

CONTRIBUTION DES TECHNIQUES GÉOSPATIALES À LA CARACTÉRISATION DES STRUCTURES SUSCEPTIBLES DE CONTENIR LA MINÉRALISATION DANS LA RÉGION DE GUIGLO, OUEST DE LA CÔTE D'IVOIRE

Yêhouessi Silvère AGBEVO^{1*}, Aimé KOUDOU¹, Marc YOUAN TA²
et Tchimou Vincent ASSOMA²

¹ Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG) de Daloa, UFR Environnement,
Département des Sciences de la Terre, Laboratoire des Sciences et
Technologies de l'Environnement (LSTE), BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

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

(reçu le 05 Novembre 2021 ; accepté le 14 Décembre 2021)

* Correspondance, e-mail : silvereagbevo@gmail.com

RÉSUMÉ

La présente étude a pour objectif de caractériser les fractures et les linéaments hydrographiques d'une portion de la région de Guiglo, susceptibles de contenir la minéralisation à l'aide de la télédétection et des SIG. L'approche méthodologique adoptée s'est déroulée en trois étapes : la cartographie du réseau de fractures à partir des images sentinelle 1A, l'analyse statistique de la fracturation et des linéaments hydrographiques, et l'analyse corrélative entre la fracturation, les linéaments hydrographiques et les types de minéralisation. Les opérations de filtrage et d'analyse texturale ont facilité l'extraction manuelle des linéaments structuraux à partir d'une interprétation visuelle de l'image. La carte de fracturation comporte 3 970 fractures de tailles variables comprises entre 71 m et 10 450 m. Les fractures majeures sont N00-10, N90-100, N130-140 et N40-50. Le nombre de fractures est moyennement corrélé ($R^2 = 0,56$) aux longueurs cumulées de fractures. Les linéaments hydrographiques varient de l'ordre 1 à 5, avec la direction majoritaire N00-10. Le nombre de linéaments hydrographiques est fortement corrélé ($R^2 = 0,72$) aux longueurs cumulées de linéaments hydrographiques. La minéralisation en roche se situe sur des fractures ou est proche des fractures. Elle se localise aussi où la densité en nombre de fractures est élevée, et où la densité en longueurs

cumulées de fractures est moyennement élevée. La minéralisation alluvionnaire se superpose aux zones de fortes densités de linéaments hydrographiques.

Mots-clés : *Téledétection, SIG, fracture, linéament hydrographique, minéralisation.*

ABSTRACT

Contribution of geospatial techniques to the characterization of structures likely to contain mineralization in the region of Guiglo, West of Ivory Coast

The objective of this study is to characterize fractures and hydrographic lineaments, in a portion of the Guiglo region, likely to contain mineralization using remote sensing and GIS. The methodological approach adopted took place in three stages: the mapping of the fracture network from sentinel images 1A, the statistical analysis of the fracturing and the hydrographic lineaments, and the correlative analysis between the fracturing, the hydrographic lineaments, and types of mineralization. Filtering and textural analysis facilitated manual extraction of structural lineaments from a visual interpretation of the image. The fracturing map includes 3,970 fractures of varying sizes between 71 m and 10,450 m. The major fractures are N00-10, N90-100, N130-140 and N40-50. The number of fractures is moderately correlated ($R^2 = 0.56$) with the cumulative fracture lengths. The hydrographic lineaments vary in the order of 1 to 5, with the majority direction N00-10. The number of hydrographic lineaments is strongly correlated ($R^2 = 0.72$) with the cumulative lengths of hydrographic lineaments. The rock mineralization occurs over fractures or is close to fractures. It is also localized where the density in number of fractures is high, and where the density in cumulative lengths of fractures is moderately high. Alluvial mineralization is superimposed on areas of high densities of hydrographic lineaments.

Keywords : *Remote sensing, GIS, fracture, hydrographic lineament, mineralization.*

I - INTRODUCTION

En géologie, la minéralisation est définie notamment comme la formation d'un minerai à partir d'autres, ou le déplacement (très lent) d'une substance minérale [1]. Les étapes de la minéralisation sont des périodes de formation de minéraux qui sont séparées les unes des autres par un temps extrêmement large. Elles sont caractérisées par des conditions physico-chimiques essentiellement différentes de celles ayant précédées à la formation des masses minérales rocheuses [2]. La minéralisation se présente sous différentes formes, essentiellement associée à des structures discordantes : des stockwerks, des brèches, des fractures. Elle peut également être disséminée dans la roche encaissante [3] ou se retrouver dans les alluvions. Dans ce dernier cas, la minéralisation est non ponctuelle. [4] attestent que la minéralisation apparaît le long de failles ou de zones de cisaillement, le long de contacts lithostratigraphiques, ou au niveau des contacts entre des granitoïdes et leurs roches encaissantes. Le dépôt de la minéralisation semble donc dépendre d'un contrôle structural. En fait, les structures géologiques favorables à la reconcentration des métaux en général, et de l'or en particulier, font l'objet d'une intense activité d'exploitation minière [5, 6]. Une meilleure connaissance des structures est un gage à l'amélioration de la prospection et de l'exploitation minière.

En Côte d'Ivoire, le sous-sol regorge de potentialités minières des plus rassurantes [7]. En effet, plus du tiers du pays est couvert de ceintures aurifères à forte teneur en minerai dont 90 % dans le complexe éburnéen (50 % dans le volcano-sédimentaire, 18 % dans les flyschs et 23 % dans les granitoïdes) [8]. La remarque est que les stockwerks et les dépôts éluvionnaires prédominent dans les contextes de flyschs peu métamorphiques [9]. A l'heure actuelle, le socle précambrien et les formations résiduelles du pays recèlent de nombreux et importants indices ou gîtes et gisements miniers [7, 8] qui ne brillent que par l'espoir qu'ils suscitent dans un futur de prospection et d'exploitation minières. L'Ouest de la Côte d'Ivoire est la région réputée pour son caractère très accidenté. Les accidents tectoniques d'âge libérien ou antérieurs, recoupés par d'autres accidents postérieurs de directions variées, ont subi ultérieurement à leur mise en place des phases de remobilisation et de remontées de fluides hydrothermaux [10]. La prévisible minéralisation de type filonien et l'étude de la fracturation, peuvent orienter la recherche minière dans cette zone [10]. Par ailleurs, des travaux de recherche entrepris par la SODEMI et certaines sociétés minières ont permis de découvrir et d'estimer les réserves de substances utiles économiquement exploitables dans cette partie du territoire ivoirien [11, 12]. Cependant, la forte couverture latéritique et la densité forestière qui cachent le substratum géologique de l'Ouest de la Côte

d'Ivoire, obligent à recourir à la télédétection. Il est ainsi primordial de pouvoir mieux connaître les structures présentes dans cette zone dans l'optique d'une optimisation de prospection et d'exploitation minière. Les images satellitaires, grâce à leur vision synthétique et synoptique, peuvent permettre d'identifier et d'extraire les zones de fractures susceptibles d'être en lien avec la minéralisation. L'imagerie satellitaire constitue un outil précieux et incontournable dans le domaine des sciences de la terre. Elle est utilisée comme une technique d'appui à la prospection minière, à la cartographie géologique et structurale [13]. En effet, les travaux de [11], ont pu montrer par la photographie aérienne que la région des montagnes (Ouest de la Côte d'Ivoire) contient de la minéralisation qui est disséminée dans la roche et aussi entraînée par l'érosion (minéralisation alluvionnaire). La présente étude a pour objectif général de caractériser les structures susceptibles de contenir la minéralisation de Guiglo à l'aide de la télédétection et des Systèmes d'Information Géographique (SIG). Il s'agit spécifiquement de cartographier les fractures à l'aide des images radar sentinelle 1A, de faire une analyse statistique quantitative des structures et, d'élaborer une analyse corrélative entre ses structures et les différentes minéralisations à partir de SIG. Aux termes de cette étude, les connaissances sur les structures géologiques tels que les fractures et les linéaments hydrographiques, y compris les minéralisations, seront considérablement améliorées.

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

II-1. Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est une portion de la région de Guiglo, localisée entre les latitudes 6°31' et 7°00' Nord et les longitudes 7°57' et 7°8' Ouest (**Figure 1**). Guiglo est le chef-lieu de la région du Cavally à l'Ouest de la Côte d'Ivoire. Cette région est limitée au Nord par le département de Bangolo, au Nord-Est par celui de Duekoué, au Sud par le département de Tabou, à l'Est par le département de Soubré, et à l'Ouest par celui de Bloléquin. Le régime climatique qui règne dans la région de Guiglo est un climat de type subéquatorial (climat de montagnes), généralement chaud et humide. Ce climat est caractérisé par une pluviométrie abondante qui est propice à l'agriculture. Les principales cultures de la région sont le riz, le maïs, le manioc ainsi que les cultures de rente telles que le café et le cacao [14]. Le relief de la région de Guiglo est assez accidenté, et varie de 100 m à 700 m avec une altitude moyenne de 300 m.

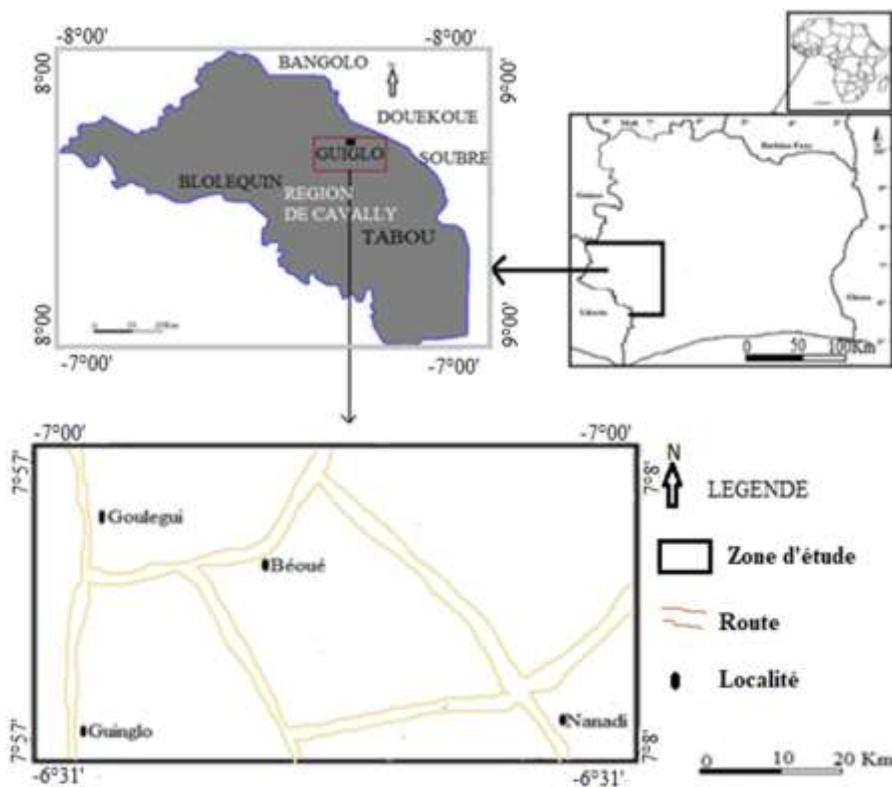


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

II-2. Données d'étude

La réalisation de cette étude a nécessité l'utilisation de données images, de cartes topographique et géologique. Les données d'images satellitaires radar sentinelle 1A, sont de type GRD (Ground Range Detectet), et acquiescent le 18-01-2016 avec une polarisation VH. Elles ont été téléchargées à partir du lien : <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>. Les cartes topographique et géologique couvrant entièrement la zone d'étude sont réalisées à l'échelle 1/200 000 durant les années 1964-1967. Elles proviennent de la direction des mines et de la géologie de Côte d'Ivoire. Le réseau hydrographique de la zone d'étude est numérisé à partir de la carte topographique. Les minéralisations en roche et alluvionnaire, ainsi que les fractures majeures, sont digitalisées à partir de la carte géologique. Cette carte géologique est établie par [11]. Ces données ont fait l'objet de compilation et de traitements divers à partir de logiciels appropriés en vue de générer d'autres informations. Les logiciels Envi 5.1 et Snap Desktop ont facilité le traitement des images satellitaires. Le logiciel Linwin 2.00 a permis la réalisation de la rosace directionnelle. Le logiciel Sufer 8.02 a permis d'effectuer les cartes de densité. Qgis 2.18 a servi de véritable plate-forme pour la constitution de la base de données géospaciales et l'élaboration des SIG.

II-3. Méthodes

II-3-1. Technique de traitement de l'image sentinelle 1A

La correction de terrain Doppler à distance qui met en œuvre la méthode d'orthorectification est appliquée sur l'image sentinelle 1A. Elle comprend la correction pour les distorsions géométriques dues aux variations topographiques d'une scène, et de l'inclinaison du capteur satellite. La correction de l'image est réalisée avec le logiciel Snap desktop. Pour extraire la zone d'étude de l'image corrigée, un masque géographique est créé. Cette extraction est réalisée par le logiciel ENVI 5.1. La réduction du chatolement de la zone d'étude est indispensable pour une meilleure interprétation. Les filtres de Lee (5×5), laplacian (5×5) et gamma (5×5) sont appliqués pour une meilleure visualisation des structures sur l'image. La méthode de co-occurrence est réalisée pour l'analyse texturale. Cette méthode fait ressortir les paramètres texturaux que sont l'homogénéité, la moyenne. Des critères visuels tels que le contraste, la granularité, l'orientation, la forme, la finesse, la régularité et la rugosité ont permis de caractériser l'image sentinelle 1A. L'extraction de linéaments consiste à tracer des segments représentant, soit des discontinuités de nature structurale, soit des éléments physiographiques simples ou composites de nature très variées (morphologique, hydrographique, couverture végétale, etc.) dont les différentes parties sont en relation rectilinéaire ou légèrement curvilinéaire. Pour l'obtention des linéaments structuraux, il faut d'abord éliminer les objets anthropiques (routes, lignes de transport d'énergie, habitations, etc.). Ensuite, les linéaments sont validés en les superposant aux fractures extraites de la carte géologique de la zone d'étude. Enfin, cette opération permet de dresser la carte des fractures majeures et celle des fractures détaillées de la zone d'étude.

II-3-2. Traitement statistique des éléments structuraux (fractures et linéaments hydrographiques)

II-3-2-1. Hiérarchisation des cours d'eau de la zone d'étude

Une hiérarchisation des cours d'eau de la zone d'étude est faite suivant la méthode de Strahler (1952). Cette méthode stipule que :

- tout cours d'eau n'ayant pas d'affluent est d'ordre 1 ;
- au confluent de deux cours d'eau de même ordre n , le cours d'eau résultant est d'ordre $(n+1)$;
- et le cours d'eau recevant un affluent d'ordre supérieur garde son ordre.

II-3-2-2. *Elaboration de la distribution directionnelle et des intensités des éléments structuraux*

Le logiciel Linwin 2.00 permet de générer la table attributaire des fractures et celle des linéaments hydrographiques. La table attributaire des fractures contient le nombre de fractures (NF), les longueurs cumulées de fractures (LCF) et leur orientation. Celle des linéaments hydrographiques contient le nombre de linéaments hydrographiques (NLH), les longueurs cumulées de linéaments hydrographiques (LCLH) et leur orientation. Linwin permet d'établir la rosace directionnelle de chaque élément structural (fractures et linéaments hydrographiques). La rosace directionnelle permet d'observer la répartition en pourcentage des directions des fractures, et celle des linéaments hydrographiques. Une corrélation est déterminée entre le NF et les LCF d'une part, et entre le NLH et les LCLH d'autre part à partir de MS Excel. Les coordonnées des centres des mailles et les valeurs de densité de fracturation (ou densité des linéaments hydrographiques) obtenues à partir de Linwin 2.00, permettent d'élaborer des cartes de densité à l'aide du logiciel Surfer 8.02. Les cartes de densité s'expriment, soit en nombre de fractures, soit en longueurs cumulées de fractures pour la fracturation, soit en nombre de linéaments hydrographiques, soit en longueurs cumulées de linéaments hydrographiques pour les linéaments hydrographiques.

II-3-3. *Analyse corrélatrice entre les éléments structuraux et les types de minéralisation*

Des SIG réalisés avec Qgis 2.18, permettent de mettre en relation les plans d'information géographique que sont la fracturation et la minéralisation, la carte de densité de fractures et la minéralisation en roche, et les cartes de densité de linéaments hydrographiques et la minéralisation alluvionnaire.

III - RÉSULTATS

III-1. *Analyse de la fracturation de la zone d'étude*

La carte de fracturation détaillée (*Figure 2*) est dense et constitue un support numérique très important en géologie structurale. L'analyse texturale a favorisé la cartographie de nombreuses structures linéaires. Le dénombrement des fractures est de 3 790. Les interconnexions entre les fractures et l'aspect fracturé de la zone d'étude témoignent de l'intensité des activités tectoniques qui a prévalu dans cette partie du territoire ivoirien. Ainsi, les fractures et les intersections des fractures pourraient constituer des endroits propices en substance minérale.

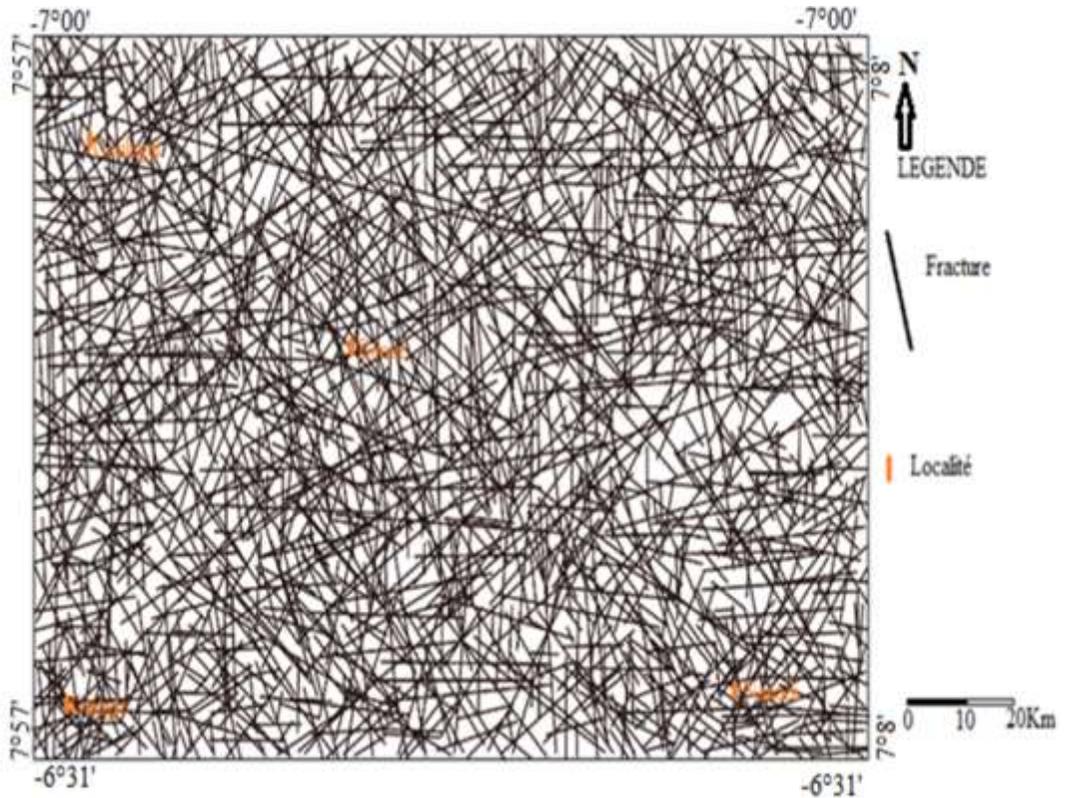


Figure 2 : Carte de fracturation de la zone d'étude

La rosace directionnelle de la fracturation (**Figure 3**) en nombre de fractures (NF) et en longueurs cumulées de fracture (LCF), montre que la distribution est hétérogène. En effet, l'analyse révèle que les classes de directions N0-10, N90-100 et N130-140 ont une fréquence supérieure à 10 % et constituent les classes majoritaires des fractures en nombre et en longueurs cumulées. Les classes secondaires sont représentées par les directions N60-70 et N150-160 en nombre de fractures, et (N80-90 et N 120-130) en longueurs cumulées de fractures, car leurs fréquences sont dans l'intervalle de 5 à 10 %. Les autres classes directionnelles en nombre et en longueurs cumulées de fractures sont considérées comme minoritaires avec une fréquence inférieure à 5 %. Les paramètres NF et LCF sont moyennement corrélés avec $R^2 = 0,56$ (**Figure 4**). Ces paramètres n'apportent pas des informations similaires aux mêmes points de mesure. Dans ces conditions, pour mieux analyser les systèmes de fractures susceptibles de contenir la minéralisation dans la région de Guiglo, il faut donc utiliser ces deux paramètres.

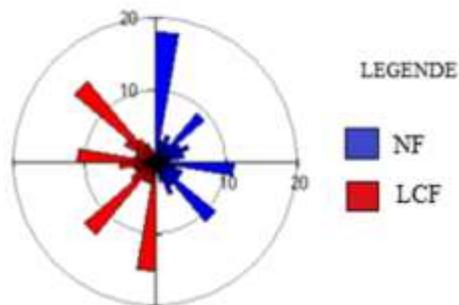


Figure 3 : Rosace directionnelle des fractures

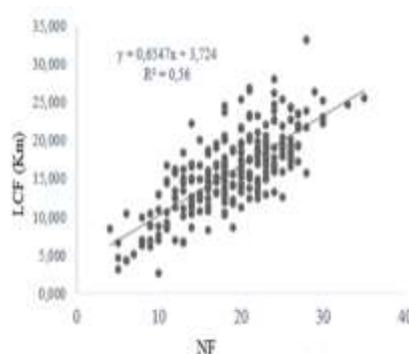


Figure 4 : Corrélation entre NF et LCF

III-2. Analyse des linéaments hydrographiques de la zone d'étude

Dans la zone d'étude, le cours d'eau principal est de direction Nord-Sud (*Figure 5*). Les ordres 1 à 3 représentent les petits cours d'eau. L'ordre 4 et l'ordre 5 sont les grands cours d'eau. Le réseau hydrographique montre que le réseau d'écoulement d'eau est dense. En effet, les cours d'eau d'ordre 1 et 2 ont une pente forte à cause de leurs positions en amont. Le processus d'érosion est intense en raison de la vitesse de l'eau. L'ordre 3 est intermédiaire, la pente se réduit et la vitesse diminue pendant que le débit en eau progresse. Cet ordre contient des fonds constitués de galets et de graviers. L'aval est constitué de l'ordre 4 et l'ordre 5. La pente est faible et la vitesse est très basse. La majorité des alluvions se déposent en ces endroits.

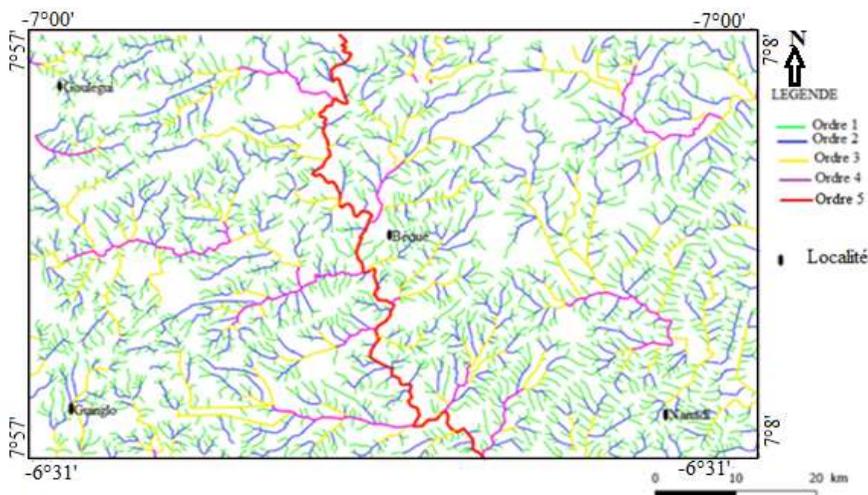


Figure 5 : Carte de la hiérarchisation du réseau hydrographique selon Strahler (1952)

La **Figure 6** montre que, les cours d'eau d'ordre 1 présentent une fréquence élevée par rapport aux autres cours d'eau. Cet ordre couvre plus de la moitié de la zone d'étude avec une fréquence de plus 50 %. Le cours d'eau principal (ordre 5) a la plus petite fréquence (2,10 %). C'est dans ce cours d'eau que se déversent tous les autres cours d'eaux.

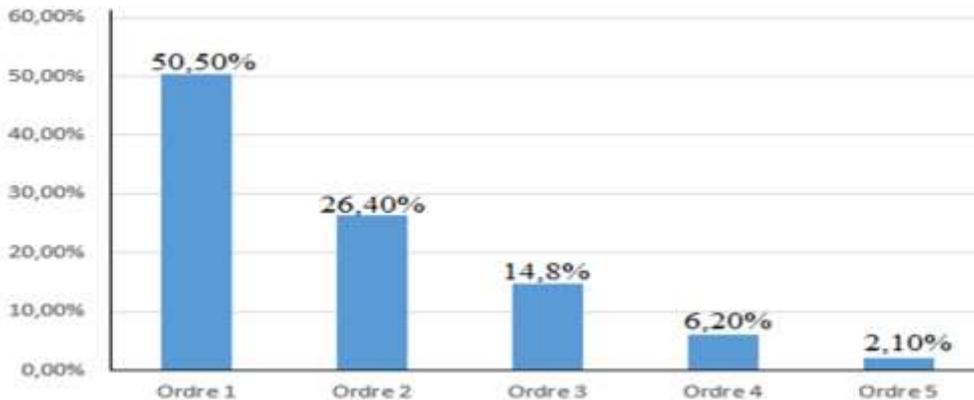


Figure 6 : *Histogramme de fréquences des cours d'eau en fonction des ordres*

La rosace directionnelle (**Figure 7**) montre que la direction N0-10 est majeure avec plus de 10 % de fréquence en nombre de linéaments hydrographiques. Les directions N10-20, N20-30, N30-40, N50-60, N70-80, N90-100, N100-110, N110-120, N120-130, N130-140, N140-150, N150-160 et N160-170 apparaissent secondairement. Les classes restantes, inférieures à 5%, sont minoritaires. En ce qui concerne les longueurs cumulées de linéaments hydrographiques, la distribution en fréquence ne dépasse pas 10 %. Les directions N0-10, N10-20, N20-30, N30-40, N40-50, N50-60, N110-120, N120-130, N130-140, N140-150, N150-160 et N160-170 sont secondaires. Les autres directions sont minoritaires. Le nombre de linéaments hydrographiques et les longueurs cumulées de linéaments hydrographiques sont fortement corrélés avec $R^2 = 0,72$ (**Figure 8**). En effet, ces deux paramètres apportent des informations similaires aux mêmes points de mesure. L'intensité de linéaments hydrographiques peut donc être exprimée, soit en nombre de linéaments hydrographiques, soit en longueurs cumulées de linéaments hydrographiques. La cartographie de la densité de fracturation peut se faire par l'un ou l'autre de ces paramètres.

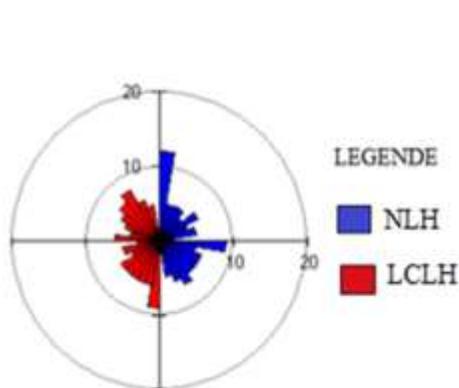


Figure 7 : Rosace directionnelle des linéaments hydrographiques

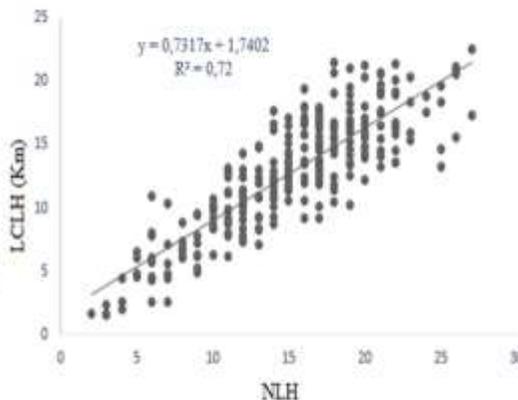


Figure 8 : Corrélation entre NLH et LCLH

III-3. Analyse de la relation entre les éléments structuraux et les types de minéralisation

III-3-1. Analyse de la relation entre les fractures et les minéralisations

La partie Nord-Ouest de la zone d'étude contient de la minéralisation en roche et alluvionnaire, tandis que dans la partie Nord-Sud, on ne trouve que de la minéralisation alluvionnaire (*Figure 9*). La superposition de la minéralisation aux fractures (*Figure 10*) montre que cette minéralisation se situe dans la plupart des cas, soit le long des fractures, soit tout près de ces fractures. Dans la partie Nord de la carte, ces minéralisations forment un nuage de points autour d'un axe orienté Nord-Ouest, tandis que dans la partie Est, cet axe est plutôt orienté en direction Nord-Sud. Ceci pourrait justifier de leur répartition sur des secteurs différents. La minéralisation en roche se superpose à la carte de densité de fracturation où la densité est élevée (*Figure 11*). En effet, la fracturation est très dense dans ces endroits. Il y a eu un phénomène d'intrusion. La formation géologique qui était sur place dans la zone d'étude a été intrudée par la venue du magma qui entraîne la fracturation. A la suite de cela, la solution hydrothermale contenant des métaux précieux, intègre les fractures en y laissant les substances minérales. La majorité des minéralisations en roche se positionne où la densité en longueurs cumulées est moyennement élevée (*Figure 12*). Géologiquement, dans cette partie, la minéralisation en roche n'est pas liée à la fracturation mais plutôt à la formation géologique qui est sur place. Cette formation contient de la minéralisation lorsqu'elle s'est mise en place.

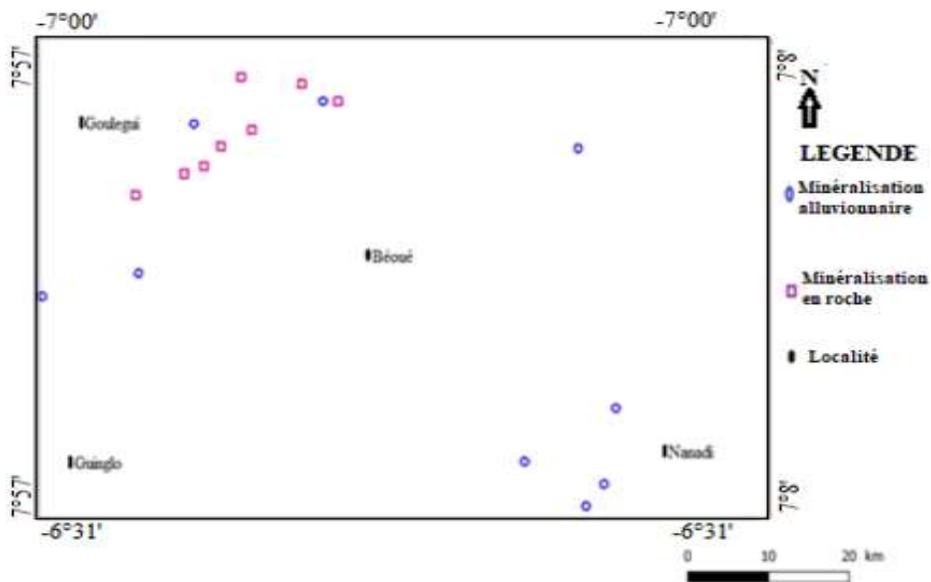


Figure 9 : Carte de la minéralisation du secteur d'étude

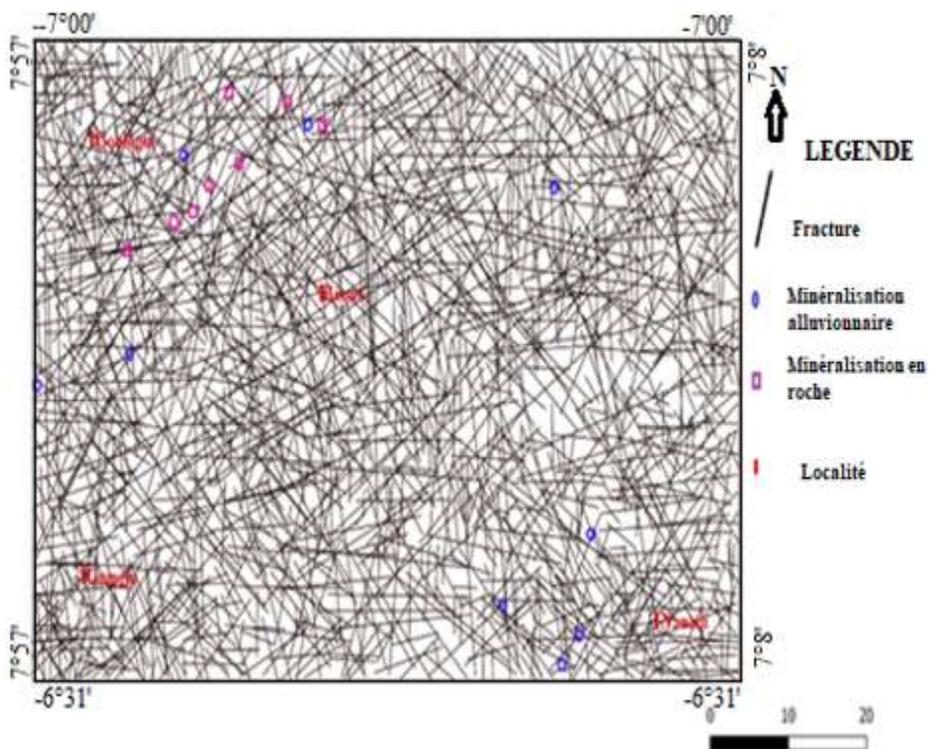


Figure 10 : Couplage de la minéralisation et de la fracturation de la zone d'étude

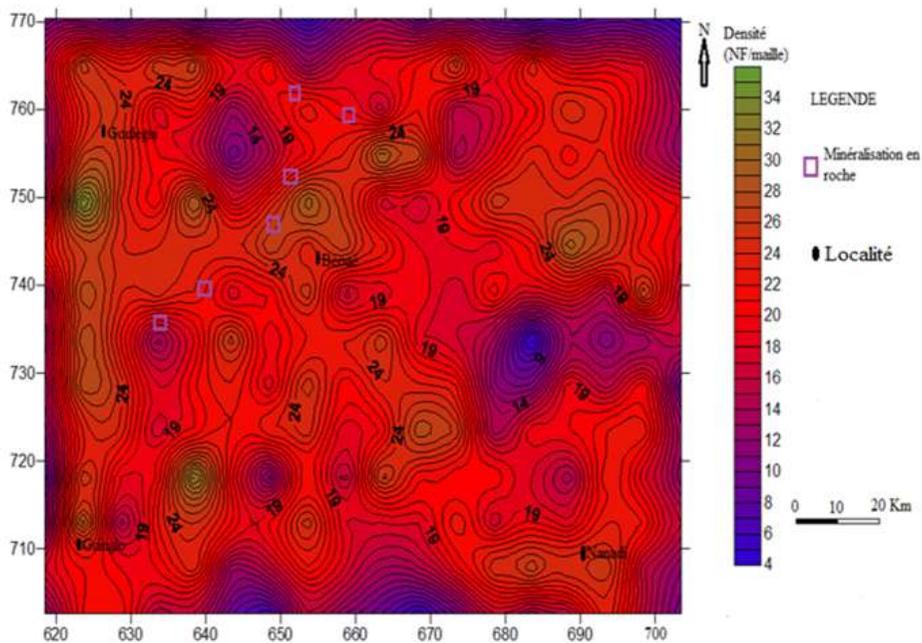


Figure 11 : *Couplage de la densité de fracturation exprimée en NF et minéralisation en roche*

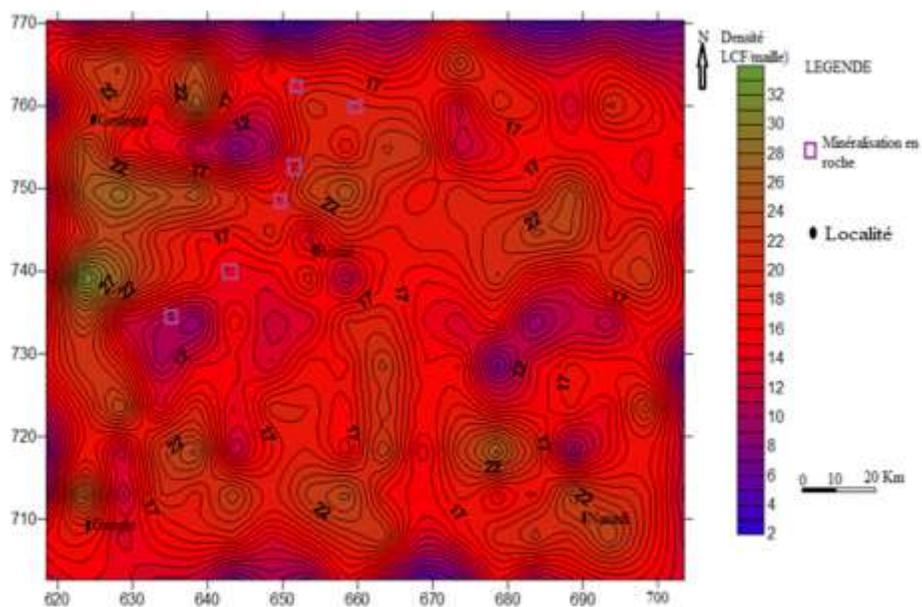


Figure 12 : *Couplage de la densité de fracturation exprimée en LCF et la minéralisation en roche*

III-3-2. Analyse de la relation entre les linéaments hydrographiques et la minéralisation alluvionnaire

La majorité des minéralisations sont sur les drains hydrographiques d'ordre 2 et 4 plus précisément dans la direction Nord-Ouest et au Sud de la zone d'étude (**Figure 13**). Les deux paramètres NLH et LCLH ont une corrélation élevée. L'utilisation de l'une ou l'autre est valable car les deux cartes donnent les mêmes informations au même endroit. La **Figure 14** montre la superposition de la densité de linéaments hydrographiques exprimée en LCLH et la minéralisation alluvionnaire. La minéralisation alluvionnaire se pose sur les densités élevées de la zone d'étude. En effet, ces zones représentent l'aval des linéaments hydrographiques. A ces endroits, la pente est très faible et la vitesse du courant est réduite. Les alluvions s'y déposent. C'est donc la zone de stockage de la minéralisation alluvionnaire.

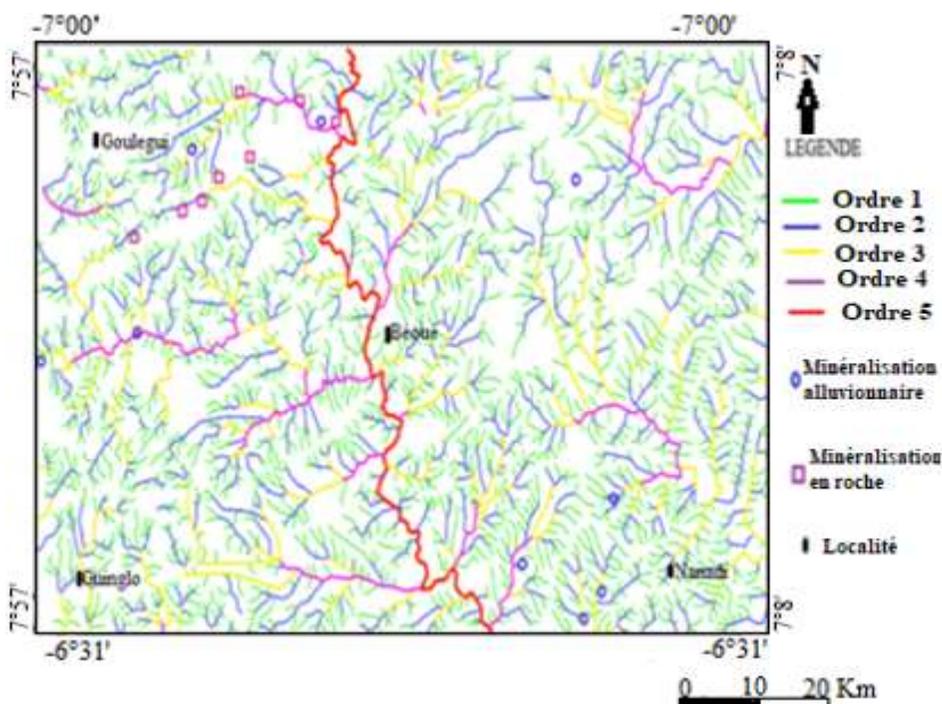


Figure 13 : Couplage du réseau hydrographique et des minéralisations

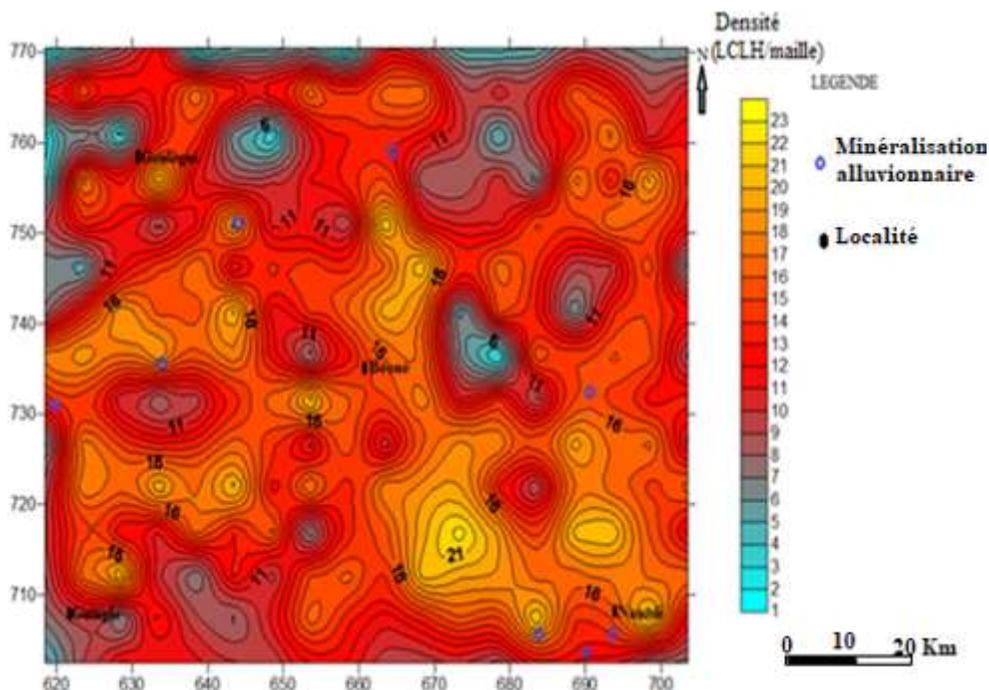


Figure 14 : *Superposition de la densité de linéaments hydrographiques exprimée en LCLH et la minéralisation alluvionnaire*

IV - DISCUSSION

La zone d'étude est une zone forestière. L'exploitation des images radar sentinelle 1A de haute résolution spatiale (~10m) pour l'extraction du réseau de fracturation, a été très déterminante dans cette étude. L'analyse de l'image sentinelle 1A fait ressortir une fracturation en nombre importante suivant diverses directions. La carte géologique a permis de confirmer l'existence de certaines fractures sur l'image. Cette étude est en conformité avec les travaux de [11]. En effet, ces auteurs ont montré que la région des montagnes contient de la minéralisation alluvionnaire et disséminée dans les roches grâce à la photographie aérienne. Pour la détermination des zones à fortes potentialités en fractures, il convient de bien observer la répartition spatiale, non seulement des longueurs cumulées de fractures, mais de la densité de fracturation exprimée en nombre de fractures. La relation qui existe entre le nombre de fractures et les longueurs cumulées de fractures est mise en évidence par le coefficient de corrélation linéaire ($R^2 = 0,56$) qui traduit une certaine dispersion des fractures. Le nombre de fractures est faiblement corrélé aux longueurs cumulées de fractures. Ces deux paramètres n'apportent pas des informations similaires, soit au même point de mesure, soit en certains points de la zone

d'étude. L'analyse conjointe de ces deux paramètres est donc à même de permettre une meilleure connaissance du système de fractures de la zone d'étude [15]. Les résultats sur l'aspect fracturé, les interconnexions (jonctions) entre les fractures et la densité de fracturation de la zone d'étude sont conformes aux travaux de [6]. Dans son étude dans l'Abitibi, l'auteur révèle que lorsque la variabilité des structures ainsi que leur densité sont élevées dans une jonction, le potentiel minier exprimé par la géochimie est plus important. Cette remarque permet par extrapolation, d'attribuer aux jonctions un potentiel virtuel. [16] constate que les structures géologiques contrôlent tellement la morphologie de la surface terrestre que, dans presque tous les cas, les linéaments extraits d'une image satellitaire caractérisent ces structures à un très fort degré. Les gisements de Paddington en Australie et d'Ajjanahalli en Inde, ont pris forme sur les fractures majeures. Ce qui est en accord avec cette étude où la minéralisation en roche de la zone d'étude se situe sur des fractures. Ceux-ci sont interprétés comme étant reliés à un épisode de déformation tardif, et se localisent préférentiellement au sein de zones où les contraintes sont moins intenses le long de la faille principale [17]. Le réseau hydrographique est dans bien des cas hérités de la fracturation qui favorise le dépôt de la minéralisation. Mais cette minéralisation peut être influencée par la température, la pression, la chimie des fluides et le facteur temps [18]. Les résultats sur les couplages des densités et les minéralisations montrent que les minéralisations sont sur des valeurs élevées des cartes de densité. En effet, cette observation a été prouvée par les travaux de [19] dans la mine de Copper rand, et [20] dans la mine de Henderson par la réalisation de leurs cartes de densité. L'application d'une exploration minière dans la présente zone d'étude serait profitable. Cette forte densité non négligeable, pourrait présenter un potentiel économique direct dans l'exploitation du gisement lorsqu'on les retrouve dans un volume rocheux important [21]. La majorité de la minéralisation alluvionnaire n'est pas sur les grands cours d'eau. Cela pourrait s'expliquer par la typologie du réseau hydrographique. En effet, la typologie du réseau est fonction de la lithologie qui conditionne la fréquence des collecteurs. Plus le substratum est imperméable, plus le ruissellement sera important et le réseau sera dense [22].

V - CONCLUSION

L'objectif assigné à cette étude est de caractériser les structures susceptibles de contenir la minéralisation de Guiglo à l'aide des techniques géospatiales. La réalisation de ce travail s'est déroulée en trois phases incontournables : cartographie des fractures à l'aide de l'image sentinelle 1A, analyse statistique quantitative des structures, et, analyse corrélative entre ses structures et les différentes minéralisations à partir d'un SIG. L'image sentinelle 1A utilisée pour la cartographie des fractures du secteur d'étude, a subi diverses opérations

de filtrage et d'analyse texturale. Les procédés d'analyse texturale ont efficacement augmenté la qualité visuelle de l'image en la rendant plus expressive et plus nette. Toutes ces opérations ont facilité l'extraction manuelle des linéaments structuraux à partir d'interprétation visuelle de l'image. La carte de fracturation de la zone d'étude comporte 3 970 fractures de tailles variables. Les fractures majeures sont N00-10, N90-100, N130-140 et N40-50. Le nombre de fractures est moyennement corrélé ($R^2 = 0,56$) aux longueurs cumulées de fractures. Quant aux linéaments hydrographiques, ils varient de l'ordre 1 à 5, avec la direction majoritaire N00-10. Le nombre de linéaments hydrographiques est fortement corrélé ($R^2 = 0,72$) aux longueurs cumulées de linéaments hydrographiques. Concernant la minéralisation en roche de la zone d'étude, elle se situe soit sur des fractures, soit tout près des fractures. Cette minéralisation se localise aussi où la densité en nombre de fractures est élevée et, où la densité en longueurs cumulées de fractures est moyennement élevée. La minéralisation alluvionnaire, quant à elle, se superpose aux zones de fortes densités de linéaments hydrographiques de la zone d'étude. L'étude de la distribution directionnelle et spatiale de la fracturation et des linéaments hydrographiques, souligne la variabilité spatiale de la structure étudiée dans les deux champs avec une répartition inégale. Cette étude sur l'Ouest de la Côte d'Ivoire, a montré l'importance de l'utilisation de l'image sentinelle 1A contribuant à l'amélioration, à l'identification et à l'extraction des informations dans un contexte géologique pour pouvoir les caractériser. D'une manière générale, l'exploitation de l'image radar sentinelle 1A a permis d'actualiser la carte de fracturation et de montrer la densité en fractures qui favorise la minéralisation. Elle a mis en évidence les différentes structures ainsi que leurs orientations dans la zone d'étude.

RÉFÉRENCES

- [1] - Y. CHEN et W. WU, "Mapping mineral prospectivity using an extreme learning machine regression", *Ore Geology Reviews*, Vol. 80, (2017) 200 - 213
- [2] - M. SADEGHI, A. BILLAY et E. J. M. CARRANZA, "Analysis and mapping of soil geochemical anomalies: Implications for bedrock mapping and gold exploration in Giyani area, South Africa", *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 154 (2015) 180 - 193
- [3] - E. Le MIGNOT, "Les gisements d'or comme témoins de l'histoire géologique du craton Ouest-Africain : apports de la datation", Thèse de Doctorat, Université de Lorraine (Nancy), (2014) 339 p.

- [4] - C. BEAUCAMP, “Origine métasomatique et contrôle structural de la minéralisation aurifère du secteur minier de marban, canton du buisson, val d'or, Abitibi, Québec”, Mémoire présenté comme exigence partielle de la Maîtrise en Sciences de la Terre de l'Université du Québec à Montréal, Canada, (2010) 83 p.
- [5] - C. BAUX et D. CASSARD, “Identification des secteurs à vocation aurifères dans un couloir tectonique régional par interprétation de données satellitaires, géologiques, géophysiques intégrées dans un Système d'Information Géographique”, l'exemple du cisaillement sud-armoricain, chronique de la recherche minière, N° 505 (1991) 19 - 34
- [6] - H. YESOU, R. SAINT-JEAN, J. C. PION et R. BESNUS, “ Amélioration des données SPOT pour la cartographie structurale en milieu tropical. Exemple de la région des chapeaux de fer de Pagala (Togo) ”, IIIème jour. Scient. Rés. Télé dét. UREF, Toulouse, (1993) 143 - 16
- [7] - SOCIETE POUR LE DEVELOPPEMENT MINIER DE LA COTE D'IVOIRE (SODEMI), “Mineinfos. Bimestriel interne d'informations de la SODEMI”, N° 004 (2006) 78 p.
- [8] - J. BIEMI, “Etat de l'environnement, des ressources naturelles et du développement urbain en situation de post-crise en Côte d'Ivoire ”, Rapport d'expertise ; Projet Banque Mondiale : Secteur minier de Côte d'Ivoire en période post-crise, (2009) 167 p.
- [9] - P. SONNENDRUCKER, “Etude de synthèse sur l'or en Côte d'Ivoire, rapport de fin de mission”, SODEMI, Abidjan, rapport N°222 (1996) 127 p.
- [10] - K. F. KOUAME, “Hydrogéologie des régions de montagnes : apport des données de télédétection et des méthodes statistique et fractale à l'élaboration d'un système d'information hydrogéologique à référence spatiale des aquifères discontinus du secteur Man-Danané (Ouest de la Côte d'Ivoire) ”, Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody, Abidjan (Côte d'Ivoire), (1999) 210 p.
- [11] - A. PAPON et R. LEMARCHAND, “Géologie et minéralisation du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. Synthèse des travaux de l'opération SASCA 1962-1968”, Mémoire. B.R.G.M., N°80 (1973) 284 p.
- [12] - I. YACE, “Initiation à la géologie, l'exemple de la Côte d'Ivoire et de l'Afrique de l'Ouest”, Edition CEDA, (2002) 160 p.
- [13] - K. POTHIN et A. TAHUA, “Etude de la fracturation de la région d'Odienné par une exploration combinée des photographies aériennes, des images satellitaires, des cartes aéromagnétique et radiométrique”, Actes du colloque Int. de Télédétection, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, (1987) 176 p.
- [14] - Y. T. BROU, “Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire”, Mémoire pour diriger des recherches, Université des Sciences et Technologies de Lille, (2005) 203 p.

- [15] - M. YOUAN TA, "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 Unique, Université de Cocody-Abidjan (Côte d'Ivoire), (2008) 236 p.
- [16] - O. K. SHAW, "Cartographie prédictive minérale des dépôts de coltan au centre-ouest de la Côte d'Ivoire", Mémoire présenté pour l'obtention du grade de Maître ès Sciences Géographiques (M. Sc.), cheminement de type recherche en géomatique appliquée, Université de Sherbrooke, (2019) 161 p.
- [17] - J. KOLB, A. HELLMANN et A. ROGERS, "The Role of a Transcrustal Shear Zone in Orogenic Gold Mineralization at the Ajjanahalli Mine, Dharwar Craton, South India", *Economic Geology*, Vol. 99, (2004) 743 - 759
- [18] - O. TAVCHANDJIAN, "Analyse quantitative de la distribution spatiale de la fracturation et de la minéralisation dans les zones de cisaillement : applications aux gisements du complexe du lac doré (Chibougamau - Québec) ", Thèse de Doctorat de l'Université du Québec (Chicoutimi), (1992) 324 p.
- [19] - A. TREMBLAY, "Etude du contrôle structural de la minéralisation dans la "Zone du toit" de la mine Copper Rand à Chibougamau", Thèse, Université du Québec à Chicoutimi, (1980) 198 p.
- [20] - A. G. JOURNEL, "Kriging in Terms of Projections, Math. Géol.", Vol. 9, N°6 (1997) 563 - 586
- [21] - J. P. MILESI, P. LEDRU, J. L. FEYBESSEL, A. DOMMANGET, M. F. OUEDRAOGO, E. MARCOUX et A. E. PROST, "Les minéralisations aurifères de l'Afrique de l'Ouest. Leurs relations avec l'évolution lithostructurale au Protérozoïque inférieur", *Chron. Rech. Min.*, 497 (1998) 3 - 98
- [22] - 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 (2000) 67 - 77