

GLOBAL JOURNAL OF SCIENCE FRONTIER RESEARCH: H ENVIRONMENT & EARTH SCIENCE Volume 20 Issue 6 Version 1.0 Year 2020 Type: Double Blind Peer Reviewed International Research Journal Publisher: Global Journals Online ISSN: 2249-4626 & Print ISSN: 0975-5896

# Cartographie Des Reseaux De Fractures De La Region De Gagnoa (Centre-Ouest De La Cote D'ivoire)

By Oscar Zahibo Onetie, Assoué Kouakou Sylvestre Kouadio, Adama Coulibaly, Kotchi Rodrigue Orou, Marie Rosine Fossou & Derving Baka

Universite Nangui Abrogoua, Côte D'ivoire

Abstract- Characterisation of the fractures network precambrian basement Gagnoa area (Central West lvory Coast) Located in the central-western part of Côte d'Ivoire, the Gagnoa region consists of sedimentary volcano and granitoid formations with developed fracturing. The objective of this study is to map the fracture network of the Precambrian basement of Gagnoa using Landsat-7 ETM+ satellite images and to characterize it from a statistical point of view. The raw satellite images were processed to enhance linear features considered to be fractures. The lineament map obtained after processing is very dense and contains 3,010 lineaments of varying sizes and orientations. The validation of the different linear structures was done on the basis of geophysical studies and the hydrographic map of the study area. The distribution of fracture orientations shows some fracture heterogeneity in the region. The statistical analysis performed on this fracture network shows that the distribution of fracture lengths follows a power law with a characteristic coefficient = 2.756, reflecting the advanced stage of fracture development. All the results contribute to a better knowledge of the fracture networks and groundwater functioning in the Gagnoa region. Translated with www.DeepL.com/Translator (free version).

Keywords: remote sensing, fractures network, geophysic, hydrographic statistics, ivory coast.

GJSFR-H Classification: FOR Code: 040699

# CARTO GRAPH I E DE SRE SEAUX DE FRACTURE S DE LARE G'I DN DE GAGNDACE NTRE DUE ST DE LACOTE DIVOIRE

Strictly as per the compliance and regulations of:



© 2020. Oscar Zahibo Onetie, Assoué Kouakou Sylvestre Kouadio, Adama Coulibaly, Kotchi Rodrigue Orou, Marie Rosine Fossou & Derving Baka. This is a research/review paper, distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 Unported License http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/), permitting all non commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

# Cartographie Des Reseaux De Fractures De La Region De Gagnoa (Centre-Ouest De La Cote D'ivoire)

Oscar Zahibo Onetie <sup>α</sup>, Assoué Kouakou Sylvestre Kouadio <sup>σ</sup>, Adama Coulibaly <sup>ρ</sup>, Kotchi Rodrigue Orou <sup>ω</sup>, Marie Rosine Fossou <sup>¥</sup> & Derving Baka <sup>§</sup>

Résumé- Localisée au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, la région de Gagnoa est constituée de formations volcano sédimentaires et de granitoïdes avec une fracturation développée. La présente étude a pour objectif de cartographier le réseau de fractures du socle précambrien de Gagnoa à l'aide des images satellitaires Landsat-7 ETM+ et de le caractériser d'un point de vue statistiques. Les images satellitaires brutes ont fait l'objet de traitements de sorte à rehausser des éléments linéaires considérés comme fractures. La carte de linéaments obtenue après les traitements est très dense et comporte 3 010 linéaments de tailles et d'orientations variables. La validation des différentes structures linéaires a été faite sur la base d'études géophysiques et de la carte hydrographique de la zone d'étude. La distribution des orientations de fractures montre une certaine hétérogénéité de la fracturation dans la région. L'analyse statistique réalisée sur ce réseau de fractures montre que la distribution des longueurs de fractures obéit à une loi puissance avec un coefficient caractéristique  $\alpha = 2,756$ , témoignant du stade de développement avancé de la fracturation. L'ensemble des résultats contribue à une meilleure connaissance des réseaux de fractures et du fonctionnement des eaux souterraines de la région de Gagnoa.

*Mots clés: télédétection, fracturation, géophysique, hydrographique, statistique, côte d'ivoire.* 

Abstract- Characterisation of the fractures network precambrian basement Gagnoa area (Central West Ivory Coast) Located in the central-western part of Côte d'Ivoire, the Gagnoa region consists of sedimentary volcano and granitoid formations with developed fracturing. The objective of this study is to map the fracture network of the Precambrian basement of Gagnoa using Landsat-7 ETM+ satellite images and to characterize it from a statistical point of view. The raw satellite images were processed to enhance linear features considered to be fractures. The lineament map obtained after processing is very dense and contains 3,010 lineaments of varying sizes and orientations. The validation of the different linear structures was done on the basis of geophysical studies and the hydrographic map of the study area. The distribution of fracture orientations shows some fracture heterogeneity in the region. The statistical analysis performed on this fracture network shows that the distribution of fracture lengths follows a power law with a characteristic coefficient = 2.756, reflecting the advanced stage of fracture development. All the results contribute to a better knowledge of the fracture networks and groundwater functioning in the Gagnoa region. Translated with www.DeepL.com/ Translator (free version).

Keywords: remote sensing, fractures network, geophysic, hydrographic statistics, ivory coast.

# I. INTRODUCTION

a structure des aquifères en zone de socle cristallin et métamorphique est très complexe. L'étude des réseaux de fractures est fondamentale pour la recherche en eaux souterraines car ils constituent les principaux chemins des écoulements souterrains. En effet, l'essentiel des ressources en eau se trouve dans les aquifères fracturés (Biémi, 1992; Kouamé, 1999; Lasm, 2000). Elle est également importante en ce qui concerne la recherche des sources d'énergie et des sites d'enfouissement de déchets nucléaires (Neretnieks et al. 1993 ; Dershowitz, et al. 1991).

De nombreux travaux (Krishnamurthy et al., 1996; Lloyd, 1999; Jackson, 2002) ont mis en evidence l'importance de la télédétection dans les investigations hydrogéologiques. Il a été montré que les images satellitaires contiennent des accidents géologiques qui ont un lien direct avec le débit des eaux souterraines (Kresic, 1994). En Côte d'Ivoire, les travaux de Biémi (1992), Savané et al. (1993), Savané (1997), Kouamé (1999), Jourda (2005) et Jourda et al. (2006) ont mis en évidence la relation entre les données de télédétection et les ressources en eaux souterraines dans les roches de socle. La télédétection par ces diverses méthodes de prétraitement et de traitement se présente comme un outil préférentiel pour une meilleure cartographie des réseaux de fractures. Elle permet d'étudier de vastes champs géographiques par sa vision synoptique.

Depuis les années 2000, le Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire se trouve dans une situation de stress hydrique due au boom démographique. Cette situation sera accentuée par le développement d'activité minière exposant les ressources eaux à la pollution. De ce fait des études hydrogéologiques récentes ont été menées

Author α ρ O §: Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement, UFR STRM, Université Felix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire. e-mail: sylvestreassoue@gmail.com

Author σ ¥: Laboratoire Géosciences et Environnement, UFR Sciences et Gestion de l'Environnement (SGE), Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire.

dans des régions voisines de la zone d'étude par de nombreux auteurs (Yao, 2009; Sorokoby et *al.*, 2010; Baka, 2012; De Lasme, 2013) afin d'appréhender le fonctionnement des réservoirs fracturés. C'est dans cette même optique que ce travail a été initié. Il va consister à cartographier le réseau de fractures, de le caractériser à partir de méthodes statistiques et d'en évaluer sa densité. Cette étude permettra une meilleure connaissance de la géométrie du milieu fracturé de la région de Gagnoa.

# II. Cadre D'étude ET Contexte Géologique

Située au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, entre 5°40 et 6°10 de latitude Nord et entre 5°50 et 6°20 de la longitude Ouest, en domaine de socle, la région de Gagnoa couvre une superficie de 2 500 km<sup>2</sup> avec une population cosmopolite estimée à 897 117 habitants (Ins, 2015). Ce département est composé d'une pénéplaine légèrement ondulée, d'altitude moyenne de 220 m avec un relief est peu marqué.

Le socle précambrien de Côte d'Ivoire est constitué de deux grands ensembles. L'archéen et le protérozoïque séparés par la faille majeure du Sassandra de direction N-S dont l'histoire est complexe (Camil, 1984; Djro, 1998). L'histoire géologique de la région de Gagnoa s'inscrit dans celle du domaine protérozoïque. Selon Géomines (1982), les différentes unités géologiques peuvent être subdivisées en deux entités (Figure 1):

- les volcano-sédimentaires représentées par des amphibolites qui s'apparenteraient à des tuffs dacitiques et des schistes chloriteux, sériciteux de couleur grise à verte;
- les granitoïdes constitués en grande partie par des granites à deux micas et les granodiorites.

Au plan hydrogéologique, on y rencontre les aquifères des niveaux supérieurs (altérites), des fissures (horizon fissuré) et de failles.

Selon la carte de Tagini (1971), la région de Gagnoa ne présente pas assez de données structurales. Néanmoins il a été identifié quelques failles orientées NO-SE dans le Nord-ouest.





# III. Matériel ET Méthodes

# a) Données

Cette étude a nécessité l'utilisation de plusieurs types de données dont les cartes géologiques et topographiques à l'échelle 1/200 000 des degrés carrés Gagnoa, Daloa, Grand-Lahou et Soubré de Géomines (1982); les images satellitaires ETM+ de Landsat-7 (197-55 et 197-56) ont été utilisées pour la cartographie du réseau linéamentaire; les données géophysiques constituées de profils de résistivité issues de 57 trainés électriques pour la validation de la carte de fracturation. Ces images satellitaires ont été choisies du fait de leurs caractéristiques spectrales et spatiales permettant une bonne cartographie structurale à petite échelle (Youan Ta et *al*, 2008). Les images Landsat sont composées de sept bandes (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) de résolution spatiale  $30 \times 30$  m.

# b) Méthodologie

# i. Cartographie des linéaments

La cartographie des linéaments a été possible grâce aux différents traitements appliqués aux images satellitaires ETM+ de Landsat-7 (197-55 et 197-56) corrigés et mosaïquées. La méthodologie de traitement d'images pour l'extraction des linéaments suit l'ordre suivant l'analyse en composante principale (ACP), la combinaison d'images (addition et rapports de bandes), les compositions colorées et le filtrage spatial (filtre Sobel).

# • Analyse en composante principale

L'analyse en composante permet de rehausser les images et de réduire le nombre de bandes à traiter en comprimant les informations selon une hiérarchie (Bonn et *al.*, 1992). L'analyse en composantes principales a été réalisée sur sept canaux à savoir ETM<sup>+</sup>1, ETM<sup>+</sup>2, ETM<sup>+</sup>3, ETM<sup>+</sup>4, ETM<sup>+</sup>5, ETM<sup>+</sup>6, ETM<sup>+</sup>7. Le résultat des trois premières composantes ACP1, ACP2 et ACP3 donne respectivement 81,93 ; 10,44 et 3,26% des informations. Il en résulte que 95,63% des informations sont comprises dans les trois premières composantes. La technique de l'étalement linéaire a ensuite été appliquée à ces néo-canaux pour une amélioration du contraste.

# Combinaisons d'images et compositions colorées

Plusieurs opérations ont été exécutées en particulier les combinaisons d'images. Les linéaments régionaux sont relevés par la combinaison des canaux (ETM<sup>+</sup>7/ ETM<sup>+</sup>6), (ETM<sup>+</sup>4/ ETM<sup>+</sup>6) permettant de mettre en évidence les fractures d'ordres kilométriques et plurikilométriques. Ces linéaments sont également mis en évidence par le rapport de bandes (ETM<sup>+</sup>6- ETM<sup>+</sup>7)/  $ETM^+7)$  $(ETM^+6+$ selon Kouamé (1999). La composition colorée facilite la perception visuelle d'images en attribuant à chacune d'elles une des couleurs de base : Rouge (R), Verte (V) et Bleu (B).

# • Techniques de filtrage spatial

Dans la présente étude, les filtres directionnels de Sobel (de type 7×7) ont été utilisés pour identifier les linéaments. Ils accentuent les discontinuités lithologiques et structurales dans les quatre directions N-S; NE-SW; NW- SE; E- W (Tableau I). Les discontinuités lithologiques et structurales correspondantes à des linéaments structuraux ont été relevées manuellement suivant une analyse visuelle à l'écran.

1	2	1	2	1	1	1
1	1	2	3	2	1	1
1	1	3	4	3	2	1
0	0	0	0	0	0	0
-1	-2	-3	-4	-3	-2	-1
-1	-1	-2	-3	-2	-1	-1
-1	-1	-1	-2	-1	-1	-1

Tableau I: Filtres directionnels 7×7 de Sobel (Kouamé, 1999)

-1

-1

-1

-2

-1

-1

-1

-1

-1

-2

-3

-2

-1

-1

-1

-2

-3

-4

-3

-2

0

0

0

0

0

0

**Direction N-S** 

				2019-1-0		_
0	1	1	1	1	1	2
-1	0	2	2	2	3	1
-1	-2	0	3	4	2	1
-1	-2	-3	0	3	2	1
-1	-2	-4	-3	0	2	1
-1	-3	-2	-2	-2	0	1
-2	-1	-1	-1	-1	-1	0

#### 

1

2

3

4

3

2

1

1

2

3

2

1

1

1

1

1

2

1

1

1

			10000	2001		
2	1	1	1	1	1	0
1	3	2	2	2	0	-1
1	2	4	3	0	-2	-1
1	2	3	0	-3	-2	-1
1	2	0	-3	-4	-2	-1
1	0	-2	-2	-2	-3	-1
0	-1	-1	-1	-1	-1	-2

#### Direction NE-SW

#### Validation de la carte linéamentaire

Après la cartographie des linéaments, une validation de celle-ci est nécessaire car les traitements d'images satellitaires se heurtent régulièrement au problème de fiabilité. Cette validation se fait par superposition de cette carte sur d'autres cartes ou sources de données. Les épaisses couches d'altérites et la forte végétation existantes sur la zone d'étude n'a pas permis l'observation de figures caractéristiques des linéaments sur affleurements. Une étude de terrain

#### Direction NE-SE

basée sur une étude géophysique a été initiée pour confirmer l'existence des segments observés par imagerie satellitaire. Les profils électriques obtenus après cette étude ont permis d'identifié des linéaments. Ces linéaments se caractérise sur les profils électriques issues du trainé par une variation latérale significative des résistivités (figure 2). La méthode de détermination des directions des linéaments décelés sur les profils électriques a été inspirée des travaux de Coulibaly (2014).





La carte du réseau hydrographique a également servi de support pour la validation de la carte de fracturation de Gagnoa. La démarche a consisté à comparer les orientations des segments de cours d'eau rectilignes, à celles des linéaments cartographiés. Ce principe de base épouse celui de Julian *et al.*, (1988). Plusieurs auteurs (Lasm et Razack, 2001 ; Dupouy *et al.*, 2011 ; Tahiri, 2013) ont également montré l'existence de la corrélation entre la fracturation et l'hydrographie.

## c) Analyse statistique de la fracturation

L'analyse statistique de la fracturation a été réalisée afin de caractériser les paramètres de la fracturation notamment l'orientation, le nombre, et la longueur des fractures. Cette étude statistique a été conduite sur le réseau de linéaments cartographié.

# • Intensité de la fracturation

L'intensité de la fracturation est exprimée en nombre, et en longueurs cumulées de fractures par maille. En effet, la zone d'étude a été subdivisée en maille carrées de  $5 \times 5$  km<sup>2</sup> et à l'intérieur de chaque maille, le nombre et la longueur cumulée des fractures ont été déterminés. Par la suite, une étude de régression linéaire est effectuée entre l'intensité en nombre de fractures (NF) et l'intensité en longueur cumulée (LC) par maille. Si la corrélation est établie, l'un ou l'autre de ces paramètres pourra être utilisé pour exprimer l'intensité de fracturation.

## • Ajustement des longueurs de fractures

Dans cette étude, longueurs de fractures ont été ajustées la loi puissance. Cette loi reste valide pour un intervalle de longueur déterminé (Odling *et al.*, 1999, Darcel, 2002). L'ajustement à la loi de puissance consiste à reporter dans un diagramme bi-logarithmique la distribution de fréquences des longueurs. Si les points s'alignent suivant une droite, la distribution suit alors une loi de puissance d'expression (Bodin et Razack, 1999). :

$$N(x) = a \times x^{-\alpha} \tag{1}$$

avec:

*x:* centre de classe de la variable (par exemple la longueur des fractures);

N: fréquence de classes;

a: coefficient de proportionnalité;

α: exposant caractéristique de la loi puissance.

# IV. Résultats

Le traitement des images satellitaires a permis de cartographier les linéaments structuraux de la région de Gagnoa (figure 3). La carte des linéaments comporte de nombreux linéaments de longueurs variables et d'orientations diverses. La taille de ces linéaments s'échelonne sur plus ordre de grandeur.





# Longueur des linéaments détaillés

La longueur des linéaments varie entre 0,36 et 22,4 km avec une moyenne de 2,4 km soit sur deux ordres de grandeur soulignant plus ou moins l'hétérogénéité du milieu. La valeur du coefficient de variation (Cv = 120%) supérieur à 100% indique une certaine dispersion des données. A l'examen des données des longueurs de linéaments, il ressort que les linéaments de petites tailles sont plus nombreux que ceux de grande taille. En effet, 92,09 % des linéaments ont une taille inférieure ou égale à 5 km (figure 3).



Tableau II: Statistique des longueurs de linéaments

Figure 4: Histogramme de la distribution des longueurs de linéaments par classes

La figure 4 présente la distribution des  $N(\ell) = 1242 \times \ell^{-2,756}$ longueurs de linéaments dans un diagramme bilogarithmique (le pas des classes est de 450 m). Nous  $R^2 = 0,956$  ( $R^2$  calculé pour les longueurs comprises pouvons remarquer sur ce graphique que seule une dans l'intervalle  $1,35 \leq \ell \leq 12,5$  km).

où N désigne l'effectif des linéaments et  $\ell$  désigne la longueur des linéaments.



Figure 5: Ajustement de la distribution des longueurs de fractures à une loi puissance

Le coefficient caractéristique de la loi puissance est de  $\alpha$  = 2,756 pour des longueurs de fractures comprises entre 1,35 et 12,5 km. Ce résultat témoigne de du stade de développement avancé du réseau de linéaments de la région de Gagnoa.

partie de la courbe (1,35  $\leq \ell \leq$  12,5 km) présente un

comportement linéaire sur laquelle il est possible

d'ajuster une loi de puissance. Cette loi de puissance à

pour expression:

La connectivité du réseau dans cette partie du pays est assurée aussi bien par les petits et longs linéaments. La distribution des longueurs de linéaments de la région de Gagnoa obéit à une loi puissance pour des longueurs comprises entre 1,35 et 12,5 km. Pour les longueurs de fractures inférieures à 1,35 km, on est confronté à un problème de sous échantillonnage qui ne permet pas de rendre compte des petites fractures. La loi de puissance ne rend pas toutefois compte des

(3)

petites fractures. Pour les valeurs inférieures à 12,5 km, on s'éloigne très significativement de la droite linéaire théorique mettant en évidence les limites de résolution avec la rupture de pente.

• Distribution des orientations des fractures

La distribution des orientations des fractures est illustrée par la figure 6. Sur cette rosace, seule la famille de fractures la direction N0-10 se démarque de l'ensemble des familles avec une fréquence en nombre de 15%. Elle constitue la famille majoritaire ou principale de fracturation de la région. Après elle, apparaissent secondairement les familles N90-100 et N10-20 qui constituent les familles de fractures secondaires avec respectivement des fréquences de 9 % et de 7%. Les autres familles présentent des fréquences inférieures à 6%. Ce résultat témoigne d'une certaine hétérogénéité dans la distribution des orientations de fractures dans la région étudiée.



Figure 6: Rosace directionnelle de fréquence d'orientation de la linéation (N = 3010)

### Validation du champ linéamentaire

La rosace des brins du réseau hydrographique est illustrée à la figure 7b. La classe de fractures N00-10 et N90-100 apparaissent les plus prédominants. Les autres classes présentent des fréquences inférieures ou égales à 6%. Ce résultat s'apparente à celui du réseau de linéament extrait des images satellites. Les réseaux de linéament et hydrographique présente le même comportement en ce qui concerne leur répartition sur l'espace étudié. Le données géophysiques donnent des résultats quelques peu différents compte tenu du nombre de fractures pris en compte comparativement au réseau de linéament et aussi de l'échelle d'investigation (Figure 7a). Cependant on peut noter quelques similitudes. En effet on retrouve les familles NS (N170-180) et N90-100. En plus de ces familles, il apparait aussi la famille N130-140. De tout ce qui précède, nous pouvons conclure que les linéaments cartographiés par imagerie satellitaire ont une valeur de

fracturation et peuvent être considérés comme des fractures.





# • Intensité de la fracturation

Les différentes valeurs de l'intensité de la fracturation (en longueurs cumulé de fractures et en nombre de fractures) sont résumées dans le tableau III.

Densité de fracturation	Maximum	Minimum	Moyenne
longueurs cumulées de fracture par maille (km/km²)	36,91	0,07	23,01
nombre de fractures par maille (fractures /km²)	38	1	20,39

Tableau III: Statistiques élémentaires de la densité de fracturation

La relation entre la densité en longueur cumulée (LC) et en nombre (NB) est analysée au niveau de la figure 8. Les différents points forment un nuage de points dans le diagramme arithmétique avec une certaine tendance mettant en évidence une possible relation entre ces deux paramètres. La relation est de type linéaire positive et est définie par l'équation des moindres carrées :

$$LC = 1,912 + 1,034 \text{ NB}$$
 (2)

avec un coefficient de détermination  $R^2$  de 0,7494, soit un coefficient de corrélation de R= 0,865. Cette valeur indique que le test statistique est satisfaisant. Ces deux paramètres étant donc corrélés ainsi l'un ou l'autre pourrait être utilisé pour exprimer l'intensité de la fracturation.



Figure 8: Corrélation entre intensité de fracturation en nombre de fractures (NB) et en longueurs cumulées (LC)

La figure 9 présente la distribution spatiale de l'intensité de la fracturation en longueurs cumulées. La densité varie d'une maille à l'autre sur ces deux cartes. Cette variabilité spatiale témoigne d'une certaine hétérogénéité au niveau de la fracturation de la zone d'étude. L'observation des deux cartes montre que la région est fortement fracturée. Les zones de fortes densités de fracturation occupent plus de la moitié de la zone d'étude. Sur la carte de densité en longueurs cumulées (Figure 45), les zones de fortes densités, se rencontrent de la partie centrale et au nord avec une régression de la densité des bordures vers le centre de la zone. Ces zones représentent 60% de la région. La zone de très forte fracturation au nord est matérialisée par la présence d'un cours d'eau appelé le Nahouri.



*Figure 9:* Carte de densité de fracturation en longueurs cumulées (LC) (maille 5×5 km)

• Relation entre la fracturation et la pétrographie

La correspondance entre facturation et la pétrographie de la zone d'étude est illustrée à la figure 10. Cette figure montre que les zones de forte intensité de fracturation coïncidente dans la plupart des cas avec les formations volcano sédimentaires (schiste et tuf). Néanmoins des zones de fortes densités de fracturation sont rencontrées dans les granitoïdes.



Figure 10: Densité de fracturation exprimée en nombre de fractures et des grands ensembles géologiques

# V. Discussion

La caractérisation de la géométrie des fractures a fait l'objet de nombreuses études (Chiles, 1989; Biémi, 1992; Gillespie et al., 1993; Bodin et Razack, 1999; Darcel et al., 2003 ; Razack et Lasm, 2006 ; Youan Ta et al., 2008; Baka, 2012). Ces études ont permis une meilleure connaissance des milieux fracturés. Des études menées dans les régions proches de la zone étude par Yao (2009), Sorokoby et al. (2010), Baka (2012) et De Lasme (2013) où ont été cartographiées plusieurs centaines de fractures dans les régions de Soubré, de San Pédro et d'Oumé. Dans les régions de Soubré et de San Pédro. les directions préférentielles de fracturation enregistrées sont les directions de N00-10 et N90-100. Dans la région d'Oumé, Baka, 2012 n'a pas trouvé de direction préférentielle néanmoins la direction N90-100 se démarquerait des autres directions de fracturation. Aussi, des travaux réalisés dans le degré carré de Grand-Lahou, situé au Sud de la zone d'étude, par Soro (2002) identifie 3 directions principales de fractures que sont N00-10, N90-100 et N40-50. Ainsi, les directions principales des fractures

identifiées à Gagnoa sont similaires à celles relevées dans les zones voisines. Ce qui laisse suggérer que ces régions ont été affectées par une tectonique similaire ou même identique. Ces linéaments peuvent être assimilés par conséquent à des fractures. La distribution suivant la loi puissance des longueurs de fractures est en accord avec plusieurs travaux réalisés en Côte d'Ivoire; notamment ceux de Lasm (2000), Jourda (2005), Youan Ta (2008), Baka et al. (2012), De Lasme (2013). Cette distribution fait ressortir un effet de « troncation » dû à des petites fractures sous échantillonnée aux limites de résolution de détection et aux méthodes d'échantillonnage (Ackermann et al., 2001; Bonnet et al., 2001). L'exposant caractéristique de la loi de puissance est en accord avec les données de littératures comprises généralement entre 1 et 3 (Bodin et Razack, 1999; Lasm, 2000; Jourda, 2005; Baka, 2012). Selon De Dreuzy (2000), pour un réseau 2D l'exposant caractéristique de la loi puissance donne des renseignements sur la connectivité du réseau de fracture.

- α >3, la connectivité est contrôlée par les petites fractures et les règles de la théorie de la percolation s'appliquent;
- $\alpha$  <2, le rôle des petites fractures est négligeable et, en terme de connectivité, le système est similaire à une superposition de fractures infinies;
- 2< α <3, les longues et les petites fractures contrôlent à la fois la connectivité, qui est significativement dépendante de l'échelle.

Différents exposants caractéristiques obtenus dans diverses régions de la Côte d'Ivoire notamment par Lasm (2000), Youan Ta (2008), Yao (2009), Baka (2012), De Lasme (2013) respectivement à Man-Danané ( $\alpha = 2,91$ ); à Bondoukou ( $\alpha = 2,98$ ); à Soubré, ( $\alpha = 2,61$ ); à Oumé, ( $\alpha = 2,75$ ); à San Pedro, ( $\alpha = 2,65$ ), montre que la connectivité du socle fracturé est contrôlée par les petites et longues fractures.

Bonnet et al. (2001) montre qu'il existe une relation entre la maturité d'un réseau de fractures et la loi d'ajustement. En effet, Les réseaux peu matures sont distribués suivant la loi exponentielle, alors que les réseaux plus matures suivent une loi puissance. Le stade de maturité ultime étant distribué suivant une loi log-normale. De ce fait le réseau de fracture de la zone d'étude est un réseau mature. Plusieurs auteurs (Engalenc, 1978; Kouadio, 2005a; Kouadio et al., 2008) se sont intéressés à la relation liant la pétrographie à la fracturation. La présence de nombreux minéraux phyllosilicatés de biotites et de muscovites dans les granitoïdes seraient à l'origine des zones de forte intensité de fracturation. En effet, ces minéraux par altération sont à l'origine des fissures (Wyns et al., 1999; Wyns et al., 2004; Dewandel et al., 2006; Koita, 2010). La structure lamellaire de ces minéraux crée des zones de moindre résistance dans la roche (Yacé, 2002).

# VI. Conclusion

Le traitement et l'analyse d'images Landsat 7 ETM+ a permis de cartographier un réseau de fractures comportant 3 010 linéaments dans la région de Gagnoa. Les orientations préférentielles du réseau de fractures sont les directions N00-10 et N90- 100. Ces fractures ont une longueur variant de 0,36 à 22,4 km. L'ajustement des longueurs de fractures à la loi puissance est satisfaisant avec un coefficient révélant le caractère mature de la fracturation. L'estimation de la densité de fracture par maille montre une relation entre ces deux paramètres avec un coefficient de corrélation (R<sup>2</sup>= 0,749) satisfaisante. La distribution spatiale de la densité de fracturation montre diverses zones d'intenses fracturations dont le Nord et le Centre.

# **References** Références Referencias

- Ackermann R.V., Schlische R.W. et Withjack M. (2001). The geometric and statistical evolution of normal fault systems: an experimental study of the effects of mechanical layer thickness on scaling laws. Journal of Structural Geology, Vol. 23, pp. 1803-1819.
- Baka, 2012. Géométrie, hydrodynamisme et modélisation des réservoirs fracturés du socle protérozoïque de la région d'Oumé (Centre-ouest de la côte d'ivoire). 283 p.
- Biemi J. (1992). Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants sub-saheliens du socle précambrien de l'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 de Doctorat d'Etat ès-Sciences Naturelles, Université d'Abidjan, Côte d'Ivoire, 493 p.
- Bodin J. et Razack M. (1999). L'analyse d'images appliquées au traitement automatique de champs de fractures. Propriétés géométriques et lois d'échelle. Bulletin de la Société Géologique de France, N° 4, pp. 579-593.
- Bonnet E., Bour O., Odling N.E., Davy P., Main I.G., Cowie P.A. et Berkowitz B. (2001). Scaling of fracture systems in geological media. Review of Geophysics, Vol. 39, pp. 347-383.
- Camil J. (1984). Pétrographie, chronologie des ensembles granulitiques archéens et formations associées de la région de Man (Côte d'Ivoire). Implications pour l'histoire géologique du craton Ouest-africain. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles, Université d'Abidjan, Côte d'Ivoire, 306 p.
- Chiles J.P. (1989). Modélisation géostatistique des réseaux de fractures. Ed. Geostatistics, Vol. 1, pp. 57-76
- Coulibaly A. (2014). Contribution de la méthode de résistivité électrique (Traînés et Sondages électriques) à la localisation d'aquifères en zone de socle cristallin et cristallophyllien : cas de la région de Tanda, (Nord-est de la Côte d'Ivoire). 181p.
- Darcel C., Bour O., Davy P. et De Dreuzy J.R. (2003). Connectivity properties of twodimensional fracture networks with stochastic fractal correlation. Water Resources Research, Vol. 39, pp. 1272–1285.
- De Dreuzy J.R., Davy P. et Bour O. (2001). Hydraulic properties of two-dimensional random fracture network following a power-law length distribution : 1-Effective connectivity. Water Resources Research, Vol. 37, N°8, pp. 2065-2078.
- 11. De Lasme O. Z. (2013) Contribution à une meilleure connaissance des aquifères fissurés du socle

précambrien : cas de la région de San-Pedro (sudouest de la Côte d'Ivoire).209p.

- 12. Delay F. et Bracq P. (1993). A vectorial method for the study of the spatial distribution or morphological features applied to the needs of hydrogeology. *Comp. Geosci., vol. 19, n*° 7, *pp.* 965-980.
- Detay M., Poyet P., Emsellem Y., Bernadi A. et Aubrac G. (1989). Influence du développement du réservoir capacitif d'altérites et de son état de saturation sur les caractéristiques hydrodynamiques des forages en zones de socle cristallin. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Série II, N°309, pp. 429-436.
- Djro S. C. (1998). Evolution tectono-métamorphique des gneiss granulitiques archéens du secteur de Biankouma. Thèse de Doctorat d'Etat ès-Sciences Naturelles, Université d'Abidjan, Côte d'Ivoire, 171 p.
- Geomines (1982). Inventaire hydrogéologique appliqué à l'hydraulique villageoise. Ministère des travaux publics et des transports, Direction Centrale de l'Hydraulique, République de Côte d'Ivoire, Carte de Sassandra, Cahier N°. 33, 24 p.
- Gillespie P.A., Howard C.B., Walsh J.J. et Watterson J. (1993). Measurement and characterisation of spatial distributions of fractures. Tectonophysics, Vol. 226, pp. 113-141
- 17. INS (2015). Recensement général de la population et de l'habitat 2014. Région du Fromager. 32 p.
- Jourda J. P., Saley M. B., Djagoua E. V., Kouame K. J., Biemi J. et Razack M. (2006). Utilisation des données ETM+ de Landsat et d'un SIG pour l'évaluation du potentiel en eau souterraine dans le milieu fissuré précambrien de la région de Korhogo (nord de la Côte d'Ivoire) : approche par analyse multicritère et test de validation. Télédétection, Vol.5, N° 4, pp. 339-357.
- Jourda J.P. (2005). Méthodologie d'application des techniques de télédétection et des systèmes d'information géographique à l'étude des aquifères fissurés d'Afrique de l'ouest. Concept de l'hydrotechnique spatiale : cas des zones tests de la Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat d'Etat ès sciences Naturelles, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 429 p.
- 20. Kouame F. (1999). Hydrogéologie des aquifères discontinus de la région semi-montagneuse de Man-Danané (Ouest de la Côte d'Ivoire) Apport des données des images satellitaires et des méthodes statistiques et fractales à l'élaboration d'un système d'informations hydrogéologiques à références spatiales. Thèse de 3ème cycle, Université de Cocody, Abidjan, Côte d"Ivoire, 200 p.
- 21. Lasm T. (2000). Hydrogéologie des réservoirs fracturés de socle : Analyse statistique de la fracturation et des propriétés hydrodynamiques. Application à la région des montagnes de Côte

d'Ivoire (domaine archéen). Thèse de Doctorat, Université de Poitiers, France, 274 p.

- 22. Lasm T. et Razack M. (2001). Lois d'échelle dans la fracturation des roches dures cristallines et dans le réseau hydrographique associé, Compte Rendu de l'Académie des Science Paris, Science de la Terre et des planètes, N°333, pp. 225-232.
- Odling N., Gillepsie P. A., Bourgine B., Castaing C., Chilès J. P., Christensen N. P., Fillion E., Genter A., Olsen C., Thrane L., Trice R., Aarseth E, Walsh J. J. et Watterson J. (1999). Variations in fracture system geometry and their implications for fluid flow in fractured hydrocarbon reservoirs. Petroleum Geoscience Vol.5, pp. 373-384.
- Razack M. (1984). Application des méthodes numériques et statistiques à l'identification des réservoirs fissurés carbonatés en hydrogéologie. Thèse de doctorat d'état ès Sciences Naturelles, Université Languedoc, Montpellier, France, 384 p.
- 25. Razack M. et Lasm T. (2006). Geostatistical estimation of the transmissivity in a highly fractured metamorphic and crystalline aquifer (Man-Danane Region, Western Ivory Coast). Journal of Hydrology, N°325, pp.164–178.
- 26. Saley M. B. (2003). Système d'informations hydrogéologiques à référence spatiale, discontinuités pseudo-images et cartographies thématiques des ressources en eau de la région semi- montagneuse de Man (Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 211 p.
- 27. Savané I., Benié G. B., Hugh Gwyn J. Q., Biémi J. (1993). Application de la télédétection à la recherche des eaux souterraines en milieu cristallin : cas d'Odienné, Côte d'Ivoire. Télédétection des ressources en eau, Actes Journées Scientifiques, Tunis, p.111-120.
- Savane I. (1997). Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique des aquifères discontinus du socle cristallin d'Odienné (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire). Apport de la télédétection et d'un système d'information hydrogéologique à référence spatiale. Thèse Doctorat d'Etat ès-sciences naturelles, Université de Cocody, 322 p.
- Sorokoby V.M., Saley M.B., Kouame K.F., Djagoua M.E.V, Bernier M., Affian K. et Biémi J. (2010). Utilisation des images Landsat ETM+ et du SHIRS pour la cartographie linéamentaire et thématique de Soubré-Meagui (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire): contribution à la gestion des ressources en eau souterraine. Télédétection, Vol. 9, N°3-4, pp. 209-223.
- 30. Tagini B. (1971). Esquisse structurale de la Côted'Ivoire. Essai de géotectonique régionale. Thèse de Doctorat, Université de Lausanne, Suisse, 302 p.
- 31. Yao K.T. (2009). Hydrodynamisme dans les aquifères de socle cristallin et cristallophyllien du

sud-ouest de la côte d'Ivoire : cas du département de Soubré. Apports de la télédétection, de la géomorphologie et de l'hydrogéochimie. Thèse Unique de Doctorat, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 257 p.

- Youan Ta M., Lasm T., Jourda J P., Kouamé K.F., Razack M. (2008). Cartographie des accidents géologiques par imagerie Satellitaire landsat-7 ETM+ et Analyse des réseaux de fractures Du socle précambrien de la région de Bondoukou (nord-est de la Côte d'Ivoire). Revue Télédétection, 2008, vol. 8, n° 2, p. 119-135.
- Youan Ta M. (2008). Contribution de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques à la prospection hydrogéologique du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest: Cas de la région de Bondoukou Nord Est de la Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, Université de Cocody-Abidjan (Côte d'Ivoire), 236 p.