

## **Contribution de l'Imagerie Landsat 8 dans le repérage et la cartographie des linéaments aux environs de Madimba, dans l'Ouest Congolien (Kongo Central, République Démocratique du Congo)**

### **[ Contribution of Landsat 8 imagery in the detection and mapping of lineaments in the surroundings of Madimba, in West Congolian (Central Kongo, Democratic Republic of Congo) ]**

*Michael N. Yang'tshi<sup>1</sup>, Kelly K. Nzambe<sup>1</sup>, Emmanuel L. Lokilo<sup>2</sup>, Meshac B. Ngungu<sup>1</sup>, Raphael J. Matamba<sup>1</sup>, Constant M. Kunambu<sup>1</sup>, Moïse L. Luemba<sup>1</sup>, Gradi L. Kalonji<sup>1</sup>, Hervé Ndaye Mudumbi<sup>1</sup>, and Koto-te-Nyiwa Ngbolua<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Faculté de Pétrole et Gaz, BP 127 Kinshasa XI, Université de Kinshasa, RD Congo

<sup>2</sup>Faculté des Sciences, Université de Gbadolite, BP 111 Gbadolite, Nord-Ubangi, RD Congo

<sup>3</sup>Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, BP 190 Kinshasa XI, RD Congo

---

Copyright © 2018 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:** Oil blocks have been delimited by parallels and meridians squares since years up to now in DRC. This technics is not suitable and common, that is why in order to better limit the different oil blocks in the West-Congolian sedimentary basin, we used the Landsat 8 data to bring out lineaments which help to set geological structural model. Lineaments probably coming from tectonic movements have been identified throughout the surface of lithological units in the West-Congolian basin. The principal component analysis, the band ratio and some filterings helped to get more details about that. Data coming from existing maps combined with groundtruth data have been compared to teleanalytic data.

**KEYWORDS:** Band, Principal component analysis, Band ratio, lineament.

**RESUME:** La zone d'étude étant traversée par les méridiens et les parallèles, la proposition des découpages en blocs pétroliers s'est faite sans études géoscientifiques préalables et les blocs pétroliers ne sont rien d'autres que des degrés carrés. Mais les traitements d'images satellitaires Landsat 8 nous ont permis de repérer les linéaments d'origine probablement tectonique afin de ressortir un bon modèle géologique des formations. L'analyse en composantes principales, les rapports des bandes, leur filtrages ont permis d'extraire les linéaments recherchés, de les valider avec d'autres modèles en l'occurrence les validations basées sur le couplage des différentes cartes, les cartes existantes, les images SRTM et les données de terrain afin de les retenir et s'en servir pour une bonne pré-exploration.

**MOTS-CLEFS:** Bandes, Analyse en Composantes Principales, Rapport des bandes, Rehaussement.

## **1 INTRODUCTION**

Dans la recherche de l'Or noir, la pré-exploration est l'étape, dans la recherche Pétrolière, sur base de laquelle on doit normalement procéder au découpage en blocs d'un bassin et à leur mise en valeur en montrant les intérêts pétroliers probables qu'ils regorgent. Et ceci, dans le but de faire la modélisation d'un système pétrolier efficace, ayant probablement généré et

piégé les hydrocarbures, dont l'un des éléments les plus importants est « le modèle géologique des formations » regroupant la migration, le piégeage et les structures dont font partie les linéaments. Les linéaments, sont des traits linéaires simples ou composés, décelés en surface et dont les différentes parties alignées selon une droite ou une courbe reflètent éventuellement un phénomène engendré à des profondeurs de la surface [1] ; et étant l'ensemble de lignes qui montrent l'expression, en surface, des fractures de tout genre et de toute origine, y compris les failles, leur repérage entre de ce fait dans la mise en évidence du modèle géologique des formations.

La proposition du découpage en blocs du bassin de l'Ouest Congolien s'étant faite de façon arbitraire et sans aucune bonne base des travaux scientifiques de reconnaissance de terrain (elle est faite sur base des degrés carrés de la zone), elle ne présente donc aucun intérêt pétrolier de la zone. De plus, la géologie de surface qui est connue depuis 1925 comme la seule méthode de la recherche des pièges structuraux [2] ne nous permettra pas d'extraire les linéaments de la zone en un temps record, avec la grande précision voulue en vue d'en connaître la répartition et d'en faire probablement une étude quant à leur évolution spatio-temporelle.

Cette étude vise à promouvoir les méthodes de la télédétection pour la pré-exploration du bassin de l'Ouest Congolien, se rapportant à une recherche des linéaments et à l'étude de leurs comportements spatiaux, à l'aide des traitements d'images satellitaires Landsat 8.

## 2 MILIEU, MATERIELS ET METHODES

### 2.1 MILIEU

Notre zone d'étude est située dans la Province du Kongo Central. Sa grande partie est située au Nord-Ouest du territoire de Madimba et sa partie Nord entre dans la partie Sud-Est du territoire de Kasangulu. Elle a une superficie de 347,0771 Km<sup>2</sup>. Ses coordonnées géographiques sont comprises entre les coordonnées suivantes :

- X min : 15°25'00'' E
- X max : 15°38'00'' E
- Y min : 05°01'00'' S
- Y max : 04°52'00'' S

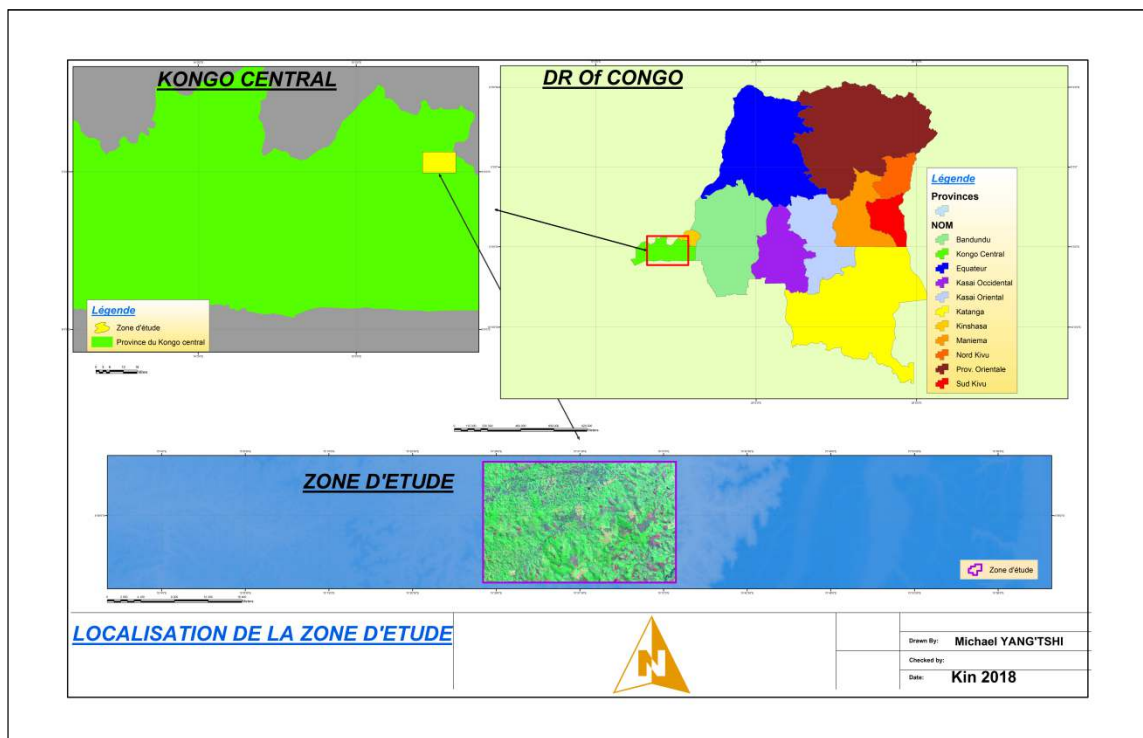


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

## 2.2 MATERIELS ET METHODES

### ❖ MATERIELS

Les principaux matériels utilisés dans ce travail pour le traitement, sans lesquels nous n'atteindrions pas nos objectifs, sont : Les images satellitaires et deux cartes géologiques couvrant la zone d'étude (feuilles de Léopoldville). Les progrès majeurs réalisés en Sciences de l'Ingénieur ces dernières années sont dus pour une grande part à l'avènement des outils remarquables tant sur le plan de l'acquisition que de l'analyse des données [3]. D'où, le recourt à une panoplie de logiciels a permis le traitement des données.

#### ○ TYPES D'IMAGES UTILISEES

##### - LES IMAGES LANDSAT 8

Les images utilisées dans cette étude sont les images LANDSAT 8. Ce sont des images multispectrales de la famille de Landsat dont beaucoup sont disponibles gratuitement sur un certain nombre de sites web dont [landsat.gsfc.nasa.gov/](http://landsat.gsfc.nasa.gov/). Leur utilisation est moins ludique que celle des images produites par Google earth où l'on se retrouve directement face à une réalité. Cependant, les possibilités qu'elles offrent sont supérieures dans le sens où l'on dispose des données de base avec toute leur information multispectrale, et la possibilité de les traiter en fonction des besoins des utilisateurs, en particulier pour la confection des cartes spatiales répondant aux besoins des utilisateurs.

Elles contiennent 11 bandes spectrales dont la plupart ont une résolution spatiale de 30 m contre 80 m pour les images Landsat des générations antérieures.

Tableau 1. Caractéristiques de l'image Landsat 8

Bandes	Bandes spectrales	Longueur d'ondes	Résolution spatiale
Bande 1	Côtière	0,435-0,451 $\mu\text{m}$	30 m
Bande 2	Bleu (visible)	0,452-0,512 $\mu\text{m}$	30 m
Bande 3	Vert (visible)	0,533-0,590 $\mu\text{m}$	30 m
Bande 4	Rouge (visible)	0,636-0,673 $\mu\text{m}$	30 m
Bande 5	PIR	0,851-0,859 $\mu\text{m}$	30 m
Bande 6	IR moyen	1,566-1,651 $\mu\text{m}$	30 m
Bande 10	IR Thermique/ lointain	10,60-11,19 $\mu\text{m}$	100 m
Bande 11	IR Thermique/ lointain	11,50-12,51 $\mu\text{m}$	100 m
Bande 7	IR moyen	2,107-2,294 $\mu\text{m}$	30 m
Bande 8	Panchromatique	0,503-0,676 $\mu\text{m}$	15 m
Bande 9	Cirrus	1,363-1,384 $\mu\text{m}$	30 m

##### - LES IMAGES SRTM

Les images SRTM sont des images des satellites topographiques obtenues par le système radar appelé Shuttle Radar Topography Mission. Elles ont servi pour l'extraction de certains linéaments et pour la validation des autres linéaments en Modèle Numérique de Terrain.

Les images SRTM sont couramment utilisées pour l'aménagement du territoire, la topographie, la génération des Modèles Numériques de Terrain, des applications complexes en Hydrologies (calcul des débits, délimitation des bassins versants) etc.

❖ METHODOLOGIE DU TRAITEMENT

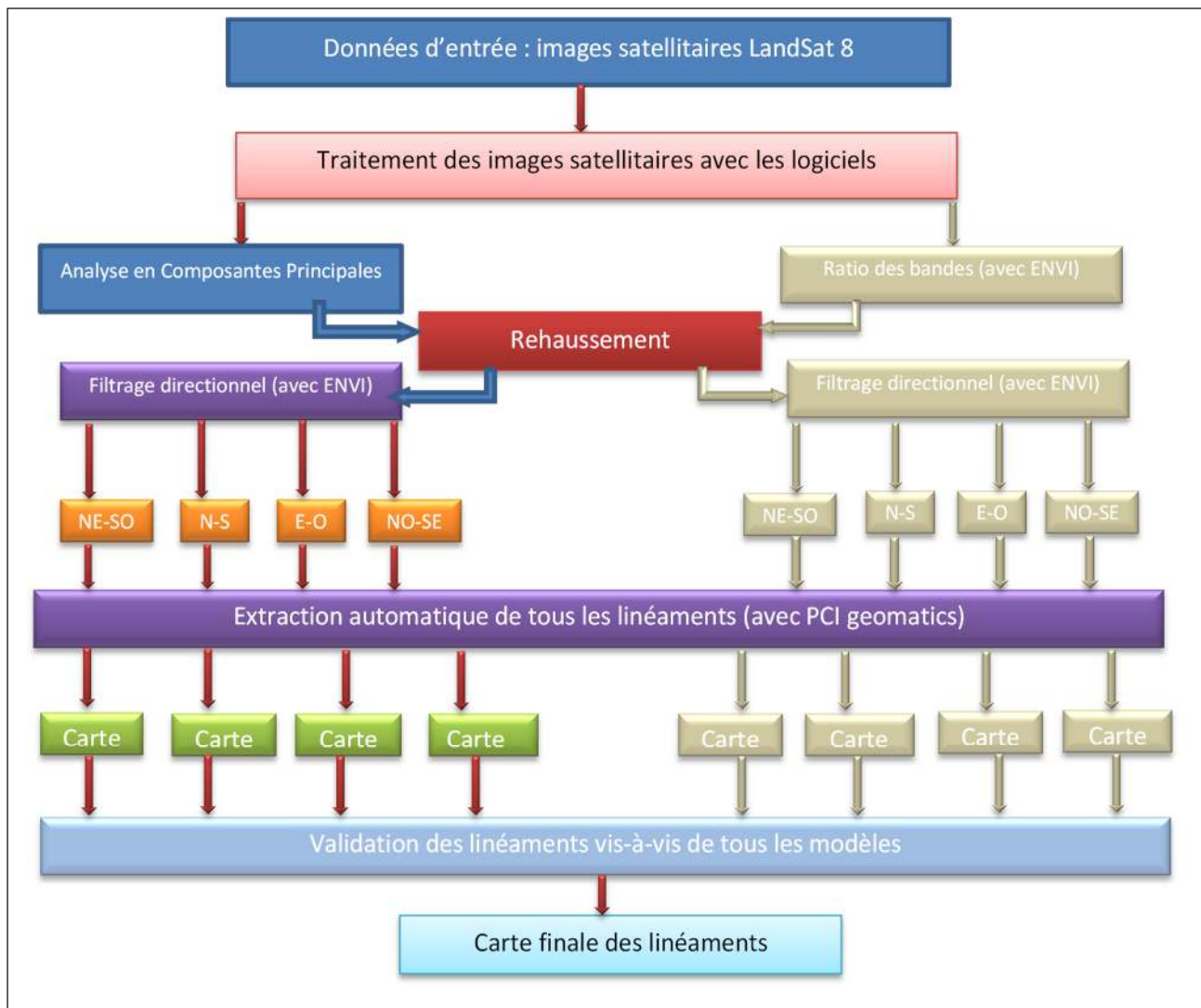


Fig. 2. Plan de traitement

3 TRAITEMENTS, RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 TRAITEMENTS

❖ REHAUSSEMENT DES LINEAMENTS

Le rehaussement des linéaments revient à mettre en évidence les fortes transitions de réflectance dans l'image et les hautes fréquences spatiales qui leur sont généralement associées [4].

Pour rehausser les linéaments, les images ont subi des traitements par deux techniques permettant d'avoir des résultats plus fiables. Il s'agit de la création de nouveaux canaux (néo-canaux) et des recettes des bandes (rapport des bandes pour notre cas). C'est à la suite de ces deux techniques que les linéaments ont été rehaussés par filtrage.

○ CREATION DES NEO-CANAUX

Puisque les données de différentes bandes multispectrales ont souvent une corrélation très élevée et contiennent de l'information similaire, il est parfois intéressant de créer de nouveaux canaux (néo-canaux) à partir d'images initiales pour avoir

une information concise des bandes précédentes. L'une des techniques de création des nouveaux canaux est l'analyse en composantes principales [5]. Nous nous en sommes servis dans ce travail pour cet exercice de rehaussement des linéaments.

L'analyse en composantes principales est une technique efficace d'accentuation d'une image multispectrale pour des fins d'interprétation géologique. C'est une méthode de la famille de l'analyse des données et plus généralement de la statistique multivariée, qui consiste à transformer des variables liées entre elles (dites "corrélées" en statistique) en nouvelles variables, appelées "composantes principales" ou "axes principaux", non corrélées les unes des autres. Dans ce cadre, elle permet donc de réduire l'information contenue dans plusieurs bandes, parfois hautement corrélées (d'où la redondance de l'information) en un nombre plus restreint de composantes. Les nouvelles composantes représentent généralement jusqu'à 97% de l'ensemble de données originales ou initiales [6].

Nous sommes partis de 7 bandes TM (bande 1, bande 2, bande 3, bande 4, bande 5, bande 6 et bande 7) pour 3 canaux CP1, CP2 et CP3 (Figure 3.a) qui contiennent plus de 97% des informations des bandes initiales.

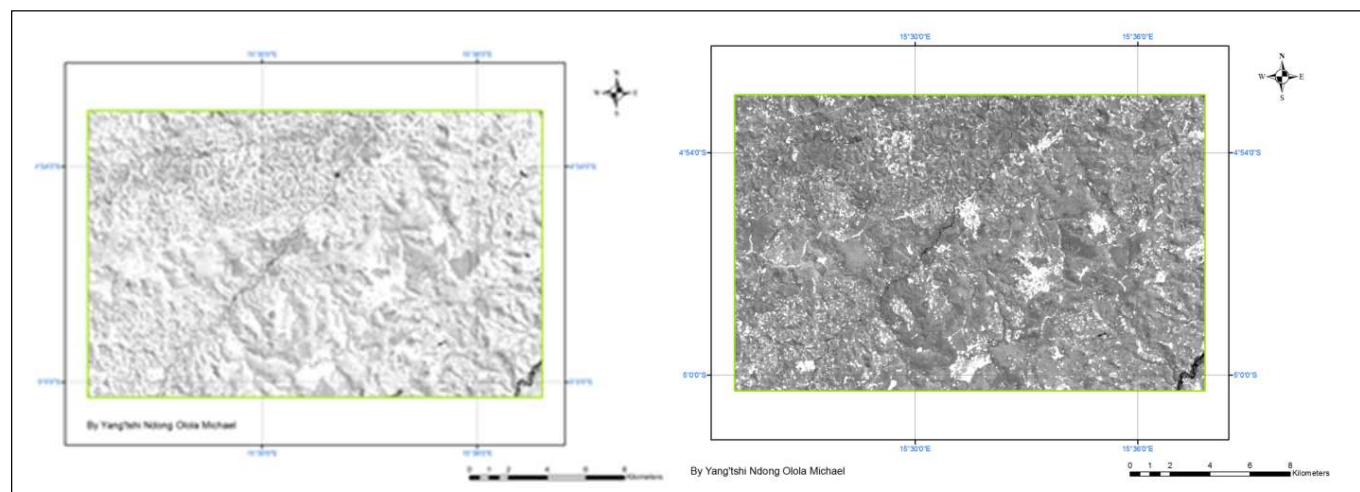
#### ○ LES RAPPORTS DES BANDES

Le rapport des bandes consiste en la division de la valeur radiométrique d'un pixel dans une bande par la valeur radiométrique d'un pixel dans une autre bande. Il marque aussi dans certains cas la différence entre les linéaments stratigraphiques et les réseaux de drainage. Ce rapport réduit les effets de la topographie et augmente le contraste entre les surfaces minérales. Mais cela ne suffit toujours pas pour rehausser les linéaments parce qu'ils sont confondus à d'autres structures géologiques. Le rapport peut se faire entre deux bandes simples, ou même entre des rapports déjà faits préalablement.

En pratique, trois rapports de bandes sont utilisés pour obtenir une image en RVB.

Voici quelques rapports de bandes que nous avons utilisés dans cette analyse, et leurs réponses :

- Le 4/5 donne une bonne discrimination de l'eau et des linéaments. Il donne une image où l'effet topographique est annulé, les rivières sont rehaussées et présentées en teinte blanche.
- Les 3/5 et 4/6 donnent les linéaments stratigraphiques en relief et les réseaux de drainage en creux.
- Le 5/2 donne aussi une bonne discrimination de l'eau et des linéaments
- Les 7/3 et 6/3 permettent de ressortir aussi quelques linéaments.



**Fig. 3. (a) à gauche, image de la PC3 ; (b) à droite, image du rapport 7/3**

#### ○ LES FILTRAGES

Le filtrage est une technique visant à éliminer le bruit contenu dans les données, ce dernier étant défini comme toute donnée non utile qui masque l'information. En géologie, on s'intéresse à la découverte dans l'image, des discontinuités dans les textures comme par exemple les contours de zones relativement homogènes, ce qui peut révéler la présence de failles ou de fractures. Ainsi, filtrer une image c'est lui appliquer une fonction mathématique qui modifie les valeurs du gris des pixels. Si

la fonction est linéaire on parle de filtrage linéaire, si elle prend en compte les valeurs du gris au voisinage de chaque pixel transformé, elle est dite fonction de convolution [7].

En effet, le filtrage spatial par convolution permet de modifier la valeur numérique d'un pixel selon sa relation avec les valeurs des pixels voisins. Le niveau de gris de chaque pixel à l'intérieur de la fenêtre mobile sur l'image est multiplié par la valeur correspondante de la matrice de convolution. La valeur finale attribuée au pixel central représente la somme de ce produit divisée par le nombre d'éléments de la fenêtre. L'image résultante provient de la convolution de la fenêtre sur l'image entière [8]. Il y a plusieurs fenêtres qui traduisent les types de matrices utilisées. La fenêtre 3 x 3, 5 x 5, 7 x 7, etc. Dans le filtrage de nos images, nous avons choisi la fenêtre 5x5 parce que plusieurs auteurs tels que Homsby et Bruce [9], ont retenu des fenêtres de 5 x 5 sur les images Landsat dont la résolution au sol est de 30 m x 30 m pour des études structurales à l'échelle régionale.

Il y a beaucoup de types des filtres utilisés en télédétection, parmi lesquels nous pouvons citer le filtre passe-haut, le filtre passe-bas, le filtre moyen, le filtre médian, le filtre Laplacien, le filtre gradient, le filtre directionnel. Pour filtrer les images, nous nous sommes servis du filtre directionnel de (SOBEL) pour les réponses qui en sont issues et pour les avantages qu'ils présentent. Ils améliorent la perception des linéaments en provoquant un effet optique d'ombre portée sur l'image comme si elle était éclairée par une lumière rasante [10]. De plus, ce type de filtre permet de rehausser les linéaments qui ne sont pas favorisés par la source d'éclairage [11].

Pour ne pas manquer une grande partie des linéaments orientés selon une direction quelconque, et pour tenter de rehausser les linéaments orientés dans toutes les directions sur le secteur d'étude, nous avons procédé à plusieurs filtrages dans 4 directions préférentielles : N-S ; E-O ; NE-SO ; NO-SE.

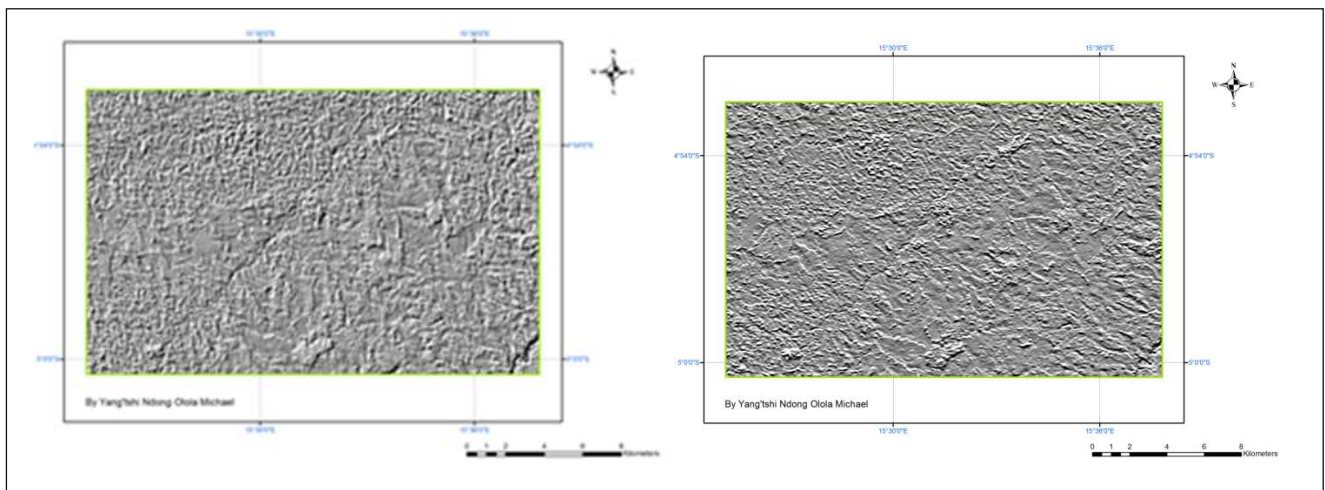


Fig. 4. (a) à gauche, image du PC 1 filtré à 45° ; (b) à droite, image du rapport 6/3 filtré à 90°

#### ❖ EXTRACTION DES LINEAMENTS

Le rehaussement des linéaments est toujours dans la plupart des cas, suivi des méthodes d'extraction. Après les différentes applications faites pour rehausser les linéaments, nous les avons extraits pour qu'ils soient visibles aussi bien pour nous qui les avons traités que pour quiconque veut les voir sans beaucoup de peine et sans avoir besoin des notions et même sans s'être habitué à les visualiser directement sur une image traitée de différentes façons vues ci-haut.

L'extraction automatique fait appel à des méthodes totalement assistées par ordinateur pour une extraction des linéaments, à l'aide des logiciels appropriés, dont le plus utilisé est PCI Géomatics, via son algorithme LINE.

L'extraction s'est faite en deux phases. La première est celle faite sur les images Landsat filtrées dans toutes les orientations comme présentée ci-dessous pour quelques directions. La deuxième phase est celle faite sur les images SRTM en relief ombragé dans le cadre de la validation que nous évoquerons dans la suite.



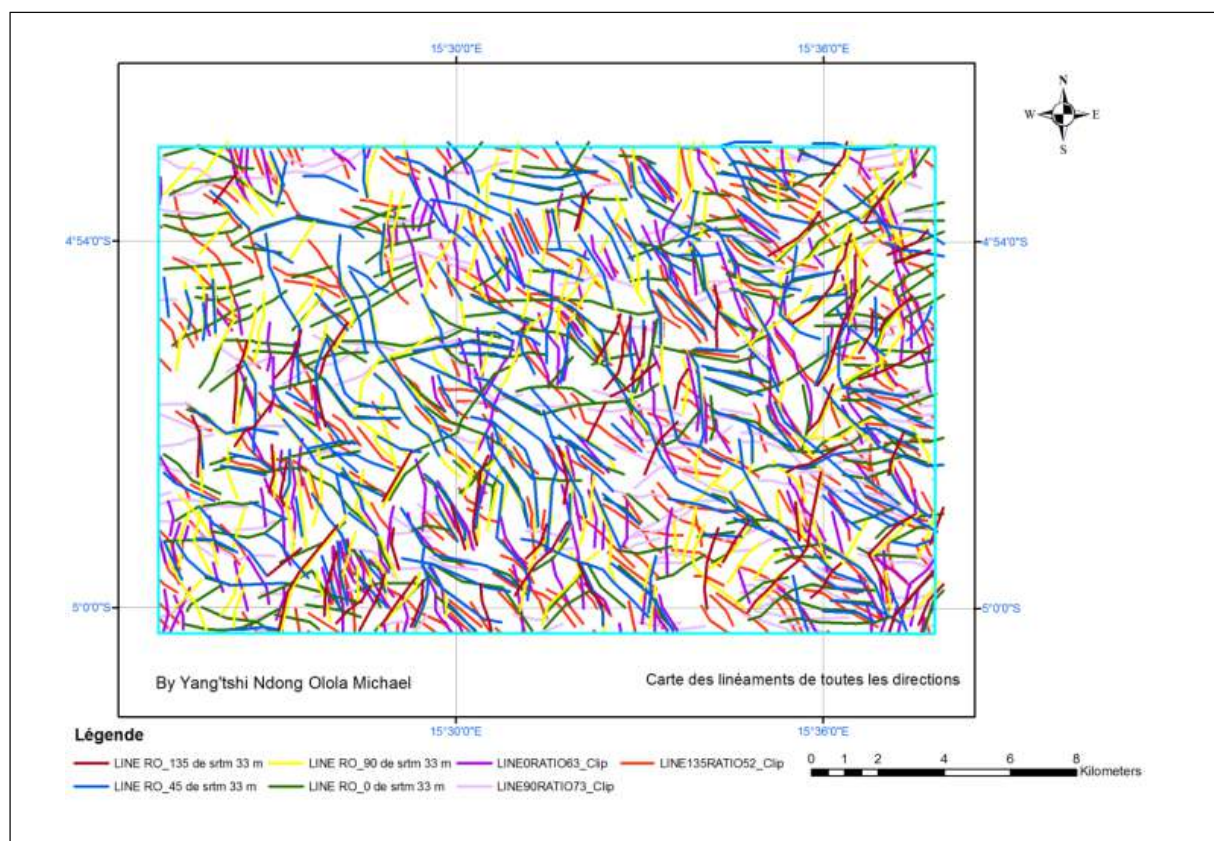


Fig. 5. Carte des linéaments extraits dans toutes les directions

#### ○ LES VALIDATIONS

La validation dans notre travail a servi de confrontation, des résultats des divers traitements effectués jusqu'ici, avec les documents géoscientifiques qui existent déjà sur la région, le modèle hydrographique de la région extrait des images SRTM, la réalité du terrain afin d'avoir le résultat final recherché. C'est ce que nous avons traité de « modèles ».

#### - VALIDATION VIS-A-VIS DU COUPLAGE DE DIFFERENTES CARTES TRAITÉES

Cette façon de valider, est très fastidieuse, mais elle en vaut la peine. C'est une agrégation de tous les linéaments qui permet de diminuer le nombre de linéaments et de ne conserver que les linéaments jugés significatifs, soit ceux qui ont été observés sur plusieurs couches. Pour qu'un linéament soit compilé, il doit être visible sur un minimum de 3 couches ou 2 couches avec un degré de visibilité élevé.

Cette agrégation de linéaments a permis d'en rallonger certains, car leurs segments donnés en ligne les uns avec les autres sur plusieurs couches ont ainsi été raboutés pour ne former qu'un linéament. Cette opération nous a permis d'avoir la carte synthèse des linéaments majeurs, non encore validés par les différents modèles. Son avantage est qu'elle nous a facilités de valider les linéaments de la carte synthèse, au lieu de valider plusieurs cartes.





De plus, nous gardons toujours à l'esprit que les cours d'eau rectilignes sont en fait l'expression en surface des failles [12].

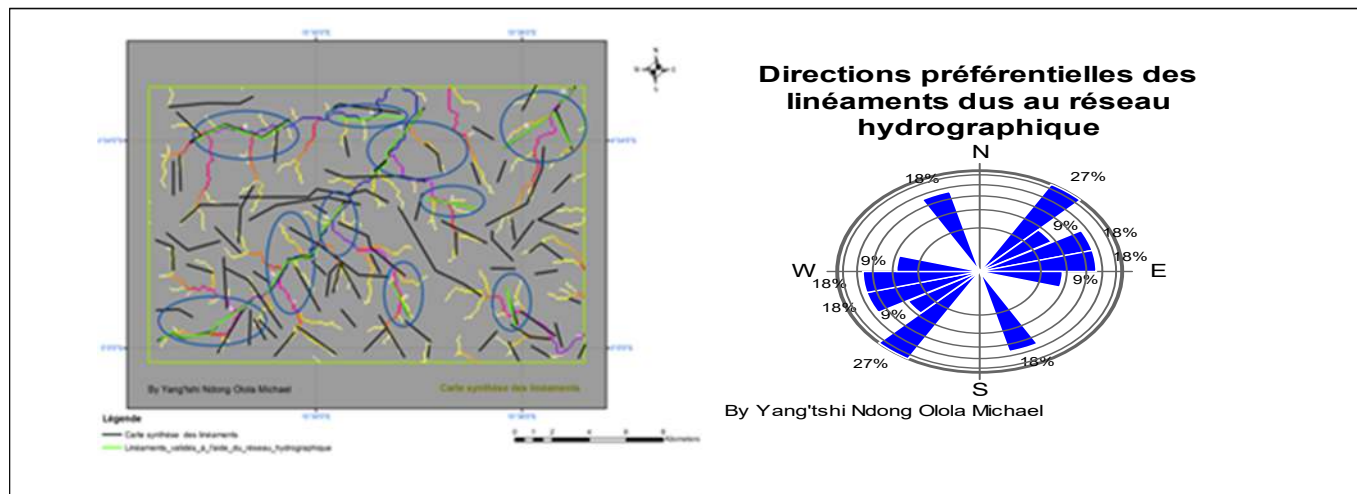


Fig. 8. (a) à gauche, Carte des linéaments validés sur le réseau hydrographique; (b) à droite, directions des linéaments

- VALIDATION DES LINEAMENTS VIS-A-VIS DES DONNEES DE TERRAIN

Notre étude a été appuyée par une descente de terrain dans la localité de Mbamba Kilenda, pour une durée de 5 jours, à la recherche des données de validation des résultats de nos traitements. L'idée cachée derrière cette descente sur terrain est celle de rencontrer physiquement les linéaments qu'on peut reconnaître à l'œil nu, les linéaments connus, déjà cartographiés, ou ceux d'une grande importance sur le plan géologique, à l'instar de la faille de Mbamba kilenda qui est connue à cause de son importance due à sa minéralisation.

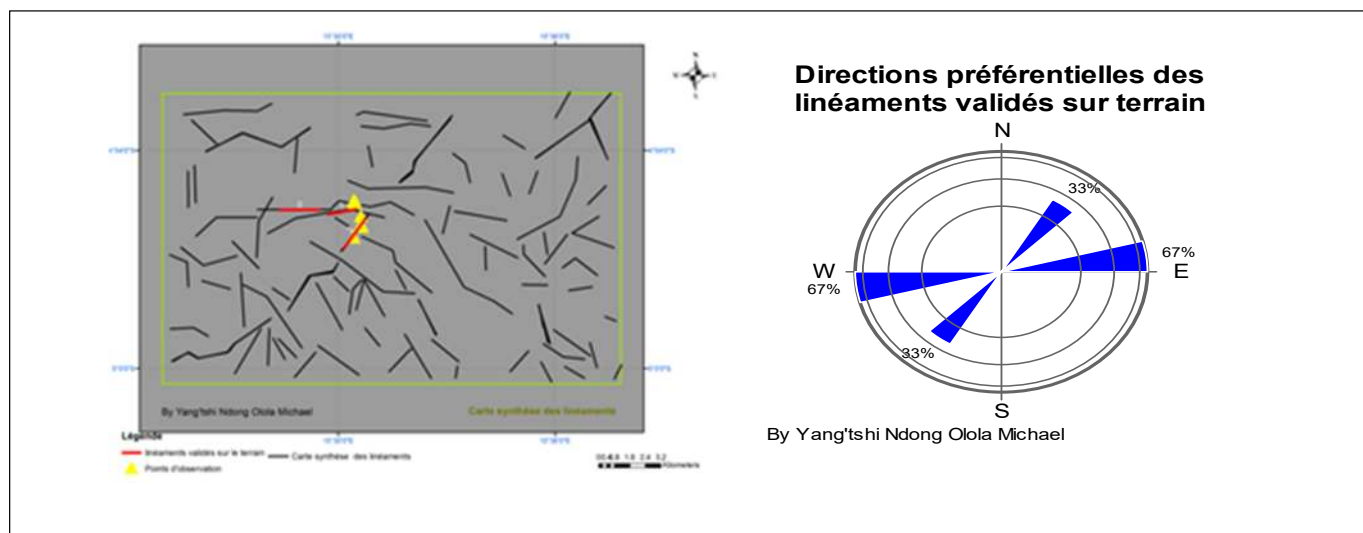


Fig. 9. (a) à gauche, Carte des linéaments validés sur terrain; (b) à droite, directions des linéaments

### 3.2 RESULTAT FINAL

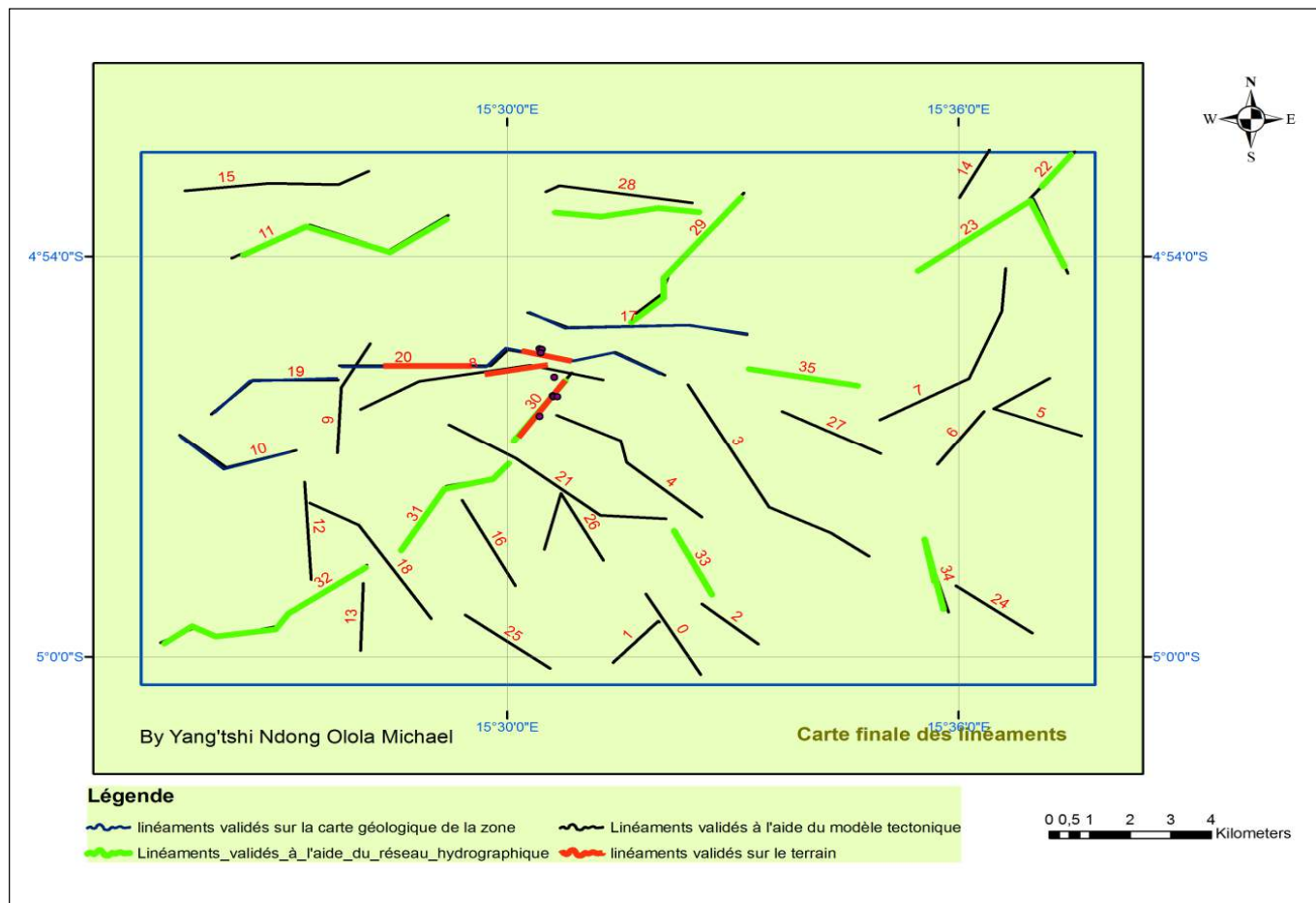


Fig. 10. Carte finale des linéaments et directions des linéaments

## 4 CONCLUSION

A la fin des traitements, il est clair que la zone étudiée a été sollicitée par des événements tectoniques ; la présence des fractures est certaine et n'est plus à démontrer. Les données de terrain ne sont venues que confirmer les résultats obtenus lors des divers traitements. Ainsi, une campagne de terrain pour la vérification des résultats des traitements est toujours applicable.

Tous les traitements effectués dans ce travail ont finalement aidé à avoir la carte finale des linéaments de la zone d'étude. La plupart des linéaments présents sur cette carte sont d'origine tectonique très probable. Les autres linéaments non-validés sur l'un des modèles présentés, sont directement attribués au mouvement tectonique et sont sujet des recherches approfondies sur terrain.

## REFERENCES

- [1] O'Leary, D. W., Friedman, J.D. and Pohn, H.A., 1976. Lineament, linear, lineation: Some proposed new standards for old terms. Geological Society of America Bulletin, octobre 1976, vol. 87, pp.1463-1469.
- [2] Guillemot, J., 1964. Cours de géologie du Pétrole. Cours de l'école nationale supérieure du pétrole et des moteurs. Société des éditions Technip, 321p.
- [3] Matamba, R., 2014. Cours d'Informatique appliquée à l'industrie pétrolière, Grade 1 Pétrole et Gaz/ Unikin. 77p.

- [4] Coulibaly, L., 1996. Interprétation structurale des linéaments par traitement d'images satellitaires : cas des sous-provinces d'Abitibi et d'Opatika (Quebec). Mémoire de maîtrise, Département de géographie et télédétection, Université de Sherbrooke, Québec, Canada. p.18
- [5] Antoine, D., 2013. Travaux Pratiques de télédétection spatiale, Arlon Campus Environnement, Université de Liège, Belgique, 84p.
- [6] Deslandes, S., 1989. Initiation aux méthodes de traitement numérique des images satellites, sur le système PCI Inc., EASUPACE. CARTEL. 32p.
- [7] Narimene I., 2012. Utilisation de la télédétection pour la cartographie géologique du Massif des Eglab et de sa bordure sédimentaire (Sud-Ouest algérien). Exemple de la feuille de Mokrid, mémoire master inédit, Département des sciences de la terre, Université Ferhat Abbas – Setif, Algérie.
- [8] Moore, G. and Frederick, W., 1986. Objective procedure for lineament enhancement and extraction. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 49, p. 461-467.
- [9] Homsby, J. and Bruce B., 1985. A preliminary analysis of Landsat MSS and TM data in the Levack area, sudbury, Canada. IGARSS Remote sensing instrumentation: technology for science and application, oct 7-9, University of Massachusets, Amherst, pp. 131 – 140.
- [10] Marion, A. (1987) Introduction aux techniques de traitement d'image. Paris, éditions Eyrolles.
- [11] Drury, S.A., 1986. Remote Sensing of Geological Structure in Temperate agricultural Terrain. Geological Magazine, vol. 123, no. 2. pp. 113- 121.
- [12] Ronteix, S., 1986. « La fracturation des roches et la prospection hydrogéologique », Bureau de Recherche Géologiques et Minières (BRGM), Service Géologique National de France.