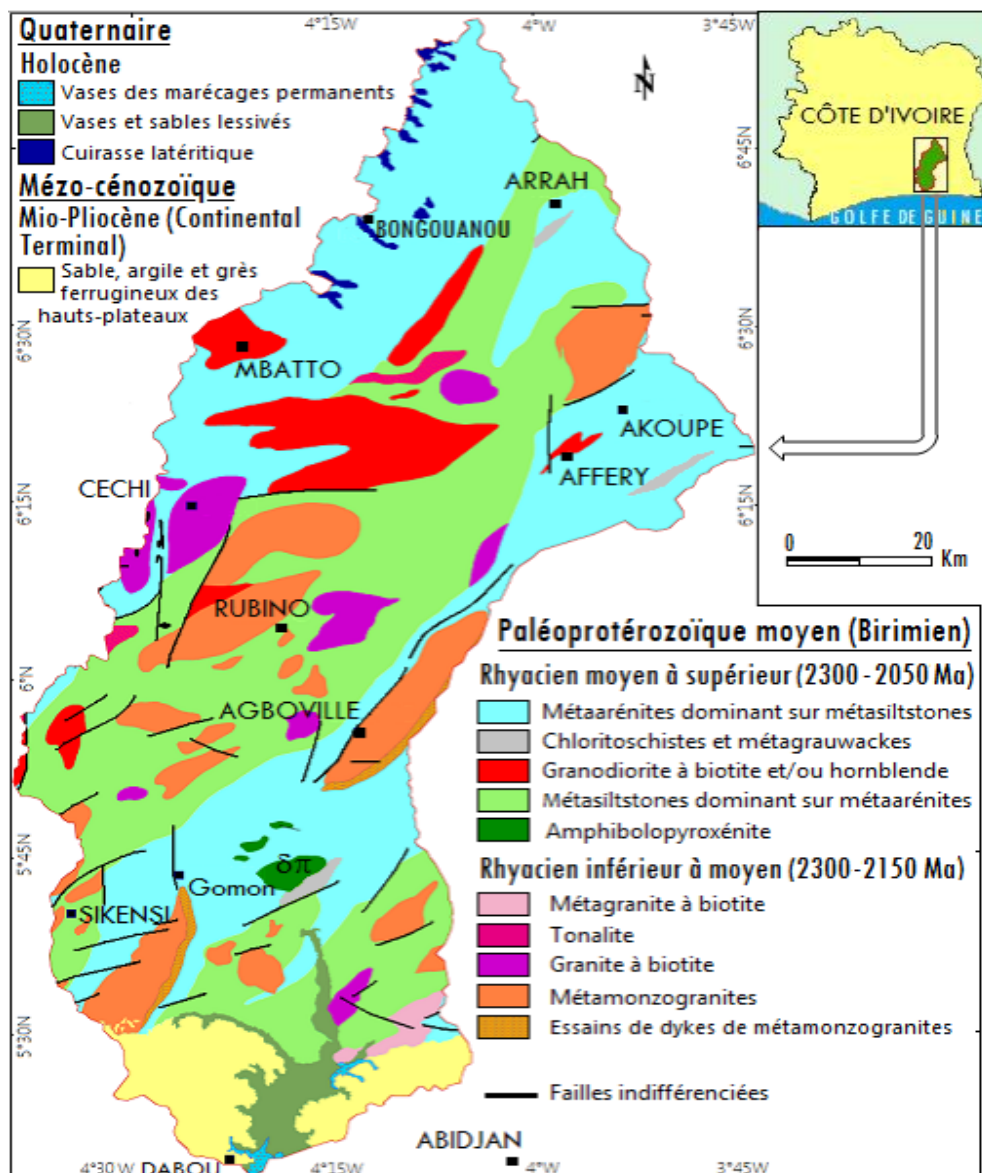


Figure 1 : Situation géographique et géologique du bassin versant de l'Agnéby [17]

2-2. Matériel

Les données utilisées pour l'étude sont de deux types :

- le réseau hydrographique global du bassin versant de l'Agnéby vectorisé sur un fond de cartes topographiques mosaïquées au 1/200 000 d'Abidjan, de Dimbokro et d'Abengourou. Ces cartes proviennent du Centre de Cartographie et de Télédétection (CCT) ;
- la carte de fracturation majeure extraite de l'imagerie Asar Envisat du bassin versant de l'Agnéby (**Figure 2**). Cette dernière a été réalisée par [13] au Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (C.U.R.A.T.) de l'Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody (Côte d'Ivoire). Cette carte sert de trame aux traitements ultérieurs.

L'image radar Asar Envisat, d'où provient la fracturation, a été utilisée à cause de ses possibilités de vision synoptique, de sa capacité à reconnaître et à cartographier les linéaments structuraux sous toutes conditions et de jour comme de nuit [18, 19]. Elle permet, par ailleurs, de s'affranchir de la présence du couvert végétal dense et des produits d'altération de surface qui masquent le socle rocheux sur le secteur d'étude.

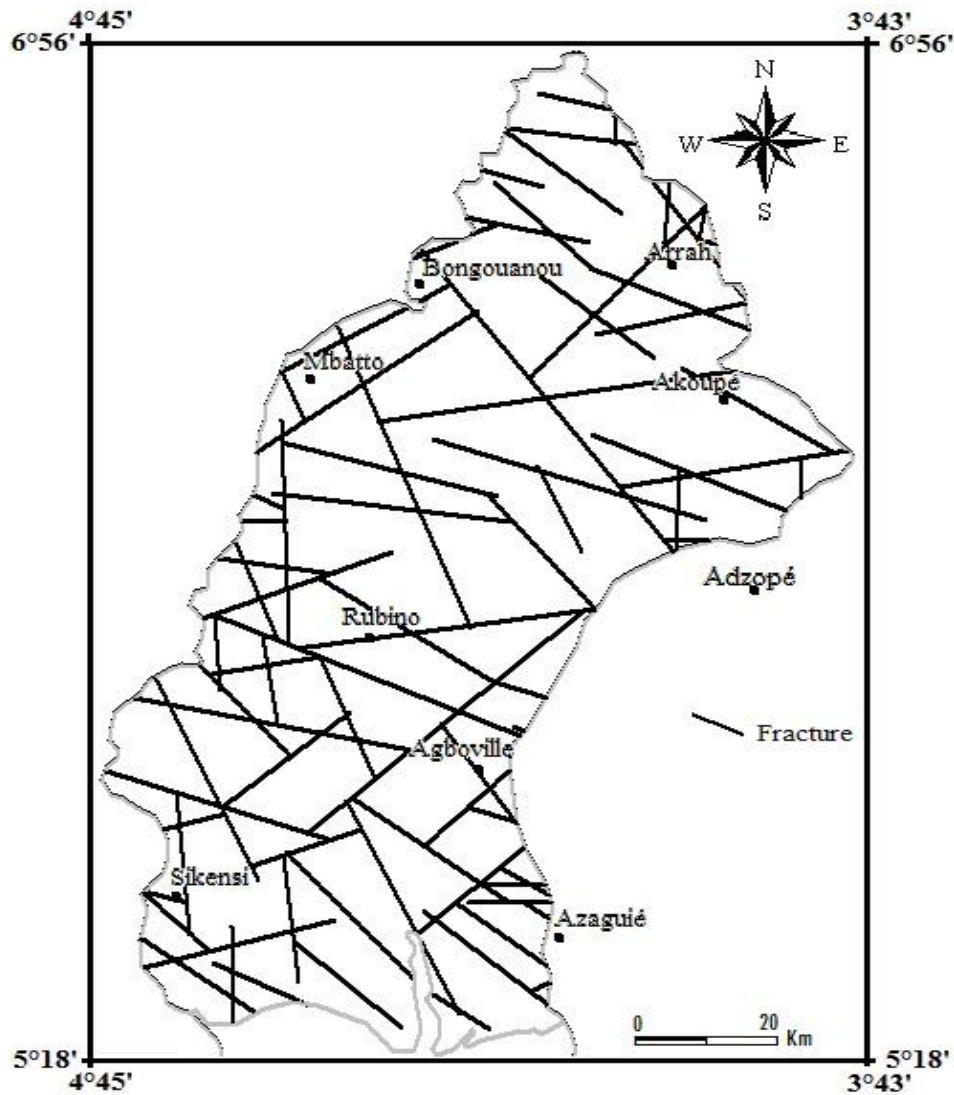


Figure 2 : Réseau de fractures majeures du bassin versant de l'Agnėby [13]

Le logiciel Linwin 2.0 est utilisé pour l'élaboration des rosaces directionnelles. Excel 2010 a permis de déterminer le pourcentage des directions. Le logiciel ArcGis 10.2.2 est la plateforme de mise en relation du réseau de fracturation et du réseau hydrographique.

2-3. Méthodes

La mise en œuvre de la corrélation entre la fracturation et le réseau hydrographique se déroule en plusieurs étapes. Le réseau hydrographique du bassin versant de l'Agnėby est hiérarchisé suivant la convention de [20]. La loi statistique qui régit la distribution des effectifs de drains en fonction de l'ordre des cours d'eau est établie. Les drains du réseau hydrographique et les fractures majeures du bassin sont discriminés en fonction de leur orientation par croissant angulaire de 10 degrés sur des rosaces directionnelles (en nombre et en longueurs cumulées). Ces traitements statistiques sont menées à partir du logiciel Linwin 2.0. Suivant leurs directions, les fractures et les drains du bassin de l'Agnėby sont regroupés en quatre familles NE-SW ([20-70]), E-W ([70-110]), NW-SE ([110-160]) et N-S ([160-20]) puis comparés. Cette distribution des directions des cours d'eau s'effectue aussi pour chaque ordre, en vue de quantifier l'influence directionnelle des fractures sur les ordres des drains. La fracturation majeure et le réseau hydrographique sont intégrés dans le logiciel SIG ArcGis 10.2.2 pour établir la relation entre ces deux structures.

3. Résultats et discussion

3-1. Hiérarchisation du réseau hydrographique et rosaces directionnelles des structures

3-1-1. Hiérarchisation du réseau hydrographique

La hiérarchisation du réseau hydrographique du bassin versant de l'Agnéby met en évidence différents ordres des cours d'eau qui varient de 1 à 7 (*Figure 3*).

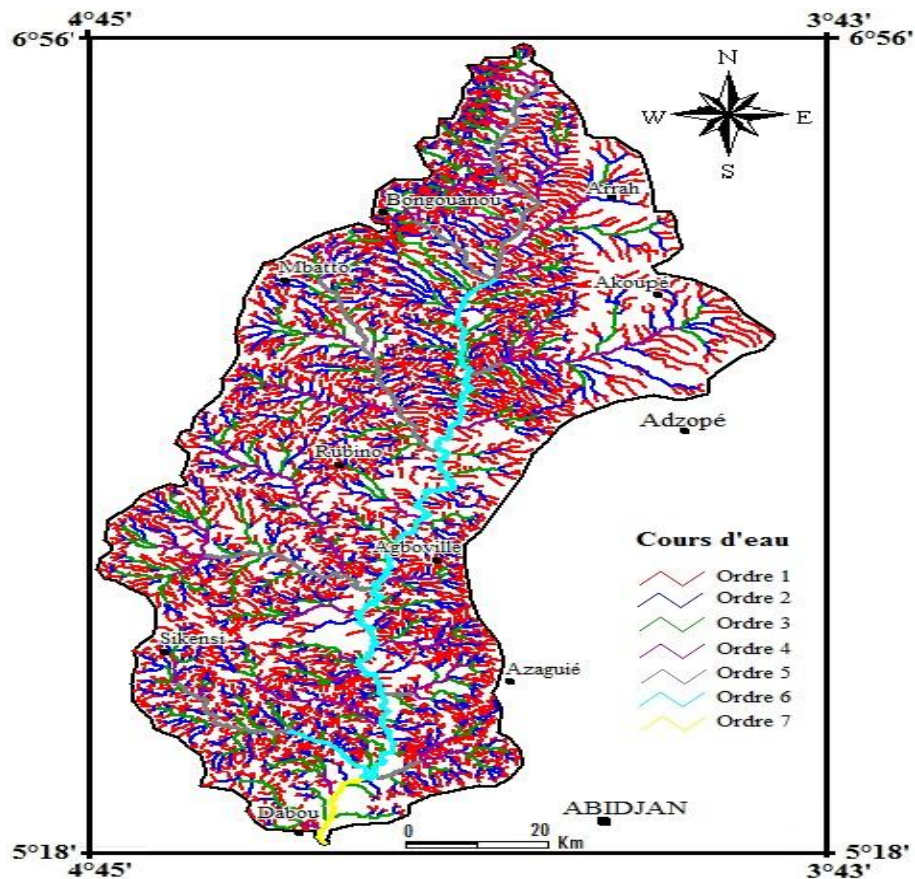


Figure 3 : Hiérarchisation du réseau hydrographique du bassin versant de l'Agnéby selon la convention de [20]

La relation qui lie l'effectif des drains à l'ordre des cours d'eau de la zone de socle est illustrée à la *Figure 4*.

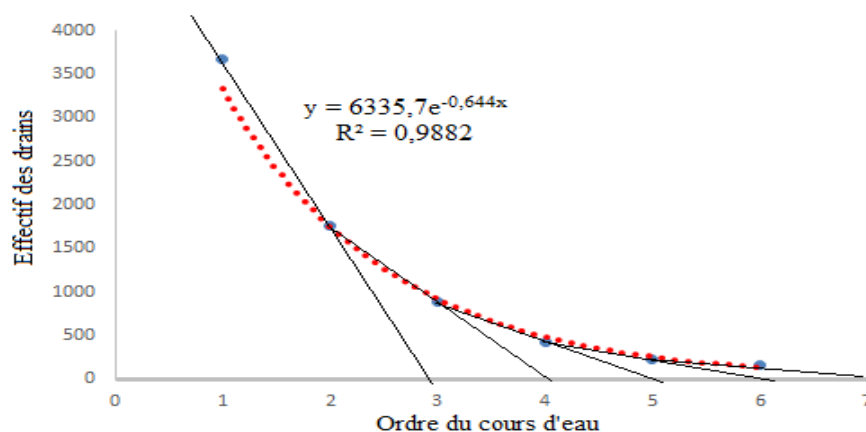


Figure 4 : Distribution des drains du bassin versant côtier de l'Agnéby suivant la loi exponentielle

La distribution de l'effectif des drains en fonction des ordres des cours d'eau à l'allure d'une courbe parabolique à décroissance exponentielle tendant vers une asymptote horizontale. Les drains du réseau hydrographique obéissent à la loi exponentielle avec un coefficient de corrélation égal à 0,98. Les drains de petits ordres 1 et 2 assurent l'essentiel du drainage du bassin versant côtier de l'Agnéby et se localisent dans les zones où les pentes sont abruptes. Ils caractérisent les petits cours d'eau ou têtes de bassin. Les ordres de 3 à 6 caractérisent les grands et permanents cours d'eau.

3-1-2. Analyse corrélatrice directionnelle des linéaments hydrographiques et de la fracturation

Les rosaces directionnelles (en nombre et en longueurs cumulées) des linéaments hydrographiques et des fractures majeures sont illustrées à la **Figure 5**.

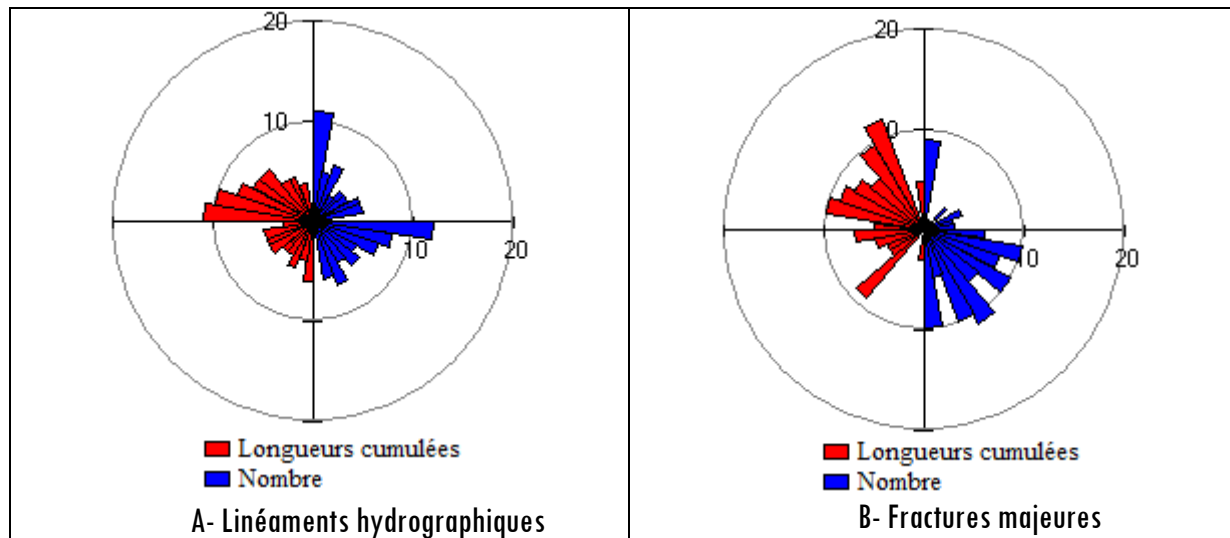


Figure 5 : Rosaces directionnelles des structures géologiques

La distribution des structures géologiques en nombre et en longueurs cumulées n'est pas homogène (**Figure 5**). Trois grandes classes de direction sont mises en évidence. Les directions majeures des linéaments hydrographiques en nombre, dont la fréquence est supérieure ou égale à 10 %, sont respectivement N90-100 et N0-10 (**Figure 5A**). Les directions secondaires, représentées par N100-110, N110-120, N150-160, N20-30, N130-140 et N160-170, ont une fréquence qui varie entre 10 % et 5 %. Les autres directions, de fréquence inférieure à 5 %, sont considérées comme minoritaires. En longueurs cumulées, les directions majeures des linéaments hydrographiques sont N90-100 et N100-110. Concernant la fracturation majeure (**Figure 5B**), les directions majeures sont N170-180, N0-10, N140-150, N100-110, N120-130 et N150-160. Les directions secondaires sont représentées par N130-140, N110-120, N130-140 et N90-100. Les directions majeures des longueurs cumulées de fractures correspondent aux directions N150-160, N100-110 et N140-150. Au seuil de signification de 10 %, les directions majeures identiques entre les linéaments hydrographiques et les fractures sont N0-10 (en nombre), et N100-110 (en longueurs cumulées).

3-2. Étude comparée des orientations des drains hiérarchisés

Les diagrammes circulaires illustratifs des orientations des ordres au seuil de signification de 10 % des différents drains sont illustrés à la **Figure 6**. Ces différents diagrammes présentent des ressemblances et des dissemblances dans les fréquences et les orientations.

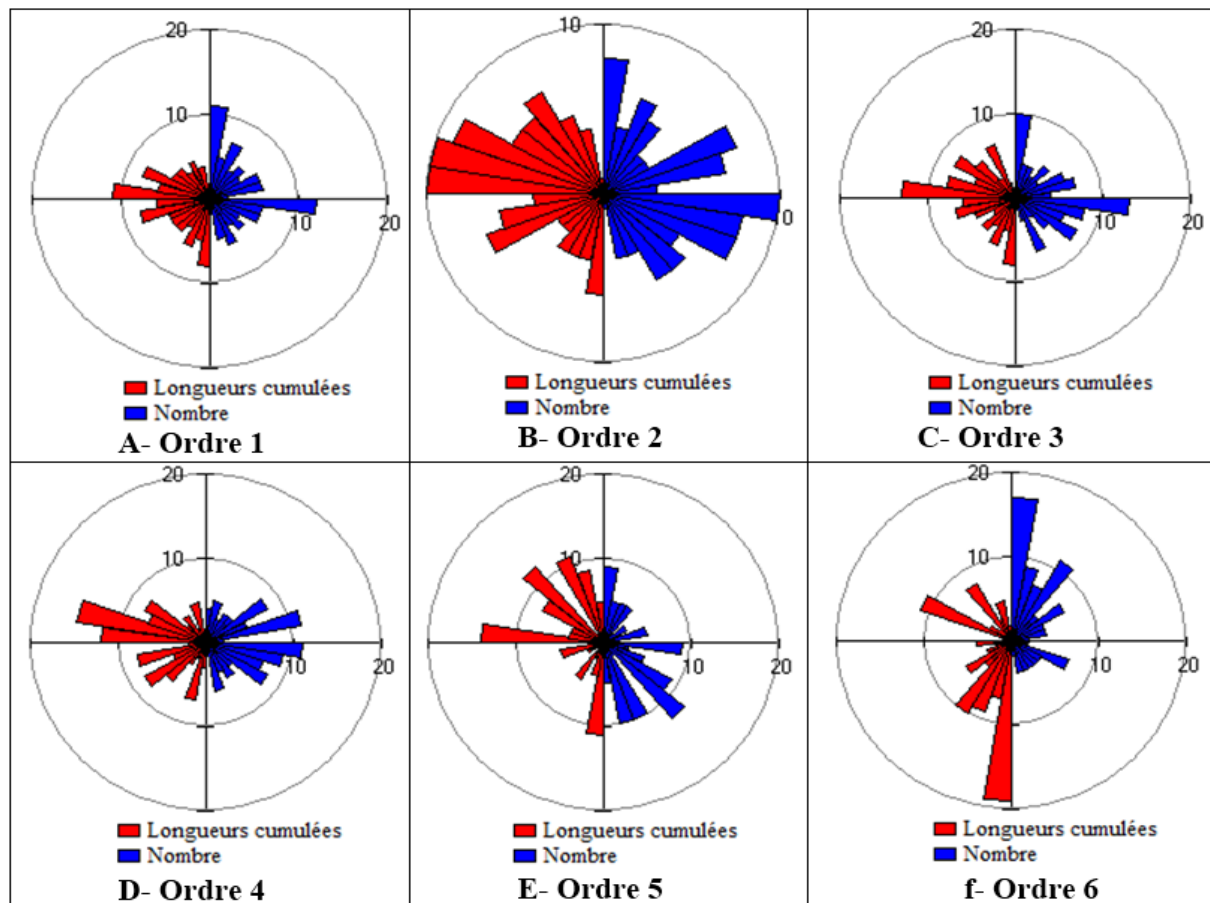


Figure 6 : Diagrammes circulaires des drains hiérarchisés

Tous les drains d'ordre différent présentent une distribution hétérogène. Les directions majeures au seuil de signification de 10 % en nombre des ordres sont présentés dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Directions dominantes des ordres des cours d'eau

Cours d'eau	Ordre 1	Ordre 2	Ordre 3	Ordre 4	Ordre 5	Ordre 6
Directions majeures	N0-10 et N90-100	N90-100	N0-10 et N90-100	N70-80 et N90-100	N130-140, N150-160 et N160-170	N0-10 et N30-40

Les différentes proportions des directions majeures des drains sont illustrées dans le **Tableau 2**.

Tableau 2 : Proportion des directions majeures des drains

Directions majeures	N90-100	N00-10	N30-40	N70-80	N130-140	N150-160	N160-170
Proportion	33,3 %	25 %	8,3 %	8,3 %	8,3 %	8,3 %	8,3 %

La direction majeure N90-100 est représentative à hauteur de 33 % et N00-10 à hauteur de 25 % de l'ensemble des directions majeures des ordres des cours d'eau. L'analyse de l'ordre des drains du réseau hydrographique de l'Agnéby est peaufinée suivant les quatre familles directionnelles NE-SW ([20-70]), E-W ([70-110]), NW-SE ([110-160]) et N-S ([160-20]) (**Figures 7 et 8**).

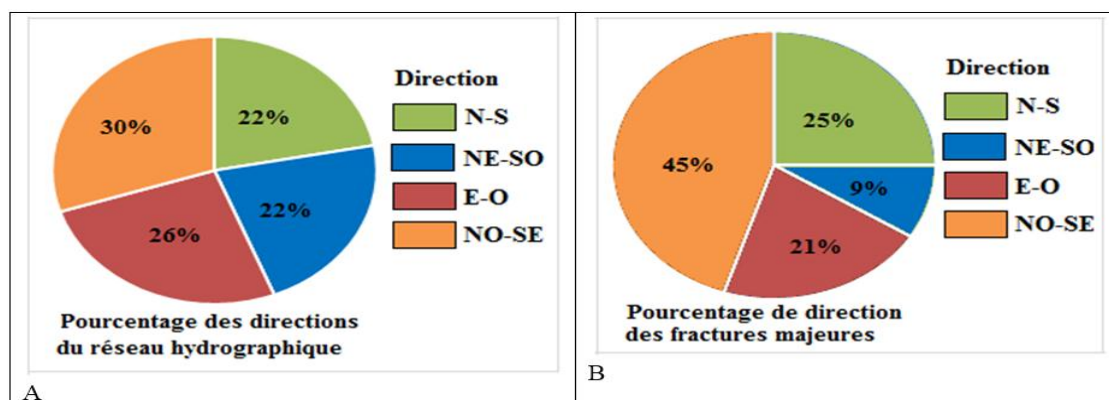


Figure 7 : Pourcentage des directions : A- du réseau hydrographique, B- des fractures majeures

Les directions dominantes du réseau hydrographique sont dans l'ordre NO-SE > E-O > N-S = NE-SO alors que celles des fractures majeures sont NO-SE > N-S > E-O > NE-SO. La direction dominante du réseau hydrographique NO-SE (26 %) épouse celle des fractures majeures (45 %).

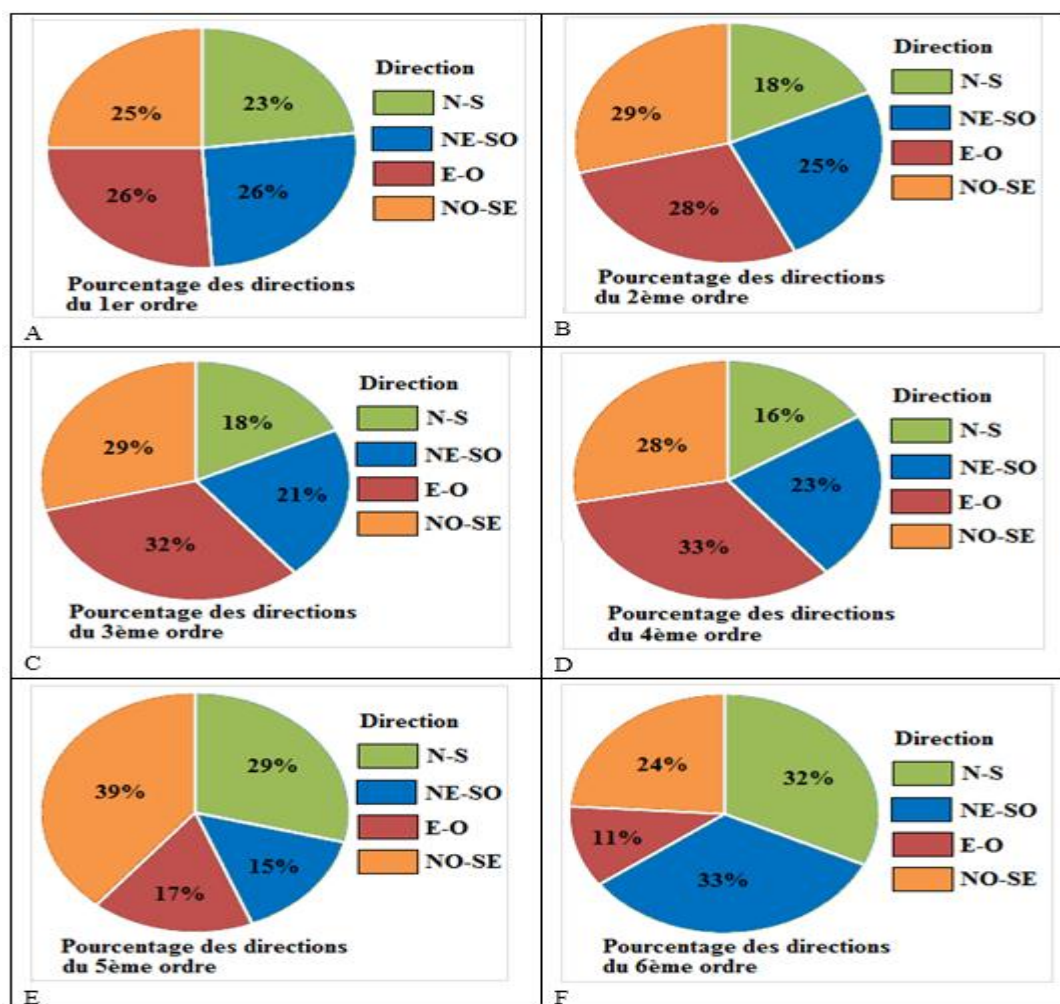


Figure 8 : Pourcentage des directions des ordres des cours d'eau

Les principales directions dominantes des ordres des cours d'eau par ordre décroissant sont illustrées dans le **Tableau 3**.

Tableau 3 : Principales directions dominantes de chaque ordre par pourcentage décroissant

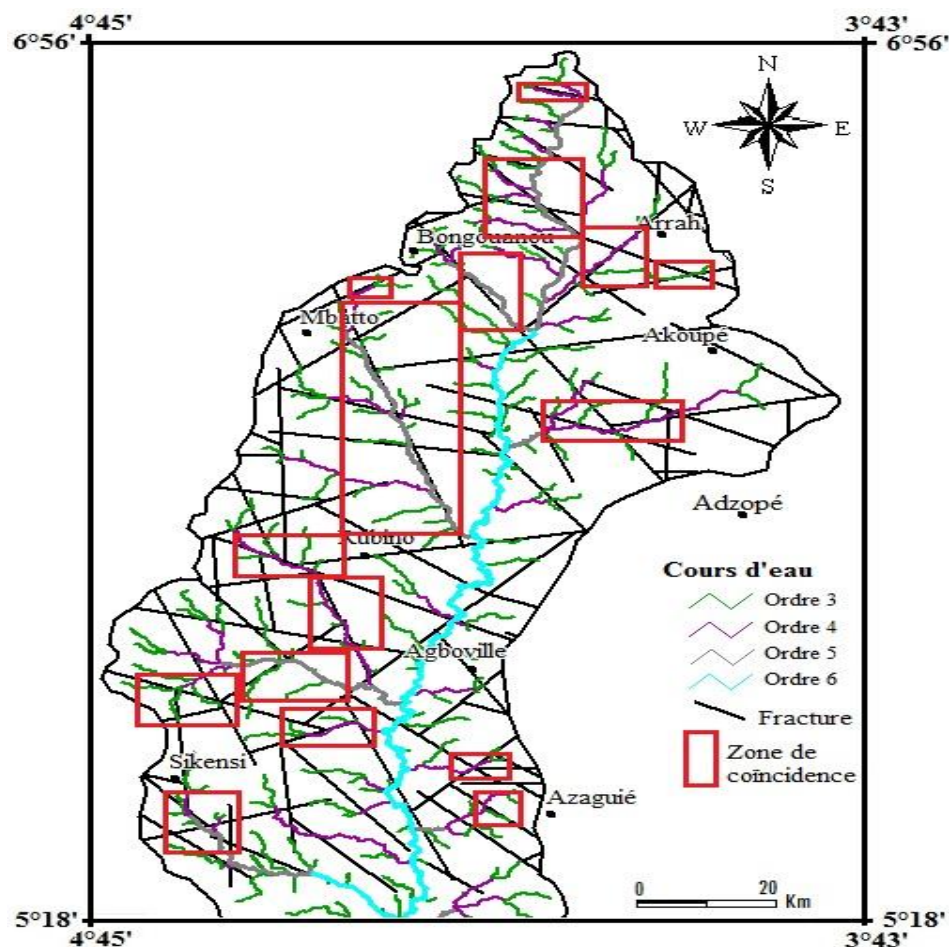
Cours d'eau	Principales directions dominantes par pourcentage décroissant
Ordre 1	NE-SO = E-O > NO-SE > N-S
Ordre 2	NO-SE > E-O > NE-SO > N-S
Ordre 3	E-O > NO-SE > NE-SO > N-S
Ordre 4	E-O > NO-SE > NE-SO > N-S
Ordre 5	NO-SE > N-S > E-O > NE-SO
Ordre 6	NE-SO > N-S > NO-SE > E-O

Les directions les plus représentatives de chaque ordre sont présentées dans le **Tableau 4**.

Tableau 4 : Pourcentage des directions les plus représentatives de chaque ordre

Drain hiérarchisé	Ordre 1	Ordre 2	Ordre 3	Ordre 4	Ordre 5	Ordre 6
Direction dominante	NE-SO et E-O	NO-SE	E-O	E-O	NO-SE	NE-SO
Pourcentage	26 %	29 %	32 %	33 %	39 %	33 %

Les drains hiérarchisés dont les directions les plus représentatives suivent celles de la fracturation sont l'ordre 2 et l'ordre 5. Les coïncidences qui existent entre les drains permanents du réseau hydrographique et les fractures majeures du bassin versant de l'Agnéby sont illustrées à la **Figure 9**.

**Figure 9 : Couplage des cours d'eau permanents aux fractures majeures du bassin de l'Agnéby**

Dans le bassin versant de l'Agnéby, des cours d'eau d'ordre 3, 4 et 5 se superposent en plusieurs endroits aux fractures sur des distances plus ou moins longues. En d'autres endroits, ils se croisent. Toutes les directions de fractures exercent plus ou moins une influence sur les cours d'eau. Cependant, certaines directions hydrographiques contournent cette emprise. Les drains d'ordre 3, 4 et 5 sont corrélables aux structures tectoniques que sont les fractures.

3-3. Discussion

La loi statistique exponentielle qui régit le comportement des drains du réseau hydrographique du bassin versant de l'Agnéby a aussi été mise en évidence par [21] au centre de la Côte d'Ivoire. L'analyse du réseau hydrographique dont les drains d'ordre 3, 4 et 5 établissent une parfaite relation avec certaines directions de la fracturation témoignent de ce que ceux-ci sont de bons révélateurs de structures géologiques de la région. [22] ont aussi prouvé que des drains d'ordre 3, sont corrélables aux structures tectoniques profondes enfouies sous une couverture sédimentaire plus ou moins épaisse dans le plateau de Valensole (Alpes). Selon les travaux de [23], les structures géologiques ont des descripteurs directs (failles, fractures, joints, contacts lithologiques, dykes, etc.) ou indirects (escarpements, thalwegs, contrôle structural du tracé des cours d'eau, etc.) en rapport avec le modelé du relief. Celles du bassin versant de l'Agnéby sont nées à la suite des mégacycles orogéniques qui ont affectés le socle précambrien [13]. Le réseau hydrographique a tendance à utiliser les zones de faiblesses du relief (les plus érodables donc à priori les plus altérés) et à s'établir préférentiellement sur les fractures principales, minimisant ainsi l'énergie nécessaire à son écoulement [24]. Selon les travaux de [7, 21], les drains d'ordre 5 et d'ordre supérieur contribuent largement aux esquisses structurales. La direction majeure NO-10 mise en évidence dans le bassin versant côtier de l'Agnéby est la direction d'écoulement d'un grand nombre de cours d'eau de ce bassin. La majorité des fleuves ivoiriens sont tous caractérisés par une architecture arborescente [7] dont les drains épousent généralement la direction N-S. La direction NO-SE correspondant à la direction libérienne en territoire ivoirien exerce aussi une influence prépondérante sur la fracturation et les drains du réseau hydrographique du bassin versant de l'Agnéby. Certains drains du réseau hydrographique, qui échappent à cette emprise, épousent la direction birimienne NE-SO. Les différences de fréquences relevées par les rosaces directionnelles des linéaments hydrographiques et des fractures majeures pourraient témoigner de la présence d'autres facteurs qui influencent l'architecture du réseau hydrographique du bassin versant côtier de l'Agnéby. Selon les travaux de [25 - 34], il pourrait s'agir de la géomorphologie, de la tectonique, de la nature des roches sous-jacentes, de la pente, des activités anthropiques, etc. Le suivi optimisé de la relation eau de surface-eau souterraine dans le cadre des applications environnementales (transfert de polluant, gestion de l'eau, gestion des zones humides, etc.) peut être effectué aux endroits où le parallélisme de plusieurs directions hydrographiques et celui de certaines fractures du socle est mise en évidence. L'influence des différentes structures géologiques dans la mise en place du réseau hydrographique ne souffre d'aucune contextation [7]. Il reste toutefois confirmé que la structure du réseau hydrographique à une influence avérée sur la réponse hydrologique d'un bassin versant [35].

4. Conclusion

Les relations spatiales et directionnelles du réseau hydrographique et de la fracturation du bassin versant de l'Agnéby sont mises en évidence dans cette étude. Le réseau hydrographique du bassin versant de l'Agnéby est d'ordre 7. Les ordres 1 et 2 caractérisent les petits cours d'eau ou têtes de bassin. Les ordres de 3 à 6 caractérisent les grands et permanents cours d'eau présents sur le socle. La distribution des drains du réseau hydrographique s'ajuste mieux à la loi exponentielle. Au seuil de signification de 10 %, les directions dominantes identiques entre les linéaments hydrographiques et les fractures en nombre est NO-10, et en longueurs cumulées est N100-110. La distribution des drains hiérarchisés est hétérogène. Les

directions dominantes des drains hiérarchisés sont N90-100 (33,3 %), N00-10 (25 %) et N30-40, N70-80, N130-140, N150-160 et N160-170 à hauteur de 8,3 % chacune. En se basant sur les quatre familles directionnelles, la direction dominante du réseau hydrographique NO-SE (26 %) épouse celle des fractures (45 %). Par ailleurs, les drains hiérarchisés dont les directions dominantes épousent celles de la fracturation sont l'ordre 2 et l'ordre 5. A l'analyse de la carte de couplage entre le réseau hydrographique et la fracturation, il ressort que la plupart des cours d'eau d'ordres permanents (ordres 3, 4 et 5) sont sous contrôle structural tandis que d'autres taillent leur propre chemin. Cette étude justifie donc du rôle fondamental de la fracturation dans la mise en place du réseau hydrographique. Elle peut être considérée comme un bon révélateur des relations qui existent entre les eaux de surface et les eaux souterraines ou entre la nappe phréatique et les aquifères sous-jacents. Par ailleurs, elle éclaire sur des questions et ouvre la voie à plusieurs explications d'ordre environnementale, à la pollution.

Références

- [1] - G. M. MIRANDA, "Gestion intégrée des ressources en eau dans les pays fédéraux : les cas suisse et brésilien (Géovisions n°46)", Thèse de Doctorat, Université de Lausanne, Institut de géographie et durabilité, (2017) 286 p.
- [2] - K. F. KOUAME, "Influences de la variabilité climatique et de la dégradation environnementale sur le fonctionnement de l'hydrosystème du N'zo dans la région guinéenne humide et semi-montagneuse de la Côte d'Ivoire. Contribution de la télédétection, des Systèmes d'Informations Géographiques et du modèle hydrologique HYDROTEL", Thèse Doct. ès Sci. Nat., Université de Cocody-Abidjan, (2010) 374 p.
- [3] - V. MARDHEL, G. H. MACHARD DE et C. VINCHON, "Relation entre le réseau hydrographique de surface et les eaux souterraines dans le secteur du bassin d'Orchies. Implication de son aménagement sur la vulnérabilité des nappes phréatiques", Rap BRGM RP-RP 51408-FR, (2002) 148 p.
- [4] - K. BELHASSAN, M. A. HESSANE et A. ESSAHLAUI, "Interactions eaux de surface-eaux souterraines: bassin versant de l'Oued Mikkes (Maroc) ", *Hydrological Sciences Journal*, 55 : 8 (2010) 1371 - 1384
- [5] - J. F. VERNOUX, J. LIONS, E. PETELET-GIRAUD, J. J. SEGUIN, P. STOLLSTEINER et E. LALOT, "Contribution à la caractérisation des relations entre eau souterraine, eau de surface et écosystèmes terrestres associés en lien avec la DCE", Rapport BRGM/RP-57044-FR, (2010) 207 p.
- [6] - G. CASTANY, "Unicité des eaux de surface et des eaux souterraines, principe fondamental de la mise en valeur des ressources hydrologiques", *Hydrol. Sci. J.*, 10, 3 (1965) 22 - 30
- [7] - J. BIEMI, "Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants subsahariens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus de sillons et aires granitiques de la haute Marahoué (Côte d'Ivoire)", Thèse Doct. ès Sci. Nat., Faculté des Sciences et Techniques, Univ. Nationale de Côte d'Ivoire, (1992) 493 p.
- [8] - K. F. KOUAME, "Hydrogéologie des aquifères discontinus de la région sémi montagneuse de Mandanané (Ouest de la Côte d'Ivoire). Apport des données des images satellitales et des méthodes statistique et fractale à l'élaboration d'un système d'information hydrogéologiques à référence spatiale", Thèse de Doctorat de 3e cycle, Université de Cocody, (1999) 196 p.
- [9] - A. DRIDRI et B. FEDAN, " Rôle du contrôle structural dans la mise en place du réseau hydrographique de Sebou et d'Inaouène entre Fès et oued Amlil (Maroc)", *Bulletin de l'Institut scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre*, 2001, N°23 (2001) 67 - 77
- [10] - J. OUBBIH, A. EL MAHDAOUY, B. EL MANSOURI, A. MRIDEKH, S. CHAKIRI et H. ELBELRHITI, " Impact de la fracturation sur l'architecture du réseau hydrographique (cas de la région de Smaala, Maroc central hercynien) : apport du sig et de la télédétection", *European Scientific Journal*, Vol.11, N°3 (2015) 342 - 360

- [11] - J-B. L. F. AVIT, P. L. PEDIA et Y. SANKARE, "Diversité Biologique de la Côte d'Ivoire" - Rapport de synthèse - Ministère de l'Environnement et de la Forêt, (1999) 273 p.
- [12] - Y. T. BROU, "Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire", Mémoire de synthèse des activités scientifiques présenté en vue de l'obtention de l'Habilitation à Diriger des Recherches, Université des Sciences et Techniques de Lille, France, (2005) 212 p.
- [13] - T. V. ASSOMA, "Variabilité hydroclimatique et évaluation des ressources en eau du bassin côtier de l'Agnéby au Sud-Est de la Côte d'Ivoire : apport des outils statistiques, de la modélisation et de la télédétection optique et radar", Thèse unique de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan- Cocody, (2013) 196 p.
- [14] - Y. A. N'GO, D. L. GONE, I. SAVANE et M. M. GOBLE, "Potentialités en eaux souterraines des aquifères fissurés de la région d'Agboville (sud-ouest de la Côte d'Ivoire) : caractérisation hydroclimatique et physique", *Afrique SCIENCE*, 1 (1) (2005) 127 - 144
- [15] - D. L. GONE, I. SAVANE et M. M. GOBLE, "Caractéristiques physico-chimiques majeures des eaux souterraines des aquifères fissurés de la région d'Agboville (sud-ouest de la Côte d'Ivoire) ", *Revist.5*, (2004) 117 - 133
- [16] - G. GIRARD, J. SIRCOULON et P. TOUCHEBEUF, "Milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Aperçu sur les régimes hydrologiques", *Mém. ORSTOM*, N°50, Paris, (1971) 107 - 155
- [17] - C. DELOR, I. DIABY, Y. SIMEON, B. YAO, D. AKRE, A. OKOU, S. KONATE, J-P. TASTET, M. VIDAL, I. TRAORE, A. DOMMANGET, J-P. CAUTRU, G. KONAN et J-C. CHIRON, "Carte géologique de la Côte d'Ivoire à 1/200 000 ; Feuilles Abidjan, Dimbokro et Abengourou", Direction des Mines et de la Géologie, Abidjan, Côte d'Ivoire, (1992)
- [18] - A. MAHMOOD, "Lineaments as Groundwater Exploration Guides in Hard-rock Terranes of Arid Regions, *J. Can. Télédétection*, Vol. 22, N°1 (1996) 108 - 116
- [19] - R. S. DESJARDINS, D.W. IRIS, G.H. ROY, G. LEMIEUX et T. TOUTIN, "Efficacité des données de Radarsat - 1 dans la reconnaissance des linéaments : un bilan", *J. Can. Télédétection*, 26 (2000) 537 - 548
- [20] - A. N. STRAHLER, "Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography", *Bull. Geol. Soc. Am.*, 63 (1952) 1117 - 1142
- [21] - K. H. NIAMKE, M. B. SALEY, B. E. N'DRI, A. OUATTARA et J. BIEMI, "Contribution à l'interprétation des pseudo-images de l'hydrographie en région tropicale humide : Cas du N'zi-Comoé (Centre de la Côte d'Ivoire) ", *European Journal of Scientific Research*, 24 (2008) 74 - 93
- [22] - J. COLLINA-GIRARD et R. GRIBOULARD, "La structuration profonde du plateau de Valensole (Alpes). Apport des analyses des réseaux d'entailles et des surfaces topographiques", *Géol. Médit.* XVII, 2 (1990) 153 - 171
- [23] - K. F. KOUAME, M. J. PENVEN, B. E. KOUADIO, M. B. SALEY et C. C. GRONAYES, "Contribution des images d'aster de terra et d'un modèle numérique d'altitude à la cartographie morphostructurale du massif des Toura (ouest de la Côte d'Ivoire) ", *Revue Télédétection*, Vol. 6, N°2 (2006) 103 - 121
- [24] - B. DEFFONTAINES, "Développement d'une méthodologie morpho-néotectonique et morphostructurale. Analyse des surfaces enveloppés, du réseau hydrographique et des modèles numériques de terrain; application au Nord-Est de la France", Thèse nouveau doctorat, Paris VI, (1990) 260 p.
- [25] - A. D. HOWARD, "Drainage analysis in geologic interpretation: a summation", *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, Tulsa, 51 (1967) 2246 - 2259
- [26] - J. BENKHELI, "Relation entre la structure et le réseau hydrographique sur substratum granitique et schisteux (région de Dimbokro, Côte d'Ivoire)", 4ème Réunion Annuelle des Sciences de la Terre, (1974) 46 p.

- [27] - G. PERON et R. GUIRAUD, "Relations entre les orientations du réseau hydrographique et des éléments structuraux dans le Centre Nord de la Côte d'Ivoire", 4ème Réunion annuelle des Sciences de la Terre, Paris, (1976)
- [28] - S. LE PAPE, "Analyse et quantification du réseau hydrographique, le réseau hydrographique comme objet vectoriel", Mémoire de l'École Supérieure des Géomètres Topographes, (1998) 64 p.
- [29] - M. DUPOUY et A. DU PELOUX, "Etude du réseau hydrographique de la Montagne Noire: influence des facteurs géologiques sur le réseau hydrographique", Mémoire d'aptitude à la géologie, n°541, Institut Polytechnique LaSalle Beauvais, (2011) 76 p.
- [30] - H. PELLA, J. LEJOT, N. LAMOUROUX et T. SNELDER, "Le réseau hydrographique théorique (RHT) français et ses attributs environnementaux ", *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 18 (2012) 317 - 336
- [31] - L. TASSINE, S. CHAKIRI, Z. BEJJAJI and H. ECHARFAOUI, "The role of fracturation on surface water circulation: contribution of remote sensing and Geographic Information Systems (Case of the Amez Miz region, Marrakech High Atlas ", Morocco), *Science Lib*, Vol. 6, (2014) 1 - 21
- [32] - J. C. KIM and K. JUNG, "Fractal Tree Analysis of Drainage Patterns ", *Water Resources Management*, 29 (4) (2015) 1217 - 1230
- [33] - K. JUNG and T. B. M. J. OUARDA, "Classification of drainage network types in arid and semi- arid regions of Arizona and California ", Internal Report, Masdar Institute of Science and Technology, *Journal of Arid Environments*, Vol. 144, (2017) 60 - 73
- [34] - A. KOUDOU, B. ADIAFFI, T. V. ASSOMA, B. H. KOUADIO, A. E. ASSEMIAN et Z. O. DE LASME, "Contribution des données multisources à la connaissance du réseau hydrographique du bassin versant du N'zi (centre de la Côte d'Ivoire) ", *Photo Interprétation European J. of Applied Remote Sensing*, 54 (2), (2018) xxx-xxx, <https://lacazebernard.wixsite.com/piejars/blog/volume-54-issue-2>
- [35] - H. ABDEDDAIM et A. BENKHALED, "Influence of the hydrographic network on hydrologic response "in northeast watersheds of Algeria", *Larhyss Journal*, N°27 (2016) 313 - 335