HAL
open science

# Contribution des images satellitales Landsat 7 ETM+ à la cartographie lithostructurale du Centre-Est de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest)

Gbele Ouattara, Gnammytchet Barthélemy Koffi, Alphonse Kouakou Yao

**To cite this version:**

Gbele Ouattara, Gnammytchet Barthélemy Koffi, Alphonse Kouakou Yao. Contribution des images satellitales Landsat 7 ETM+ à la cartographie lithostructurale du Centre-Est de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest). International Journal of Innovation and Applied Studies, 2012, 1 (1), pp.61-75. hal-00771925

**HAL Id: hal-00771925**

**https://hal.science/hal-00771925v1**

Submitted on 9 Jan 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 1 No. 1 Nov. 2012, pp. 61-75
© 2012 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.issr-journals.org/ijias/

# Contribution des images satellitales Landsat 7 ETM+ à la cartographie lithostructurale du Centre-Est de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest)

***Gbele OUATTARA[1], Gnammytchet Barthélemy KOFFI[1], and Alphonse Kouakou YAO[1]***

[1]Département des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STeRMi)/Laboratoire du Génie Civil, des Géosciences et Sciences géographiques/Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

Copyright © 2012 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.

**RESUME:** La maîtrise des différents réseaux de fractures est un outil capital en recherche minière dans le birimien de l'afrique de l'ouest. L'objectif de ce travail est de mettre en évidence les fractures, ainsi que les grands ensembles lithologiques de la région du Centre-Est de la Côte d'Ivoire, au moyen des images satellitales Landsat 7 ETM$^+$. Nous avons extrait les linéaments, ainsi que le réseau hydrographique et les infrastructures à partir d'une analyse analogique complétée par des analyses numériques à l'aide de filtres directionnels. Ensuite, nous avons déterminé les limites des ensembles lithologiques à l'aide des textures et teintes. Une esquisse lithostructurale téléanalytique a ainsi été obtenue.
Plusieurs directions de fractures majeures ont été cartographiées. Il s'agit des directions subméridiennes N00° à N10° senestres, N30° à N45° senestres, N80° à N90° dextres, N120° à N140° senestres et N150° à N160° senestres. Les fractures subméridiennes sont les plus anciennes et celles de direction Est-Ouest semblent être les plus récentes.

**MOTS CLES:** Images Landsat 7 ETM+, Linéaments, Réseaux de fractures majeures, Exploration minière, Centre-Est de la Côte d'Ivoire.

**ABSTRACT:** Control of different network fractures is an important tool in the Mining Research in the Birimian of West Africa. The objective of this work is to highlight the fractures and major formations of central-east of Ivory Coast, using Landsat 7 ETM+ images. We have extracted lineaments and the hydrographical network from an analogic analysis supplemented by numerical analysis using directional filters. Next, we determined the limits of lithological using textures and colors. A sketch map of lithostructural was thus obtained.
Several directions of major fractures were mapped. These directions are: sinistral submeridional N00°-N10°, sinistral N30° to N45°, dextral N80° to N90°, sinistral N120° to N140° and sinistral N150° N160°. Submeridional fractures are older and those of East-West direction seem to be the latest.

**KEYWORDS**: Landsat 7 ETM+ images, Lineaments, Major fractures networks, Mining Exploration, Central-East of Ivory Coast

## 1 INTRODUCTION

Les recherches dans le domaine de la cartographie géologique téléanalytique représentent une place de choix pour le nouveau souffle de développement de l'exploration minière en Côte d'Ivoire. Notre préoccupation a été d'extraire tous les réseaux de fractures majeures et les grands ensembles lithologiques de la région Centre-Est de la Côte d'Ivoire en nous servant des images satellitales Landsat 7 ETM+. Il s'agit de recenser tous les linéaments visibles sur les images Landsat ETM+, ainsi que les limites des ensembles lithologiques et les intégrer afin de réaliser l'esquisse d'une carte géologique téléanalytique qui servira de document de base pour les campagnes de prospection géologique et minière.

Les travaux antérieurs ont permis de relever les grands traits lithologiques et structuraux qui suivent.

**Corresponding Author:** Gbele OUATTARA (gbele.ouattara@yahoo.fr) 

### 1.1 ENSEMBLES GEOLOGIQUES DU CENTRE-EST DE LA COTE D'IVOIRE

Les formations du Centre-Est de la Côte d'Ivoire qui appartiennent au domaine Baoulé-Mossi [1]-[2], (Figure 1) peuvent se subdiviser en trois grands ensembles :

- un ensemble granito-gneissique occupant la partie occidentale ;

- un sillon médian constitué de laves, de brèches et de volcanosédiments, avec de puissantes intercalations de schistes, de quartzites (correspondant au sillon de Toumodi-Fêttêkro) ;

- des formations sédimentaires et volcanosédimentaires dans la partie orientale de la zone, correspondant au bassin de la Comoé.

Ces trois ensembles sont intrudés de formations granitiques, granodioritiques et basiques.

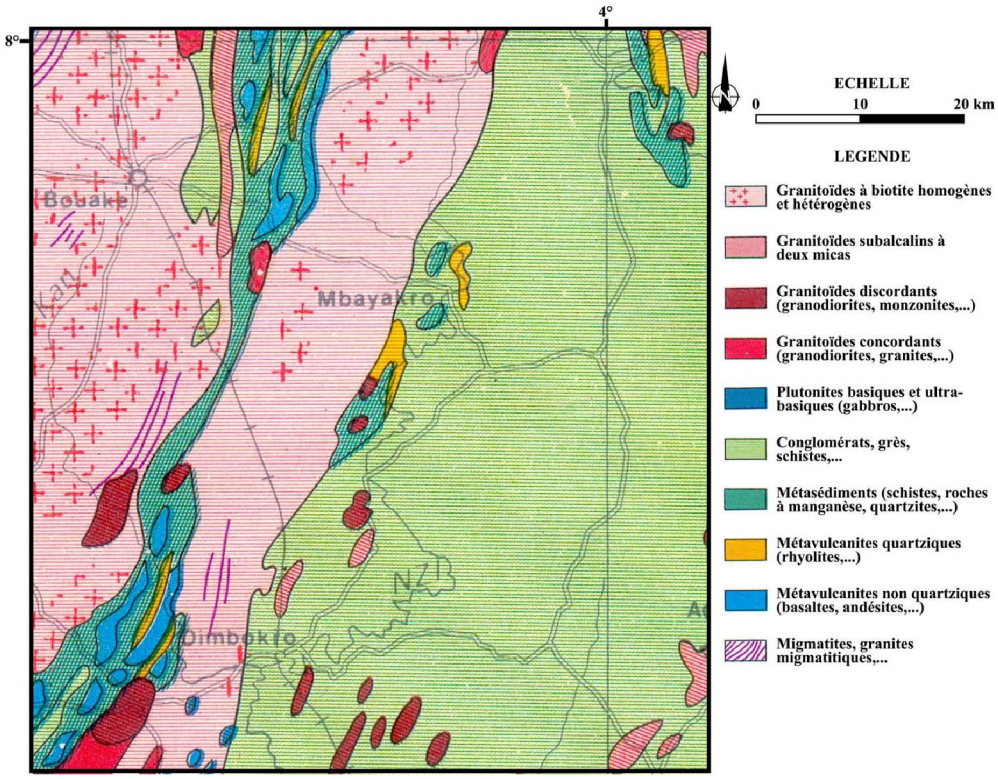


*Fig. 1. Carte géologique simplifiée du Centre-Est de la Côte d'Ivoire, modifiée d'après [3]*

#### 1.1.1 ENSEMBLE MIGMATITIQUE

Les migmatites sont très développées dans le secteur Sud. Elles présentent différents faciès, depuis les ensembles les moins migmatitisés jusqu'aux granites d'anatexie. Il faut cependant souligner que ce dernier type est peu développé et constitue des secteurs non cartographiables.

La migmatitisation affecte des faciès variés que l'on retrouve presque indemnes tantôt sous forme de paléosome tantôt discrètement migmatitisés ou encore partiellement « dilués » dans le leucosome. Il s'agit de formations d'aspect gneissique, sombre à grains fins qui présentent un caractère fréquemment cataclastique. Le matériel peut aussi être équant ou rubané à amphiboles ou à biotite-amphiboles à grains variables. Il peut être également de la granodiorite orientée à biotite-amphibole ou biotite seule. Dans cet ensemble, les trois faciès les plus fréquents sont : les gneiss migmatitiques, les migmatites granitiques et les migmatites rubanées.

#### 1.1.2 FORMATIONS DU SILLON

Au sein de l'ensemble granito-gneissique, s'est développé un sillon médian d'extension latérale variable, composé de formations éruptives, de volcanosédiments et de sédiments ayant des relations très étroites [4]. Ces formations s'étendent sur plus de 120 Km du Nord au Sud dans cette zone. L'on y distingue :

- les roches éruptives basiques composées d'amphibolites, de métabasaltes, de métadolérites et de brèches basiques. Elles affleurent toujours en relief bien individualisé au sein de l'ensemble volcanosédimentaire ;

- les roches éruptives acides composées de rhyolites, de rhyodacites et de brèches acides. Ces roches sont généralement homogènes, massives souvent aphanitiques.

- les volcanosédiments constitués de grauwackes, de pyroclastites acides et basiques et de tufs acides et basiques ;

- les sédiments sont, notamment, les schistes, les grès, les quartzites et les conglomérats. Les schistes sont présents en intercalation au sein du sillon de Fettêkro où ils sont associés aux pyroclastites. Nous distinguons dans cet ensemble les schistes chloriteux, sériciteux, gréseux, graphiteux, les calcschistes et les schistes noirs. Les quartzites sont, quant à eux, en intercalation entre les zones granitiques et les formations volcanosédimentaires.

#### 1.1.3 ENSEMBLE DES GRANITOÏDES

L'on y trouve divers types de granitoïdes qui occupent l'Ouest de la feuille de M'Bahiakro du Nord au Sud [5] et également la partie centrale entre la chaîne de Fettêkro et le grand pays des schistes à l'Est [6]-[7]. L'on distingue, selon le mode de gisement et les relations avec l'encaissant, des granitoïdes à caractères intrusifs et, d'autres, présentant des caractères de granitoïdes hybrides.

### 1.2 ETUDE STRUCTURALE

Les interprétations photographiques et géophysiques : cartes aéro-magnétiques et les études de terrains ont permis de mettre en évidence deux accidents majeurs dans les formations du Centre-Est de la Côte d'Ivoire : l'un Nord-Sud nommé accident de Brobo et l'autre ENE-OSO nommé accident de Dimbokro.

#### 1.2.1 ACCIDENT DE BROBO

Cet accident N-S a été étudié par Lemoine [8]-[9]. La largeur de la zone déformée varie entre 3 et 6 km et se traduit par des formations blastomylonitisées sur le terrain. C'est une zone de décrochement ductile senestre. Elle est marquée par la juxtaposition de deux surfaces : une foliation de direction localement oscillante et des plans de cisaillement plus ou moins serrés avec une linéation subhorizontale.

#### 1.2.2 ACCIDENT DE DIMBOKRO

C'est un grand accident orienté globalement N70°, décrochant, sépare le bassin de l'Est des formations cristallines de l'Ouest. L'on le suit tout le long de la feuille de M'Bahiakro dans sa partie orientale [5]. Il se caractérise par de fortes anomalies magnétiques dans la région de Bocanda. Ces anomalies s'affaiblissent vers M'Bahiakro où l'accident est bordé par les ensembles volcanosédimentaires. Dans la région centrale, il affecte les migmatites, déforme la bordure orientale de la granodiorite porphyroïde de Satama-Sokoura et boudine des enclaves basiques des formations contigües.

#### 1.2.3 ACCIDENTS MARGINAUX

D'autres séries d'accidents sont présents dans la zone. Leurs empreintes sur le terrain ne sont pas toujours décelables notamment dans la partie Est où l'épaisseur d'altération est généralement supérieure à 30 m. Dans les granitoïdes, ces accidents se traduisent par des zones blastomylonitisées et des décrochements. L'attitude générale est ONO-SSE et ces accidents recoupent les contacts granites - ensembles volcanosédimentaires. Il faut remarquer que les directions E-O s'observent dans les granitoïdes du Sud et également dans les ensembles volcanosédimentaires. Certains traits du réseau hydrographique suivent ces directions.

## 2 MATERIEL ET METHODES

Les images satellitales Landsat 7 ETM+ du Centre-Est de la Côte d'Ivoire ont été téléchargées sur le site internet de l'université du Maryland à l'adresse http://www.glcf.umiacs.umd.edu. Leurs caractéristiques sont les suivantes :

*Nom : p196r055 du 26 janvier 2001 ; Type de fichier : GEOTIFF ; Capteur: ETM+ ; Projection : UTM, zone 30 nord ; Ellipsoïde : WGS-84 ; Résolution : 28,5 mètres ; Description : GEO-TIFF_Orthorectifiée.*

Nous avons utilisé au total 9 images (bandes 1, 2, 3, 4, 5, 6-1, 6-2, 7 et 8). La bande 8 est la bande panchromatique de résolution 15 mètres au sol. La localisation de la zone couverte par nos images est indiquée sur la Figure 2.

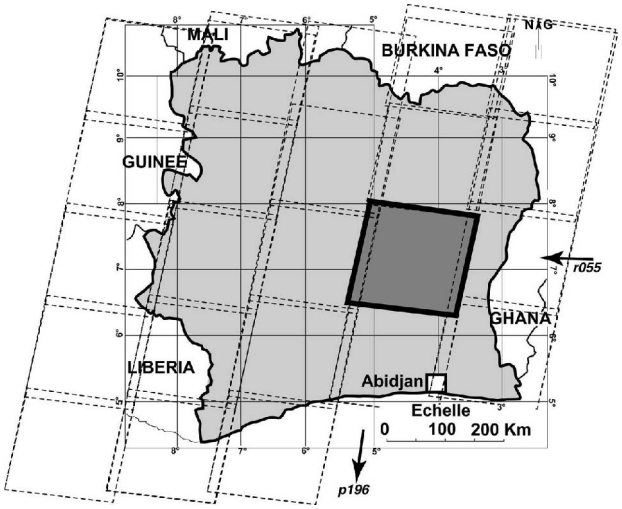


***Fig. 2. Carte de localisation des images satellitales Landsat 7 ETM+ (path : 196 ; row 055)***

Deux types d'analyses ont été effectués sur les images de la Figure 3. Il s'agit de l'analyse analogique et de l'analyse numérique.

### 2.1 ANALYSE ANALOGIQUE

La réalisation d'une carte géologique téléanalytique doit respecter les différentes étapes suivantes (Figure 4):

- une analyse analogique qui consiste en l'extraction des linéaments, en la détermination des ensembles géologiques et en l'extraction des infrastructures et réseau hydrographique sur support papier;

- une analyse numérique par le traitement des données obtenues aux moyens de logiciels tels que Envi 4.5, Adobe Photoshop et Adobe Illustrator ;

- une phase de validation des données issues des analyses analogiques et numériques (à partir de cartes géologiques préexistantes et de travaux sur le terrain).

Nous avons donc pu faire ressortir les différentes agglomérations de notre zone ; ensuite nous avons matérialisé le réseau hydrographique, les différentes limites lithologiques possédant une signature spectrale particulière et enfin toutes les structures linéamentaires. Cette succession d'opérations a contribué à réaliser la carte téléanalytique brute. La détermination des ensembles géologiques s'est faite à travers les teintes, les textures et l'analyse des formes sur les images satellitales.

Sur les images satellitales, on remarque différentes zones homogènes qui peuvent caractériser un type de texture bien précise, un type d'objet géologique, des zones fortement structurées, des parcelles brûlées, des paysages transformés par l'activité humaine. La texture sur l'image satellitale est représentée par un agencement spatial de petits éléments homogènes de même intensité de rayonnements [10]. Elle est aussi matérialisée par une forme, un contenu homogène et une grandeur spécifique dans un environnement connu.

La zone d'étude étant pénéplanée et recouverte de latérites, la texture sur les images Landsat ETM+ dépend fortement de la végétation et de la couverture latéritique. Elle est représentée par un aspect lisse ou grossier. La forme, quant à elle, fait allusion aux structures circulaires observées sur les images satellitales qui peuvent correspondre aux réseaux de fractures concentriques, à la foliation magmatique qui souligne le caractère diapirique du massif granitique, à des faciès pétrographiques emboîtés et/ou des stades d'arénisation différents ([11], [12], [13] - [14]). Les structures circulaires caractérisent la majorité des granitoïdes.

La notion de teinte prend en compte la couleur (ou le niveau de gris pour la bande panchromatique) sur les images satellitales ETM+ correspondant à des lithologies particulières, mais aussi à des évènements climatiques ou à l'activité humaine.

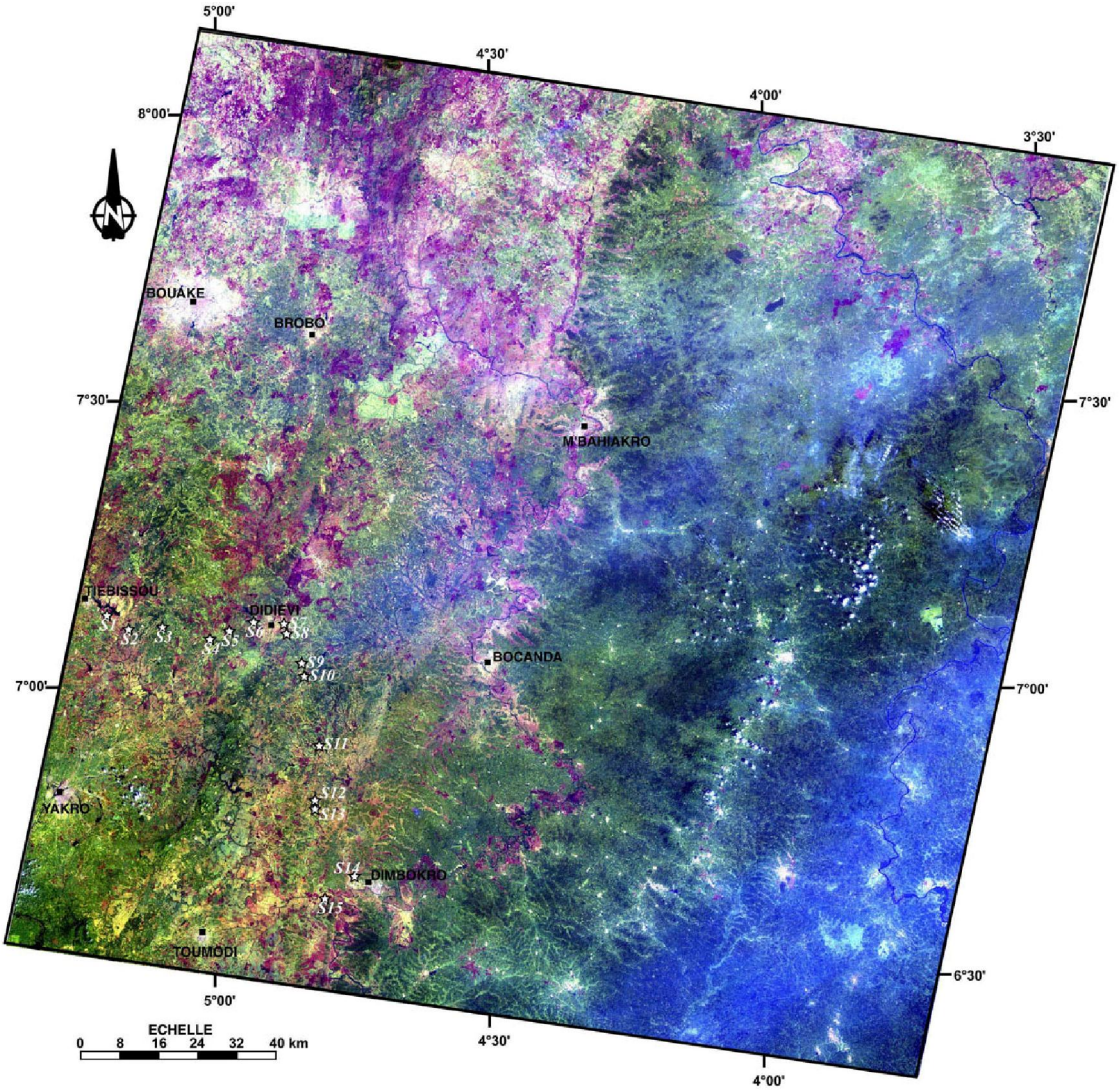


*Fig. 3. Image en composition colorée RVB 752 et positionnement des sites (S ; de Tiébissou à Toumodi, en passant par Dimbokro) étudiés sur le terrain*

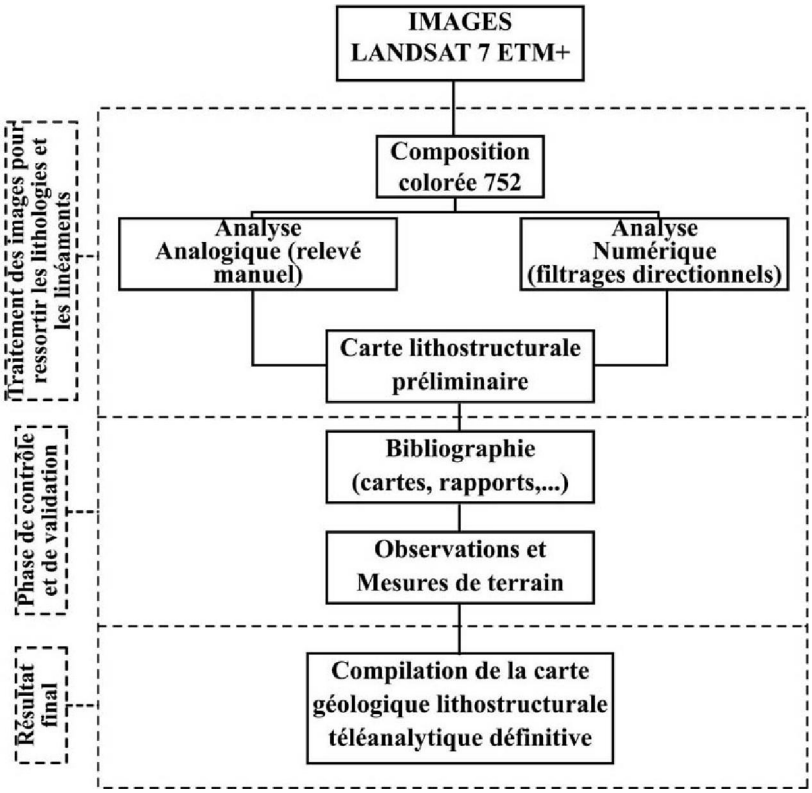


*Fig. 4. Chaîne de traitement d'une scène satellitale Landsat 7 ETM+*

### 2.2 ANALYSE NUMERIQUE

Les images ayant été préalablement géoréférencées et orthorectifiées, nous avons procédé à des traitements aboutissant à des images en compositions colorées. La combinaison des canaux 7, 5, 2 permet d'avoir une image plus lisible et plus contrastée. Nous procédons à une analyse des images ainsi générées, par l'application de techniques plus pertinentes pour le rehaussement des structures linéaires. L'utilisation des logiciels tels que : Envi 4.5, Adobe Photoshop et Adobe Illustrator ont rendu possible les traitements numériques des images. Ces logiciels ont été utiles pour le rehaussement des structures linéaires et la finalisation de la carte. Différents types de traitements ont pu être réalisés, en vue de rendre plus facilement détectables les limites des ensembles lithologiques ayant une signature spectrale particulière et les ensembles linéamentaires. Parmi ces traitements, l'on distingue, par exemple : les filtres ou masques. Le filtrage consiste à changer la valeur d'un pixel en fonction de celle de ses voisins ([15], [16], [17] - [18]). Le type de filtre utilisé dépend des résultats recherchés. Nous avons, par exemple, les filtres passe-bas qui correspondent à un lissage de l'image par élimination des hautes fréquences. L'on a également les filtres passe-haut qui ont pour rôle d'éliminer les basses fréquences et permettent une détection des contours.

Dans le cadre de notre étude, nous avons utilisé comme traitements, les filtres directionnels, en particulier, les filtres Yesou, Prewitt, Sobel. Ces filtres directionnels dont les matrices d'application sont présentées dans les tableaux 1 et 2 ont été conçus pour faire ressortir ou masquer des caractéristiques spécifiques d'une image en se basant sur leur fréquence liée à la texture ([19], [20], [21], [22], [23] - [24]. Le filtre Sobel permet de rehausser les contours mais entraîne un bruitage important. Le filtre Prewitt introduit un flou. L'application de ce filtre s'est faite sur l'image 752 et sur la bande panchromatique. L'extraction des éléments structuraux a été faite grâce à l'application des filtres directionnels sur les bandes ETM+ (voir Figure 5a). Ainsi, différents filtres directionnels ont été appliqués (N00° ; N45° ; N80° ; N120° ;…).

*Tableau 1. Matrice des filtres Sobel*

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

Filtre SOBEL de direction N-S

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

Filtre SOBEL de direction E-O

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

Filtre SOBEL de direction NE-SO

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

Filtre SOBEL de direction NO-SE

*Tableau 2. Matrice des filtres Yesou et Prewitt*

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| -1 | -2 | -3 | -7 | 1 | 1 | 1 |
| -1 | -2 | -3 | -3 | 1 | 1 | 1 |
| -1 | -2 | -2 | -2 | 1 | 1 | 1 |
| -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 |

Filtre PREWITT

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 |
| -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |

Filtre YESOU

Une carte de linéaments est obtenue à la suite d'analyse assistée et manuelle d'images résultantes de ces différentes opérations de traitements.

Les résultats de l'analyse analogique et ceux obtenus de l'analyse numérique sont scannés et numérisés puis combinés pour obtenir une carte téléanalytique préliminaire. Cette carte sera, par la suite, corrigée pour, enfin, obtenir une carte téléanalytique définitive de notre zone d'étude (Figure 5b).

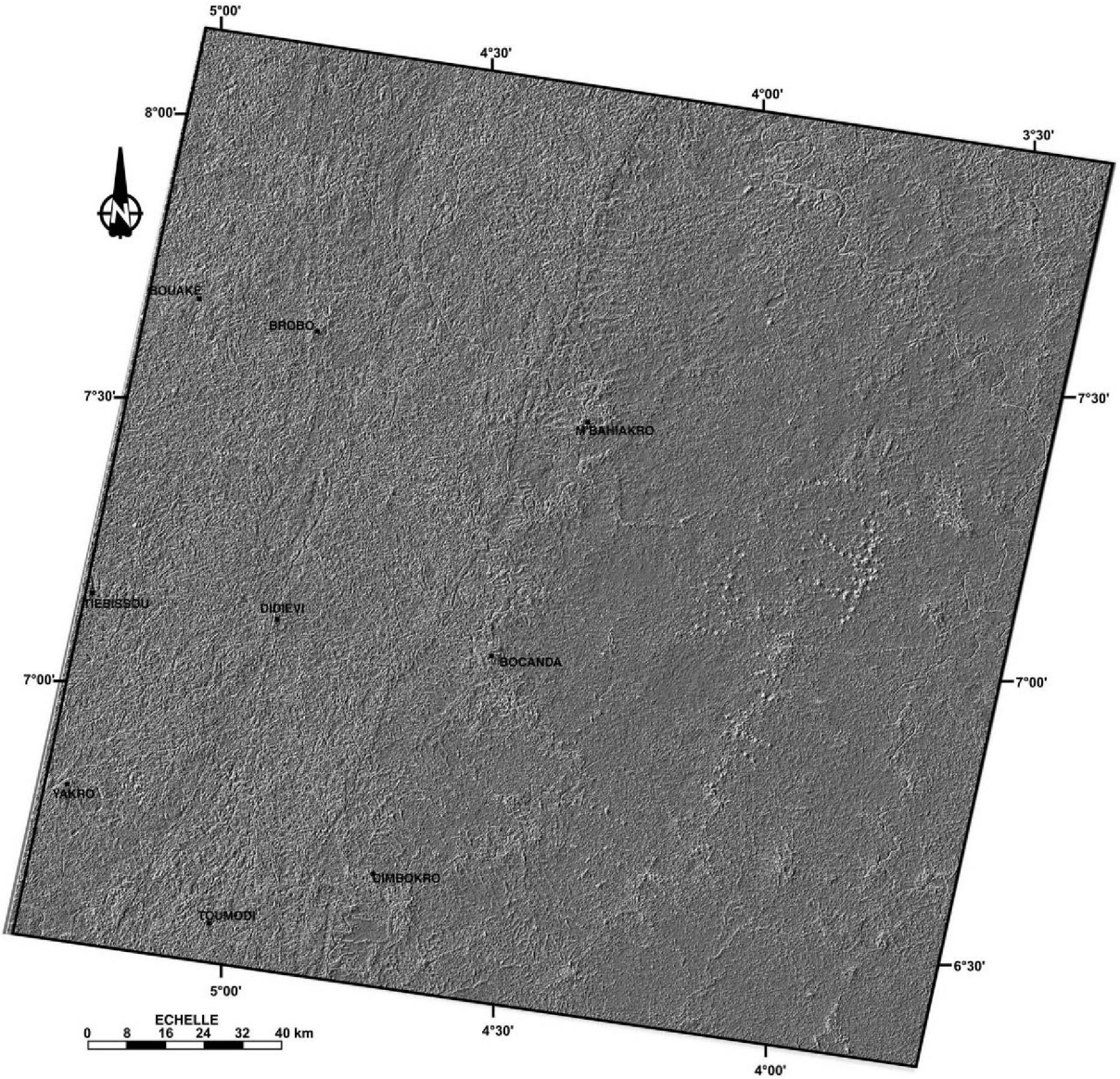


*Fig. 5a. Exemple d'image obtenue après l'application du filtre Prewitt sur la bande 7*

### 2.3 VALIDATION DES DONNEES DE LA CARTE TELEANALYTIQUE PRELIMINAIRE

La phase de contrôle et de validation des accidents géologiques extraits des traitements manuel et numérique des images ETM+ a été indispensable pour juger de la pertinence de la méthode utilisée et des résultats obtenus. Les données issues des cartes géologiques sont comparées aux structures linéaires extraites des images satellitales afin de leur donner une signification structurale ([25], [26] - [27]). Lorsque l'origine anthropique d'une structure linéaire a été prouvée (routes, pistes, limites de forêts ou de surfaces cultivées, lignes de haute tension, etc.), elle est alors supprimée. Ainsi, celles restantes doivent vraisemblablement correspondre à de la fracturation ([27], [28], [29], [30] - [31]).

Après ceci, nous comparons aussi ces données avec les documents disponibles, notamment les cartes géologiques préexistantes. La carte téléanalytique obtenue sera alors complétée par les observations de terrain et confrontée aux données cartographiques existantes afin de connaître la nature géologique des objets observés, les structures géologiques à l'affleurement et leur chronologie relative.

La carte détaillée des réseaux de fractures obtenue dans le cadre de cette étude n'est certes pas exhaustive mais est représentative de la fracturation de la région du Centre-Est de la Côte d'Ivoire.

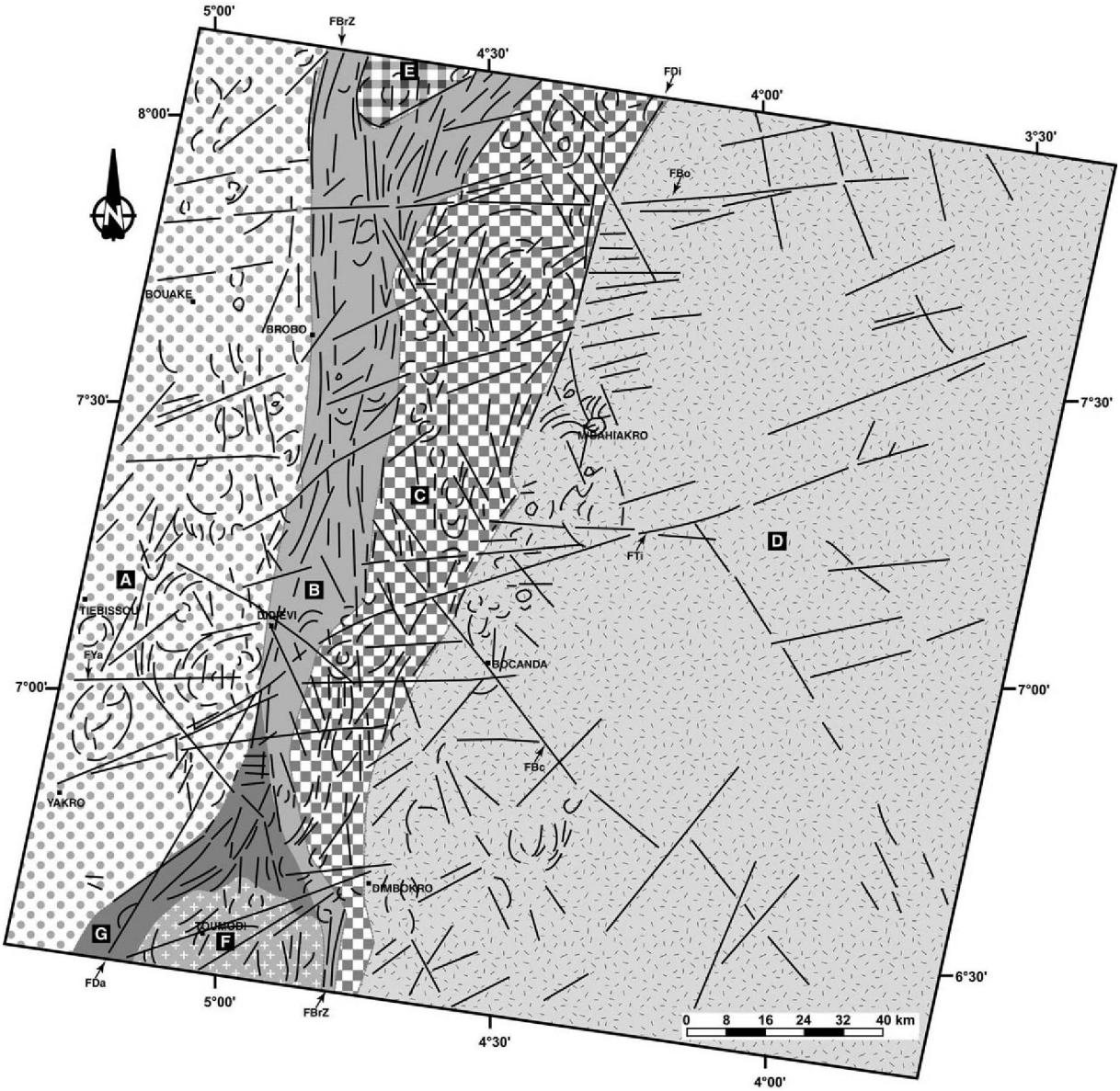


*Fig. 5b. Extraction des linéaments et des grands ensembles lithologiques à partir de l'image filtrée de la figure 5a. FDa = faille du Mont Dietka ; FrZ = faille de Brobo-N'Zi ; FYa = faille de Yamoussoukro ; FBc = faile de Bocanda ; FBo = faille de Bouaké ; FTi = faille de Tiébissou*

## 3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

### 3.1 RÉSULTATS

La compilation des différents traitements effectués est donnée sur la Figure 6.

#### 3.1.1 CARTOGRAPHIE LITHOLOGIQUE

Sept zones de natures lithologiques différentes peuvent être observées. Ce sont :

**1) ZONE A** : correspond à l'aire granitique de Bouaké-Tiébissou-Yamoussoukro. Elle est caractérisée, sur l'image de composition colorée 752, par une mosaïque de teintes jaunâtre-verte-rouge violacée. L'on y rencontre un réseau hydrographique de type dendritique et est caractérisée par de nombreuses structures circulaires, parfois emboîtées dont le diamètre peut dépasser les 25 km (exemple : Nord de Bouaké). Sur le terrain, cette aire granitique est marquée par des granites à biotite, des granodiorites, parfois porphyroïdes et des granites à deux micas. L'application des filtres Prewitt (Figure 5a) et Sobel donne une texture rugueuse avec de nombreuses structures circulaires (Figure 6).

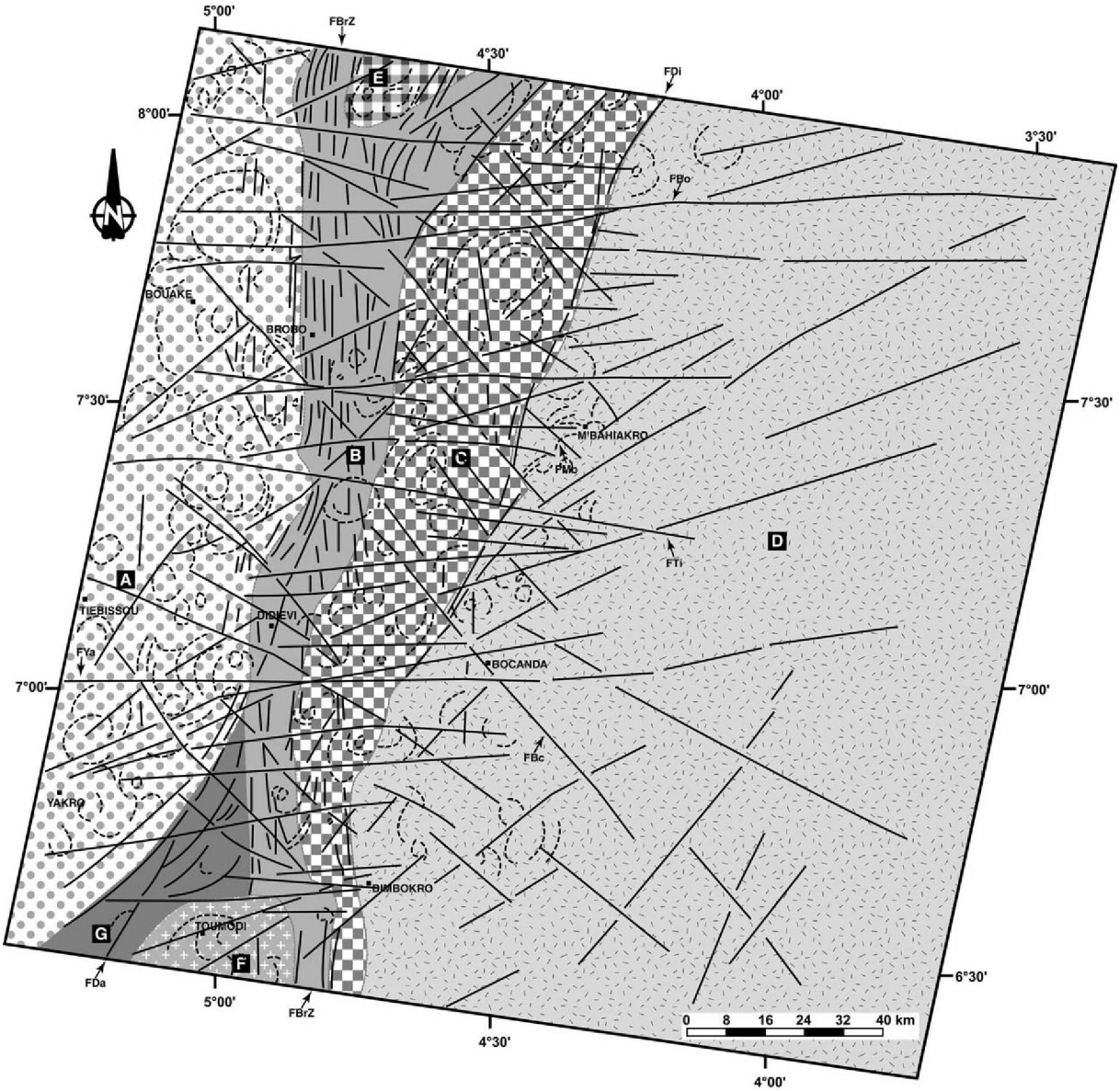


*Fig. 6. Compilation des résultats obtenus après différents traitements (manuel et numérique). Carte géologique téléanalytique finale montrant les grands ensembles lithologiques, les failles et fractures, ainsi que les structures circulaires. FDa = faille du Mont Dietka ; FrZ = faille de Brobo-N'Zi ; FYa = faille de Yamoussoukro ; FBc = faile de Bocanda ; FBo = faille de Bouaké ; FTi = faille de Tiébissou*

**2) ZONE B :** Cette zone est une bande de largeur inférieure à 5 km à une largeur pouvant atteindre 25 km. Elle est globalement orientée Nord-Sud et part de Brobo-Nord au Sud-Est de Toumodi en passant par Didiévi. Sur l'image en composition colorée 752, cette zone est marquée par des teintes verdâtres et surtout rouge-violacées. Sur les images filtrées, la teinture obtenue est marquée par des lignes rectilignes discontinues Nord-Sud et une texture lisse. Au Nord, cette zone semble recoupée par des formations caractérisées par des structures circulaires (ZONE E) et au Sud par la granodiorite de Toumodi (ZONE F). Cette zone correspond aux cisaillements et mylonites de Brobo-N'Zi très connus dans la littérature [9]. Au Nord-Est de Brobo, les structures linéaires subméridiennes deviennent courbes dans la direction NE. Sur le terrain, nous avons pu observer des roches volcaniques (basaltes andésitiques et des microquartzites) et des roches granitiques mylonitisés (gneiss oeillés).

**3) ZONE C :** Cette bande d'une largeur d'environ 30 km s'étend du Nord-Ouest de M'Bahiakro jusqu'au Sud-Ouest de Dimbokro. Sur l'image en composition colorée 752, elle a les mêmes caractéristiques que la zone A. Cependant, des teintes plus sombres (bleu foncé) apparaissent au Nord-Ouest de Bocanda. Elle est également marquée par de nombreuses structures circulaires elliptiques emboîtées. Cette aire est constituée de granitoïdes (granites, granodiorites, gneiss, granites migmatitiques type Assounvouè au Sud de Toumodi).

**4) ZONE D :** Cette zone est située à l'Est de la zone d'étude. Elle est caractérisée sur l'image en composition colorée 752 par une dominance des teintes vertes et bleues, par une texture plus lisse avec très peu de linéaments. L'on peut y observer des structures circulaires entre Bocanda et M'Bahiakro. Sur le terrain, avant Dimbokro, l'on peut observer des micaschistes à staurotide.

**5) ZONE E :** formations au Nord de Brobo.

**6) ZONE F :** granodiorite intrusive de Toumodi.

**7) ZONE G :** correspond aux volcano-sédiments de Lomo-Nord/Anikro.

#### 3.1.2 CARTOGRAPHIE STRUCTURALE

Les données structurales ont été obtenues à partir de l'interprétation (manuelle et numérique) des images et de mesures sur le terrain. Plusieurs directions de linéaments peuvent être enregistrées sur nos images interprétées : N-S ; N80° à N 90° ; N 30° à N 40° et NO-SE (figure 6). Les linéaments correspondant aux fractures N-S, localisées exclusivement dans la zone B constituent la zone mylonitique de Brobo-N'Zi. Ces fractures sont surtout marquées par des gneiss oeillés et des mylonites indiquant clairement des cisaillements ductiles senestres. Ces fractures N-S sont recoupées par des fractures de direction N 150° à N 160° senestres. L'on les retrouve sur les différentes images au Sud de Didiévi, Bocanda (FBc) et au Nord de Toumodi. Elles sont également recoupées les fractures de direction N 30° à N 40°.

Les fractures N 80° à N 90° les plus longues, semblent les plus récentes. L'on peut distinguer, par exemple, celle au Nord de Bouaké (FBo), au Nord de Tiébissou (FTi) et au Nord de Yamoussoukro (FYa). Ce sont des fractures pouvant affecter des zones larges du kilomètre. Les fractures NO-SE sont également bien marquées, notamment celle de Bocanda (FBc) et celle de M'Bahiakro (FMb). L'accident majeur de Dimbokro limitant les zones C et D est également bien marquée avec une direction variable N30° à N70°.

#### 3.1.3 DONNEES RECUEILLIES APRES UNE CAMPAGNE DE TERRAIN

Une géotraverse a permis de recueillir des données, tant du point de vue lithologique que du point de vue structural. Les principales données obtenues ont été regroupées sur la Figure 7. Sur le terrain, plusieurs points d'observation permettent de reconnaitre certaines de ces fractures et d'établir leur chronologie relative. L'ensemble des mesures effectuées est consigné sur la rosace de la figure 8. Il ressort de ces diagrammes et des observations de terrain que nous avons cinq familles de fractures majeures :

1) les fractures de direction N00° à N10°/20° qui correspondent aux fractures subméridiennes et sont toutes sénestres / 2) les fractures de direction N30° à N40° senestres / 3) les fractures N80° à N95° dextres / 4) les fractures N120° à N130° senestres / 5) les fractures N150° à N160° senestres.

Chronologiquement, les fractures subméridiennes sont les plus anciennes et celles de direction Est-Ouest sont les plus récentes. Les fractures N30° à N40° sont recoupées par celles de direction N130° à N140°.

### 3.2 DISCUSSION

La réalisation de la carte géologique et structurale téléanalytique du Centre-Est de la Côte d'Ivoire a été rendue possible grâce à l'application, sur les images satellitales disponibles, de techniques permettant la mise en évidence des réseaux de fractures majeures.

La méthode d'extraction manuelle des linéaments est une méthode soumise à l'appréciation et à la sensibilité de l'œil humain. Cette caractéristique intrinsèque de la méthode ne permet pas une cartographie géologique structurale précise. La lisibilité de l'image constitue également un problème supplémentaire qui compromet la fiabilité de cette méthode. Par conséquent, l'application de cette méthode, même sur une image satellitale de grande résolution, ne peut permettre une interprétation exhaustive des linéaments.

*Fig. 7. Quelques données lithologiques et structurales majeures du Centre-Est de la Côte d'Ivoire. A: Enclave sombre sigmoïdale et cisaillement subméridien fonctionnant en senestre (Site 2) à l'Est de Tiébissou ; B: Fracture N45° recoupée par fracture N120° dans les microquartzites (Site 3) à l'Ouest de Didiévi ; C: Gneiss oeillé affecté par des décrochements senestres N00° (Site 10) au Sud-Est de Didiévi ; D: Zone migmatitique (Site 11) ; E: Foliation microplissée dans des bandes de cisaillement N30° senestres recoupées par des fractures N150° en décrochement senestre (Site 11) entre Didiévi et Dimbokro ; F: Schistosité N25° de pendage 75°SE, au Sud de Dimbokro, recoupée par des fractures N75° de pendage 80°S et N110° (Site 15)*

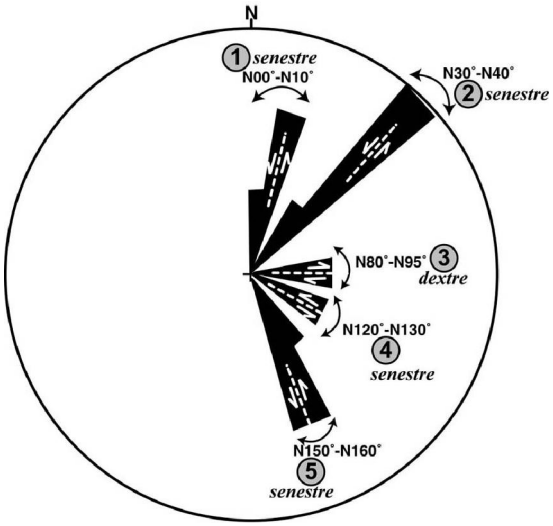


*Fig. 8. Rosace des principales directions de la fracturation et leur sens de déplacement*

Contrairement à cela, la méthode d'extraction numérique des linéaments et du réseau de fractures assistée par ordinateur offre non seulement une meilleure lisibilité, mais également les moyens d'observation de l'image sous plusieurs aspects à travers l'utilisation des filtres (rehaussement des structures). Ces différents atouts permettent une cartographie se rapprochant le plus possible de la réalité. L'application des techniques résultant de cette méthode (superposition des interprétations des images) peut aboutir à une carte géologique téléanalytique donnant avec une plus grande certitude, la position et les directions des fractures.

Les résultats obtenus à la suite de l'interprétation des images filtrées montrent de manière générale sept zones lithologiques majeures. Ces différentes aires caractérisées par des faciès lithologiques particuliers sont surtout identifiables à partir de l'image satellitale en composition colorée 752 et sur certaines images filtrées. L'interprétation des images issues de l'application des filtres Prewitt sur la bande panchromatique, Prewitt E-O et Sobel NO-SE montrent une concentration des structures circulaires surtout dans les zones A et C. Le filtre Prewitt sur la bande panchromatique montre surtout des linéaments de direction générale E-O et ONO-ESE, tandis que le filtre Prewitt E-O sur la bande 7 fait plus ressortir majoritairement les linéaments orientés ENE-OSO. Le filtre Sobel NO-SE sur la bande 7 met également en évidence les linéaments orientés pratiquement E-O. Les linéaments N-S sont mis en évidence par l'ensemble des filtres utilisés pour cette étude. Il est important de signifier que les plus grandes densités de linéaments sont observables sur les filtres Prewitt sur bande panchromatique et Prewitt E-O sur la bande 7. Malheureusement, l'application des filtres Yesou donne très peu de structures linéamentaires.

Après avoir extrait les routes, rails, lignes de haute tension et autres structures linéaires, certains linéaments ont été validés comme étant des fractures et failles à partir de cartes géologiques préexistantes et, d'autres, par des observations sur le terrain. Il faut noter que la zone d'étude est très fracturée, pouvant s'expliquer par la nature cristallophyllienne du socle.

Les données structurales issues des cartes géologiques préexistantes et en particulier de la carte de fracturation de la Côte d'Ivoire (Sodemi, 1994) nous renseignent sur le fait que les directions de fracturation majeures observables dans le Centre-Est sont comprises entre N00° et N30°et quelques unes N85°, N130° et N160°.

Aussi, certains auteurs ([4], [33], [34] - [35]), sont arrivés à donner les différentes directions principales majeures de fracturation que l'on observe au Centre-Est de la Côte d'Ivoire. Ce sont : N00°, N10°, N20°, N30°, N40°, N50°, N60°, N130°, N150° et N160°. Cependant, les sens des mouvements le long de ces failles ne sont pas toujours précisés.

Notre esquisse de carte géologique structurale téléanalytique permet de trouver d'autres directions majeures de fracturation non encore cartographiées. Ce sont les fractures N80°à N95° dextres, les fractures N120° à N130° senestres, les fractures N150° à N160° senestres. Cette esquisse a pu révéler des aires lithologiquement et structuralement distinctes.

La prospection minière dans le Centre-Est de la Côte d'Ivoire est une activité qui est en pleine effervescence et qui constitue un véritable atout économique pour le pays. Il s'agit, notamment, de la zone centrale constituant le sillon de Toumodi-Fêttekro (trace de la faille Brobo-N'Zi et la zone de contact entre les zones C et D) où plusieurs compagnies minières sont en exploration. La nouvelle cartographie lithostructurale proposée par cette étude et la chronologie relative des différentes failles permettront à ces compagnies de mieux cibler les structures à prospecter [36].

## 4 CONCLUSION

Pour cette étude, nous avons mis en application tous les principes qui gouvernent la réalisation d'une carte téléanalytique. Nous avons donc extrait les linéaments ainsi que le réseau hydrographique et les infrastructures à partir d'une analyse analogique complétée par des analyses numériques à l'aide de filtres. Par la suite, nous en avons déterminé les limites des ensembles lithologiques de par leur texture et leur teinte et intégré toutes ces nouvelles informations à celles déjà existantes. L'assimilation de certains linéaments à des fractures et failles a été faite sur la base de données cartographiques préexistantes et d'observations sur le terrain. Nous avons, grâce à ces différents moyens, pu obtenir une carte structurale faisant ressortir toutes les fractures majeures du Centre-Est de la Côte d'Ivoire.

Au terme de cette étude, il ressort que les directions des fractures majeures sont N00° à N10° senestres, N30° à N45° senestres, N80° à N90° dextres, N120° à N140° senestres et N150° à N160° senestres. Il faut aussi ajouter que les fractures subméridiennes sont les plus anciennes et celles de direction Est-Ouest semblent être les plus récentes.

Nous espérons que cette étude contribuera à l'étude de la cartographie lithostructurale de la région Centre-Est de la Côte d'Ivoire, aidera à redynamiser le secteur minier garant d'un meilleur rendement économique et aidera également à la prospection d'eau souterraine.

## REFERENCES


[1] N. R. Junner, "Geology of the Gold Coast and Western Togoland," *Bull. Gold Coast Geological Survey*, pp. 11-40 p, 1940.

[2] K. A. Plumb, "New Precambrian Time scale," *Episodes*, vol. 14, n°. 2, pp. 139-140, 1991.

[3] G. Berthoumieux, B. Tagini ., M. Gobert, and R. Casanova, "Carte géologique de la Côte d'Ivoire à 1/4000000," *Société pour le Développement Minier de la Côte d'Ivoire (SODEMI, Abidjan, Côte d'Ivoire)*, 1972.

[4] B. D. Yao, "Lithostratigraphie et pétrologie des formations birimiennes de Toumodi-Fettekro (Côte-d'Ivoire): Implication pour l'évolution pour l'évolution crustale du Paléoprotéroïque du craton Ouest-Africain," *Thèse doctorat, Université d'Orléans, France*, 191 p., 1998.

[5] B. D. Yao, "Notice explicative de la Carte géologique de la Côte d'Ivoire à 1/200000 : Feuille de M'Bahiakro,", *Mémoire de la Direction des Mines et de la Géologie*, Abidjan, Côte d'Ivoire, n°2, pp. 1-2, 1990.

[6] B. D. Yao, C. Delor, Y. Siméon, I. Diaby, G. Gadou, P. Kohou., A. Okou, S. Konaté, G. Konan, M. Vidal, A. Cocherie, A. Dommanget, J. P. Cautru, and J. C. Chiron, "Notice explicative de la Carte géologique de la Côte d'Ivoire à 1/200000, feuille de Dimbokro, NB-30-XIV," *Mémoire de la Direction des Mines et de la Géologie, Abidjan, Côte d'Ivoire*, n°6, pp. 1-2,1995a.

[7] B. D Yao., C. Delor, Y. Siméon, I. Diaby, G. Gadou, P. Kohou., A. Okou, S. Konaté, G. Konan, M. Vidal, A. Cocherie, A. Dommanget, J. P. Cautru, and J. C. Chiron, "Carte géologique de la Côte-d'Ivoire 1/200000, feuille Dimbokro, NB-30-XIV," *Direction des mines et de la géologie, Abidjan, Côte-d'Ivoire*, 1995b.

[8] S. Lemoine, "Le décrochement ductile de Brobo, un linéament éburnéen majeur, son rôle possible dans l'orogenèse éburnéenne de Côte d'Ivoire," *Compte Rendu Académie des Sciences Paris*, vol. 295, série II, pp. 601-606, 1982.

[9] S. Lemoine, "Evolution géologique de la région de Dabakala (NE de la Côte-d'Ivoire) au Protérozoïque. Possibilités d'extension au reste de la Côte-d'Ivoire et au Burkina Faso : similitudes et différences; les linéaments de Greenville-Ferkessédougou et Grand Cess-Niakaramandougou," *Thèse ès Sciences, Univ. Cl.-Ferrand, France*, 388 p., 1988.

[10] G. B. Koffi, "Possibilités et limites des images Radar ERS en cartographie géologique; Applications en Côte-d'Ivoire," *Thèse doc., Univ. Pierre et Marie Curie (Paris VI)*, 207 p., 1998.

[11] J. Y. Scanvic, P. Dutartre, and C. King, "Correlations between spatial remote sensing, geochemical and geophysical data in the western France: an integrative and orientation technique for geological mapping and ore exploration," *In: Teleki P. And Weber C Eds., Remote sensing for geological mapping, IUGS*, vol. 18, pp. 57-78, 1984.

[12] P. Guillet, J. L. Bouchez, and J. L. Vigneresse, "Le complexe granitique de Plouaret (Bretagne) : mise en évidence structurale et gravimétrique de diapirs emboîtés," *Bulletin de la Société Géologique de France*, vol. 8, n°. 4, pp. 503-513, 1985.

[13] J. Rolet, H. Yesou, and Y. Besnus, "Structures circulaires et réseaux de fractures en pays granitique. Analyse de données SPOT, Landsat TM et Seasat sur le Massif armoricain," *Bulletin de la Société Géologique de France*, vol. 164, n°. 2, pp. 199-214, 1993.

[14] G. Ouattara, "Structure du batholite de Ferkessédougou (secteur de Zuénoula, Côte-d'Ivoire) : Implications sur l'interprétation du paléoprotérozoïque d'Afrique de l'ouest à 2.1 Ga," *Thèse doctorat, Université d'Orléans, France*, 291 p., 1998.

[15] R. Touzi, A. Lopez, and P. Bousquest, "A statistical and geometrical edge detector for SAR images," *IEEE Transactions on Geoscience, Remote Sensing*, vol. 26, n°. 6, pp. 764-773, 1988.

[16] E. Nezry, A. Lopez, and R. Touzi, "Detection of structural and textural features for SAR images filtering," *in proceeding of IGARSS 91*, pp. 2169-2172, 1991.

[17] A. Lopez, E. Nezry, R. Touzi, and H. Laur, "Structure detection and statistical adaptive speckle filtering in SAR image," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 14, n°. 9, pp. 1735-1758, 1993.

[18] H. Yésou, J. C. Pion, Y. Besnus, and R. Saint-Jean, "Amélioration des données SPOT pour la cartographie structurale en milieu tropical. Exemple de la région des chapeaux de fer de Pagala Togo)," *III$^{èmes}$ Journées Scientifiques du Réseau Télédétection UREF, Toulouse*, 13-16 novembre 1990, pp. 143-164, 1993.

[19] S. M. Himyari, C. Hoepffner, M. Benzakour, and D. E. Hadani, "Etude structurale du haut atlas oriental Maroc) à l'aide de l'analyse linéamentaire des images HRV XS) de Spot," *Revue Télédétection*, vol. 02, n°. 4, pp. 243-253, 2002.

[20] J. P. Jourda, E. V. Djagoua., K. F. Kouamé, M. B. Saley., C. Gronayes, J. J. Achy, J. Biémi, and M. Razack, "Identification et cartographie des unités lithologiques et des accidents structuraux majeurs du département de Korhogo (Nord de la Côte d'Ivoire) : Apport de l'imagerie ETM+ de Landsat," Revue Télédétection, vol. 6, n°. 2, pp. 123-142, 2006.

[21] M. Y. Ta, T. Lasm, J. P. Jourda, K. F. Kouamé, and 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*, vol. 8, n°. 2, pp. 119-135, 2008.

[22] S. Djemai, A. Bendaoud, H. Haddum, K. Ouzegane, and J. R. Kienast, "Apport des images Landsat 7 ETM+ pour la cartographie géologique des terrains archéens en zone aride : Exemple du terrane de l'In Ouzzal (Hoggar occidentale, Algerie)," *III$^{èmes}$ Journées d'Animation Scientifique du réseau de Télédétection de l'AUF JAS'09, Sous le thème : «Imagerie Satellitaire Multisources : Approches Méthodologiques et Applications»*, Alger, 8-11 novembre 2009, 2009.

[23] L. Guergour, and K. Amri, "Contribution des images Landsat 7 ETM+ à la cartographie géologique et structurale du Bassin de Tin Séririne. (Tassilis Oua N Ahaggar. Hoggar). Algérie,", *III$^{èmes}$ Journées d'Animation Scientifique du réseau de Télédétection de l'AUF JAS'09, Sous le thème : «Imagerie Satellitaire Multisources : Approches Méthodologiques et Applications»*, Alger, 8-11 novembre 2009, 2009.

[24] K. F. Kouamé, T. Lasm, M. B. Saley, E. Tonyé, M. Bernier, and S. Wade, "Extraction linéamentaire par morphologie mathématique sur une image RSO de RadarSat-1 : application au socle Archéen de la Côte d'Ivoire," *III$^{èmes}$ Journées d'Animation Scientifique du réseau de Télédétection de l'AUF JAS'09, Sous le thème : «Imagerie Satellitaire Multisources : Approches Méthodologiques et Applications»*, Alger, 8-11 novembre 2009, 2009.

[25] 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 satellitales et des méthodes statistique et fractale à l'élaboration d'un système d'information hydrogéologique à référence spatiale," *Thèse de 3$^{ème}$ cycle, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire*, 194 p., 1999.

[26] K. F. Kouamé, P. Gioan, J. Biémi, and K. Affian, "Méthode de cartographie des discontinuités-images satellitales : Exemple de la région semi-montagneuse à l'ouest de la Côte d'Ivoire," *Revue Télédétection*, vol. 8, n°. 2, pp. 139-156, 1999.

[27] T. Lasm, "Hydrogéologie des réservoirs fracturés de socle : analyses statistique et géostatistique de la fracturation et des propriétés hydrauliques. Application à la région des montagnes de Côte d'Ivoire (Domaine Archéen)," *Thèse Université de Poitiers (France)*, 274 p., 2000.

[28] J. P. Faillat, "Aquifères fissurés en zone tropicale humide : structure, hydrodynamique et hydrochimie (Afrique de l'Ouest)," *Thèse de doctorat ès Sciences Naturelles, Université du Languedoc-Montpellier II, France*, 534 p., 1986.

[29] T. Lasm, and M. Razack, "Lois d'échelle dans la fracturation des roches dures cristallines et dans le réseau hydrographique associé," *Compte Rendu Académie des Sciences Paris, Science de la Terre et des planètes*, vol. 333, pp. 225-232, 2001.

[30] T. Lasm, K. F. Kouamé, N. Soro, J. P. Jourda, and J. Biémi, "Analyse géostatistique de la fracturation extraite de l'imagerie spatiale aéroportée et satellitaire. Application à la région de Man-Danané (Ouest de la Côte d'Ivoire)," *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, vol. 5, pp. 135-154, 2004.

[31] F.K. Kouamé, M. J. Penven, and B. H. Kouadio, "Contribution des images d'Aster de Terra et d'un modèle numérique d'altitude à la cartographie morphostructurale du massif des Toura (Ouest de la Côte d'Ivoire)," *Revue Télédétection*, vol. 6, n°. 2, pp. 103-121, 2006.

[32] Sodemi, "Carte géologique des indices minéraux et accidents majeurs la Côte d'Ivoire à 1/200000," 1994.

[33] K. H. Niamke, M.B. Saley, B. E. N'Dri, A. Ouattara, and J. Biemi, "Contribution à l'interprétation des linéaments par l'exploitation des pseudo images, de l'hydrographie en région tropicale humide : Cas du N'Zi-Comoé (Centre de la Côte d'Ivoire)," *European Journal of Scientific Research*, vol. 24, n°. 1, pp. 74-93, 2008.

[34] M. Koita, H. Jourde, D. Ruelland, K. Koffi, S. Pistre, and I. Savane, "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*, vol. 55, n°. 5, pp. 805-820, 2010.

[35] A. Y N'Go., T. Lasm, M. Koïta, and I. Savane, "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.

[36] G. B. Koffi, G. Ouattara, A. K. Yao, and J. P. Deroin, "Réalisation de spatio-cartes géologiques à l'aide de l'imagerie satellitale radar ERS pour une prospection minière efficace en Afrique de l'Ouest. Application aux localités de Tortiya et Tienko en Côte d'Ivoire," *Revue Photointerprétation*, n° 2008/2, pp. 19-28, 2008.