

Extraction par télédétection et analyse statistique du réseau de fractures, en milieu de socle, dans le département de Sinfra (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire)

[Extraction by remote sensing and statistical analysis of fracture network, in substratum area, in the department of Sinfra (center-west of Ivory Coast)]

N'guessan Bi Vami Hermann¹, Saley Mahaman Bachir¹, Wade Soulèye², Djagoua Eric Valère¹, Kouamé Fernand¹, and Affian Kouadio¹

¹Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT),
Université de Felix Houphouët Boigny, 22 BP 801 Abidjan 22,
Côte d'Ivoire

²Laboratoire de Télédétection Appliquée, Institut des Sciences de la Terre,
Université Cheikh Anta Diop de Dakar, BP 5396 Dakar-Fann,
Senegal

Copyright © 2015 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The goal in this work is to map the fracture network in the department of Sinfra (center-west of Ivory Coast), located in substratum area. The methodology used in this study also provides a method to validate the obtained map of fracture network. To achieve this objective, Landsat TM and ETM+ images (197-55) respectively from 1986 and 2003 are processed in order to extract the fracture network. This network is characterized by statistical analysis methods in order to reveal the main directions followed by regional fractures and those followed by fractures in general. The second parameter to be analyzed in the context of this analysis is the statistical correlation between the number and cumulative length of fractures. The processing of satellite images has produced a dense network of fractures 8877. The distribution of number of fractures orientation in the overall fracturing field gives two main directions namely N0-10 and N90-100 in respective proportions of 16% and 12%. The distribution of orientation of the cumulative length of fractures has also two main directions, the same as before: N0-10 and N90-100 with 14% and 13% respectively in proportion. Five secondary directions were also identified: N10-20, N20-30, N70-80, N100-110 and N110-120. Thus, in the department of Sinfra, mega fractures follow both directions previously identified: EW and NS. This study also showed that the number and cumulative length of fractures are two parameters that are linked with a linear correlation coefficient $R = 0.68$.

KEYWORDS: Remote sensing, fractures network, statistical analysis, Landsat, Ivory Coast

RESUME: L'objectif visé dans ce travail est de cartographier le réseau de fractures dans le département de Sinfra (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire), région située en zone de socle. L'approche méthodologique adoptée dans cette étude, propose également une méthode de validation de la carte du réseau de fracturation élaborée. Pour atteindre l'objectif recherché, des images Landsat TM et ETM+ de la scène 197-55 datant respectivement 1986 et 2003 sont traitées pour en extraire le réseau de fractures. Ce réseau est ensuite caractérisé par les méthodes d'analyse statistique en vue de révéler les directions principales empruntées par les fractures régionales et celles empruntées par les fractures dans leur ensemble. Le second paramètre à analyser dans le cadre de cette analyse statistique est la corrélation entre les longueurs cumulées et le nombre de fractures. Le traitement des images satellitaires a produit un réseau dense de 8877 fractures. La distribution des orientations en nombre de fractures du champ global de fracturation donne deux directions principales à savoir N0-10 et N90-100 dans des proportions respectives de 16% et 12%. La distribution des orientations des longueurs cumulées de

fractures présente également deux directions principales, les mêmes que précédemment à savoir N0-10 et N90-100 avec respectivement 14% et 13% en proportion. Cinq directions secondaires ont également été identifiées : N10-20, N20-30, N70-80, N100-110 et N110-120. Ainsi, dans le département de Sinfra, les megafractures suivent les deux directions relevées précédemment : E-W et N-S. Cette étude a également montré que le nombre et la longueur cumulée de fractures sont des paramètres qui sont liés avec un coefficient de corrélation linéaire de $R=0,68$.

MOTS-CLEFS: Télédétection, Réseau de fractures, Analyse statistique, Landsat, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

En Côte d'Ivoire, l'essentiel des ressources en eau se trouve dans les aquifères fracturés [2], [13], [9]. De plus, les formations géologiques sont constituées à plus de 97% de socle. La connaissance du comportement des réseaux de fractures revêt une importance en hydrogéologie, donc fondamentale étant donné que les réseaux de fractures représentent les voies privilégiées de circulation des eaux souterraines [2], [5], [6], [8], [13], [14].

Les méthodes permettant d'extraire le réseau de fracturation peuvent être regroupées en deux grandes catégories : les méthodes automatiques et les méthodes manuelles. Les méthodes manuelles ont l'avantage de faire intervenir les connaissances du terrain que possède l'opérateur. Au nombre de ces méthodes figure la télédétection qui renferme de nombreuses techniques de prétraitements et de traitements qui rehaussent la perception visuelle des images pour une meilleure cartographie des discontinuités images [18].

La télédétection, grâce à sa vision synoptique permet d'étudier de vastes champs géographiques et constitue un puissant outil pour l'étude de la fracturation, faisant d'elle un outil incontournable pour l'évaluation des ressources naturelles et la cartographie des états de surface [16]. Cette raison justifie son utilisation dans le cadre de cette étude pour la cartographie des accidents majeurs dans le département de Sinfra.

• Localisation de la zone d'étude

Le département de Sinfra, est une localité située au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire et est situé entre les longitudes $5,38^{\circ}W$ et $6,15^{\circ}W$ et les latitudes $6,48^{\circ}N$ et $6,82^{\circ}N$ comme le présente la figure 1.

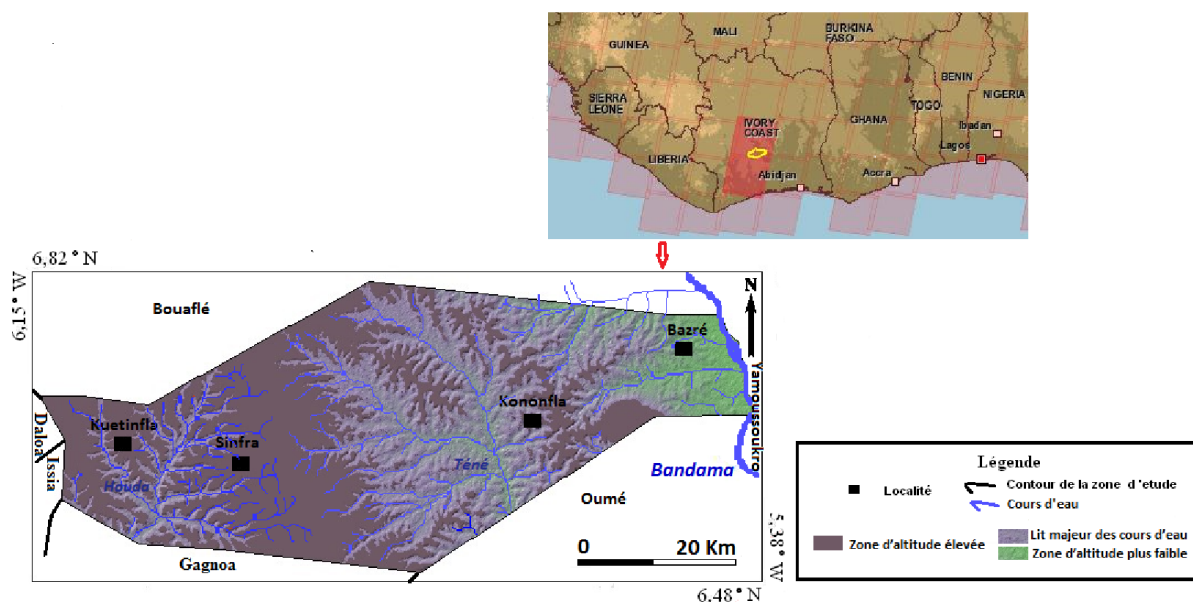


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

Les formations géologiques de la zone d'étude sont essentiellement issues du cycle Eburnéen avec des faciès molassiques Eburnéens, des granites Eburnéens, des faciès géosynclinaux Eburnéens et des faciès épicontinentaux Eburnéens. Elles sont

principalement constituées de granites. Ainsi, la géologie du département de Sinfra est essentiellement constituée de socle granitique. La figure 2 retrace les grands traits géologiques du département de Sinfra.

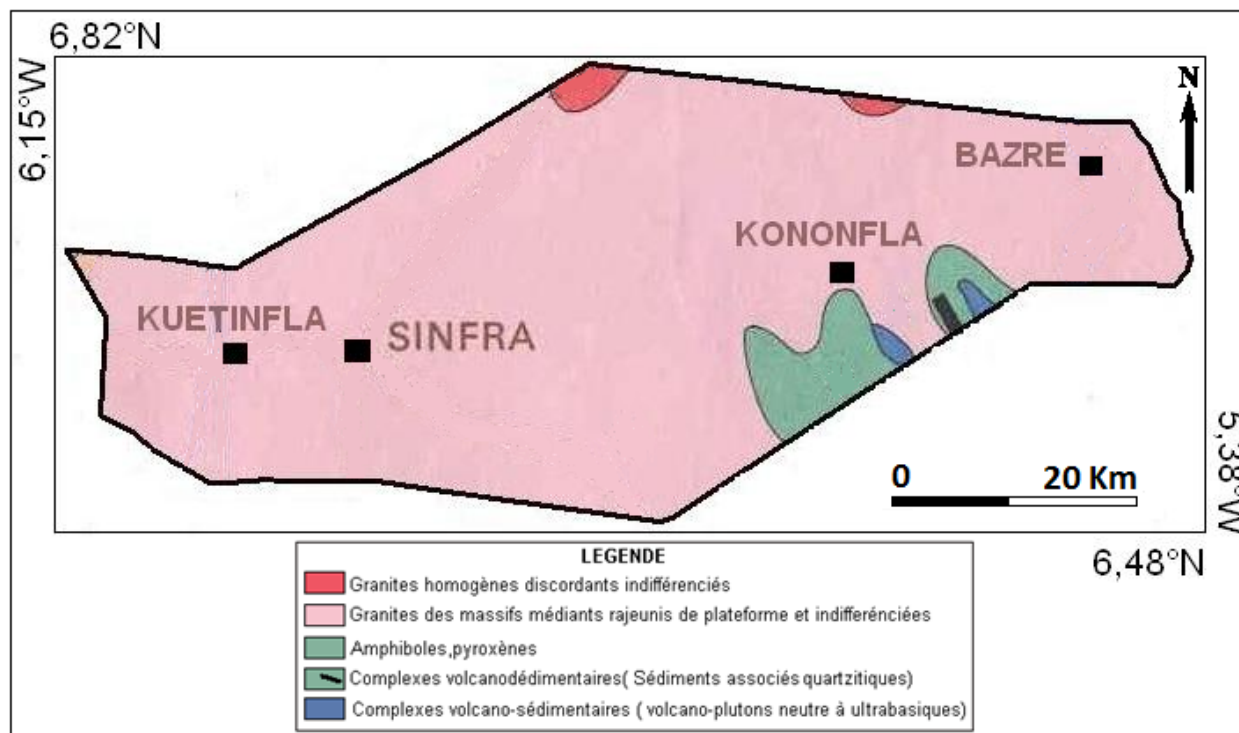


Fig. 2. Carte géologique du département de Sinfra [1]

2 MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1 MATÉRIEL

Les données utilisées dans cette étude sont de plusieurs types.

- **Données satellitaires**

Les données satellitaires sont constituées d'images satellitaires Landsat TM (Thematic Mapper) et ETM+ (Enhanced Thematic Mapper) de la scène 197-055, datant respectivement du 16 Janvier 1986 et du 20 Janvier 2003. Un modèle numérique d'Altitude (MNA) a également été nécessaire. Ces images ont été acquises à partir du site officiel de Landsat : <http://glcfapp.glc.f.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>

- **Données géologiques**

Les données géologiques sont fournies par la carte géologique de la zone d'étude, extraite de la carte géologique de la Côte d'Ivoire de [1].

- **Données topographiques**

Deux cartes topographiques au 1/200 000 ont été nécessaires pour réaliser cette étude. Il s'agit des cartes topographiques des degrés carrés de Daloa et de Gagnoa, produites par le Centre de Cartographie et de Télédétection (CCT). Plusieurs logiciels ont également été utilisés vu le caractère varié des traitements requis. Envi 4.8 et Idrisi Andes ont servi pour le traitement des images satellitaires. Linwin a permis de réaliser l'analyse statistique du réseau de fractures et Mapinfo 7.5 pour l'extraction des données issues des cartes topographiques.

2.2 METHODE

2.2.1 METHODOLOGIE DE TRAITEMENT DES IMAGES SATELLITAIRES

- **Prétraitements**

Les opérations de prétraitement ont consisté en des corrections radiométriques et géométriques. La correction géométrique réalisée selon la méthode polynomiale permet de corriger les différentes distorsions causées par l'environnement (courbure de la terre, variation d'altitude du sol, etc.), provenant du mouvement de la plate-forme, et dues aux erreurs des systèmes de mesures. La correction radiométrique permet de corriger les erreurs de l'image causées généralement par les perturbations atmosphériques.

- **Amélioration du contraste ou rehaussement**

Les images ainsi corrigées ont été traitées dans le but d'augmenter la perception visuelle de l'image, en améliorant sa qualité et en la rendant plus expressive. Ces différentes tâches sont accomplies dans l'optique d'une meilleure visualisation ou observation des discontinuités. Parmi les nombreuses techniques d'amélioration d'images, les techniques suivantes ont été appliquées : la transformée de Hotelling (ACP), les combinaisons d'images, les compositions colorées et le filtrage spatial.

- **Transformée de Hotelling (ACP)**

Les bandes brutes TM et ETM+ sont fortement corrélées comme le montrent les tableaux ci-dessous :

Tableau 1. Matrice de corrélation des bandes brutes Landsat TM de 1986

	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
TM1	1,000000	0,738546	0,750301	-0,115390	0,410121	0,601834
TM2	0,738546	1,000000	0,864996	0,141244	0,661449	0,742594
TM3	0,750301	0,864996	1,000000	0,002150	0,704165	0,852901
TM4	-0,115390	0,141244	0,002150	1,000000	0,591936	0,173067
TM5	0,410121	0,661449	0,704165	0,591936	1,000000	0,836265
TM7	0,601834	0,742594	0,852901	0,173067	0,836265	1,000000

Tableau 2. Matrice de corrélation des bandes brutes Landsat ETM+ de 2003

	ETM1	ETM2	ETM3	ETM4	ETM5	ETM7
ETM1	1,000000	0,738563	0,733769	0,005681	0,484322	0,639578
ETM2	0,738563	1,000000	0,839243	0,304762	0,724692	0,757614
ETM3	0,733769	0,839243	1,000000	0,072603	0,758965	0,890240
ETM4	0,005681	0,304762	0,072603	1,000000	0,549949	0,168209
ETM5	0,484322	0,724692	0,758965	0,549949	1,000000	0,874637
ETM7	0,639578	0,757614	0,890240	0,168209	0,874637	1,000000

Ces matrices de corrélation témoignent de la forte redondance de l'information contenue dans les images brutes Landsat TM et ETM+. Il s'avère alors nécessaire de décorréliser ces bandes, ce qui consistera à compresser les informations sur un nombre inférieur de bandes. Cette application conduit à l'analyse en composante principale (ACP). Les six canaux TM 1, 2, 3, 4, 5, et 7 sont tous à une résolution de 30 m excepté le canal TM 6 qui a une résolution de 120 m. Les six canaux ETM+ 1, 2, 3, 4, 5 et 7 sont aussi toutes à une résolution de 30 m exceptés les canaux ETM+6(1), 6(2) qui ont une résolution de 60 m et la bande panchromatique qui a une résolution de 15 m. Pour l'ACP, seuls les canaux qui ont une même résolution sont retenus. Les canaux TM1, 2, 3, 4, 5 et 7 et ETM+ 1, 2, 3, 4, 5 et 7 considérés pour l'ACP sont tous à une résolution de 30 m. Le rééchantillonnage n'a donc pas été nécessaire. Les images transformées ainsi obtenues et regroupant le maximum d'informations contenues dans les sept bandes brutes ont ensuite été combinées à travers une composition colorée.

• **Compositions colorées**

Il s'agit de transformer les images en niveau de gris en images couleur à partir de trois bandes ayant chacune une couleur de base : rouge (R), verte (V), et bleu (B). Pour mettre en évidence la structure du sol et les contours géologiques dans le département de Sinfra, la composition colorée utilisée est celle des canaux TM 4, 7, 3 [14]. Pour chaque type d'images, les 3 premières composantes totalisant le maximum de variance sont retenues pour une composition colorée. Ainsi les composantes principales cp1, 2 et 3 pour les images Landsat TM servent à réaliser une composition colorée qui totalisera alors le maximum d'information contenues sur l'ensemble des images utilisées. Il en sera de même pour les 3 premières composantes principales cp1, 2 et 3 des images Landat ETM+ [11]. Cette application a pour avantage de regrouper à l'intérieur d'une seule image, l'ensemble des informations contenues dans les images transformées précédemment retenues.

• **Combinaison d'images**

Le rapport de bandes : TM7-TM4/TM7+TM4 permet de visualiser les linéaments rattachés au réseau hydrographique mettant en évidence les zones d'écoulement d'où leur importance en Hydrogéologie [8], [14]. Un autre rapport de bandes : TM6-TM7/TM6+TM7 permet de mettre en évidence les linéaments régionaux et structures particulières [8]. La combinaison additive des canaux thermiques TM6 et infra-rouge lointain TM7 (TM6-TM7) a été utilisée pour mettre en évidence les linéaments régionaux, les structures circulaires et les grandes zones de fractures du substratum qui drainent les eaux souterraines à grande échelle [14]. Ces fractures sont soit des zones faillées ou cisailantes. Elles présentent un intérêt en Hydrogéologie.

• **Filtrage spatial**

Les filtres utilisés ici sont les filtres directionnels qui sont appliqués dans quatre (4) principales directions : N-S, E-W, NE-SW, SE-NW. Le tableau 3 donne un exemple de matrices pour les filtres directionnels de Sobel.

Tableau 3. Filtre directionnel (7x7) de Sobel [8]

Direction N-S							Direction E-W						
1	2	1	2	1	1	1	-1	-1	-1	0	1	1	1
1	1	2	3	2	1	1	-1	-1	-2	0	2	1	1
1	1	3	4	3	2	1	-1	-2	-3	0	3	2	1
0	0	0	0	0	0	0	-2	-3	-4	0	4	3	2
-1	-2	-3	-4	-3	-2	-1	-1	-2	-3	0	3	2	1
-1	-2	-2	-3	-2	-1	-1	-1	-1	-2	0	2	1	1
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	1	1	1
Direction NE-SW							Direction NE-SE						
0	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	0
-1	0	2	2	2	3	1	1	3	2	2	2	0	-1
-1	-2	0	3	4	2	1	1	2	4	3	0	-2	-1
-1	-2	-3	0	3	2	1	1	2	3	0	-3	-2	-1
-1	-2	-4	-3	0	2	1	1	2	0	-3	-4	-2	-1
-1	-3	-2	-2	-2	0	1	1	0	-2	-2	-2	-3	-1
-2	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-2

Après le filtrage des images suivant les directions ci-dessus mentionnées, la prochaine étape est l'extraction manuelle des linéaments.

2.2.2 EXTRACTION DU RESEAU DE LINEAMENTS

L'extraction manuelle des linéaments est utilisée dans le cadre de cette étude, car plus aisée compte tenu des données en présence [8], [14] et de la connaissance du terrain. En effet, les linéaments sont les structures linéaires observées sur les images satellitaires exceptés les linéarités anthropologiques (piste, routes, fils de haute tension...). L'extraction manuelle consiste à numériser toute structure linéaire observée sur l'image en ignorant les linéarités anthropiques (pistes, routes, fils de haute tension) par superposition des couches vectorielles aux images. Il s'agit donc ici d'extraire manuellement les

linéaments contenus dans l'image satellitaire, pour constituer le réseau de linéaments. Ils sont plus ou moins visibles sur les images par conséquent il faut traiter au préalable les images satellitaires. Les linéaments sont extraits des images transformées (ACP), rehaussées et filtrées. La carte du réseau de fractures est obtenue après la validation de réseau des linéaments.

2.2.3 VALIDATION DU RESEAU DE LINEAMENTS

La validation de la carte des linéaments consiste à accomplir les tâches suivantes :

- superposition des cartes et analyse des concordances suivies d'une confrontation des différents accidents [2];
- comparaison des rosaces directionnelles ;
- utilisation des données de terrain.

Les étapes de la démarche qui a abouti à la détermination du réseau de fractures sont données par la figure 3.

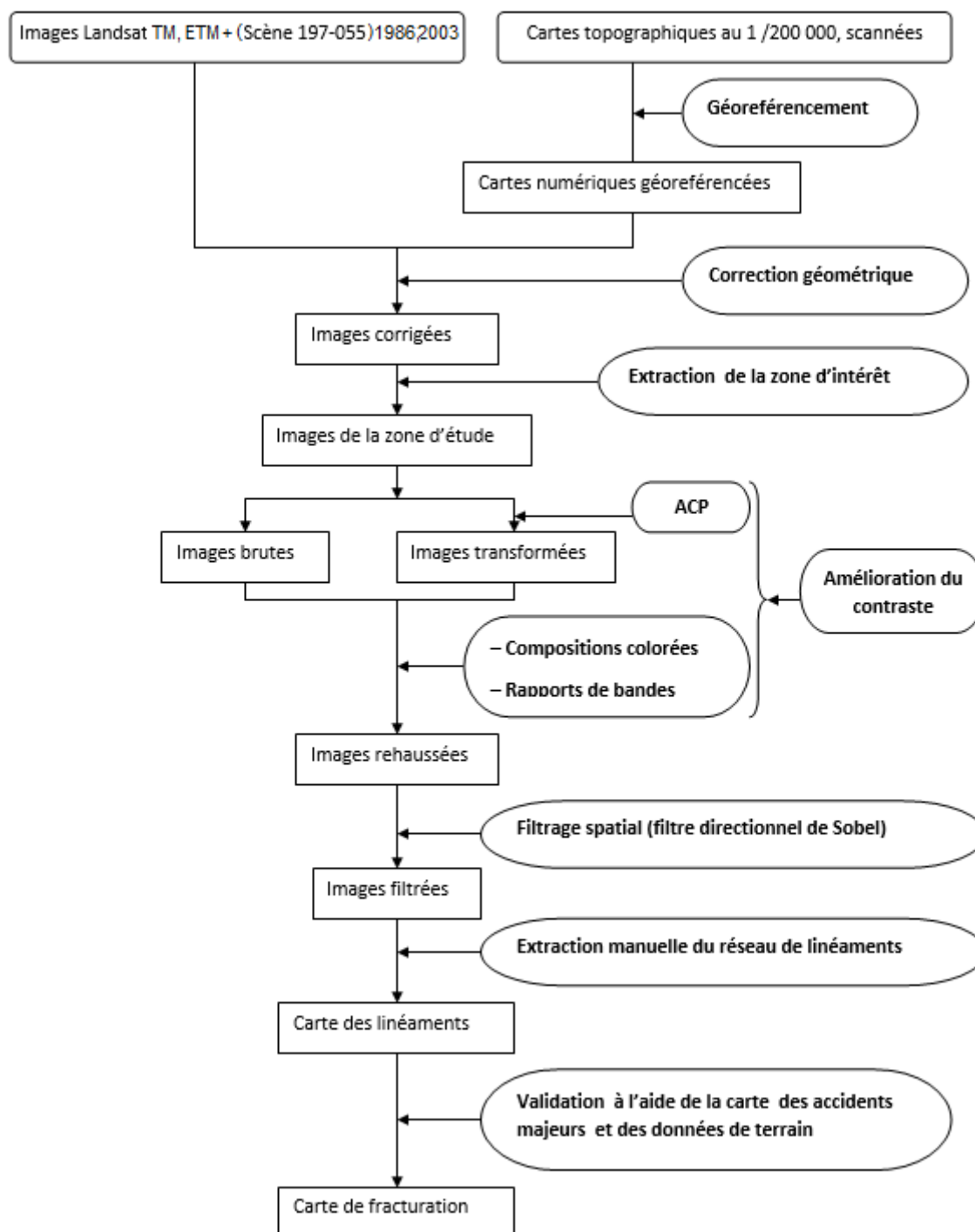


Fig. 3. Organigramme d'élaboration de la carte du réseau de fracturation

2.2.4 CARACTERISATION DU RESEAU DE FRACTURES PAR ANALYSE STATISTIQUE

Une étude quantitative du réseau de fractures prenant en compte la direction, la longueur et la densité des fractures permettra de construire les diagrammes et les rosaces directionnelles des fractures issues des images satellitaires. Cette analyse consiste à comparer les longueurs des accidents et leur direction d'une part et le nombre des accidents et leur direction d'autre part en vue de déterminer les directions principales des fractures régionales et celles de l'ensemble des fractures [2], [8], [12], [14].

La méthodologie de traitement des images satellitaires a permis d'obtenir plusieurs résultats qui feront l'objet du point suivant.

3 RÉSULTATS

3.1 CARTOGRAPHIE STRUCTURALE

Après transformation, rehaussement et filtrage des images, les linéaments ont été extraits. Ensuite, en superposant la carte des linéaments et les cartes topographiques, les routes, les pistes et les fils de haute tension ont été isolés. La plupart des linéaments ont été extraits à partir des images filtrées.

Les figures 4 et 5 présentent les résultats du filtrage de direction E-W et NW-SE.

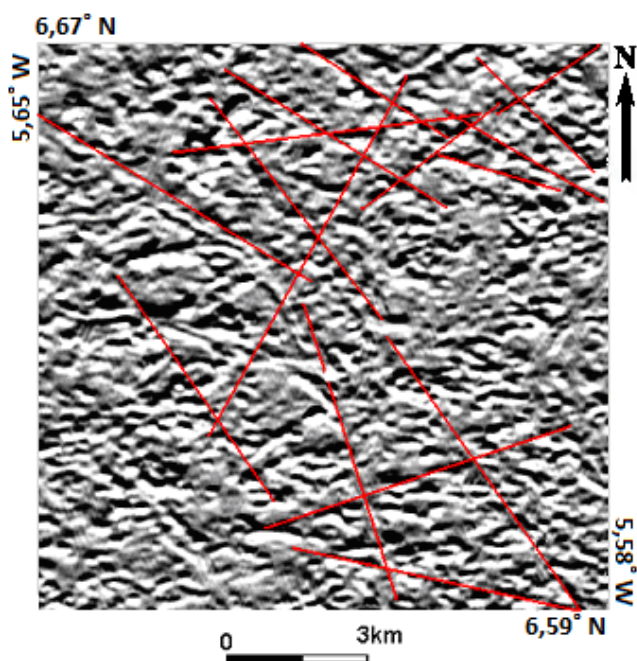


Fig.4. Filtre de direction NE-SW rehaussant les accidents accidents de direction NW-SE

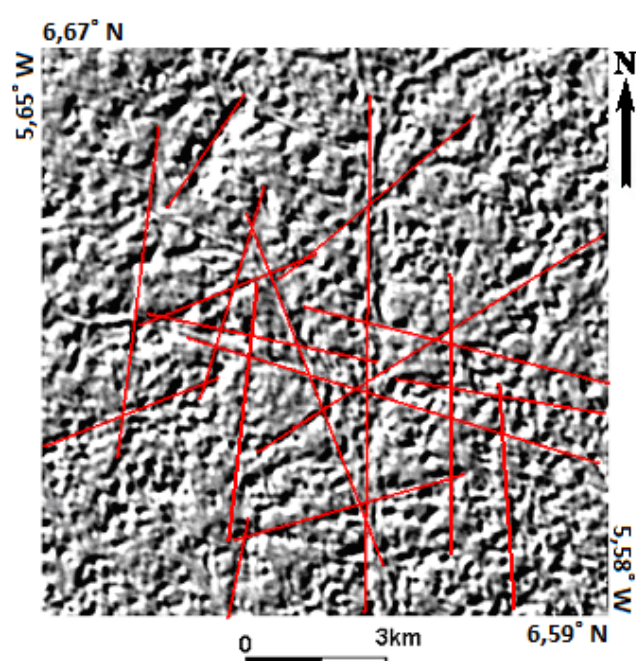


Fig.5. Filtre de direction E-W rehaussant les accidents de direction N-S

Le réseau linéamentaire obtenu est dense et comprend 8877 linéaments de taille variable. La Figure 6 présente la carte des linéaments majeurs du département de Sinfra.

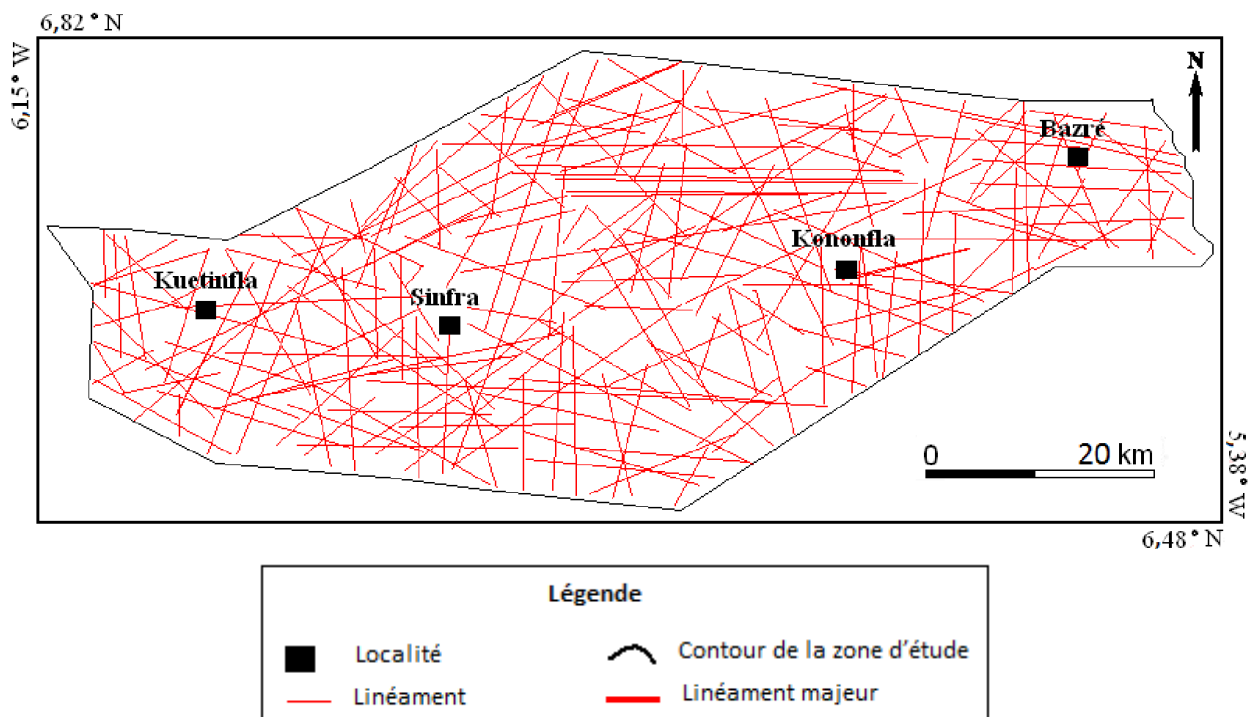


Fig. 6. Carte du réseau de linéaments dans le département de Sinfra

La validation de ce reseau de linéaments permet d'obtenir la carte du réseau de fractures.

3.2 RESULTATS DE LA VALIDATION DE LA CARTE DU RESEAU DE FRACTURES

La carte des accidents majeurs du département de Sinfra obtenue est superposée à la carte extraite de la carte des accidents majeurs de la Côte d'Ivoire réalisée par la SODEMI et reproduite par [2] (figure 7).

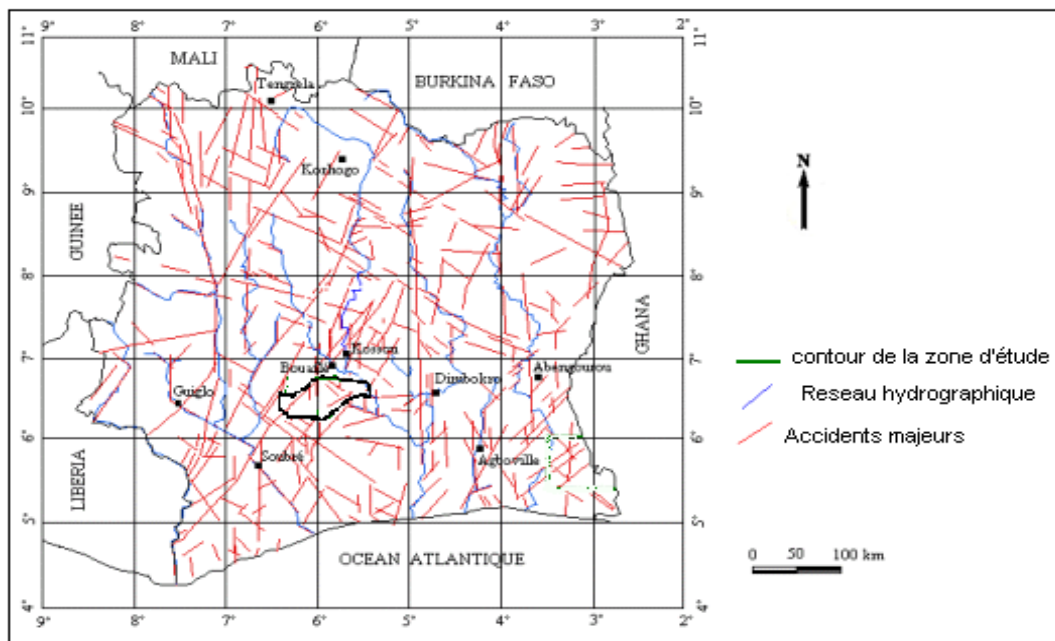


Fig. 7. Corrélation entre le réseau hydrographique et les accidents majeurs de la côte d'ivoire [2].

La carte des accidents majeurs qui sert de référence est extraite de la carte des accidents majeurs de la SODEMI [2]. Elle est représentée par la figure 8.

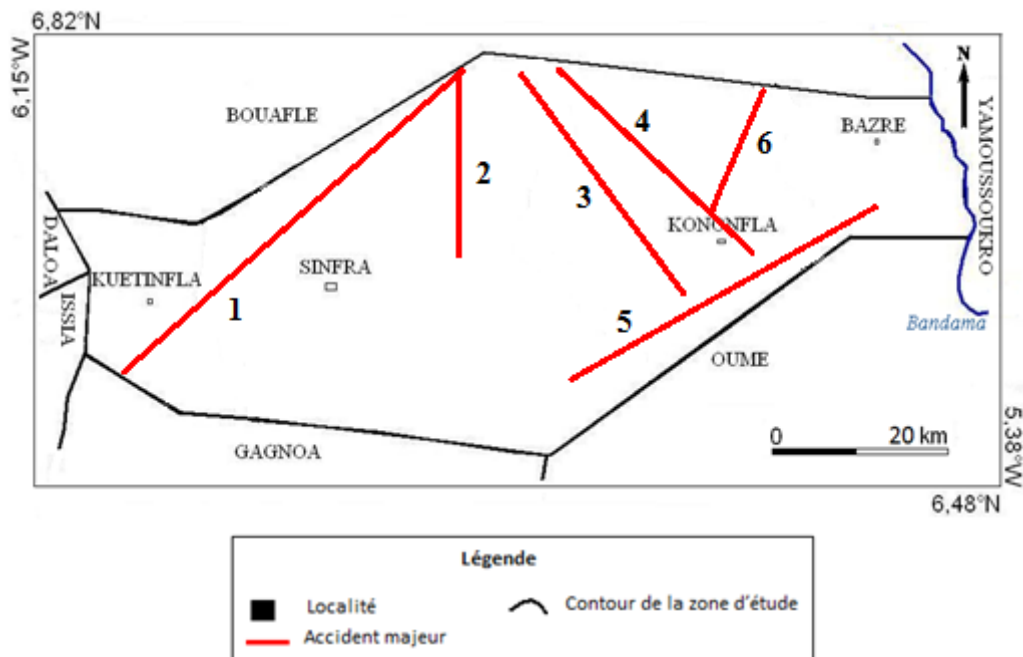


Fig. 8. Carte des accidents majeurs du département de Sinfra [2]

La comparaison des deux cartes montre une grande similarité. Quatre accidents ont été reconnus sur les six que comporte la carte des accidents majeurs du département. Sur les six accidents que comporte la carte structurale extraite de celle de la SODEMI [2], quatre ont été reconnus (figure 9).

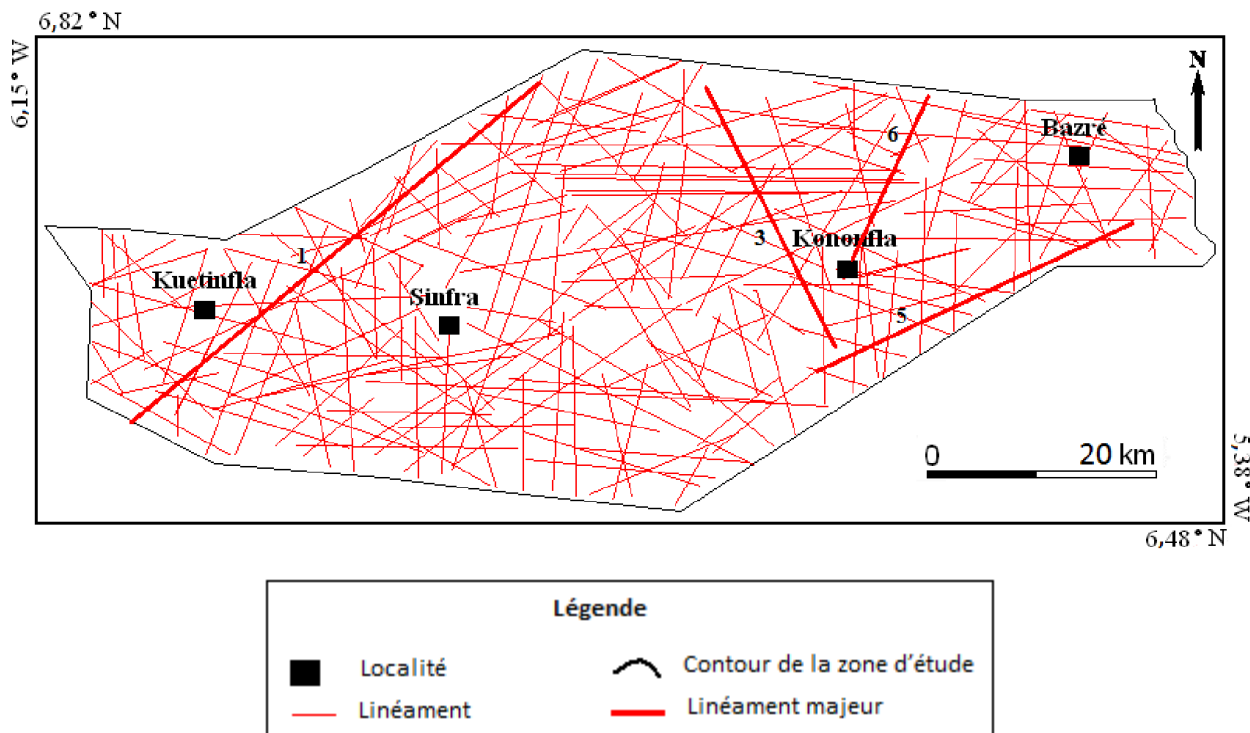


Fig. 9. Carte des accidents majeurs extraits de la carte des linéaments détaillés du département de Sinfra

L'analyse statistique du réseau de fractures s'avère nécessaire afin de déterminer des paramètres qui contribueront à mieux le caractériser la zone d'étude sur le plan hydrogéologique.

3.3 RESULTATS DE L'ETUDE STATISTIQUE DU RESEAU DE FRACTURES

3.3.1 DISTRIBUTION DES ORIENTATIONS DES FRACTURES

La distribution des orientations en nombre de fractures donne une proportion 16% de linéaments dans la direction N0-10 et 12% dans la direction N90-100. La distribution des orientations des longueurs cumulées de fractures présente également deux directions principales, les mêmes que précédemment à savoir N0-10 et N90-100 avec respectivement 14% et 13% en proportion. Les megafractures suivent donc les deux directions relevées précédemment : E-W et N-S (figure 10). Les autres directions sont présentes avec des proportions comprises entre 2 et 5%. Plusieurs de ces directions ont été identifiées lors de la visite de terrain qui s'est déroulée dans le mois d'Avril 2013.

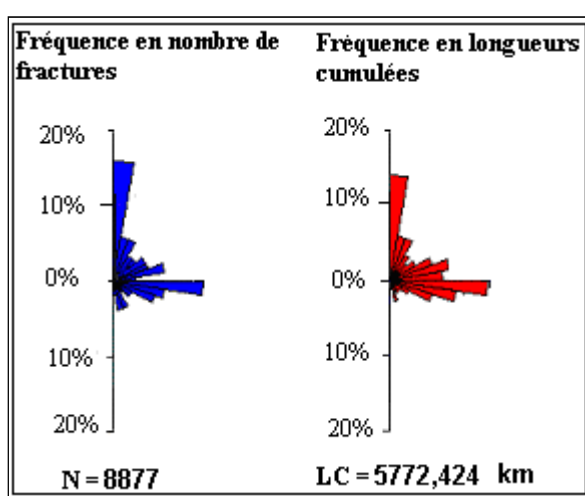


Fig. 10. Rosaces directionnelles du champ de fracturation globale

La direction N90-100 a été identifiée à Goulè Kouakoukro dans la localité de Kononfla. La direction N0-10 a été identifiée dans la localité de Zemenafila. L'analyse du champ global de fracturation donne deux directions principales à savoir N0-10 et N90-100 et cinq directions secondaires dans des proportions inférieures à 10% à savoir N10-20 identifiée à Kononfla précisément dans la localité de Goule Kouakoukro et N10-20, N20-30, N70-80, N100-110 N110-120.

3.3.2 CORRELATION ENTRE LES LONGUEURS CUMULEES ET LE NOMBRE DE FRACTURES

L'indique la figure 11, la longueur cumulée des fractures et le nombre de fractures sont des paramètres qui sont liés, l'un implique l'autre. Le coefficient de corrélation linéaire le montre bien, $R=0,68$.

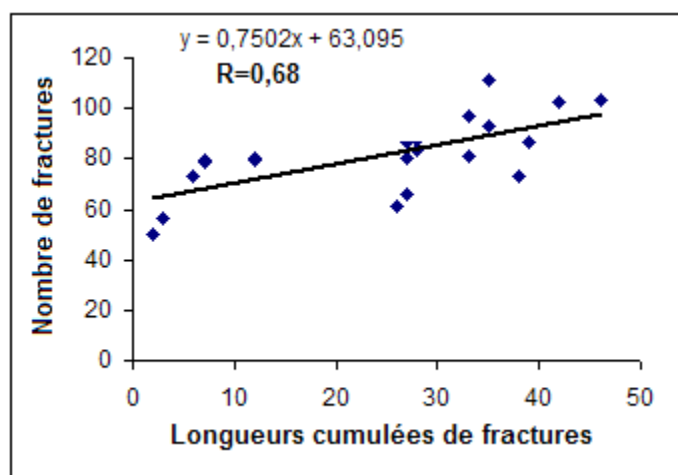


Fig. 11. Relation entre les longueurs de fractures et le nombre de fractures

4 DISCUSSION

Plusieurs travaux ont été entrepris au niveau du territoire ivoirien, notamment dans les régions ouest [8],[9],[12], nord et nord-est [5],[18], en vue de caractériser les réseaux de fractures et de modéliser les écoulements dans les réseaux souterrains. L'analyse du champ global de fracturation dans le département de Sinfra a permis d'identifier deux directions principales : N0-10 et N90-100. Plusieurs travaux réalisés dans d'autres localités de la Côte d'Ivoire dont N'go et al.(2010) à Dimbokro, [16] et [17] à Soubré ont également identifié ces directions. Les travaux de [3] dans le domaine interne rifain au Maroc et de [4] en Tunisie ont relevé ces mêmes directions. Plusieurs directions secondaires ont également été identifiées dans le cadre de la présente étude : N10-20, N20-30, N70-80, N100-110 et N110-120. La direction N20-30 a été identifiée, comme direction secondaire par [7] et [8] dans la région de Man-Danané.

L'analyse du réseau de fractures a également révélé l'existence d'une corrélation entre les longueurs cumulées et le nombre de fractures, avec un coefficient de corrélation $R=0,67$. Cette valeur de corrélation obtenue, signifie que le nombre de fractures et la longueur des fractures sont deux variables dépendantes, elles sont donc liées. Elles peuvent être considérées indifféremment, l'une implique l'autre. L'analyse statistique du réseau de fractures fait donc état de la présence dans la région de Sinfra des fractures régionales qui influencent considérablement la perméabilité de la région. Ces fractures régionales, donc font office de réservoirs de l'eau souterraine. Il faut, cependant, souligner qu'en surmontant certaines contraintes liées à la cartographie linéamentaire les résultats obtenus peuvent être améliorés.

L'une des contraintes est le positionnement exact du linéament qui est parfois soumis à une incertitude de quelques dizaines de mètres selon [15]. Le problème d'échelle, ne s'est pas posé dans cette étude car l'échelle utilisée à savoir 1/200 000 correspond à la valeur conseillée pour l'identification d'un maximum de linéaments [12]. La méthode des pseudo-images réduirait considérablement la subjectivité selon [12], car elle est basée sur un traitement du Modèle Numérique de Terrain (MNT). Cette méthode a été utilisée par [12] à l'Ouest de la Côte d'Ivoire, dans une région montagneuse, très contrastée, avec une altitude moyenne comprise entre 200 et 600. Elle n'est donc pas très adaptée au département de Sinfra car il est très peu contrasté avec une altitude moyenne comprise entre 200 et 300 m.

Les linéaments obtenus ne sont pas exhaustifs malgré leur grand nombre. En effet la complexité de la fissuration en milieu de socle et le mode d'acquisition des informations ne permettent pas de déceler toutes les fractures.

La validation des fractures de petite taille reste cependant difficile compte tenu du fait que la carte structurale utilisée ne contient que les mégafractures. Toutefois, une étude de terrain est nécessaire afin d'effectuer des mesures sur les affleurements pour remédier à cette situation et renforcer les résultats acquis.

5 CONCLUSION

Les images transformées et filtrées ont servi de support pour l'extraction du réseau de linéaments. Ce réseau a été par la suite validé avec la carte des accidents majeurs de la SODEMI, pour donner le réseau de fractures. Les directions suivantes: N0-10 (N-S) et N90-100 (E-W), ont été identifiées comme directions majeures et principales des fractures. Les longueurs

cumulées et le nombre de fractures présentent une corrélation, de l'ordre de 0,67. Ainsi, l'essentiel de l'eau souterraine dans le département de Sinfra circule dans les fractures régionales qui en constituent les voies privilégiées

Ce travail est une contribution à une meilleure connaissance du réseau de fractures. Il permettra d'envisager, d'une part, la simulation des écoulements souterrains qui conduira à la détermination des grands axes d'écoulement et, d'autre part, à l'évaluation des ressources en eau souterraine disponibles en vue d'une meilleure gestion de celles-ci. D'autres techniques pourraient être utilisées à savoir les techniques géophysiques ou les relevés de terrain pour valider le réseau de linéaments.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont à l'endroit du Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT), notre institution de rattachement pour avoir mis à notre disposition les conditions nécessaires à la réalisation de cette étude. Nous remercions également de conseil général de Sinfra pour avoir financé en partie ce travail.

REFERENCES

- [1] E. Baggare et B. Tagini, Carte géologique de la Côte d'Ivoire au 1/1000 000. D.M.G. *Rép. C.I., Abidjan 1965*.
- [2] J. Biémi, *Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants sub-sahéliens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus de sillons et aires granitiques de la Haute Marahoué Côte d'Ivoire*. Thèse de doctorat ès Sciences Naturelles, Université d'Abidjan, 493 p, 1992.
- [3] L. A. Brahim , et F.S Alaoui , "Utilisation de la télédétection pour l'analyse de la fracturation du domaine Interne rifain (Maroc) " : relation avec la Répartition des sources, *Télédétection, 2003, vol. 3, n° 1*, pp. 33-47, 2003.
- [4] I. Ezzine , F. Zargouni , et M. Ghanmi , "Analyse linéamentaire des images Landsat-TM et spot de l'atlascentro-septentrional : cartographie du prolongement SW de la cicatrice de Zaghouan". © *Revue Télédétection, 2012, vol. 10, n° 4*, pp. 199-211, 2012.
- [5] 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'Hydrotechniquespatiale : cas des zones tests de la Côte d'Ivoire*. Thèse de doctorat ès Sciences Naturelles, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 429 p, 2005.
- [6] J.P. Jourda , M. B. Saley ., E.V. Djagoua ,K. J. Kouamé , J. Biémi, et M. Razack , "Utilisation des données ETM+ de Landsat et d'un SIG pour l'évaluation du potentiel en eau souterraine dans le milieu fissuré précambrien de la région de Korhogo (nord de la Côte d'Ivoire) : approche par analyse multicritère et test de validation", *Télédétection, vol. 5, n° 4*, pp. 339-357 ,2006.
- [7] K.F. Kouamé, P. Gioan, J. Biémi, et K. Affian, "Méthode de cartographie des discontinuités-images satellitaires : Exemple de la région semi-montagneuse à l'ouest de la Côte d'Ivoire". *Télédétection, Vol. 2*,pp.139-156,1999.
- [8] K.F. Kouamé, *Hydrogéologie des aquifères discontinus de la région semi-montagneuse de Man-Danané Ouest de la Côte d'Ivoire*. Apport des données des images satellitaires et des méthodes statistique et fractale à l'élaboration d'un système d'information hydrogéologique à référence spatiale. Thèse de 3èmcycle, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 194 p, 1999.
- [9] T. Lasm , *Hydrogéologie des réservoirs fracturés de socle: Analyses statistiques et géostatistique de la fracturation et des propriétés hydrauliques. Application à la région des montagnes de Côte d'Ivoire Domaine Archéen*. Thèse de doctorat, Université de Poitiers, 272 p, 2000.
- [10] A.Y. N'go, T. Lasm , M. Koita , et I. Savané, "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, vol. 9, n° 1*, pp. 33-42, 2010.
- [11] V.H. N'guessan Bi., M. B. Saley , N. Talla , J. fotsing , K. affian , et E. Tonye , "Apport de la télédétection à l'analyse de la dynamique de l'occupation du sol à partir d'une utilisation couplée d'un modèle de Markov et d'un automate cellulaire, cas du département de sinfra (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire) ". *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection (RFPT)*,N°204, octobre 2013,ISSN:1768-9791,pp.23-41, 2013.
- [12] M.S. Saley, *Système d'Information Hydrogéologique à Référence Spatiale, Discontinuités pseudo images et cartographie thématique des ressources en eau de la région semi-montagneuse de Man (Ouest de la Côte d'Ivoire)*. Thèse de doctorat, Université de Cocody, Abidjan, 211 p, 2003.
- [13] I. Savané, G.B. Benié, J.Q. Hugh Gwyn , et J. Biémi , "Application de la télédétection à la recherche des eaux souterraines en milieu cristallin : cas d'Odienné, Côte d'Ivoire". *Télédétection des ressources en eau, Actes Journées Scientifiques, Tunis*, pp.111-120,1993.

- [14] I. Savané, *Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique des aquifères discontinus du socle cristallin d'Odienné Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire*. Apports de la télédétection et d'un Système d'Information Hydrogéologique à Référence Spatiale. Thèse de doctorat ès Sciences Naturelles, Université d'Abidjan- Côte d'Ivoire, 386 p, 1997.
- [15] S. Sawadogo , *Contribution de la télédétection à l'étude de la fracturation. Application à l'hydrogéologie du socle en milieu intertropical (Haute Volta)*. Thèse de Doct. 3^e cycle, Univ. Orléans, 238 p, 1982.
- [16] M.V. Sorokoby, M.B. Saley, F.K. Kouamé, E.V Djagoua, M. Bernier, K. Affian, et J. Biémi, "Utilisation des images Landsat ETM+ et du SIRS pour la cartographie linéamentaire et thématique de Soubre-Meagui". *Revue Télédétection*, 2010, vol. 9, n° 3-4, pp. 209-223, 2011.
- [17] T.K. Yao, O. Fouché-Grobla , S. Oga., et V. Assoma, "Extraction de linéaments structuraux à partir d'images satellitaires, et estimation des biais induits, en milieu de socle précambrien métamorphisé", *Revue Télédétection*, 2012, vol. 10, n° 4, pp. 161-178, 2012.
- [18] M. Youan Ta, T. Lasm, J. P. Jourda, K. F. Kouamé, M. Razack, "Cartographie des accidents géologiques par imagerie satellitaire landsat-7 etm+ et analyse des réseaux de fractures du socle précambrien de la région de Bondoukou (Nord-Est de la Côte d'Ivoire) ", *Revue Télédétection*, 2008, vol. 8, n° 2, pp. 119-135,2008.