



EXTRACTION PAR LA TELEDETECTION DU RESEAU DE FRACTURES MAJEURES POUR LA PROSPECTION DE L'EAU SOUTERRAINE DANS LA COMMUNE DE NIAKARAMANDOUGOU

REMOTE DETECTION OF THE MAJOR FRACTURE NETWORK FOR THE PROSPECTING OF GROUNDWATER IN THE MUNICIPALITY OF NIAKARAMANDOUGOU

| Avy Stéphane, Koffi ^{1*} | Kouassi Éric Germain, Kouakou ² | and | Yenipoho Onésiphore, Tuo ³ |

^{1.} Université Peleforo Gon Coulibaly | Département de Géosciences | UFR des Sciences Biologiques | Korhogo | Côte d'Ivoire |

^{2.} Université Peleforo Gon Coulibaly | Département de Géosciences | UFR des Sciences Biologiques | Korhogo | Côte d'Ivoire |

^{3.} Université Peleforo Gon Coulibaly | Département de Géosciences | UFR des Sciences Biologiques | Korhogo | Côte d'Ivoire |

| Received December 25, 2020 |

| Accepted January 03, 2021 |

| Published January 06, 2021 |

| ID Article | Avy-Ref1-ajira261220 |

RESUME

La commune de Niakaramandougou au centre Nord de la Côte d'Ivoire est située sur un socle cristallin. Les fractures et fissures du socle constituent des zones d'écoulement préférentiel des eaux souterraines. **Objectifs** : Afin de mettre en évidence ces fractures, une étude structurale a été menée à partir d'images Landsat 7 ETM+ (scènes 197-054 du 16 Décembre 2000). La carte des linéaments obtenue a été validée à partir des données de terrain. Cette carte a comporté 207 fractures dont la taille a varié de 1 à 22 Km, qui ont présenté les directions dominantes ENE-WSW ; SE-NW et NE-SW. **Méthodes** : Une étude statistique de l'influence des paramètres de forages (profondeur totale, profondeur du socle) sur le débit a été réalisée. **Résultats** : L'analyse en composante principale a révélé que les localités à fort débit ont été Kafiné, Longo, Nandanakaha, Kanawolo1 et Ouereguekaha. Une faible corrélation a été observée entre le débit et respectivement la profondeur totale ($R^2 = 0,0118$) et la profondeur du socle ($R^2 = 0,2935$). L'ensemble de ces paramètres a ensuite fait l'objet d'une Analyse en Composante Principale (ACP). **Conclusion** : Cette analyse a révélé que la profondeur totale n'a pas d'effet sur la productivité des forages. Une forte épaisseur d'altération augmente par contre les chances d'avoir un débit important. Au-delà de 80 mètres de profondeur dans la roche fissurée, les chances d'obtenir un débit conséquent diminuent. Ces résultats améliorent la connaissance de l'aquifère fracturé de Niakaramandougou, Et devraient servir à orienter les futures campagnes d'hydraulique pour une meilleure implantation des ouvrages de captage.

Mots-clés: Socle fracturé, linéament, Productivité de forage.

ABSTRACT

The commune of Niakaramandougou in north-central Côte d'Ivoire is located on a crystalline basement. Fractures and cracks in the basement constitute areas of preferential groundwater flow. **Objectives** : In order to highlight these fractures, a structural study was carried out using Landsat 7 ETM+ images (scenes 197-054 of 16 December 2000). The lineament map obtained was validated from the field data. This map included 207 fractures ranging in size from 1 to 22 km, which showed the dominant directions ENE-WSW; SE-NW and NE-SW. **Methods** : A statistical study of the influence of drilling parameters (total depth, basement depth) on the flow was carried out. **Results** : The principal component analysis revealed that the high flow localities were Kafiné, Longo, Nandanakaha, Kanawolo1 and Ouereguekaha. A weak correlation was observed between discharge and total depth ($R^2 = 0.0118$) and basement depth ($R^2 = 0.2935$) respectively. All these parameters were then subjected to a Principal Component Analysis (PCA). **Conclusion** : This analysis revealed that the total depth has no effect on drilling productivity. A high alteration thickness, however, increases the chances of having a high flow rate. Above 80 metres depth in fissured rock, the chances of obtaining a significant flow decrease. These results improve knowledge of the fractured Niakaramandougou aquifer and should serve to guide future hydraulic campaigns for better siting of the catchment structures.

Keywords: Fractured base, lineament, Drilling productivity.

1. INTRODUCTION

Dans un pays en développement tel que la Côte d'Ivoire, l'accès à l'eau potable pour les populations est actuellement un défi à relevé. Ce contexte est aggravé par des conditions climatiques particulièrement défavorables, marquées par une faible pluviométrie posant ainsi un problème de disponibilité de la ressource.

Les principales ressources en eaux sont les eaux de surfaces et les eaux souterraines. La qualité bactériologique et physico-chimique des premières n'est pas souvent garantie. Elles nécessitent pour ce faire, des traitements onéreux. C'est dans un tel contexte que les eaux souterraines présentent un réel potentiel. En effet, les recherches de l'eau en milieu cristallin ont été orientées vers une meilleure connaissance des aquifères des fissures, qui sont censés être à l'abri des fluctuations saisonnières et moins exposés aux phénomènes de pollution. Dès lors, il est nécessaire d'améliorer la connaissance de cette ressource afin d'organiser au mieux sa mobilisation pour les populations. Pour ce faire, des études de caractérisation sont indispensables.

La caractérisation hydrogéologique vise à comprendre le fonctionnement de l'aquifère et d'en estimer les paramètres. Le souci de compréhension du fonctionnement d'un aquifère suscite des questions sur sa géométrie, et les paramètres descriptifs de ses principales fonctions hydrauliques que sont la fonction de stockage de l'eau et la conduite du flux. Certains auteurs ont affirmé que le stockage de l'eau est mesuré par la porosité et le coefficient d'emménagement. La conduite du flux est déterminée par la perméabilité, la transmissivité et les débits [1].

En contexte de socle, les questions qui se déclinent sont essentiellement : l'épaisseur des zones d'altération et de fissures/fractures et les limites de leur extension latérale, la quantité d'eau stockée dans les différents horizons et leurs potentiels de production.

D'un point de vue pratique, la caractérisation devra aboutir à l'identification de zones dites favorables à l'implantation d'ouvrage de captage. Ces zones en contexte de socle allient capacité de stockage (épaisseur d'altération saturée) et capacité de production (présence de fractures sous-jacentes drainantes).

La caractérisation de l'aquifère ainsi définie passe par la mise en œuvre d'outils dont les résultats sont complémentaires. C'est dans cette optique que la télédétection et les analyses statistiques de données seront utilisés dans cette étude pour la caractérisation de l'aquifère de Socle du Niakaramandougou.

L'objectif général de cette étude de caractérisation est d'identifier des linéaments et afin de les valider comme occurrence de fractures profondes à travers la carte géologique, les microfissures, et les forages productifs et chercher les zones à fort potentiel de débit à partir des données de forages.

Pour ce faire, les objectifs spécifiques suivants seront poursuivis à savoir :

- Etablir et valider la carte linéamentaire de la zone ;
- Analyser les données de forages pour voir les zones à fort potentiel.

Dans le cadre de cet article, le thème suivant : « Extraction par la Télédétection du réseau de fractures majeures pour la prospection de l'eau souterraine dans la commune de Niakaramandougou » sera donc traité.

1.1 Situation géographique de Niakaramandougou:

Crée par décret N° 2009-63 du 05 mars 2009, le département de Niakaramandougou est situé au Centre-Nord de la Côte d'Ivoire, plus précisément dans la région du Hambol, à environ 470 km d'Abidjan [2] (Figure 1).

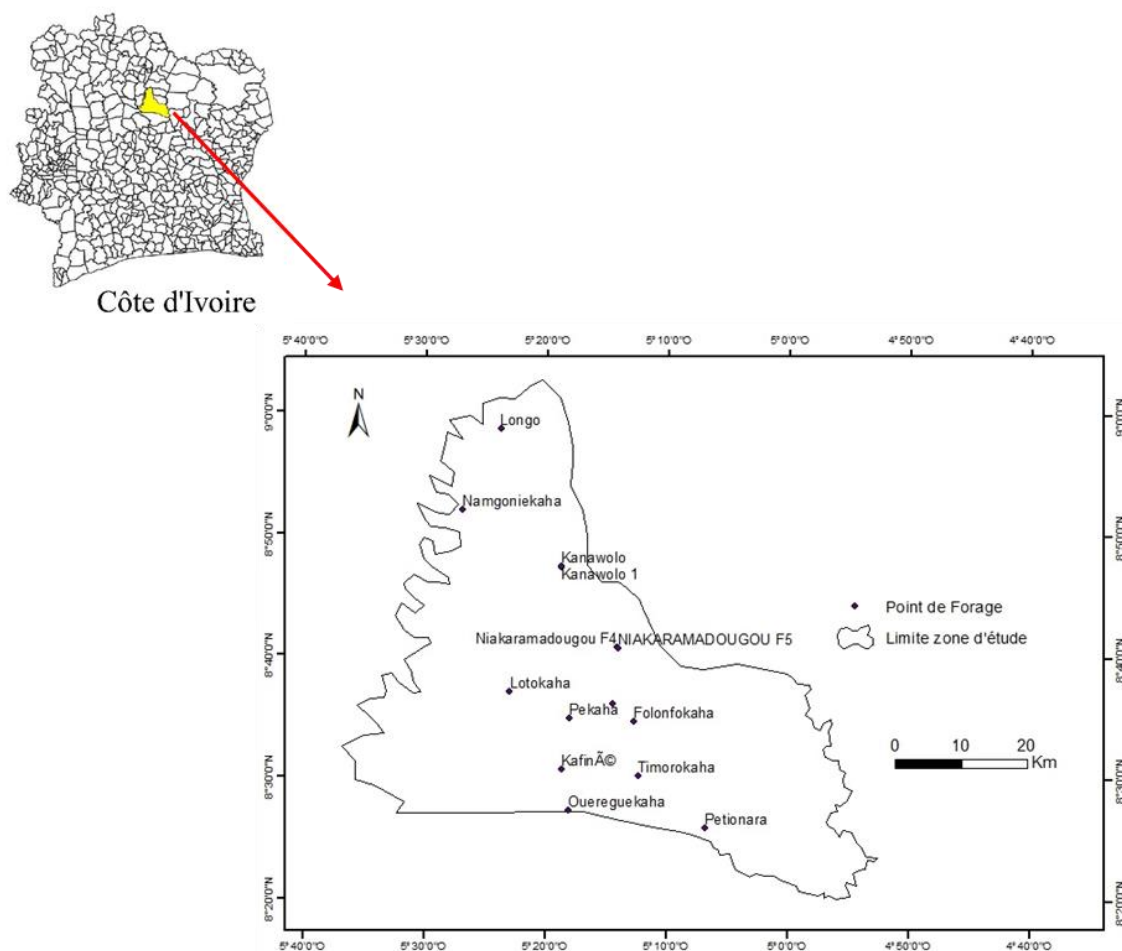


Figure 1 : Situation géographique de Niakaramandougou.

1.2 Milieu physique de Niakaramandougou:

C'est une région de plateaux très monotone dont l'altitude moyenne est légèrement supérieure à 300m. Les roches sont essentiellement des restes de cuirasses latéritiques. Seul, au Nord de Niakaramandougou, émerge le mont Niangbo qui culmine à 694 m.

Le relief est assez monotone, presque horizontal avec des formes très peu marquées. En effet, l'on observe une alternance de croupes convexes-concaves et de zones basses dépressionnaires (Figure 2). Les collines sont quasiment absentes sauf le mont Niangbo, remarquable butte, témoin qui culmine à 700 mètres [3].

Les études ont montré que cette montagne domine plus de 350 mètres la pénéplaine environnante [2] ;

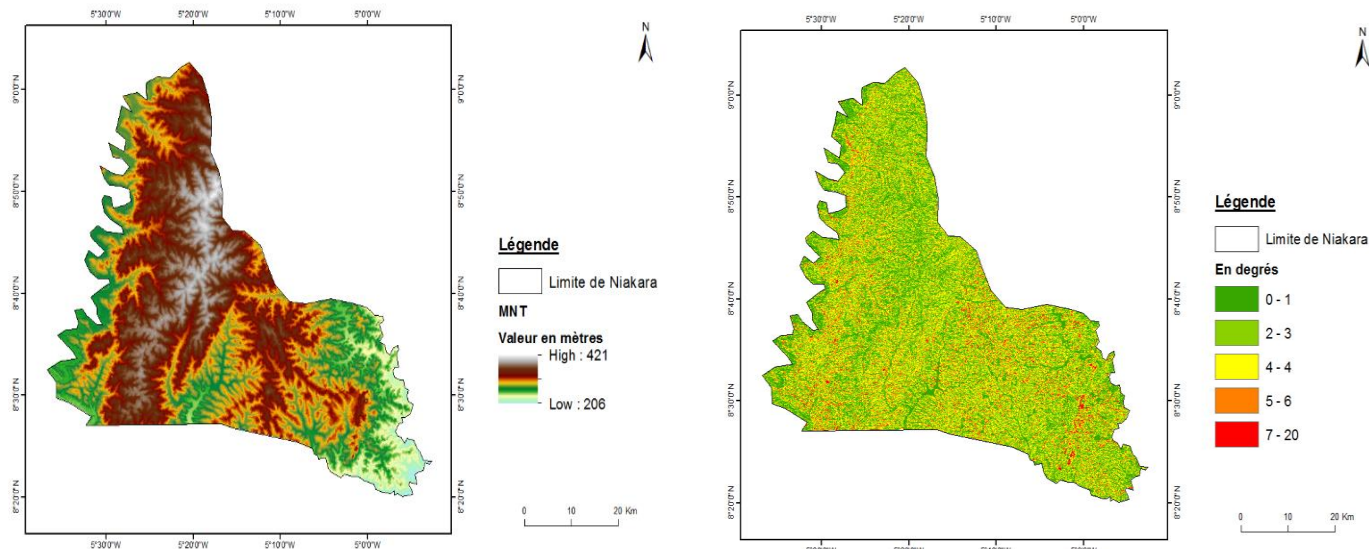


Figure 2 : Modèle Numérique de Terrain (MNT) et carte des pentes de Niakara.

Les auteurs affirment dans leurs travaux que la température est comprise entre 30° et 35°C. Le département de Niakara bénéficie d'un climat de type tropical humide à deux saisons [2] ;

- une saison pluvieuse, qui s'étend d'avril à septembre avec un maximum de 2869,3mm en Septembre ;
- une saison sèche d'une durée de six mois qui part d'octobre à mars malgré la présence de la pluie sur l'ensemble de ces mois.

Les précipitations annuelles, sont d'environ 1158 mm avec une moyenne de 69 jours de pluies.

Le sol de la région est couvert de savane arbustive, hormis les galeries forestières le long des cours d'eau. En outre, l'on note la présence de forêts sacrées.

– Les auteurs affirment par ailleurs, que quelques îlots de forêts subsistent particulièrement dans la région ouest de l'autre côté du Bandama [2] ;

Le Département de Niakara n'est vraiment pas arrosé. L'on note cependant, l'existence de deux fleuves à savoir le N'zi à l'extrême Est, constituant la frontière naturelle avec dabakala et à l'Ouest avec le Bandama (Figure 3). Du côté du village de Kafiné, coule la rivière Nabyon, grâce à laquelle un barrage a été construit. Ce barrage sert à la riziculture et à la pêche [2].

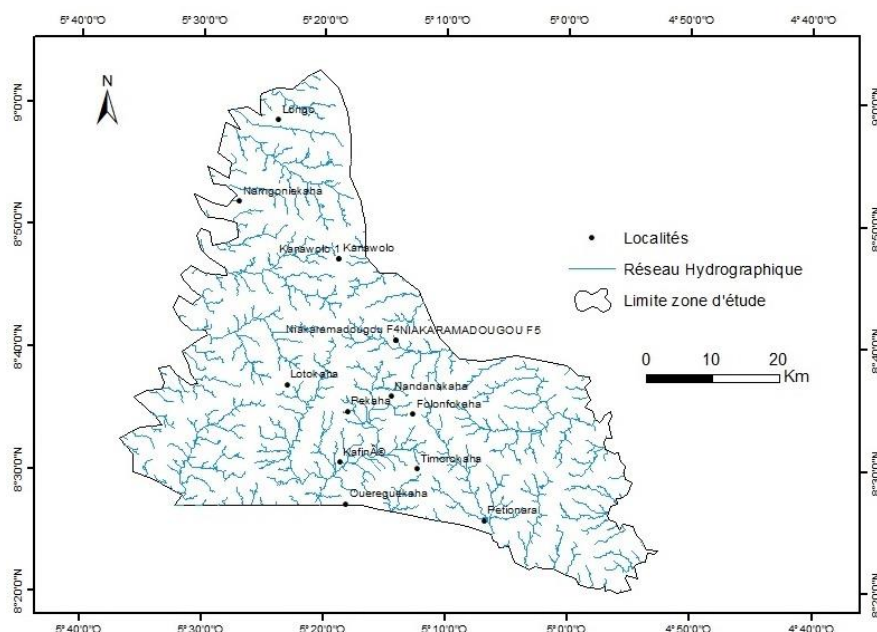


Figure 3 : Carte du réseau hydrographique de Niakara.

2. MATERIELS ET METHODES

Nos recherches ont été menées au département de Géosciences de l'Université Peleforo Gon Coulibaly avec des missions de terrain pour une meilleure compréhension de notre objet de recherche.

2.1 Matériels:

L'objectif d'une caractérisation hydrogéologique est de comprendre le fonctionnement d'un aquifère et d'en estimer les paramètres. La caractérisation d'un aquifère est classiquement réalisée à partir d'études géologiques, piézométriques et de pompages d'essai. Ces outils présentent des limites de différentes natures. Cependant, ces limites peuvent être réduites par une approche faisant appel à des techniques complémentaires. Dans le cadre de cette étude, la télédétection, les SIG ainsi que la statistique seront utilisés pour la caractérisation de l'aquifère de Niakaramandougou.

Pour la réalisation de notre étude, nous avons procédé à une revue documentaire, à l'utilisation des données cartographiques et des données de forages.

Une image Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper) codée sur bits (689 niveaux de gris) a fait l'objet de traitements. Il s'agit de la scène 197-054 du 16 Décembre 2000. L'image est composée 8611 x 7596 de pixels de 28,5 m de résolution. Elle a une fauchée de 185 Km. C'est une scène géo-référencée selon le système de projection WGS 84 zone 30.

La base de données utilisée pour l'étude statistique dans cet article provient de l'Office National de l'Eau Potable. Elle est fournie sous forme de feuille Excel, qui recense les forages de la commune de Niakaramandougou. Quatorze débits compris entre 3 et 27 m³/h ont été utilisés dans le cadre de cette étude. Les paramètres suivant seront étudiés à savoir le débit, la profondeur totale et la profondeur du socle.

Les logiciels et le matériel utilisés dans cette étude sont les suivants :

- ENVI 5.1 pour le traitement des images satellites ;
- RockWorks17 et GEOrient (version 9.5.0) pour les rosaces ;
- Past (version 1.0) pour l'analyse statistique
- QGIS 3.0.2 et ARCGIS 10.2.2 pour la réalisation des cartes ;
- Un GPS a servi à repérer les points d'intervention ;
- Une Boussole géologique pour mesurer les directions des fractures identifiées sur les affleurements rocheux dans la zone ;
- Un appareil photo a servi à des prises de vue (des fractures visibles sur affleurement).
- Une carte géologique couvrant la zone de Niakaramandougou

2.2 Méthodes:

Le choix des techniques de traitements dépend essentiellement des objectifs de l'opérateur. Généralement, les étapes suivantes dans le processus de traitement d'images peuvent être dégagées : le prétraitement, le rehaussement ou traitement proprement dit, l'analyse et l'interprétation. Nous présentons ici les principales opérations utilisées pour extraire l'information des images Landsat, étant entendu que les traitements réalisés dépendent toujours de la qualité de l'image de départ et des objectifs poursuivis par l'opérateur. L'extraction manuelle est la dernière partie dans le traitement d'images en vue de l'identification des linéaments. Après l'application de la télédétection et de ses différentes techniques (Combinaisons de bandes, Composition colorée, Analyse en composante principale, Filtrage, Application de filtre, Extraction manuelle des linéaments), l'image est rehaussée et les contours et limites sont mis en évidence. Des linéaments ont été mis en évidence par les combinaisons suivantes : (TM7 + TM6), (TM4 + TM6), (TM5/TM4), (TM6 - TM7) / (TM6 + TM7) (Kouamé et al., 1999 ; Youan Ta et al., 2008 ; N'Go et al., 2010). Les compositions suivantes : (TM4, TM5, TM7), (TM7, TM5, TM2) et (TM5, TM4, TM3) facilitent la discrimination visuelle des linéaments – [4, 5, 6].

Dans le cadre de cette étude, une analyse en composante principale utilisant toutes les 7 bandes a été adoptée. Pour ce qui concerne cette étude c'est le filtre Sobel de fenetre 7x7 qui a été utilisé (Figure 4). Avant l'extraction des linéaments, les éléments linéaires d'origine anthropique (routes, pistes, fils électriques et téléphoniques) sont recensés et superposés aux images afin d'éviter de les considérer comme des linéaments. L'identification et le tracé des linéaments se font ensuite à l'écran.

– Les auteurs par leurs travaux nous indiquent que les images filtrées, les linéaments sont matérialisés par les limites formées par les zones sombres et claires. Les discontinuités et les changements brusques de tonalité observés sur les images rehaussées sont représentés par des segments de droite [6, 7].

– Selon d'autres auteurs, l'échelle d'observation peut jouer sur le nombre de linéaments identifiés, parfois sur la direction dominante d'une classe de linéaments et suggère l'échelle 1/200 000 pour une identification maximale des linéaments [8].

1	2	3	4	3	2	1
2	3	4	5	4	3	2
3	4	5	6	5	4	3
0	0	0	0	0	0	0
-3	-4	-5	-6	-5	-4	-3
-2	-3	-4	-5	-4	-3	-2
-1	-2	-3	-4	-3	-2	-1

a) Filtre Sobel de direction N-S

1	2	3	0	-3	-2	-1
2	3	4	0	-4	-3	-2
3	4	5	0	-5	-4	-3
4	5	6	0	-6	-5	-1
3	4	5	0	-5	-4	-3
2	3	4	0	-4	-3	-2
1	2	3	0	-3	-2	-1

c) Filtre Sobel de direction E-O

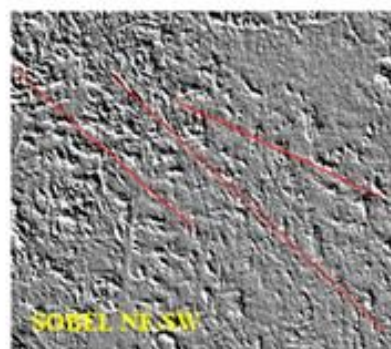
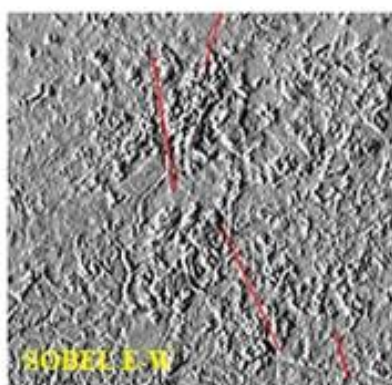
0	1	2	2	3	3	4
-1	0	3	4	4	5	3
-2	-3	0	5	6	4	3
-2	-4	-5	0	5	4	2
-3	-4	-6	-5	0	3	2
-3	-5	-4	-4	-3	0	1
-4	-3	-3	-2	-2	-1	0

b) Filtre Sobel de direction NE-SO

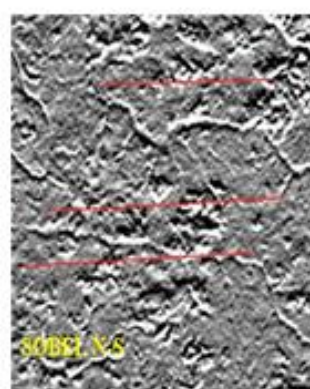
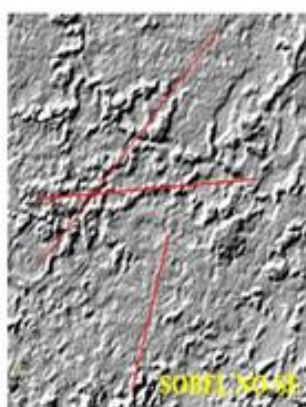
4	3	3	2	2	1	0
3	5	4	4	3	0	-1
3	4	6	5	0	-3	-2
2	4	5	0	-5	-4	-2
2	3	0	-5	-6	-4	-3
1	0	-3	-4	-4	-5	-3
0	-1	-2	-2	-3	-3	-4

d) Filtre Sobel de direction NO-SE

Figure 4 : Filtres directionnels de type Sobel de taille 7 x 7 affectée du poids



Filtre sobel E-W rehaussent les structures N-S Filtre sobel NE-SW rehaussent les structures NW-SE



Filtre sobel NO-SE rehaussent les structures NE-SW Filtre sobel N-S rehaussent les structures E-W

Figure 5 : Filtre Sobel montrant rehaussant quelques structures

3. RESULTATS

La composition colorée (TM7, TM5, TM2) a permis de mettre en évidence certains linéaments. La carte des linéaments (Figure 6) a été réalisée suite à l'interprétation des images issues des différentes techniques de traitement. Elle met en

évidence les différents nœuds des fractures. Elle compte 207 linéaments de longueurs variables allant de quelques centaines de mètres à des dizaines de kilomètres.

L'histogramme circulaire de la fracturation présente un double intérêt. En effet, il permet de faire ressortir les maxima directionnels, et de réaliser une étude comparative des intensités relatives de chaque famille.

Les principales directions de linéaments représentées sur la rosace directionnelle sont ENE-WSW (avec une fréquence de 17%) ; E-O (avec une fréquence de 17%) ; SE-NW (avec une fréquence de 14%) et NE-SW (avec une fréquence de 13%) (Figure 6). Dans une proportion plus faible les directions NNE-SSO (avec une fréquence de 10%) sont également représentées.

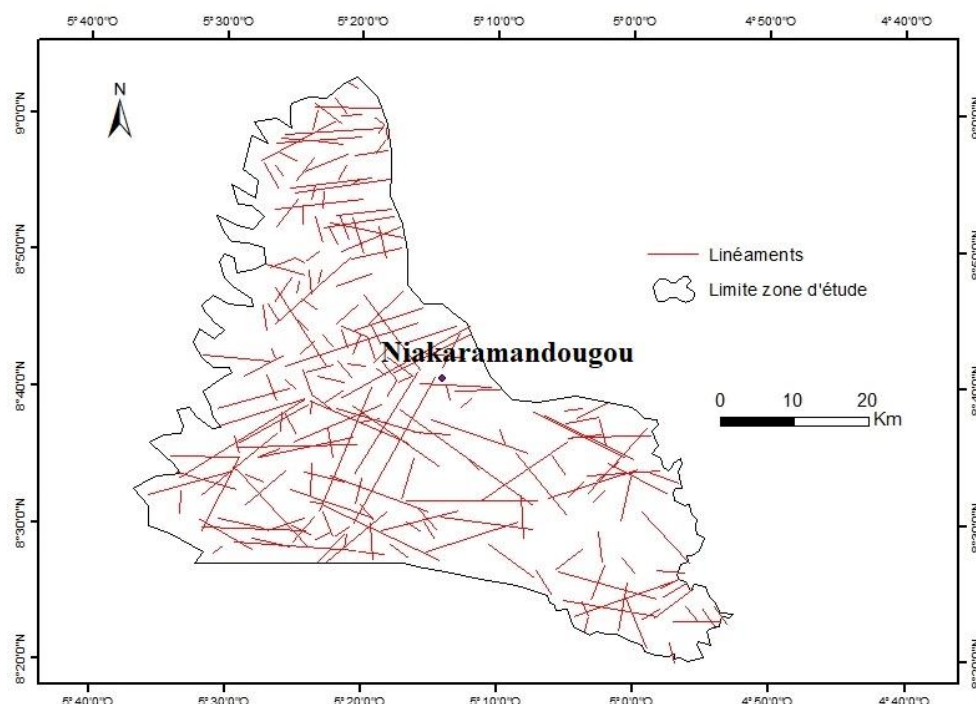


Figure 6 : Carte des linéaments de Niakaramandougou

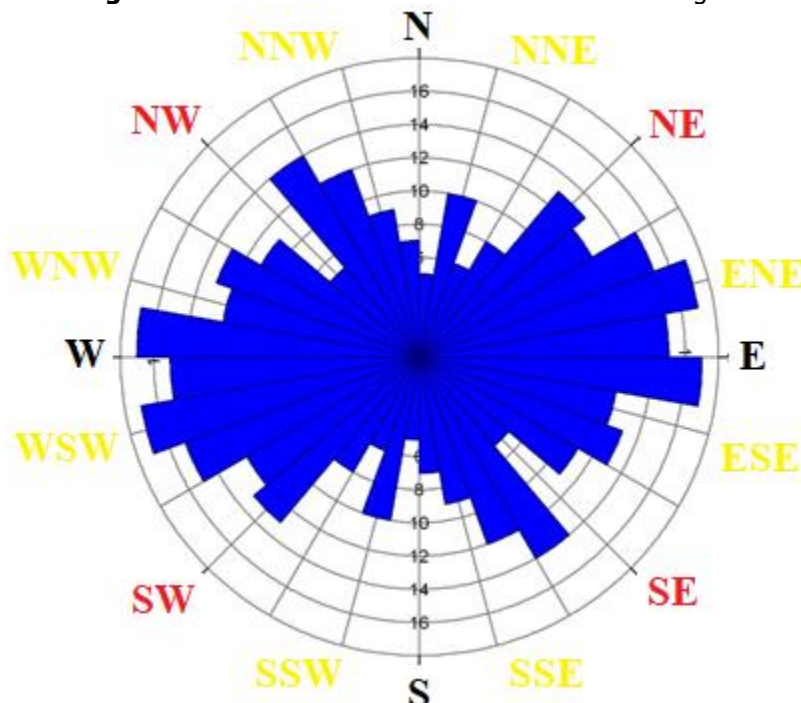


Figure 7 : Rosace directionnelle des linéaments de Niakaramandougou.

La validation du réseau de linéaments cartographiés dans cette étude est basée respectivement sur la comparaison des directions des grandes familles de linéaments issus du traitement d'images (direction principale NE-SW) et les données de fracturation relevées à l'affleurement (Figure 8). L'analyse de l'histogramme issu du traitement des directions des microfissures révèlent les directions suivantes : NNE-SSW ; E-W ; NE-SW et SE-NW (Figure 9).

En superposant la carte linéamentaire et la carte du réseau hydrographique on constate que le réseau de fracture se dessine sur le réseau hydrographique. Cependant, le réseau de fracture n'est pas confondu avec le réseau hydrographique, ce qui permet d'établir une relation entre les différents éléments (Figure 10).

La carte de couplage de linéaments et des forages positifs (Figure 13) n'a présenté que quatorze forages comportant des débits intéressants (débits $\geq 3 \text{ m}^3/\text{h}$) dans la zone. À Kafiné, un forage de $27 \text{ m}^3/\text{h}$ (débit maximal atteint) se situe à proximité d'un linéament de 10 Km. La plupart des débits importants captent les fractures ou les nœuds de fractures, ce qui permet de dire qu'il y a une relation entre la productivité et l'interconnectivité des linéaments. Cependant, l'insuffisance des données de forages n'a pas permis d'établir des corrélations entre le débit de ces forages et leur distance au linéament le plus proche en vue de confirmer l'existence réelle de ces fractures sur le terrain.

La superposition de la carte des linéaments majeurs aux fractures majeures issues de la carte géologique de la zone étudiée, révèle que des fractures de la carte géologique se superposent aux linéaments majeurs (Figure 12). 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.

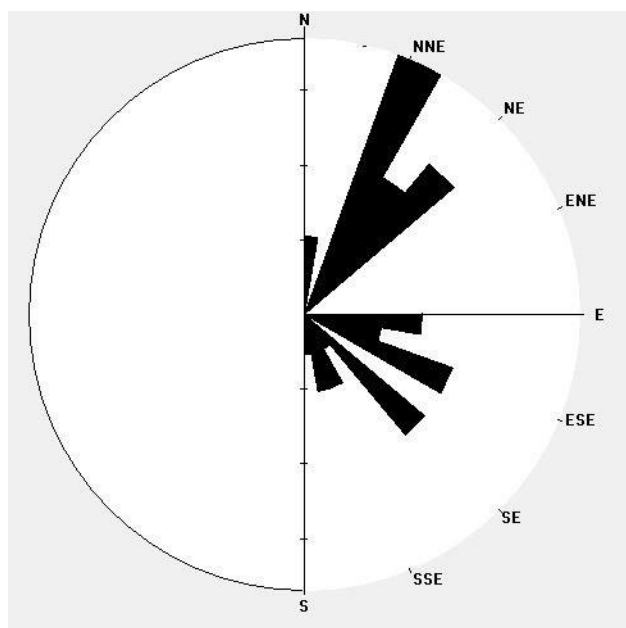


Figure 8 : Histogramme circulaire des microfissures révélées.

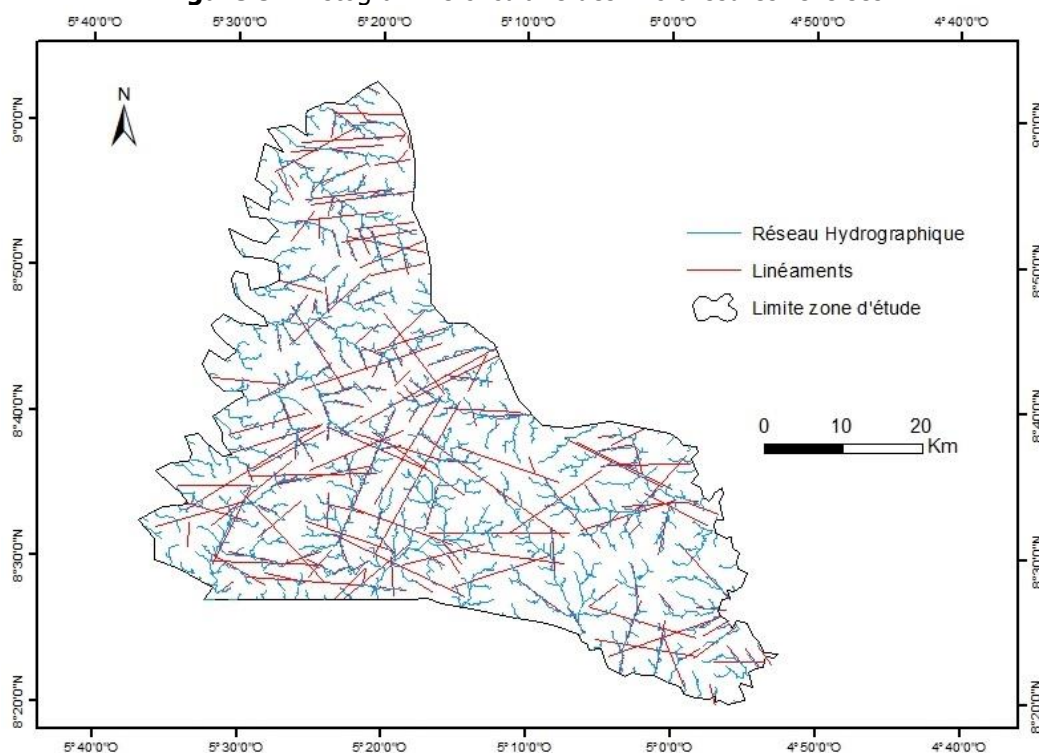


Figure 9 : Carte de fracturation et du réseau hydrographique.

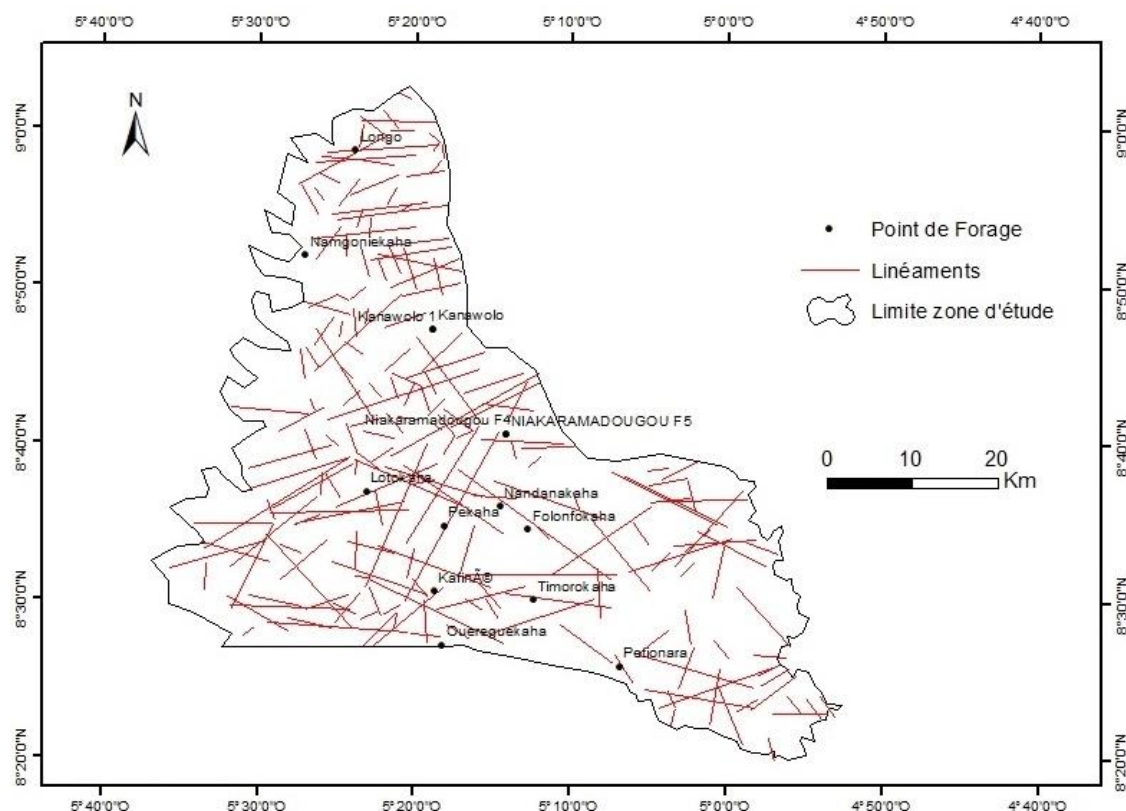


Figure 10 : Carte de couplage des linéaments et des forages de la zone.

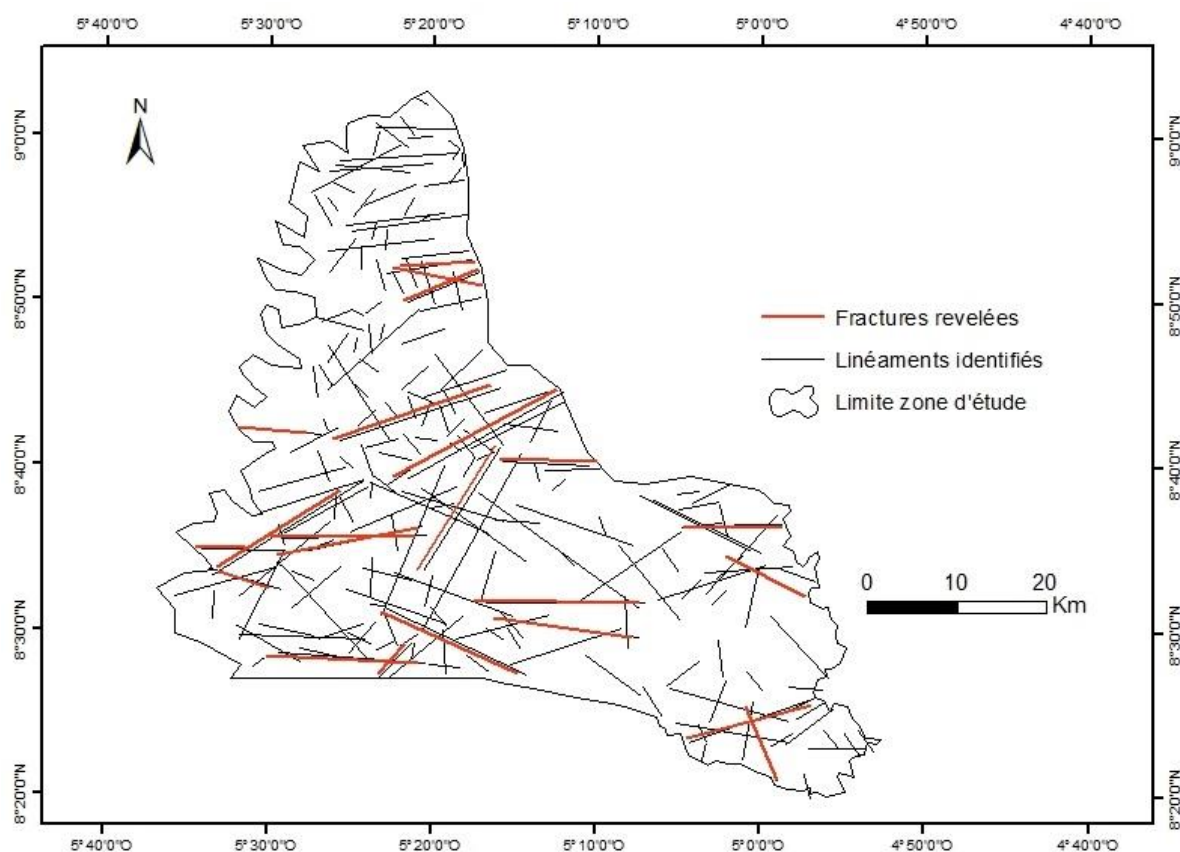


Figure 11 : Superposition des fractures de la carte géologiques aux linéaments majeurs

La figure 12, présente la relation existant entre la productivité des forages et la nature des formations géologiques. L'analyse de cette carte montre que la plupart des bons débits se trouvent dans les granites à deux micas (biotite et muscovite). Ces minéraux s'altèrent facilement, avec une fracturation importante. Ils peuvent fournir des débits importants en offrant d'énormes potentialités hydrogéologiques. Cette carte peut être utilisée pour les futures campagnes hydrauliques. Elle est utile pour la réalisation de forages villageois, pour la prospection minière et pour une meilleure interprétation des structures géologiques observées sur le terrain.

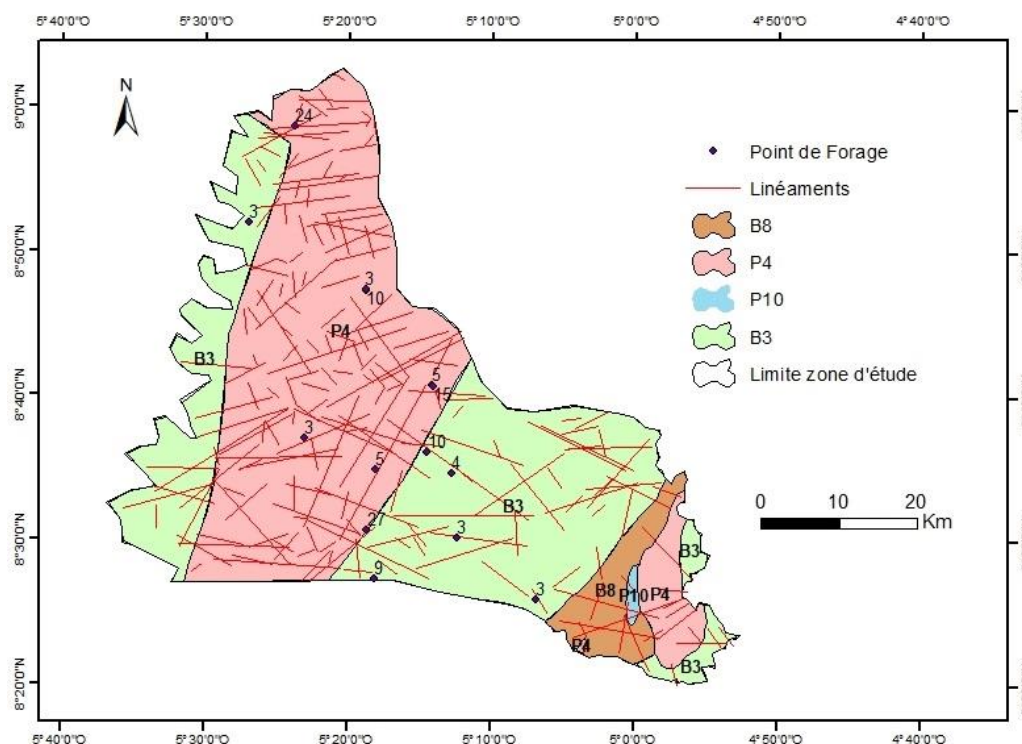


Figure 12 : Schéma de synthèse des linéaments, des points de forage et de la carte géologique.
(B3 : Conglomérats, Schistes ; B8 : Méta-sédiments (schistes, roches manganésifères) ; P10 : Méta-volcanique non quartzeux (Basaltes, Andésites) ; P4 : Granites à deux micas)

Pour la majorité des forages, la profondeur totale se situe entre 55 et 110 m environ. Dans cette frange, on retrouve aussi bien des débits importants que des débits faibles. On peut remarquer que les débits les plus forts ($>5\text{m}^3/\text{h}$) correspondent aux profondeurs les plus élevées. L'essentiel de ces débits se situent entre 60 et 90m. On note cependant qu'au-delà de 85 m de profondeur, les débits diminuent au fur et à mesure. Ce qui semble indiquer qu'au-delà de 85 mètres si un débit conséquent n'est pas obtenu, il n'est pas nécessaire de continuer la foration. En effet, à partir d'une certaine profondeur, les fractures deviennent moins denses et certaines se referment ou se colmatent réduisant ainsi les chances de rencontrer des débits importants.

La figure 14 a, permet d'établir une relation mathématique entre la profondeur totale et le débit des forages. La relation mathématique entre la profondeur totale et le débit des forages est de type linéaire positif avec les caractéristiques suivantes :

Y étant la profondeur totale et X le débit des forages. Le coefficient de corrélation linéaire est :

$$Y(X) = 0,2524 X + 69,457 \quad (1)$$

Ce résultat montre que ces deux paramètres sont très faiblement corrélés (R^2 égale à 0,0118).

En milieu de socle, le débit est plus élevé quand il y a beaucoup d'arrivée et surtout quand l'épaisseur de recouvrement est élevée. Plus l'épaisseur du socle est grande, plus le débit est grand.

La figure 14 b, permet d'établir une relation mathématique entre la profondeur de socle et le débit des forages. La relation mathématique entre la profondeur socle et le débit des forages est de type linéaire positif avec les caractéristiques suivantes :

Y étant la profondeur socle et X le débit des forages. Le coefficient de corrélation linéaire est :

$$Y(X) = 0,6605 X + 16,241 \quad (2)$$

Ce résultat montre que ces deux paramètres sont faiblement corrélés (R^2 égale à 0,2935).

Tableau 1: Statistique descriptive des paramètres de forages.

	Profondeur totale (m)	Profondeur du socle (m)	Débit (m^3/h)
Minimum	5,35	4,5	4,5
Maximum	100	42	27
Moyenne	71,76	22,23	9,12
Ecart-type	18,32	10,29	7,89

m: mètre et m^3/h : mètre cube par heure

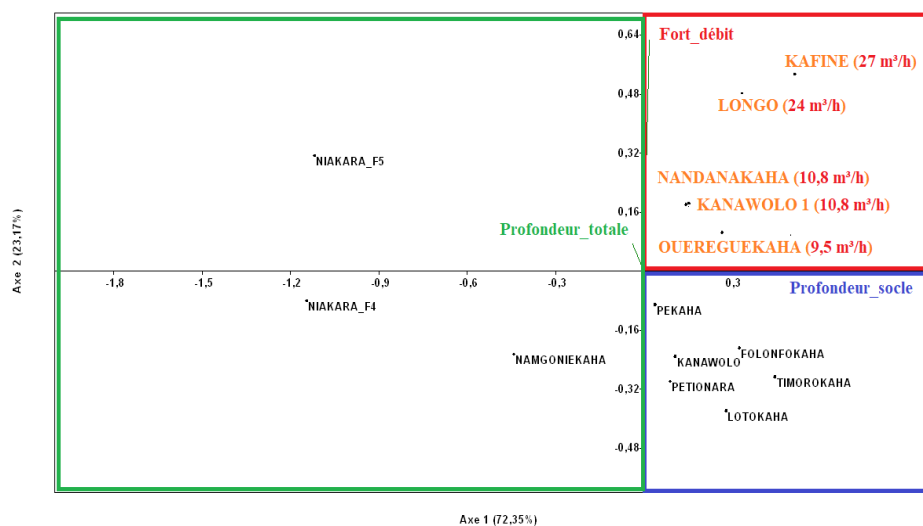
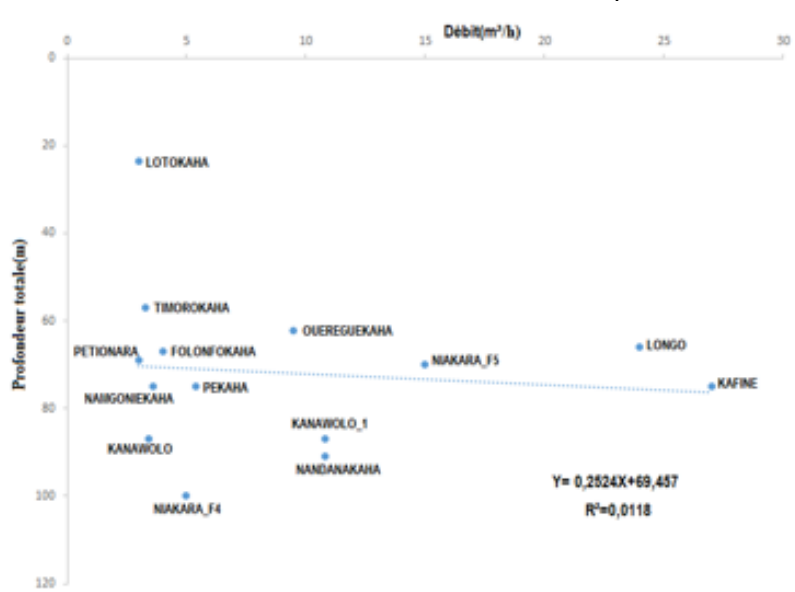
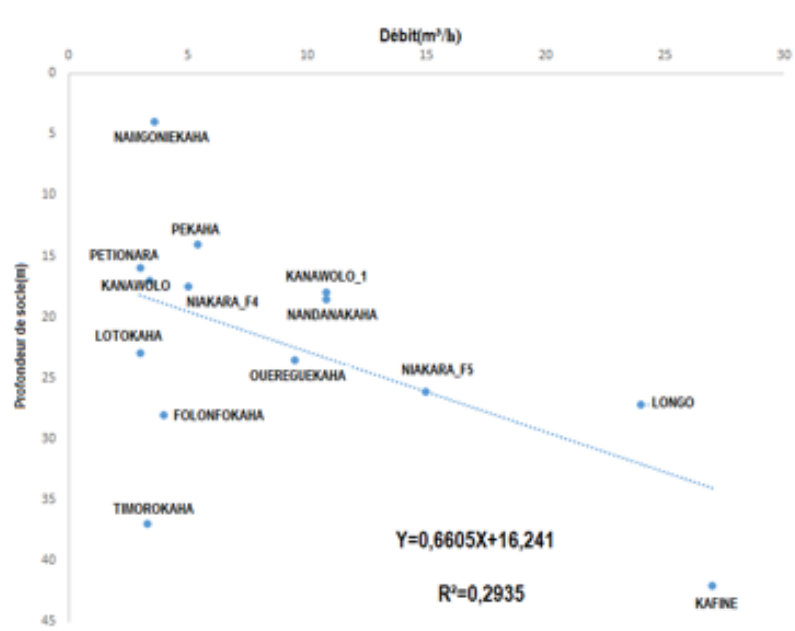


Figure 13 : Caractérisation des localités en fonction des paramètres de forages



a) Profondeur totale en fonction du débit



b) Profondeur du socle en fonction du débit

Figure 14 : Relation entre débit et paramètres d'ouvrages.

4. DISCUSSION

La carte des linéaments de Niakaramandougou est le résultat de plusieurs traitements effectués sur les images satellitaires de ladite zone. Cette carte révèle que les directions majeures des fracturations sont ENE-WSW ; E-W ; SE-NW et NE-SW. Les fréquences respectives ont été de 17% ; 17% ; 14% et 13%. Nos résultats sont conformes à ceux de certains auteurs [9]. La comparaison de la rosace directionnelle des linéaments majeurs de notre zone d'étude aux directions principales des cassures de la Côte d'Ivoire a relevé que toutes les directions existantes au niveau de la Côte d'Ivoire (N170-200, N110-130 et N80-100) sont similaires à celles obtenues par d'autres auteurs [10].

Par ailleurs, les directions obtenues à partir de la carte linéamentaire ont été validées par la rosace faite à partir des microfissures (NNE-SSW ; E-W ; SE-NW et NE-SW). Dès lors, la rosace faite à partir des microfissures peut être utilisée comme outils de confirmation et de validation des cartes linéamentaires.

Ces linéaments donnent un aperçu de la fracturation du milieu souterrain et une idée de la présence de l'eau souterraine dans les aquifères de la région. Toutefois, des erreurs peuvent survenir dans le relevé des linéaments.

En effet, certaines fractures déjà identifiées peuvent ne pas avoir été repérées pendant cette opération [11, 12, 13, 10] ; Ce fait pourrait être lié à la qualité des images satellitaires du fait de leur délicatesse et l'attention particulière qu'elles nécessitent. Par ailleurs, le problème d'échelle d'observation des linéaments peut biaiser les résultats en entraînant une mauvaise interprétation des images. Ces techniques peuvent présenter des limites. Ces limites sont liées au fait que l'on ne dispose pas de cartes géologiques détaillées de la zone ou lorsque l'épaisseur de l'altération est telle que des affleurements sont moyennement observables. L'obtention d'éléments de validation pour les linéaments est difficile. En effet, toutes les fractures ne sont pas visibles à l'affleurement, ou sont masquées par un couvert végétal parfois dense en milieu tropical. A cela, il faut également ajouter le problème d'accessibilité aux affleurements (pistes d'accès inexistantes).

L'une des difficultés majeures relatives aux mesures sur affleurement est d'obtenir la longueur complète des traces de fractures, du fait des conditions d'affleurement parfois incomplètes et de l'extension de la formation explorée. Si la mesure de la fracturation dans les régions où la roche affleure largement ne présente pas de problème particulier en zones tempérées, il en est tout autrement en zone tropicale humide où une épaisse couche d'altérite masque souvent la roche saine. Par ailleurs, il faut noter que la collecte des données de fracturation sur le terrain repose sur une démarche d'échantillonnage et d'estimations statistiques. Se pose donc le problème de la qualité des informations collectées et de la représentativité de chaque échantillon.

– D'après les auteurs, la démarche recommandée pour la validation de la carte linéamentaire est la vérification sur le terrain des traits structuraux par d'autres méthodes telle que la géophysique ou des images satellitaires de hautes résolutions;

– Cependant, selon les auteurs, l'utilisation de la carte de forages à haut débits pour la validation des fractures apparaît comme une démarche plausible et judicieuse [14].

– En, effet les travaux des auteurs ont montré que les forages les plus productifs se trouvaient proches ou à l'intersection de fractures [15, 16, 13, 8, 14];

Dans le département de Niakaramandougou, que ce soit au niveau des granites ou des schistes, la majorité des forages ont des profondeurs qui dépassent rarement les profondeurs limites de foration (80 m sur granites et 100 m sur schistes). En effet, au-delà cette profondeur, les chances de trouver un horizon aquifère s'amenuisent.

– Pour certains auteurs, cette situation est plus critique au sein des roches de socle altéré [17].

– Les auteurs ont défini la profondeur optimale (entre 65-70 mètres) à atteindre lors de la foration pour obtenir des productivités satisfaisantes au niveau des roches cristallines [18, 15, 19, 17].

5. CONCLUSION

Cette étude, visait à contribuer à une meilleure connaissance des aquifères de socle dans la commune de niakaramandougou. Le traitement des images Landsat 7 ETM+ (scènes 197-054) a permis de dresser une carte de de fracturation identifiant 207 fractures dont la taille a varié de 1 à 22 km de longueur dans ladite commune. Cette carte révèle que les directions majeures des fracturations ont été ENE-WSW ; E-W (N90-100) ; SE-NW ; NE-SW. Cette étude a montré que la zone d'étude présente de nombreuses fractures de taille importante (atteignant parfois 22 km) pouvant occasionner de grandes recharges d'eau souterraine. Dans le département de Niakaramandougou, les débits ont oscillé entre 3m³/h et 27m³/h avec une moyenne de 9,13 m³/h. La productivité des ouvrages dans cette zone a été généralement bonne avec des ouvrages ayant des débits supérieurs à 2m³/h et des débits de plus de 5m³/h. Le débit a été marqué par une forte variabilité, qui a traduit l'hétérogénéité de l'aquifère étudié. Les débits n'ont pas été influencés par la profondeur totale de l'ouvrage. L'étude a révélé qu'au-delà de 85 m, il n'est plus économiquement rentable de poursuivre la foration. La puissance de l'altération des granites à deux micas associée à une bonne perméabilité et à une fissuration sous-jacente a augmenté la productivité des forages. L'analyse des données de forage a mis en évidence la

nécessité de rechercher des zones où la couche d'altération saturée et suffisamment transmissive est drainée par un important réseau de fissures et fractures. L'analyse en composante principale a relevé que les localités de Kafiné, de Longo, de Nandanakaha, de Kanawolo 1 et de Ouereguekaha ont eu les plus forts débits. Ces connaissances doivent servir à des choix plus judicieux dans les prochaines campagnes de forages dans le département de Niakaramandougou. Cette étude a permis de mettre en évidence les énormes potentialités des ressources en eau souterraine de Niakaramandougou.

Reconnaissance : Les auteurs remercient l'Unité de Formation et de Recherche des Sciences Biologiques de l'Université Peleforo Gon Coulibaly et ses responsables pour leur implication dans l'avancement de la recherche scientifique dans le Nord de la Côte d'Ivoire en particulier.

6. REFERENCES

1. Vouillamoz J. (2003). La caractérisation hydrogéologique des aquifères par une méthode non invasive les sondages par Résonance Magnétique Protonique. Thèse de Doctorat, Université de Paris XI.
2. N'guessan K. P. (2015). Impact de la disponibilité d'eau sur les traitements insecticides du cotonnier : cas de la zone CIDT de Niakara. Mémoire de Licence, Université Peleforo Gon Coulibaly.
3. Géomines (1982). Inventaire hydrogéologique appliqué à l'Hydraulique villageoise : Carte de Katiola, République de Côte d'Ivoire. Ministère des Travaux Publics et des Transports (Direction Centrale de l'Hydraulique), Abidjan, n° 11, 1982.
4. Dickens A. (2005). Détermination des sites potentiels à l'implantation de forage par Télédétection et SIHRS: cas de Dimbokro. Doctorat ès Science Naturelles, Université de Lausanne.
5. N'go A. Y., Lasm T., Koita M. et Savané I. Extraction par télédétection des réseaux de fractures majeures du socle Précambrien de la Région de Dimbokro (Centre-Est de la Côte d'Ivoire). *Revue Télédétection*. 2010 ; 9(1) : 33-42.
6. Koita M. ; Jourde H. ; Ruelland, D. ; Koffi K. ; Pistre S. ; Savane I. Cartographie des accidents régionaux et identification de leur rôle dans l'hydrodynamique souterraine en zone de socle. Cas de la région de Dimbokro-Bongouanou (Côte d'Ivoire). *Hydrological Sciences Journal*. 2010 ; 55(5) : 805-820.
7. Youan Ta M. ; Lasm T. ; Jourda J. ; Kouamé K. ; Razack M. Cartographie des accidents géologiques par imagerie satellitaire Landsat-7 ETM+ et analyse des Réseaux de fracture du socle Précambrien de la région de Bondoukou (Nord-Est de la Côte d'Ivoire). *Revue Télédétection*. 2008 ; 8(2) : 119-135.
8. Saley M.B. (2003). Système d'informations 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 unique de Doctorat, Université de Cocody.
9. Gnamba F. M. (2014). Hydrochimie et hydrodynamisme des réservoirs de fissures du socle paléoprotérozoïque de la région de Katiola (centre-nord de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Felix Houphouët Boigny, Abidjan.
10. Kouakou K.E.G. (2012). 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 de Géophysique appliquée, Université Felix Houphouët Boigny, Abidjan.
11. Tagini B. Esquisse structurale de la Côte d'Ivoire. Sodemi, Abidjan. *Bulletin*. 1971; (5) : 302.
12. Kouamé K.F. (1999). Hydrogéologie des aquifères discontinus de la région semimontagneuse de Man-Danané (Ouest de la Côte d'Ivoire). Apport des données des images satellitaires. Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle, Université Cocody, Abidjan.
13. Kouamé K.F. ; Gioan P. ; Biémi J. ; Affian K. Méthode de cartographie des discontinuités images satellitaires : Exemple de la région semi-montagneuse à l'ouest de la Côte d'Ivoire. *Télédétection*. 1999 ; 2 : 139-156.
14. Jourda J. P. ; Saley M. B. ; Djagoua E. V. ; Kouame K. J. ; Biemi J. ; Razack M. 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*. 2006 ; 5(4) : 339-357.
15. Biémi J. (1992). Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants subsahariens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : Hydrostructurale hydrodynamique, hydrochimique et isotopie des aquifères discontinus de sillons et aire granitique de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelles, Université d'Abidjan, Abidjan.
16. Savané 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 d'Etat, Université de Cocody.
17. Kouadio K.E., Soro N. ; Savane I. Stratégie d'optimisation de la profondeur des forages en contexte de socle : application à la région du Denguélé, Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Revue des Sciences de l'Eau*, 2010 ; 23(1) : 1-15.
18. Savadogo A.N. (1984). Géologie et Hydrogéologie du socle cristallin de Haute-Volta. Etude régionale du bassin versant de la Sissili. Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelles, Université Scientifique et Médicale de Grenoble.
19. Kouadio K. E. (2005). Stratégie de prospection des nappes de fissures par analyse spatiale du potentiel de productivité et optimisation de la profondeur des forages. Cas du Denguélé (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse Unique de Doctorat, Université Cocody.



Cite this article: Avy Stéphane KOFFI, Kouassi Éric Germain, KOUAKOU, Yenipoho Onésiphore, TUO. EXTRACTION PAR LA TELEDETECTION DU RESEAU DE FRACTURES MAJEURES POUR LA PROSPECTION DE L'EAU SOUTERRAINE DANS LA COMMUNE DE NIAKARAMANDOUGOU. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2021; 12(1): 1-12.

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>