

Caractérisation hydrogéologique, par télédétection et géophysique d'accidents régionaux en zone de socle : cas de Sikensi-Tiassalé, Côte d'Ivoire

**Abé Parfait SOMBO^{1*}, Kouassi Éric - Germain KOUAKOU², Sampah Georges EBLIN¹
et Boko Célestin SOMBO³**

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

² *Université Péléfro Gon Coulibaly de Korhogo (Côte d'Ivoire), UFR des Sciences biologiques, Département de Géosciences, BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire*

³ *Université Félix Houphouët Boigny Cocody (Côte d'Ivoire), UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Laboratoire de Géophysique Appliquée, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire*

* Correspondance, courriel : somboabeparfait@gmail.com

Résumé

Cette étude porte sur la caractérisation hydrogéologique par télédétection et géophysique d'accidents régionaux des départements de Sikensi et Tiassalé (Sud de la Côte d'Ivoire). La carte de fractures de ces départements est élaborée, à partir de traitement d'images Landsat TM et d'investigation géophysique (trainés électriques). Les fractures sont mises en relation avec les débits air-lift des forages pour connaître leur rôle hydrogéologique. Les résultats montrent que les fractures NO-10 (N-S) sont les plus représentées dans la zone d'étude, avec 17 % des fréquences en nombre. Les fractures N20-30 (NE-SO) et N90-100 (E-O) sont au second plan, avec respectivement 10 % et 11 %. Les accidents régionaux qui fournissent le plus de débits forts sont les fractures NE-SO (41,67 %) et NO-SE (37,50 %). Elles sont également les plus captées par les forages avec respectivement, 44,90 % et 20,41 % des forages. Les fractures N-S et E-O fournissent, respectivement 12,50 % et 8,35 % des débits forts et sont moins captées par les forages. Ces résultats serviront de base pour les implantations futures de forages dans les départements de Sikensi-Tiassalé.

Mots-clés : *télédétection, géophysique, hydrogéologie, fractures, Côte d'Ivoire.*

Abstract

Hydrogeological characterization, by remote sensing and geophysics of regional accidents in basement zone: case of Sikensi-Tiassalé, Côte d'Ivoire

This study is about on the hydrogeological characterization by remote sensing and geophysics of regional accidents in the departments of Sikensi and Tiassalé (south Côte d'Ivoire). The fracture map made from Landsat TM image processing and geophysical investigation (electric profiling). The fractures are made to relation to the air-lift flow of the drillings to know their hydrogeological role. The results show that NO-10 (N-S) fractures are the most represented in the study area, with 17 % of frequencies in number. Fractures N20-30 (NE-SO) and N90-100 (E-O) correspond, respectively 10 % and 11 %. The regional accidents that provide the highest flow rates are NE-SW (41.67 %) and NO-SE (37.50 %) fractures. They are also the most

captured by the drilling, with 44.90 % and 20.41 % respectively of the drilling. N-S and E-O fractures provide 12.50 % and 8.35 % respectively of the high flow rates and are less captured by drilling. These results will serve as a basis for the implantation of drilling futures in the departments of Sikensi-Tiassalé.

Keywords : *remote sensing, geophysics, hydrogeology, fractures, Côte d'Ivoire.*

1. Introduction

La satisfaction de manière urgente aux besoins en eau potable des populations urbaines et rurales, surtout en régions de socle, conduit à une implantation hâtive des forages. Ce qui occasionne des pertes énormes de temps, d'argent et abouti au tarissement précoce des ouvrages généralement réalisés sous des considérations géomorphologiques [1]. Le manque d'eau potable persiste. Les eaux de surface ou encore les puits de fortune, mal entretenus et à la merci des fluctuations saisonnières, demeurent la principale source d'approvisionnement en eau potable des populations. De plus, la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de surface est douteuse et nécessite des traitements très onéreux [2]. Ce qui conduit à toujours rechercher préférentiellement les eaux souterraines profondes pour l'approvisionnement en eau potable des populations, surtout en zone rurale. La qualité de ces eaux répond généralement aux normes internationales de l'OMS [2, 3]. L'eau souterraine constitue donc une source d'approvisionnement abordable économiquement, en raison de sa qualité, de sa proximité avec le lieu de consommation et de son faible coût de traitement [2]. Aussi, en milieu de socle, comme c'est le cas pour les départements de Sikensi et Tiassalé, les ressources en eau souterraine sont-elles modestes et conditionnées (circulation) par des réseaux de fractures. Dans un tel contexte, la recherche de l'eau souterraine reposera essentiellement sur le repérage de fractures dans le sous-sol. La complexité du socle cristallin fracturé conduit à user de techniques d'investigations fiables, souvent indirectes et peu coûteuses, pour étudier les caractéristiques hydrogéologiques de ces accidents tectoniques [4]. L'identification et caractérisation hydrogéologique d'accidents géologiques régionaux a nécessité une approche combinée de la télédétection et de la géophysique. Ces méthodes constituent des outils efficaces pour la conduite d'un programme de recherche hydrogéologique ; aussi bien pour identifier de nouvelles ressources que pour améliorer la connaissance d'un gisement [2, 5]. Lorsque les conditions atmosphériques sont favorables la télédétection par l'emploi des images Landsat est utilisée pour le relevé de linéaments kilométriques en relation avec les grands couloirs de fracturation [6 - 8]. En Côte d'Ivoire, cette technique a beaucoup été utilisée pour la cartographie des fractures en milieu de socle [6 - 8]. À partir de la surface, la géophysique met, localement en évidence des discontinuités géologiques, par l'étude de propriétés physiques liées à la constitution du sous-sol. L'objectif de cette étude est d'identifier les caractéristiques hydrogéologiques des fractures majeures des départements de Sikensi et Tiassalé.

2. Matériel et méthodes

2-1. Zone d'étude

Les départements de Sikensi et Tiassalé sont situés au Sud de la Côte d'Ivoire, dans la région de l'Agnéby-tiassa, entre les latitudes 5°32' et 6°23' Nord et les longitudes 4°24' et 5°14' Ouest (*Figure 1*). Ces départements sont limités, au Sud par le département de Dabou, au Sud-Ouest par le département de Grand Lahou, à l'Ouest, par le département de Divo, au Nord-Ouest par le département d'Oumé, au Nord par le département de Toumodi, au Nord-Est par le département de Bongouanou et à l'Est par le département d'Agboville.

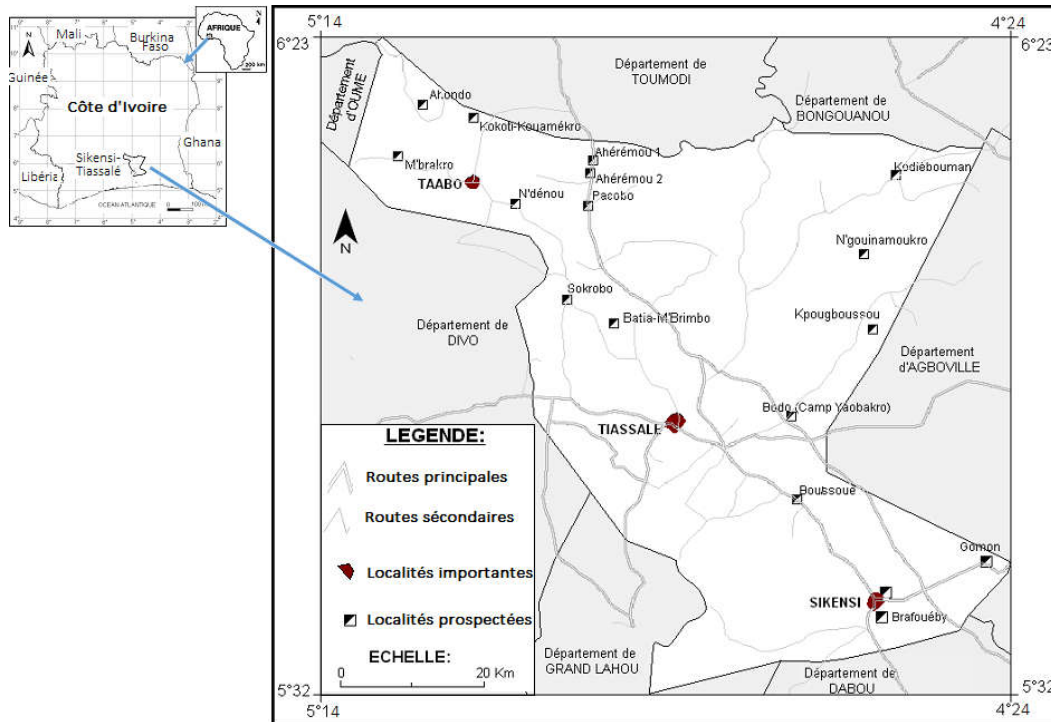


Figure 1 : Localisation des départements de Sikensi, Tiassalé et des localités prospectées [1]

Au plan géologique, les formations du Paléoprotérozoïque occupent la quasi-totalité de la zone d'étude [9, 10]. Ce sont les métasédiments (Métaarénites et Métasiltstones) globalement orientées NE-SO ; les formations volcaniques (Ampélites et métavolcanites) regroupées au Nord-Ouest de la zone d'étude et les massifs intrusifs (Granite à deux micas, Monzonite, monzogranite, granodiorite à biotite et tonalite). Au plan hydrogéologique, deux niveaux d'aquifères superposés sont identifiables : les aquifères d'altérites issus de l'altération physico chimique de la roche mère et les aquifères de fractures créés à la faveur d'évènements tectoniques. Les formations altérites et les horizons fissurés constituent un aquifère composite qui fonctionne comme un seul aquifère [11].

2-2. Méthodes

2-2-1. Élaboration de la carte de linéaments

L'extraction de linéaments est réalisée, à partir d'images Landsat TM (scène 196-56) du 30 décembre 1990, correspondant à la période de la grande saison sèche. Ces images ont subi, au préalable, des corrections géométrique et radiométrique. Pour l'extraction des linéaments ces images brutes ont subi quelques traitements, dans le but de rehausser l'information spectrale. Ce qui rend les images plus expressives et plus nettes. Les techniques de rehaussement d'images sont celles utilisées par les auteurs des références [2, 5, 7, 8]. Il s'agit de l'analyse en composantes principales (ACP), des compositions colorées et du filtrage directionnel. Les opérations de rehaussement sont effectuées à l'aide du logiciel Envi 4.3. L'utilisation conjointe des sept bandes spectrales corrélées des images TM donne des informations redondantes. L'analyse en composantes principales (ACP) effectuée sur ces canaux, permet d'améliorer la qualité des images en supprimant les redondances. Les deux premières composantes (ACP1 : 94,60 % et ACP2 : 4,70 %) totalisent 99,30 % des informations. La deuxième composante principale (ACP2) a été utilisée pour les opérations de filtrage. Le filtre Sobel de dimensions 7×7 , dans les directions N-S ; E-O, NE-SO et NO-SE, est utilisé (**Figure 2**). Il met en relief les fortes transitions de réflectance et les hautes fréquences spatiales

généralement associées aux linéaments. Les bandes TM3, TM4 et TM5 sont choisies pour former une composition colorée TM_{4.5.3} (RVB). La nouvelle image multichrome obtenue met en évidence le réseau hydrographique souvent contrôlé par les structures géologiques. L'extraction des linéaments est réalisée manuellement, à partir des images ACP2, TM_{4.5.3} et celles issues du filtrage de Sobel.

Filtre Sobel de direction N-S							Filtre Sobel de direction E-O							Filtre Sobel de direction NE-SO							Filtre Sobel de direction NO-SE						
1	2	3	4	3	2	1	1	2	3	0	-3	-2	-1	0	1	2	2	3	3	4	4	3	3	2	2	1	0
2	3	4	5	4	3	2	2	3	4	0	-4	-3	-2	-1	0	3	4	4	5	3	3	5	4	4	3	0	-1
3	4	5	6	5	4	3	3	4	5	0	-5	-4	-3	-2	-3	0	5	6	4	3	3	4	6	5	0	-3	-2
0	0	0	0	0	0	0	4	5	6	0	-6	-5	-4	-2	-4	-5	0	5	4	2	2	4	5	0	-5	-4	-2
-3	-4	-5	-6	-5	-4	-3	3	4	5	0	-5	-4	-3	-3	-4	-6	-5	0	3	2	2	3	0	-5	-6	-4	-3
-2	-3	-4	-5	-4	-3	-2	2	3	4	0	-4	-3	-2	-3	-5	-4	-4	-3	0	1	1	0	-3	-4	-4	-5	-3
-1	-2	-3	-4	-3	-2	-1	1	2	3	0	-3	-2	-1	-4	-3	-3	-2	-2	-1	0	0	-1	-2	-2	-3	-3	-4

Figure 2 : Filtres directionnels de type Sobel de taille 7 x 7

2-2-2. Validation de la carte de linéaments

C'est une étape importante pour l'obtention d'une carte de fractures définitive. La validation a nécessité plusieurs opérations. Elle est effectuée en superposant la carte de localisation des forages productifs à celle des linéaments majeurs. La validation consiste aussi à comparer les linéaments majeurs aux fractures confirmées sur la carte géologique de la zone d'étude ou observées sur le terrain. La validation a enfin exigé des investigations géophysiques dans 17 localités des départements de Sikensi et Tiassalé (*cf. Figure 1*). Les fractures mises en évidence sont, par la suite, comparées aux linéaments majeurs. Dans le dernier cas, ce sont les trainés électriques parallèles, qui sont exécutés sur le terrain. Ils fournissent des informations qualitatives sur les variations latérales des propriétés électriques du sous-sol. Ils mettent, localement, en évidence des réseaux de fractures [1, 12] et ont l'avantage d'identifier l'extension et l'orientation des fractures. Les trainés sont effectués perpendiculairement aux éventuelles discontinuités géologiques observées en surface. Au total 110 trainés électriques ont été exécutés suivant deux dispositifs de mesure. Le dispositif Schlumberger, où la distance entre les électrodes de courant A et B varie entre 120 et 200 m, en fonction du site à prospecter. Les électrodes de potentiel M et N sont distantes de 20 m. Le dispositif gradient rectangle est également utilisé, avec AB = 600 m et MN = 10 m. La longueur de ligne des mesures varie entre 100 et 300 m, en fonction du site prospecté. Les résultats de trainés électriques sont représentés sous forme de profils de résistivité à une échelle semi logarithmique à l'aide de Microsoft EXCEL™.

2-2-3. Détermination du rôle hydrogéologique des fractures

La technique proposée consiste à rechercher et analyser les relations qui peuvent exister entre la fracturation mise en évidence et les débits (Q) des forages. Pour cela, c'est les fractures majeures qui sont utilisées. Les forages sont discriminés suivant trois classes de débit : la première correspond aux forages ayant des débits faibles ($Q < 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$) ; la deuxième correspond aux débits moyens ($2,5 < Q < 5 \text{ m}^3/\text{h}$) et la troisième correspond aux débits forts ($Q > 5 \text{ m}^3/\text{h}$). Cette classification correspond à celle adoptée par le Comité Inter-Etats d'Hydraulique (CIEH).

3. Résultats

3-1. Carte des linéaments

L'image Landsat TM rehaussée présente plusieurs discontinuités d'images de taille et d'orientation variables. Certaines structures telles que les accidents du Bandama et du Nzi sont nettement visibles. Des structures linéaires majeures et mineures ont été détectées et la carte de linéaments obtenue forme un réseau très dense (**Figure 3**). La carte obtenue comporte 4011 linéaments interconnectés. La rosace directionnelle qui en découle montre une répartition hétérogène des orientations des linéaments. La classe directionnelle N0-10 (N-S) est la plus représentée avec une fréquence de 17 %. Les orientations de second ordre sont représentées par les classes N20-30 (NE-SO) et N90-100 (E-O). Elles présentent des fréquences respectives de 10 % et 11 %.

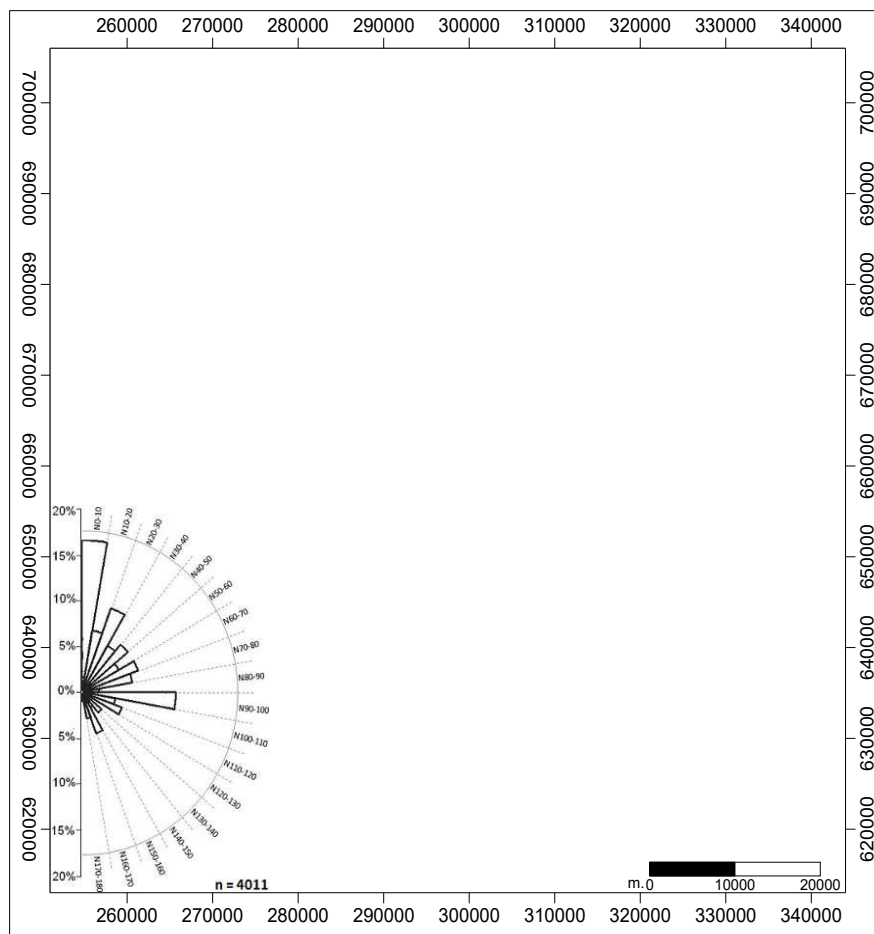


Figure 3 : Carte des linéaments des départements de Sikensi et de Tiassalé

3-2. Fracturation obtenues par levées géophysique

Les levées géophysiques, par trainés électriques, permettent d'identifier des fractures qui affectent la roche mère. Ces fractures sont matérialisées sur les profils de résistivité par des anomalies conductrices (zones de faible résistivité). Les accidents géologiques mis en évidence ont des largeurs très variables car les anomalies conductrices observées présentent des paliers conducteurs de tailles très variées. Elles atteignent localement 150 m de large. C'est le cas de l'anomalie de faible résistivité observée à Kodiébouman (S/P de Tiassalé) (**Figure 4**). Les profils parallèles, représentés sur le même graphique,

permettent de mettre en évidence l'extension et l'orientation de ces discontinuités matérialisées par des alignements d'anomalies conductrices. La **Figure 5** présente un exemple de discontinuités géoélectriques mises en évidence, à partir de trois profils de résistivités parallèles réalisés à Kokoti Kouamékro S/P de Tiassalé. Les alignements d'anomalies conductrices observés sur ces profils parallèles contribuent à identifier deux discontinuités géoélectriques orientées $N86^\circ$ et $N100^\circ$. L'analyse des profils parallèles de résistivités a permis d'identifier au total 135 discontinuités géoélectriques. Ainsi, à partir de la géophysique, plusieurs réseaux de fractures ont été mis en évidence localement.

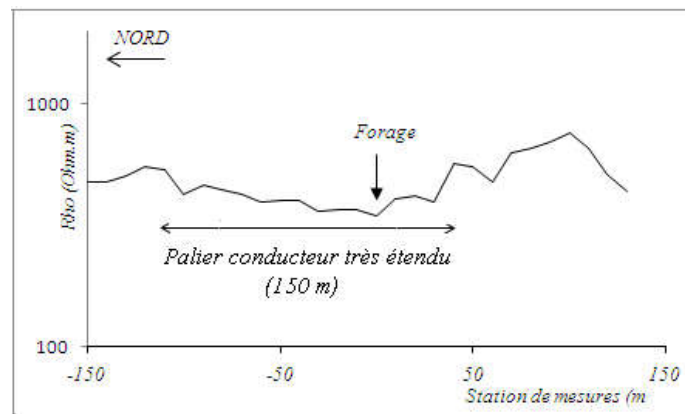


Figure 4 : Profil de résistivité avec un large palier conducteur à Kodiébouman S/P de Tiassalé

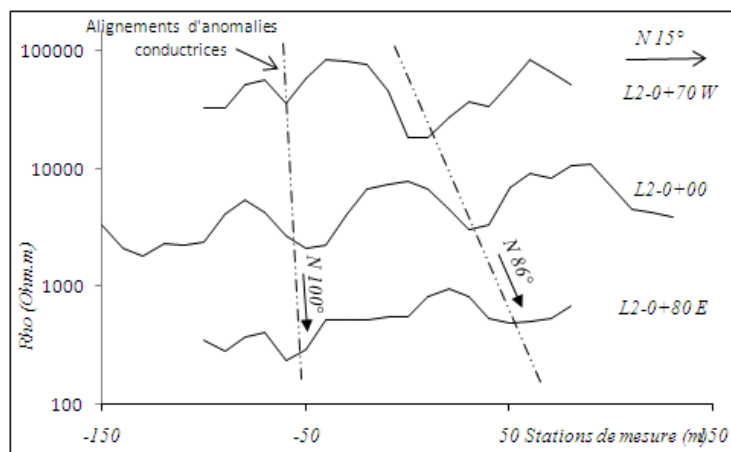


Figure 5 : Discontinuités géoélectriques identifiées à partir de trois profils parallèles à Kokoti Kouamékro S/P de Tiassalé

3-3. Validation de la carte de linéaments

3-3-1. Superposition des fractures de la carte géologique à celle des linéaments majeurs

La superposition de la carte des linéaments majeurs aux fractures majeures issues de la carte géologique de la zone étudiée, révèle que près du tiers (14 sur 44) des fractures de la carte géologique se superposent aux linéaments majeurs (**Figure 6**). La mise en évidence de ces fractures est importante pour la validation des linéaments même si elles représentent moins de 5 % de l'ensemble des linéaments majeurs cartographiés. En effet les fractures relevées sur la carte géologique sont des discontinuités géologiques authentiques validées par des observations de terrain.

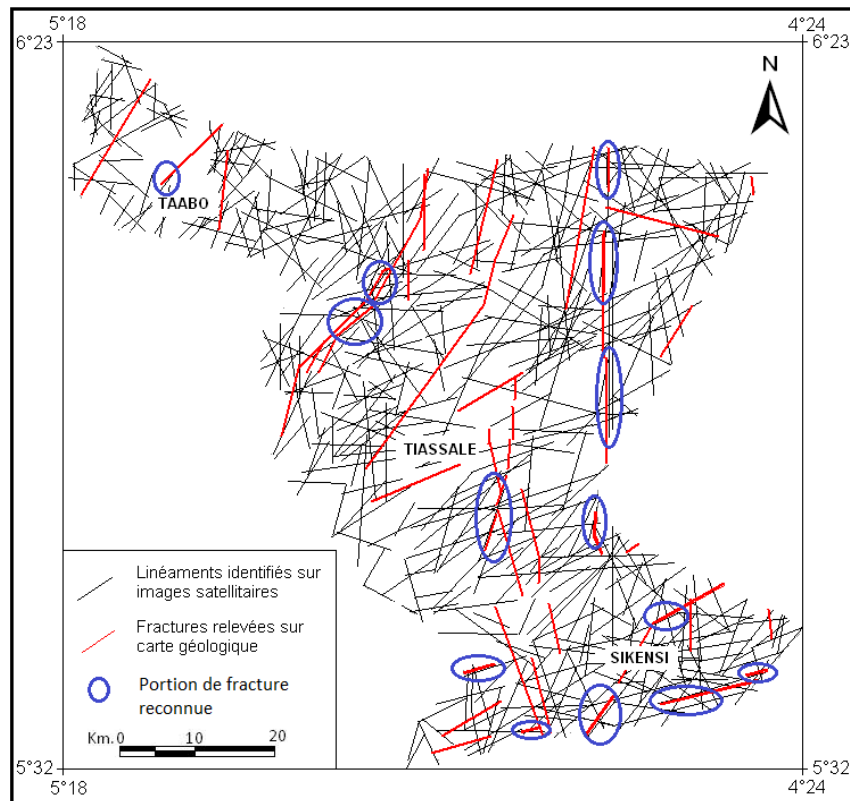


Figure 6 : *Superposition des fractures de la carte géologique aux linéaments majeurs*

3-3-2. Identification des linéaments majeurs sur le terrain

Certains linéaments ont également été reconnus au cours des observations de terrain. En exemple, une faille majeure affectant le socle granitique sur le tronçon N'douci – Tiassalé a été identifiée sur la carte de linéaments majeurs. Les coordonnées géographiques et l'orientation (N65) de la faille correspondent à celles d'un linéament majeur sur la carte linéaments (*Figure 7*). Sur le terrain cette faille, dans son prolongement SO, recoupe la discontinuité géologique majeure qu'emprunte le fleuve Bandama. Ce qui pourrait jouer un rôle hydrogéologique important dans le comportement hydrodynamique de la faille N65.

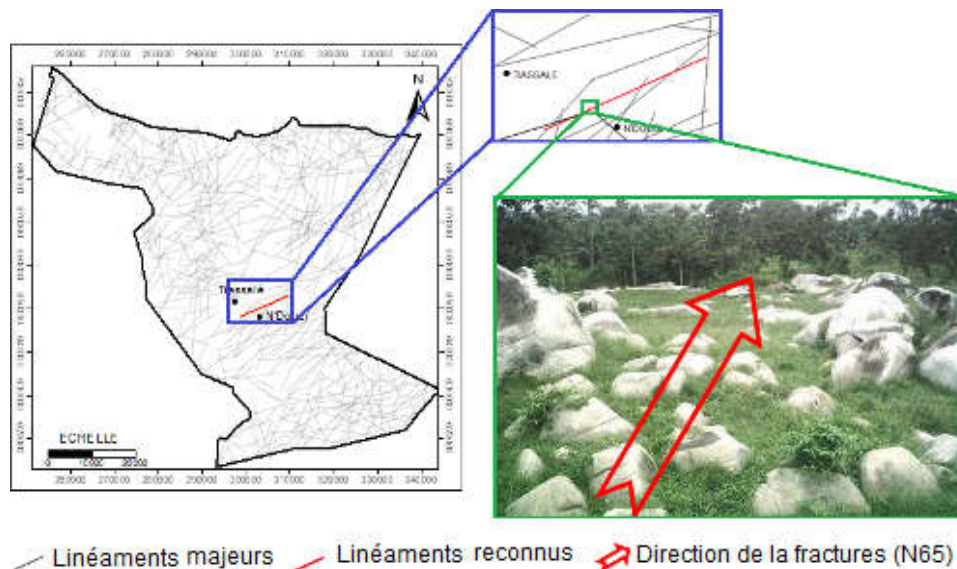


Figure 7 : *Faille N65 sur le tronçon N'Douci-Tiassalé correspondant à un linéament majeur*

3-3-3. Superposition de la carte de localisation des forages à celle des linéaments majeurs

La superposition de la carte de localisation des forages réalisés dans la zone d'étude à la carte de linéaments majeurs montre que la majorité (70 forages sur 129) des forages coïncide avec au moins un linéament. On observe aussi des forages au niveau de points d'intersection de linéaments. Les linéaments correspondent donc à des fractures dans le sous-sol (**Figure 8**).

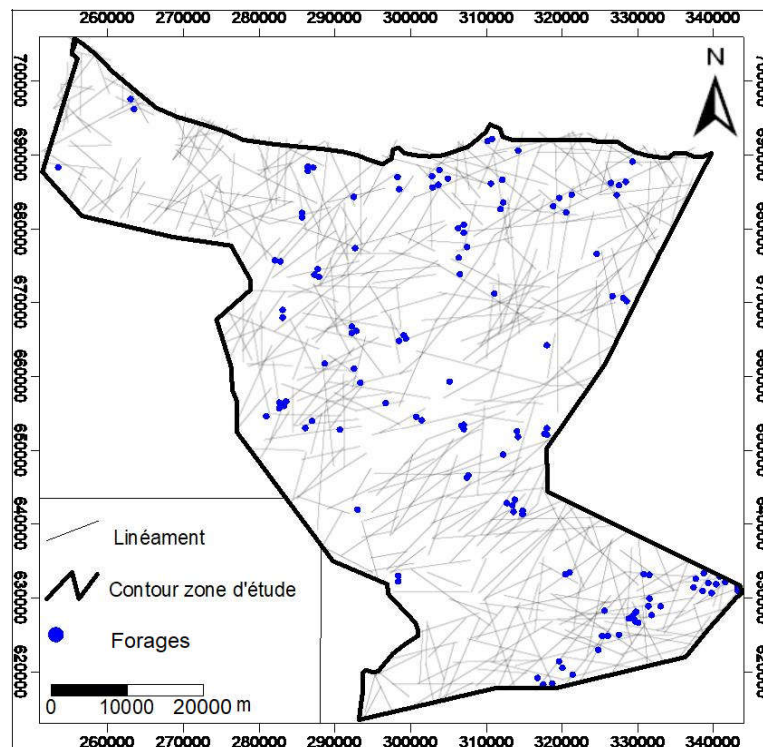


Figure 8 : Carte de localisation des forages superposée au réseau de linéaments majeurs

3-3-4. Identification des linéaments majeurs, à partir des levées géophysiques

La superposition des fractures mises en évidence, à partir des traînées électriques parallèles, aux linéaments montre que plusieurs discontinuités géoélectriques correspondent à des linéaments. La **Figure 9** présente des exemples de fractures mises en évidence par les levées géophysiques à Ahondo, Yaobakro, Boussoûé dans la sous-préfecture de Tiassalé et à Sikensi. Les linéaments reconnus sont N53°, N102°, N42°, N90° (E-O) et N57°.

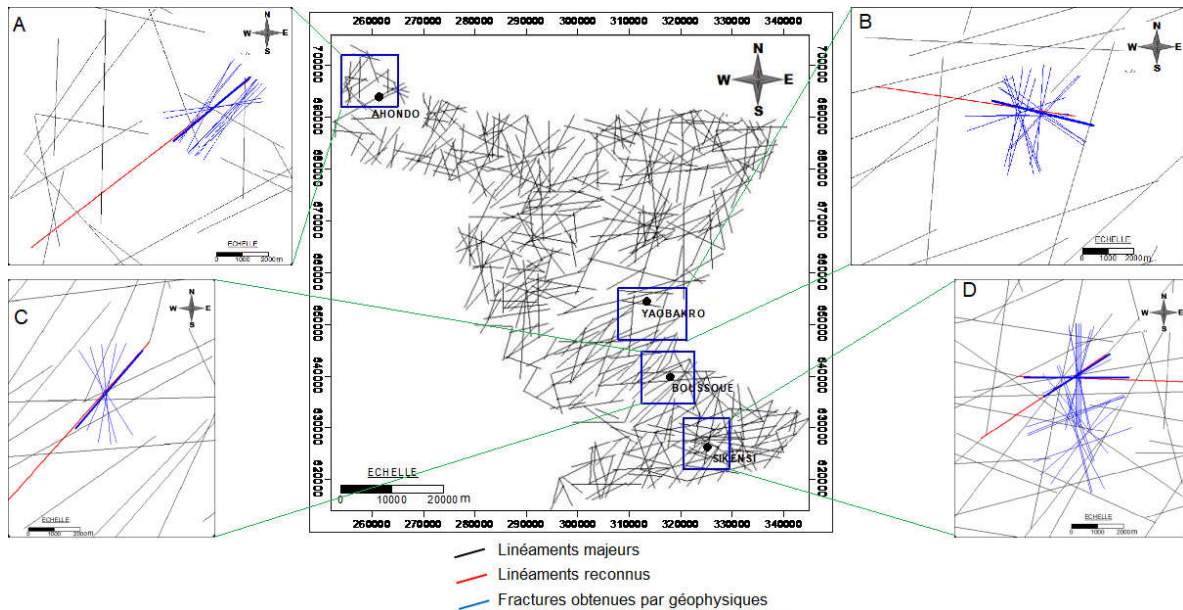


Figure 9 : *Fractures par géophysique superposées aux linéaments majeurs. Cas de : Ahondo (A), Yaobakro (B), Boussoué (C), Sikensi (D)*

3-4. Rôle hydrogéologique des fractures majeures de la zone d'étude

Pour orienter d'éventuels prospections hydrogéologiques dans la région, il est important d'étudier la relation qui existe entre les débits des forages et l'orientation de la fracturation. Les cartes qui résultent de la superposition de la position des différentes classes de débits en fonction de l'orientation des accidents géologiques (N-S, E-O, NE-SO et NO-SE) sont présentées à la **Figure 10**. Sachant qu'un seul forage peut capter un ou plusieurs fractures d'orientations différentes, le nombre de forages interceptant ces fractures est le suivant :

- 13 forages exploitent les fractures de direction N-S, soit 13,27 % ;
- 21 forages exploitent les fractures de direction E-O, soit 21,43 % ;
- 44 forages exploitent les fractures de direction NE-SO, soit 44,90 % ;
- 20 forages exploitent les fractures de direction NO-SE, soit 20,41 %.

Les fractures de directions NE-SO (44,90 %) sont les plus interceptées par les ouvrages de captages de la région Sikensi-Tiassalé. Les accidents E-O et NO-SE viennent au second plan, avec respectivement 21,43 % et 20,41 %. Les accidents majeurs N-S sont moins interceptés par les forages (13,27 %). De plus, toutes les directions de fractures produisent des débits faibles, moyens et forts. Une même fracture produit des classes de débits différents.

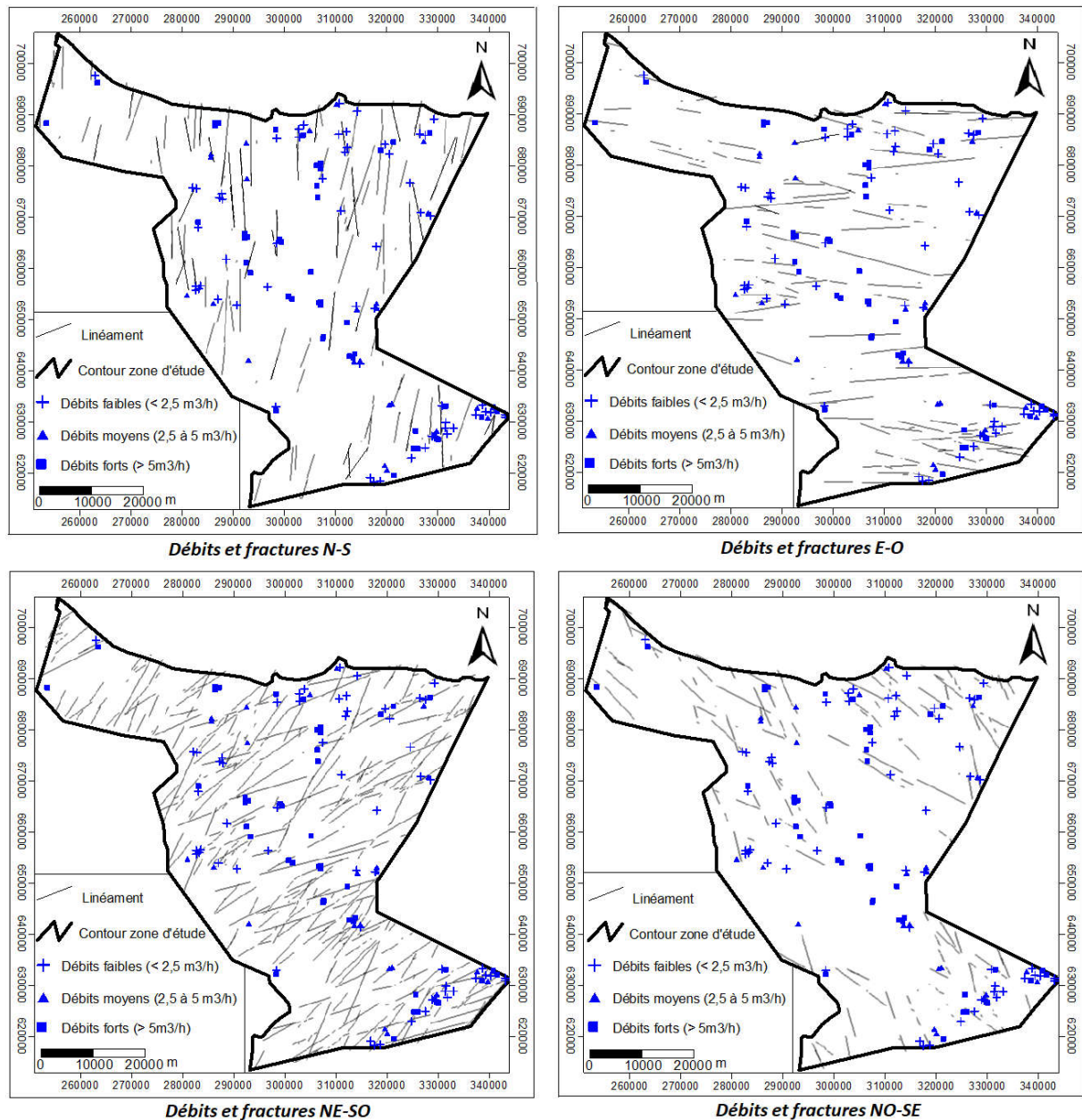


Figure 10 : Relation entre débits et orientations de fractures majeures

La répartition des différentes classes de débits en fonction des classes directionnelles des fractures permet de remarquer que toutes les directions de fractures sont susceptibles de fournir des débits faibles, à l'exception des directions N110-120 (**Figure 11**). À l'exception des classes directionnelles N10-20, N90-100, N110-120, N120-130 et N170-180, les autres familles d'orientation offrent des débits moyens. Les classes directionnelles des fractures les plus productives de la région sont les discontinuités géologiques N50-60, N80-90 et N150-160.

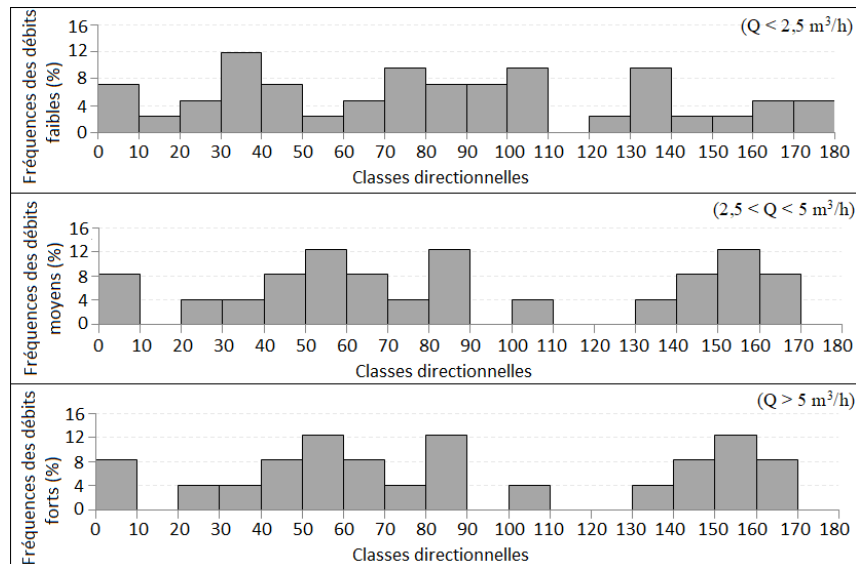


Figure 11 : Répartition de débits en fonction des classes directionnelles de fractures

La **Figure 12** présente la répartition des forts débits ($Q > 5 \text{ m}^3/\text{h}$) en fonction des directions des fractures N-S, E-O, NE-SO et NO-SE. Cette figure montre que les accidents NE-SO et NO-SE, qui s'associent respectivement aux directions birimiennes et libériennes fournissent les meilleurs débits dans la région de Sikensi-Tiassalé. Les accidents NE-SO fournissent 41,67 % des débits forts. Les fractures NO-SE viennent en seconde position avec 37,50 %. Les fractures N-S (8,33 %) et E-O (12,50 %) sont moins représentées au niveau des fractures qui offrent des débits supérieurs à $5 \text{ m}^3/\text{h}$.

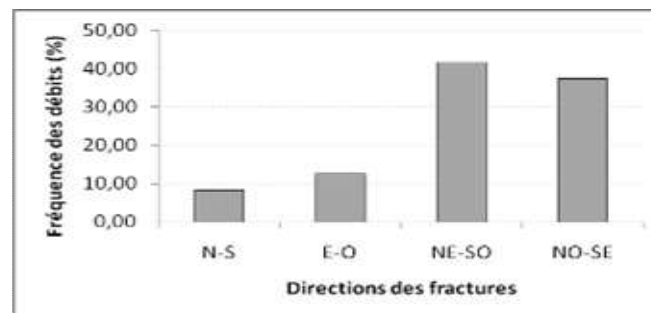


Figure 12 : Répartition des débits forts ($Q > 5 \text{ m}^3/\text{h}$) en fonction des directions des fractures N-S, E-O, NE-SO et NO-SE

4. Discussion

Les eaux souterraines exploitées en milieu de socle empruntent généralement les couloirs de fractures. La cartographie de ces fractures doit être couplée à leur analyse hydrogéologique. Ce qui permet d'identifier les accidents géologiques les plus producteurs du sous-sol et les zones de recharge à partir des sols humides persistant, malgré la saison sèche. De plus, la connaissance des directions de fractures qui offrent des débits forts est très importante, car elle permet de focaliser les recherches en eau souterraine sur les différentes familles de fractures les plus significatives du point de vue hydrogéologique [13]. L'étude de cette relation débit - orientation de fractures contribue à expliquer le rôle hydraulique de certains accidents géologiques. Dans les départements de Sikensi et Tiassalé, les fractures N-S sont les plus représentées. Ce

resultat est conforme à celui obtenu dans d'autres localités ivoiriennes, notamment à Tiébissou (Centre de la Côte d'Ivoire) et à Tienko (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire). Ces accidents géologiques sont identifiés dans le cadre d'une prospection minière à partir de l'analyse d'images satellitaires radar RSO-ERS et optique ETM+ de Landsat 7 [14]. En Côte d'Ivoire les fractures N-S ne sont pas toujours majoritaires. C'est le cas à Kongoti au Sud-Est de la Côte d'Ivoire, où les fractures dominantes sont NE-SO et NO-SE [15]. Dans les départements de Sikensi et Tiassalé, les accidents régionaux NE-SO et NO-SE, correspondant respectivement aux orientations birrimiennes et liberriennes fournissent les débits les plus élevés ($Q > 5\text{m}^3/\text{h}$). Ce qui explique le fait qu'elles soient les plus captées (NE-SO, 44,90 % de forages et NO-SE, 20,41 % des forages) par le plus grand nombre de forages dans ces départements, malgré leur faible représentation spatiale. Ce qui est le cas de bon nombre de localités de la Côte d'Ivoire, notamment à Yakassé-Attobrou et d'Abié, région de la Mé (Sud de la Côte d'Ivoire) [16], Daoukro (Sud-Est de la Côte d'Ivoire) [17]. Certaines directions de fractures n'offrent pas les plus gros débits comme c'est le cas des fractures N-S et E-O à Sikensi-Tiassalé. Toutes les directions des réseaux de fractures ne sont pas productives. Certaines d'entre elles peuvent être colmatées et d'autres non. Les fractures n'ont donc pas le même intérêt hydrogéologique du fait des différentes perméabilités développées [5, 13]. Des débits importants sont également obtenus loin des accidents géologiques majeurs. Du fait de la densité très élevée des fractures, ces forages captent sûrement des fractures mineures connectées à des accidents régionaux [18].

La densité de fracturation joue un rôle important dans la productivité des ouvrages de captage en influençant les chances de succès des forages. En effet, la densité de fracturation influence la connexion des fractures. Plus le réseau est dense meilleure est la connectivité entre les fractures. Les forages correspondants interceptent dans ce cas des fractures de second ordre qui servent de drains pour la collecte des eaux vers les fractures de premier ordre [1, 19 - 21]. Les fractures mineures participent à l'écoulement global de l'aquifère, elles permettent une certaine connectivité entre les accidents majeurs. Ces gros débits peuvent donc se justifier par le nombre important de fractures mineures au voisinage des forages. Certains forages à forts débits sont implantés sur des fractures non identifiées sur les images TM. La puissance d'altération au niveau de certaines formations géologiques, notamment les schistes, contribue à atténuer l'influence de la fracturation à la surface. Dans ce cas la prospection géophysique, par trainé électrique, joue un rôle important dans la mise en évidence des fractures qui affectent le socle rocheux, à partir de la surface [22 - 27]. Ces fractures sont matérialisées par des anomalies, avec des paliers conducteurs de largeurs variés. Dans le cadre de cette étude, les anomalies conductrices mises en évidence sur les profils de résistivités permettent toutes une implantation de forages producteurs. Pour les auteurs de la référence [17], et selon les études réalisées à Daoukro, ce sont les anomalies de type « U » qui sont productrices. À Sikensi, un forage implanté sur une anomalie conductrice de type « V » à produire un débit de $60\text{ m}^3/\text{h}$ [18]. Le forage étant implanté à l'intersection de fractures N-S et $\text{N}57^\circ$.

5. Conclusion

L'objectif de ce travail est d'identifier les caractéristiques hydrogéologiques des fractures majeures des départements de Sikensi et Tiassalé. La méthodologie adoptée s'appuie sur la cartographie des fractures du socle par une approche combinée de la télédétection et de la géophysique (trainés électriques). Elle s'appuie aussi sur la mise en relation de ces fractures avec les débits air-lift des forages. La carte de fracture obtenue montre que les fractures $\text{N}0\text{-}10^\circ$ (N-S) sont les plus représentées dans la zone d'étude, avec 17 % des fréquences en nombre. Les fractures $\text{N}20\text{-}30$ (NE-SO) et $\text{N}90\text{-}100$ (E-O) sont au second plan, avec des fréquences respectives de 10 % et 11 %. Les fractures régionales N-S sont les moins captées par les forages et produisent le plus faible taux de débits forts (8,35 %). Elles sont suivies par les fractures

majeures E-O (12,50 %). Les familles directionnelles qui fournissent les débits forts les plus importants sont les accidents régionaux NE-SO (41,67 %) et NO-SE (37,50 %). Les fractures NE-SO (44,90 %) et NO-SE (20,41 %) sont également les plus sollicitées par l'hydraulique villageoise dans les départements de Sikensi et Tiassalé. Ces résultats peuvent servir de base pour les implantations de futures ouvrages de captage d'eau souterraine dans les départements de Sikensi-Tiassalé.

Remerciements

Les auteurs remercient la Direction de l'Hydraulique Villageoise de Côte d'Ivoire pour avoir permis la réalisation de cette étude et les instructeurs anonymes, pour leurs remarques et critiques permettant d'améliorer ce présent article.

Références

- [1] - A. P. SOMBO, "Application des méthodes de résistivités électriques dans la détermination et la caractérisation des aquifères de socle en Côte d'Ivoire. Cas des départements de Sikensi et de Tiassalé (Sud de la Côte d'Ivoire)", Thèse de Doctorat. Université Félix Houphouët Boigny de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), (2012) 203 p.
- [2] - J. BIÉMI, "Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants Sub-sahariens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : Hydrostructurale, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus des sillons et aires granitiques de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire)", Thèse d'État Université Nationale de Côte d'Ivoire, (1992) 480 p.
- [3] - J. P. FAILLAT, "Aquifères fissurés en zone tropicale humide : structure, hydrodynamique et hydrochimie (Afrique de l'Ouest), Thèse Université Languedoc (Montpellier), (1986) 534 p.
- [4] - E. BOISVERT, E. BOURQUE, V. CLOUTIER, D. KIRKWOOD, K. LAUZIERE, R. LEFEBVRE, R. MARTEL, Y. MICHAUD, M. NASTEV, M. OUELLET, D. PARADIS, M. ROSS, N. ROUSSEAU et M. M. SAVARD, "Guide méthodologique pour la caractérisation régionale des aquifères en roches sédimentaires fracturées", Université du Québec. Institut National de la Recherche Scientifique. Eau, Terre, Environnement, (2008) 162 p.
- [5] - I. SAVANÉ, "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 d'Etat, Université de Cocody, (1997) 396 p.
- [6] - K. F. KOUAMÉ, Hydrogéologie des aquifères discontinus de la région semi-montagneuse de Mandanané (ouest de la Côte d'Ivoire). Apport des données des images satellitales et des méthodes statistiques et fractales à l'élaboration d'un système d'information hydrologique à référence spatiale, Thèse 3ème cycle Université de Cocody-Abidjan, (1999) 194 p.
- [7] - J. P. JOURDA, "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, Université de Cocody, (2005) 430 p.
- [8] - 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, Univ. Cocody, (2008) 237 p.

- [9] - C. DELOR, I. DIABY, J. P. TASTET, B. YAO, Y. SIMÉON, M. VIDAL ET A. L. DOMMANGET, Notice explicative de la carte de la Côte d'Ivoire à 1/200000, Feuille Abidjan, Mémoire de la Direction de la géologie de Côte d'Ivoire, Abidjan, Côte d'Ivoire, N° 3 (1992) 26 p.
- [10] - D. B. YAO, C. DÉLOR, Y. SIMÉON, I. DIABY, G. GADOU, P. KOHOU, A. OKOU, S. KONATÉ, G. KONAN, M. VIDAL, A. COCHERIE, A. DOMMANGET, J. P. CAUTU et J. C. CHIRON, *Carte Géologique de la Côte d'Ivoire à 1/200000 ; Feuille Dimbokro*, Mémoire de la Direction des mines et de la Géologie, Abidjan, Côte d'Ivoire, N° 6 (1995) 1 p.
- [11] - B. DEWANDEL, P. LACHASSAGNE, R. WYNS, J-C. MARECHAL et N. S. KRISHNAMURTHY, A generalized 3-D geological and hydrogeological conceptual model of granite aquifers controlled by single or multiphase weathering, *Journal of Hydrology*, Vol. 330, N° 1-2 (2006) 260 - 284
- [12] - E. G. K. KOUAKOU, "Contribution de la géophysique à l'étude structurale et à la connaissance des ressources en eau souterraine du district de la vallée du Bandama (côte d'ivoire)", Thèse de doctorat géophysique appliquée, Université Félix Houphouët Boigny, UFR STRM, Abidjan Côte d'Ivoire, (2012) 199 p.
- [13] - T. LASM, "Hydrogéologie des réservoirs de socle : Analyses statistique et géostatistique de la fracturation et des propriétés hydrodynamiques. Application à la région des montagnes de Côte d'Ivoire (domaine archéen)", Thèse de doctorat unique, Faculté des Sciences Fondamentales et Appliquées, Université de Poitiers, (2000) 274 p.
- [14] - B. G. KOFFI, G. OUATTARA, F. K. KOUAME et J-P. DEROIN, Analyse des images satellitaires radar RSO-ERS et optique ETM+ de Landsat 7 comme outils de prospection minière : application aux localités de Tiébissou et de Tienko en Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest), *Afrique SCIENCE*, 10 (1) (2014) 47 - 67
- [15] - K. E-G. KOUAKOU, A. P. SOMBO, L. N. KOUAME, B. C. SOMBO, Electrical resistivity and geomorphology for groundwater exploration in hard rock areas: application to Kongoti (South-East of Côte d'Ivoire), *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Vol. 8, Issue 5, (2017) 1320 - 1325
- [16] - K. E-G. KOUAKOU, L. DOSSO, L. N. KOUAME, A. P. SOMBO et B. C. SOMBO, Contribution des méthodes de résistivité électrique à la recherche d'eau en milieu cristallin : cas de Yakassé-Attobrou et d'Abié, région de la Mé, Côte d'Ivoire, *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 26 (2015) 194 - 211
- [17] - K. E-G. KOUAKOU, L. N. KOUAME, A. P. SOMBO, S. P. DJROH et B. C. SOMBO, Résistivité électrique et géomorphologie : identification des aquifères de socle et critères pour le choix des points d'implantations des forages dans le département de Daoukro, Sud-Est Côte d'Ivoire, *Afrique SCIENCE*, 13 (3) (2017) 98 - 112
- [18] - A. P. SOMBO, F. W. KOUASSI, B. C. SOMBO, L. N. KOUAME et K. E-G. KOUAKOU, Contribution de la prospection électrique à l'identification et à la caractérisation des aquifères du socle du département de Sikensi (Sud de la Côte d'Ivoire), *European Journal of Scientific Research*, 64 (2) (2011) 206 - 219
- [19] - Y. S. WU, H. H. LIU AND G. S. BODVARDON, A triple-continuum approach for modeling flow and transport processes in fractured rock. *Journal of contaminant hydrology*, 73 (2004) 145 - 179
- [20] - K. E-G., KOUAKOU B. C. SOMBO, Z. B. DIGBEHI, F. W. KOUASSI, A. P. SOMBO et L. N. KOUAMÉ, Utilisation de la prospection géophysique par résistivité électrique pour la recherche d'eau souterraine dans le département de TANDA (Est de la Côte d'Ivoire), *European Journal of Scientific Research*, Vol. 83, N° 3 (2012) 230 - 244
- [21] - K. E-G. KOUAKOU, B. C. SOMBO, K. E. KOUADIO, F. W. WILLIAMS, D. KEITA, A. P. SOMBO et L. N. KOUAMÉ, Sondage et Profilage Électrique dans le District de la Vallée du Bandama (Côte D'ivoire), Corrélation des Résultats Électriques et Sondages Mécaniques, Typologie et Modèles des Courbes Géoélectriques, *European Journal of Scientific Research*, Vol. 94, N° 3 (2013) 355 — 372

- [22] - C. ALLE, M. DESCLOITRES, J. M. VOUILAMOZ, N. YALO, F. M. A. LAWSON, C. ADIHO, Caractérisation des aquifères de socle par la résistivité électrique. Pratique de l'implantation des forages et perspectives d'amélioration au Bénin, *Vingtièmes journées techniques du Comité Français d'Hydrogéologie de l'Association Internationale des Hydrogéologues*, (2015) 1 - 8
- [23] - A. K. KOUAKOU, N. L. KOUAMÉ, S. P. DJROH, L. K. KOUADIO et C. B. SOMBO, Utilisation de la méthode de résistivité électrique pour la recherche de carrières granitiques et estimation du tonnage rocheux sur trois sites: Ayamé, Bouaké et Ferkessedougou (Côte d'Ivoire), *International Journal of Technical Research and Applications*, Vol. 5, Issue 5 (2017) 40 - 46
- [24] - H. HAN-LUN, J. Y. BRIAN, C. CHIEN-CHIH and C. YUE-GAU, Bedrock detection using 2D electrical resistivity imaging along the Peikang River, central Taiwan, *Institute of Geophysics*, (2010) 231 - 240
- [25] - K. DEWASHISH, Efficacy of Electrical Resistivity Tomography Technique in Mapping Shallow Subsurface Anomaly, *Journal geological society of india CSIR-National Geophysical Research Institute*, Vol 80, september 2012, (2012) 304 - 307
- [26] - S. DJROH, "Études géophysiques du gisement cupronickélifère à platinoïde de Samapleu. Essai de modélisation 3D par interprétation des données magnétiques et électriques", Thèse unique, Université Felix Houphouët-Boigny de Cocody, (2014) 170 p.
- [27] - M. A. LOKE, *2-D and 3-D ERT surveys and data interpretation*, Workshop outline, Piedmont Regional Order of Geologists Pasi Geophysics, Turin, Italy, 10th. Sept. 2015, (2015) 243 p.