

Apport des images satellites Landsat7 ETM+ et SRTM pour la cartographie lithostructurale : implication des discontinuités structurales sur la mise en place des dykes de dolérite de Mbaoussi, Plateau de l'Adamaoua, Cameroun

Pierre Dogsaye DOURWE¹, Oumarou Faarouk NKOUANDOU^{1*}, Jacques - Marie BARDINTZEFF², Bernard BONIN², Alembert Alexandre GANWA¹ et Aminatou Mefire FAGNY¹

¹ Université de Ngaoundéré, Faculté des Sciences, Département des Sciences de la Terre, Laboratoire de Pétrologie, Cartographie, Géochimie BP 454 Ngaoundéré, Cameroun

² Université Paris-Sud, Sciences de la Terre, Volcanologie, Planétologie, UMR CNRS 8148 GEOPS, Bât. 504

* Correspondance, courriel : ofaarouk@yahoo.fr

Résumé

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'apport des images satellite dans la cartographie des unités lithostructurales de la région de Mbaoussi, située sur le plateau de l'Adamaoua. L'utilisation des images Landsat7 brutes et traitées par les compositions colorées couplées aux travaux de terrain permettent de discriminer et de délimiter les grandes formations géologiques qui affleurent dans la région. Les signatures spectrales des différentes formations laissent observer un pic absorption sur la bande 7 et une forte réflectance sur la bande 4, respectivement liés à la présence des minéraux hydroxylés de fer et des minéraux anhydres. Le filtrage et le rehaussement appliqués à l'image SRTM permet d'identifier les linéaments structuraux et de réaliser la carte des segments linéaires et d'extraire 283 linéaments disposés suivant les directions majeures (NE-SW, NW-SE, NNW-SSE) et secondaires (ENE-WSW, WNW-ESE). Ces différentes directions sont celles des grandes cassures tectoniques qui ont affecté le socle du plateau de l'Adamaoua et de la sous-région d'Afrique Centrale. Il en résulte que la mise en place des filons de dolérite de Mbaoussi est le résultat d'une ou de plusieurs épisodes tectoniques post-panafricaines qui ont affecté le socle précambrien du domaine central de la chaîne panafricaine.

Mots-clés : *images satellite, linéament, signatures spectrales, Landsat7 ETM+, SRTM, plateau de l'Adamaoua.*

Abstract

Contribution of Landsat7 ETM + and SRTM satellite images for lithostructural mapping : Implication of structural discontinuities on the occurrence of Mbaoussi dolerite dykes, Adamawa plateau, Cameroon

This work aims to evaluate the contribution of satellite images in the mapping of lithostructural units of the Mbaoussi region in Adamawa plateau (Cameroon). The use of raw Landsat7 images processed by the colored compositions coupled with the field work made it possible to discriminate and delimit the large geological formations that outcrop in the region. The spectral signatures of the different formations let observe a peak absorption on the band 7 and a strong reflectance on the band 4, respectively related to the presence of the

iron hydrous and anhydrous minerals. The filtering and the enhancement applied to the SRTM image enable the extraction of 283 majors and secondary lineaments of NE-SW, NW-SE, NNW-SSE and ENE-WSW and WNW-ESE directions, respectively. These different directions have been identified as those of Adamawa Plateau and the Central African faults. It seems that the occurrence of the Mbaoussi dolerite dykes is the result of one or more post-Pan African tectonic episodes that have affected the Precambrian basement of the central domain of the pan-African chain.

Keywords : *satellite images, lineaments, spectral signatures, color composition, Landsat7 ETM +, SRTM, Adamawa plateau.*

1. Introduction

Depuis une soixantaine d'année, l'établissement des cartes topographiques et géologiques était basé sur les méthodes classiques des photographies aériennes en mode analogique. Cette méthode de cartographie très limitée lors des campagnes de terrain ne permet pas d'identifier des affleurements discontinus et inaccessibles par rapport aux reliefs escarpés, de résoudre le problème des conditions climatiques défavorables et de l'inaccessibilité à certains endroits pour des raisons d'insécurité ou d'apporter une solution aux moyens financiers pas toujours disponibles. La cartographie géologique a connu une révolution marquée par l'avènement de la télédétection, grâce à l'exploitation des images satellite qui permettent une identification plus précise des affleurements et des linéaments du socle. Les cartes topographiques et géologiques existantes, bien que largement utilisées, demeurent du domaine de reconnaissance et, ne peuvent fournir que des informations imprécises et très approximatives. Le problème de l'établissement des cartes géologiques des pays africains et en particulier du Cameroun fait actuellement l'objet de plusieurs appels d'offre dans la perspective d'un développement durable. La nouvelle forme de cartographie largement utilisée ailleurs est incontournable pour certaines régions d'Afrique centrale d'accès difficile, comme c'est le cas dans la région de Mbaoussi, située sur le plateau de l'Adamaoua. L'utilisation des images satellites et des techniques de la télédétection pour la cartographie géologique dans cette région n'est pas encore réalisée. La carte géologique de Mbaoussi établie par [1] bien qu'ayant utilisé les données GPS ne montre pas les limites des affleurements discontinus des formations géologiques lors des traitements d'image pour les raisons mentionnées ci-dessus. Le couplage des données de la télédétection avec celles de terrain (mesures directes et données GPS) est la méthode qui permettra de proposer une carte lithostructurale et topographique fiable de la région de Mbaoussi au Nord-Est de Ngaoundéré. L'objectif de ce travail consiste à l'aide de l'imagerie satellitaire Landsat7 ETM+, SRTM et des logiciels de SIG : 1) à analyser la discrimination lithologique par l'utilisation des compositions colorées et 2) d'extraire les discontinuités structurales du socle de Mbaoussi.

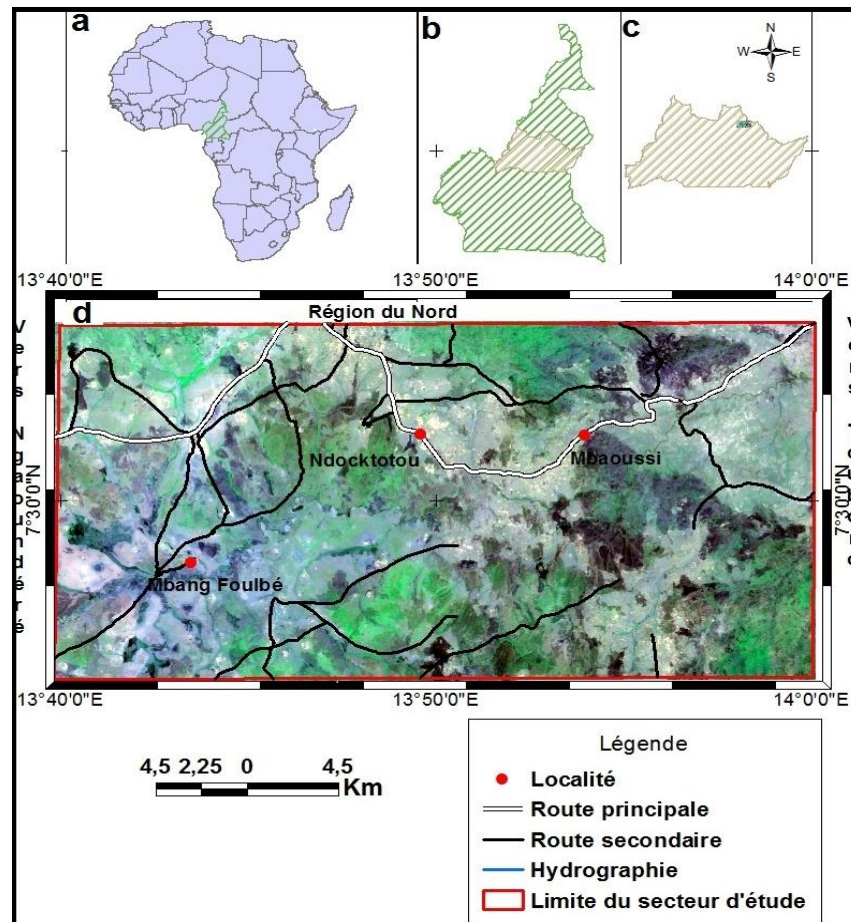


Figure 1 : Carte de localisation du secteur d'étude réalisée à partir de l'image Landsat7 ETM+ en fausse couleur

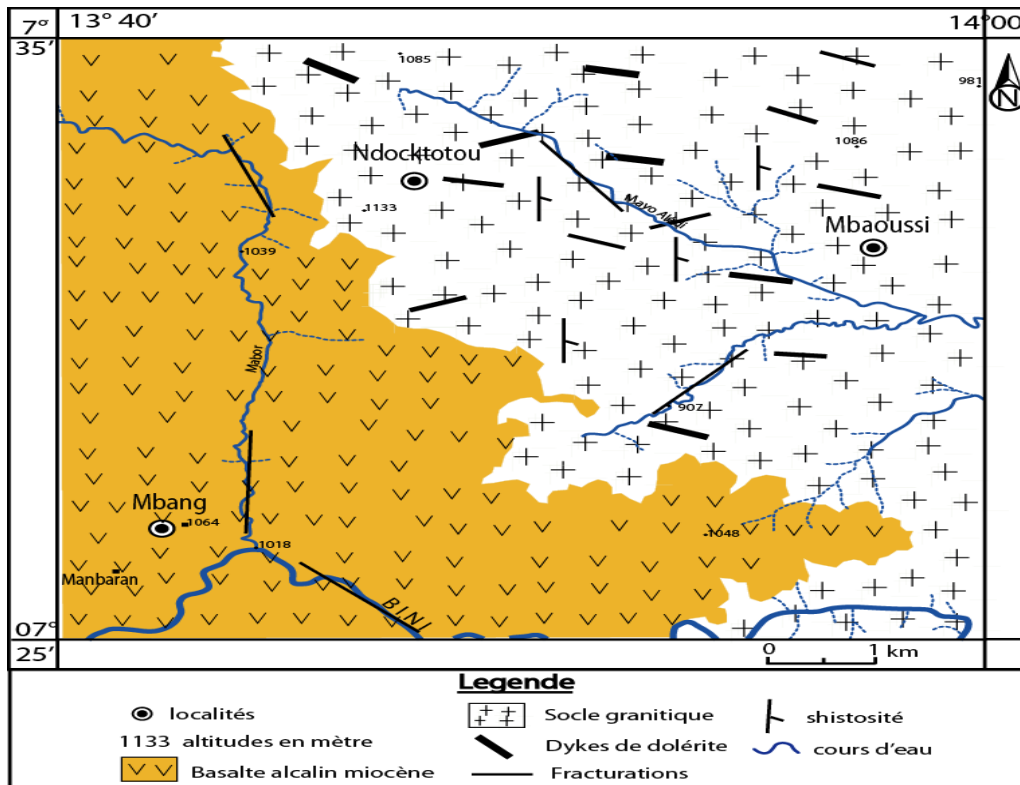
2. Contexte géologique régional

La zone d'étude est située au Nord-est de Ngaoundéré entre les latitudes $7^{\circ}25$ et $7^{\circ}35$, et les longitudes $13^{\circ}40$ et $14^{\circ}00$ (**Figure 1**). La région de Mbaoussi est constituée des massifs plutoniques et volcaniques et, est drainée par quelques ruisseaux et de cours d'eau dendritiques (Maboro, le Mayo-Alédi, le Gora-Sagap). Elle a un climat tropical de type soudano-guinéen et présente des zones tabulaires disposées en «escalier» servant de pâturage. Des plateaux séparés par des vallées drainées marquent le relief [2]. Cette configuration est affectée par quelques grands accidents tectoniques à l'origine des escarpements comme celui qui abrite la «chute de Mbaoussi» au Sud. Le volcan «Mbaoussi» qui marque le relief est constitué de quatre cônes basaltiques dont les plus hautes altitudes atteignent 1150 m. Les produits volcaniques sont regroupés en deux types d'après les travaux de [3] : (1) les basaltes alcalins à composition de basanite et relativement plus «anciens» constituent les coulées inférieures, couvertes (2) par les venues basaltiques plus «récentes» qui forment les coulées supérieures. Le socle de Mbaoussi est constitué des massifs granitiques post panafricains non déformés et des formations encaissantes syn-tectoniques déformées d'âge Th—U—Pb de 575 ± 27 Ma, respectivement [4, 5]. Ils regroupent respectivement les granites à hornblende et biotite $\pm$ muscovite et les granites à biotite. Des fenêtres de roches métamorphiques de composition gneissique sont observées au Nord-Est de Mbaoussi. Le plateau de l'Adamaoua, où se situe la localité de Mbaoussi, fait partie du domaine central de la chaîne orogénique d'Afrique centrale (COAC) au Cameroun appelé Domaine Adamaoua-Yadé [6]. Il est assimilé à un horst volcano-tectonique d'âge cénozoïque d'altitude moyenne 1100 m, limité au Nord par la faille de Ngaoundéré et au Sud par la faille de Mbéré-Djérem [7]. Le horst est constitué par plus de sept (7) blocs métacratoniques précambriens situés à différentes altitudes et délimités par des cisaillements ductiles

de direction dominante NE-SW, N70°E et N130-140°E [8 - 11]. Les granitoïdes plus ou moins déformés d'âge panafricain [4, 12] sont mis en place dans les orthogneiss et schistes d'âge paléoprotérozoïque à néoprotérozoïque [13 - 15]. Il s'agit d'un socle découpé par de nombreuses failles [16, 17] et recouvert à certains endroits par des formations sédimentaires d'âge crétacé et des formations volcaniques d'âge cénozoïque [18 - 20]. La principale discontinuité qui traverse le plateau de l'Adamaoua est le cisaillement d'Afrique Centrale (ZCAC) qui s'étend sur environ 2000 km jusqu'au Soudan [17]. Une étude structurale réalisée sur les bordures Nord et Sud du plateau [7] met en évidence : (1) une phase de raccourcissement (P1) WNW-ESE, en régime décrochant qui fait jouer en coulissement dextre les failles mylonitiques panafricaines de directions N70°E correspondant aux cisaillements centraux africains [21], (2) une phase distensive (P2) NNE-SSW et (3) une phase compressive (P3) NW-SE [22]. Une distension subméridienne au Cénozoïque a facilité la surrection des horsts de l'Adamaoua avec l'activité volcanique et a accentué l'effondrement du fossé de Djérém et de Mbéré [22].

3. Matériel et méthodes

La télédétection est l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci [23]. Le processus de la télédétection consiste à capter et enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et analyser l'information qu'il représente, pour ensuite mettre en application cette information. Il représente une excellente source d'information nécessaire pour la cartographie lithologique et structurale d'une région donnée [24, 25]. La présente étude est fondée sur l'interprétation des compositions colorées sur images originelles, les signatures spectrales, le filtrage et le rehaussement des images. Des traitements sont appliqués sur les images Landsat 7 ETM+ dans l'optique de permettre une bonne identification des unités lithologiques de la région de Mbaoussi. Ensuite, d'autres traitements sont appliqués aux images SRTM pour la cartographie et l'extraction des linéaments structuraux pour une étude structurale. Pour cette étude, les données utilisées sont: une image Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) de 30 m de résolution et une image SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) du secteur d'étude, une carte topographique à l'échelle de 1/50000° (feuille Ngaoundéré NB_33_XX_4b), une carte géologique du secteur d'étude (**Figure 2**[1]) et les données de terrain. Le traitement numérique des images a été rendu possible grâce aux logiciels de SIG (ENVI, ArcGIS, Surfer) et de télédétection libres (Adobe Illustrator, Stereo32, StereoWin, etc.).



Les traitements sont appliqués sur deux images différentes en fonction de l'objectif visé. Pour la discrimination lithologique, les traitements tels que les compositions colorées, les signatures spectrales et la vectorisation sont appliqués sur l'image Landsat7 ETM+ grâce aux logiciels ENVI 4.5 et ArGis 10.3. Pour la cartographie des segments linéaires, le filtrage et le rehaussement sont appliqués sur l'image SRTM, puis traités à l'aide du logiciel Surfer. Les résultats de ces traitements sont présentés à la **Figure** ci-dessous (**Figure 3**).

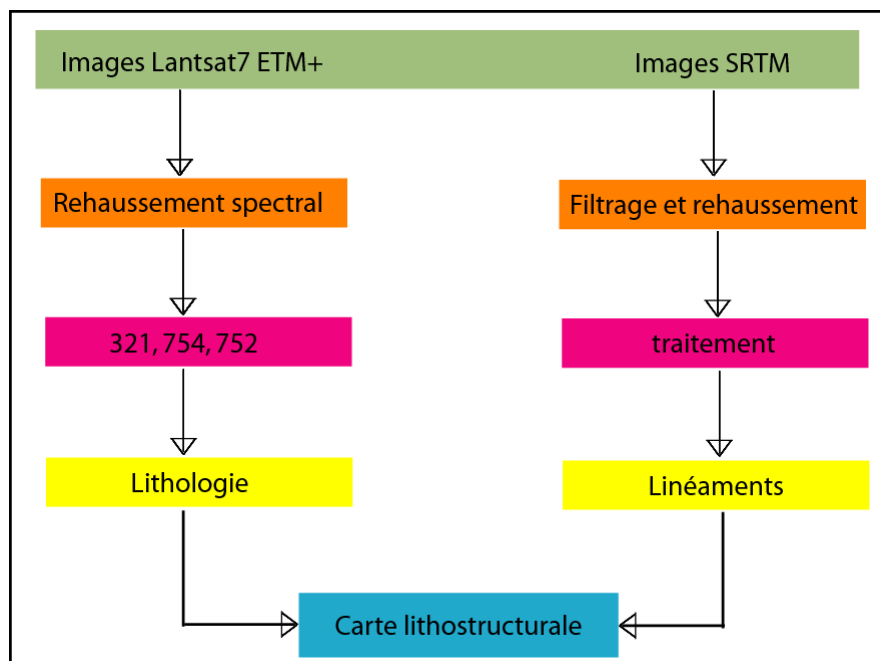


Figure 3 : Schéma illustrant la méthodologie de l'étude

4. Résultats

4-1. Discrimination lithologique

4-1-1. Les compositions colorées sur images originales

Le rehaussement spectral sur l'image composée en couleur naturelle (ETM+3-ETM+2-ETM+1) et vraies couleurs (**Figure 4**) donne une image qui ne permet pas de distinguer avec exactitude les limites entre les différentes formations géologiques de la région de Mbaoussi. Il est appliqué une composition en fausses couleurs (ETM+7-ETM+5-ETM+2) (**Figure 5**) basée sur l'utilisation des différentes parties du spectre électromagnétique (7-5 infrarouge moyen ; 2 visible).

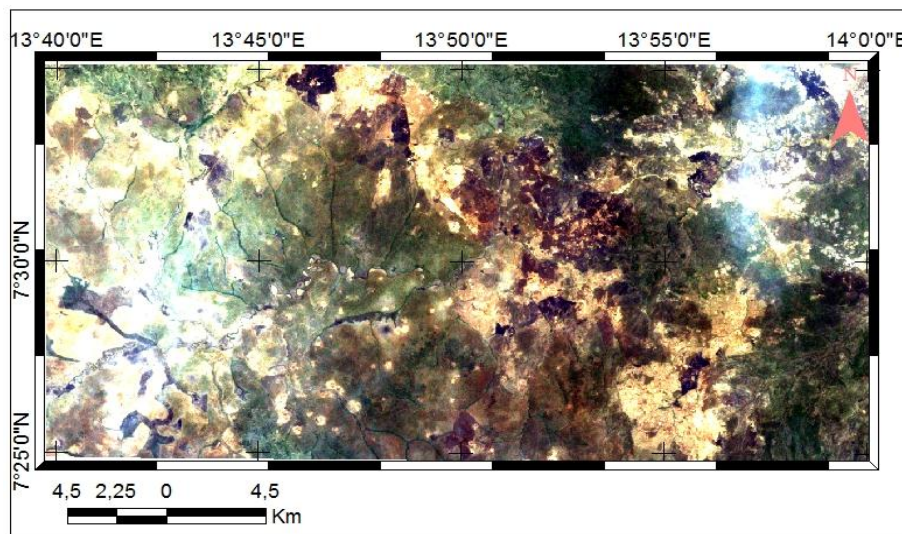


Figure 4 : *Discrimination lithologique en composition colorée 321 (vraies couleurs)*

Cette composition donne d'excellentes informations qui permettent de différencier les faciès de l'ensemble du secteur étudié. Les résultats de ces traitements ont permis de valider certaines de nos observations de terrain.

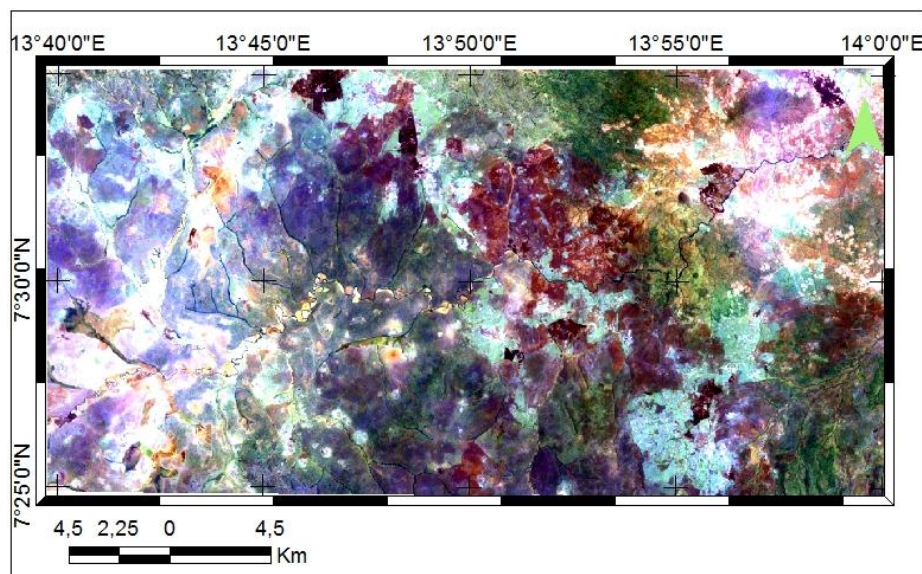


Figure 5 : *Discrimination lithologique en composition colorée 752*

Les roches volcaniques de nature basaltique qui affleurent sous forme de coulées sont discriminées avec deux teintes dans toute la surface étudiée: couleur brun blanchâtre pour les coulées inférieures et couleur violet sombre à claire pour les coulées supérieures. Le socle granitique est discriminé avec trois teintes différentes : les couleurs bleu ciel, jaune doré et brun violacé (massifs granitiques). Toutefois, nous rencontrons de difficultés à pouvoir discriminer la limite exacte du massif volcanique et des affleurements de petite taille situés au centre de la zone d'étude, car leurs teintes sont influencées par celles du couvert végétal et des autres affleurements plus dominants tel que le présente l'image de la **Figure 5**. Les massifs granitique et volcanique, respectivement au Nord et au Sud-Est de la zone d'étude apparaissent avec la teinte verte qui est celle du couvert végétal qui les recouvre.

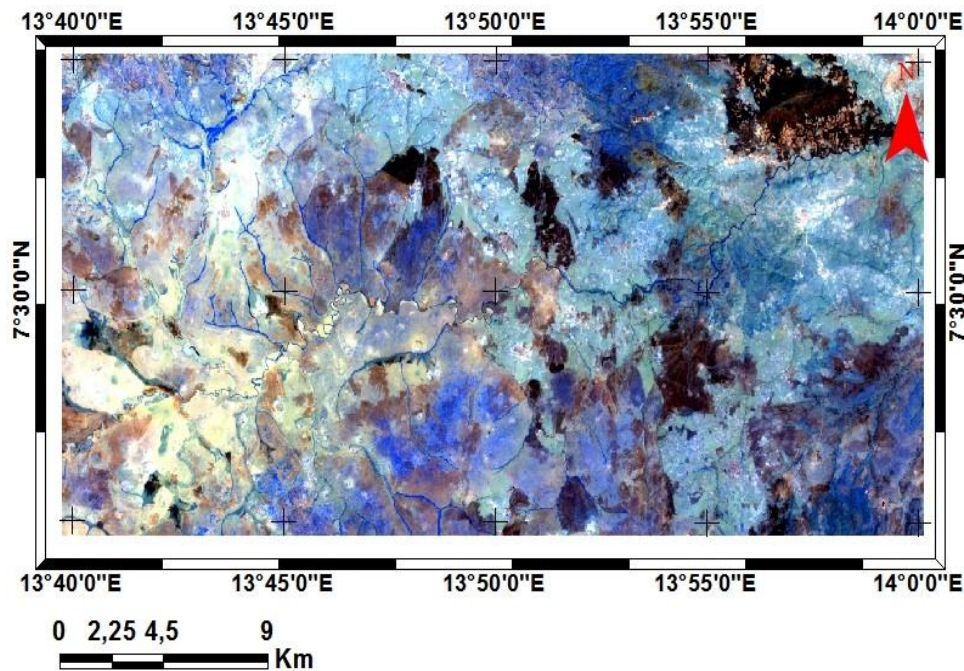


Figure 6 : *Discrimination lithologique en composition colorée 754*

Face à cette difficulté, nous avons opté pour l'application d'une composition en fausses couleurs basée sur les bandes 754 (**Figure 6**). Cette image permet de discriminer les contours du massif volcanique situé au centre de la zone. Les granites non déformés qui affleurent sous forme de massif intrusifs sont discriminés cette fois par une teinte sombre (tendant vers noire) et les formations granitiques encaissantes déformées qui affleurent sous forme de dalles ou de blocs éparpillés, par une teinte unique bleu pale. Les formations volcaniques sont discriminées à partir des teintes brun blanchâtre et gris brun pour les coulées basaltiques inférieures et supérieures, respectivement. La végétation est distinguée avec une couleur bleu-océan. Les autres formations lithologiques non discriminées lors des traitements d'image à cause de leur petite taille (inférieure à la résolution de l'image) à l'affleurement sont représentées sur la carte finale avec leurs coordonnées géographiques réelles sur le terrain.

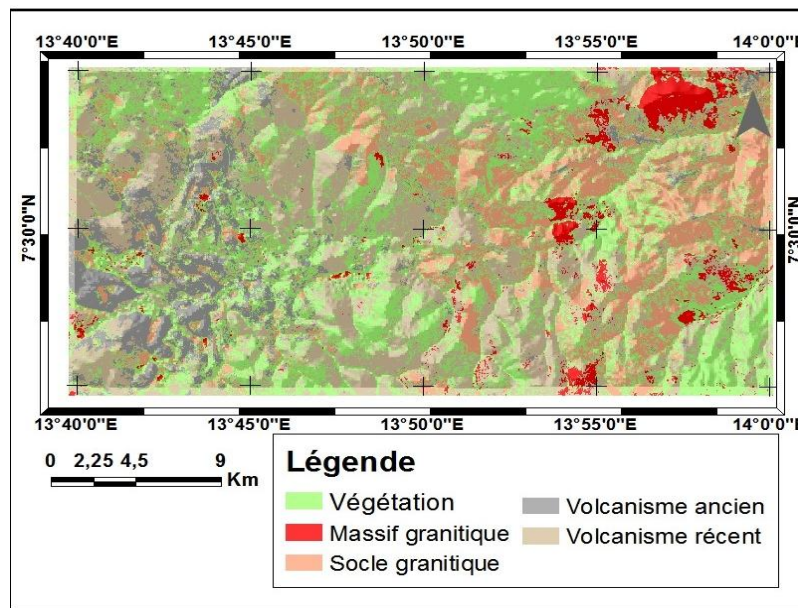


Figure 7 : Regroupement par classification supervisée

Dans le but de bien distinguer les limites des formations lithologiques, un autre traitement de vectorisation d'image basé sur la classification supervisée est appliqué (**Figure 7**). Les résultats de ce traitement permettent de visualiser avec netteté les limites entre les types de volcanisme. Les coulées basaltiques inférieures sont distinguées avec une coloration gris-sombre, et les coulées basaltiques supérieures avec une teinte gri-cendre. Le socle granitique a été regroupé en deux classes dans toute la zone avec deux couleurs : les couleurs rouge-vif et brun-pale. La végétation qui couvre certains massifs de la zone est classée avec une coloration vert-citron.

4-1-2. Signatures spectrales

La discrimination par les compositions colorées a permis de distinguer les différentes lithologies. Toutefois, nous avons voulu obtenir plus de précision en utilisant les valeurs radiométriques ou signatures spectrales des lithologies existant dans la zone d'étude. Rappelons que les signatures spectrales ont été obtenues à partir des composition colorées (**Figure 8**) et s'expriment par la réflectance ou l'absorption des valeurs de bande dans un domaine précis. Elles sont fonction de la composition géochimique d'une formation lithologique. Plusieurs signatures spectrales de chaque type lithologique ont été réalisées à deux et à quatre pixels. Par contre, ils ne sont retenues que quelques signatures représentatives étant donné que les signatures spectrales d'un même type lithologie, produisent le même spectre. Les spectres des granites du socle (spectres en bleu et vert) sont confondus et montrent une faible pente dans le domaine du visible par rapport à ceux des roches volcaniques. Ils présentent une forte absorption dans les deux dernières bandes du visible (bande 2 et 3) et entre la bande de l'infra-rouge thermique (bande 6) et le domaine panchromatique (bande 8). La plus forte absorption est observée dans la dernière bande de l'infra-rouge moyen (bande 7). Par ailleurs, les spectres des granites montre une forte réflectance que ceux des formations volcaniques entre la bande 4 (proche infrarouge) et la première bande de l'infrarouge moyen (bande 5). Les spectres des formations volcaniques présentent des allures qui sont presque similaires. Cependant, les spectres des coulées supérieures présentent une forte absorption que ceux des coulées inférieures dans le domaine du visible (bandes 2 et 3) et le domaine de l'infrarouge (bandes 6 et 7). Ils sont de même légèrement plus réfléchis entre les bandes 4 et 5.

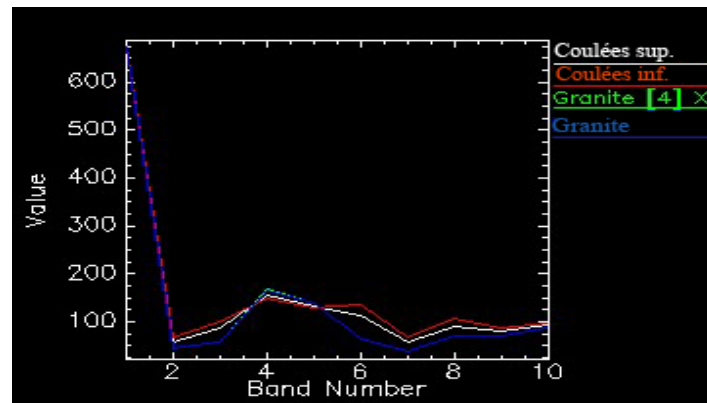


Figure 8 : Signatures spectrales des différents types lithologiques du secteur étudié

4-2. Cartographie des linéaments

Les linéaments représentent des discontinuités correspondant soit à des fractures montrant un décalage entre les formations géologiques ou à des prolongements de failles connues sur la carte existante, soit à un contact anormal entre deux formations géologiques différentes sans décalage [26]. La cartographie linéamentaire est d'un intérêt capital pour la connaissance du sous-sol dans une région. L'étude des linéaments est très importante pour l'exploration minière et pétrolière, en hydrogéologie et en sismologie. Pour extraire les linéaments dans le cas de la présente étude, le choix a été porté sur les images SRTM, qui sont des modèles numériques de terrain radar qui représentent le mieux les éléments physiques tels que le réseau hydrographique, les accidents structuraux, etc. La démarche utilisée pour la cartographie et l'extraction de ces linéaments est celle utilisée par [27]. Cette méthode consiste à filtrer et à rehausser l'image SRTM avec un azimuth du soleil de 345, une altitude 45 avec un facteur d'élévation (z) de 3. L'image est ensuite traitée dans « Surfer en mode shaded relief ». Cette méthode nous a permis de réaliser la carte des segments linéaires (Figure 9a) et d'en extraire 283 linéaments dans le secteur d'étude pour l'étude structurale.

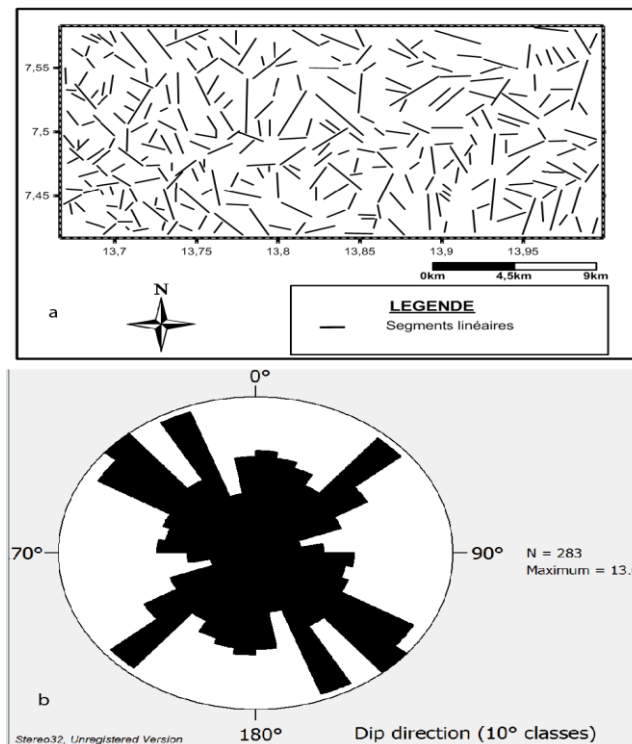


Figure 9 : a) Carte linéamentaire de la zone d'étude ; b) Rosace des directions des segments linéaires

La rosace des directions (**Figure 9b**) réalisée à partir des valeurs des orientations des linéaments structuraux fait ressortir trois directions majeures N50, N130-140, N160E et les directions secondaires N60-70, N100E et N110 à N120E. Les résultats des travaux de terrain montrent que le socle granitique de la zone d'étude est affecté par des déformations que nous avons regroupé en deux phases D₁ et D₂ :

- La première phase D₁ est caractérisée par la schistosité S₁ marquée par l'étirement des cristaux de feldspath et de biotite (**Figure 10**). À l'affleurement, la direction de la schistosité est comprise entre N07E et N55E. Le sens de pendage est moyen (10 à 30°), soit E à ESE. Le stéréogramme (**Figure 11**) présente la disposition des pôles de schistosité qui se trouvent dans le secteur NW, confirmant ainsi le sens de pendage SE ;
- La deuxième phase D₂ est cassante et responsable de la fracturation (**Figure 12a**). La rosace de distribution des directions de fracturations (diaclasses) dans les granites du secteur d'étude (**Figure 13a**) montre une direction majeure N15°E, des directions secondaires N100E, N130E à N140°E. Les directions les moins représentées sont N30E, N45E et N165°E.

Seules les directions secondaires N100, N130 à N140E des fracturations dans les granites sont parallèles aux directions des linéaments structuraux identifiés dans la zone de Mbaoussi. Les mesures d'orientations des formations doléritiques affleurant en dykes recoupant le socle granitique (**Figure 12b**) ont été également prises sur le terrain. La rosace des directions réalisées à partir des orientations des dykes de dolérite (**Figure 13b**) montre deux directions majeures N70E et N120°E et des directions secondaires et mineures N100E, N115E et N140°E. La direction majeure N140E et les directions secondaires N70E, N100 et N110 à N120°E des linéaments structuraux sont parallèles aux orientations des dykes de dolérite affleurant dans ce secteur d'étude. Seules les directions secondaires N100E et N140°E des fracturations granitiques sont parallèles aux orientations des dykes de dolérite du secteur étudié. Toutes ces directions ont été identifiées sur le plateau de l'Adamaoua et dans l'Afrique Centrale [16, 22, 28, 29].

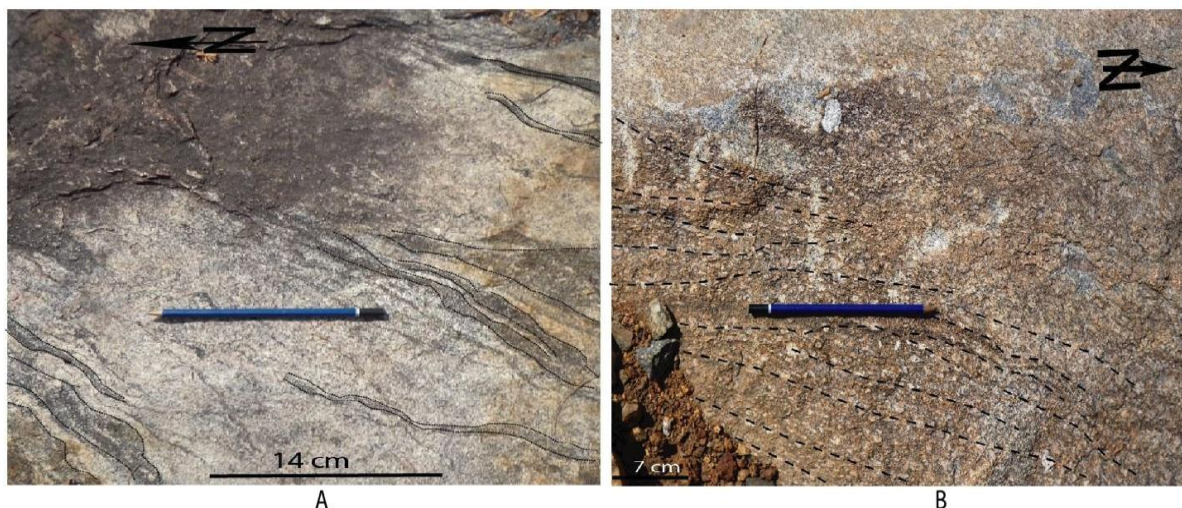


Figure 10 : A : Schistosité S1 et B : linéament minéral dans les dalles de granite de Mbaoussi

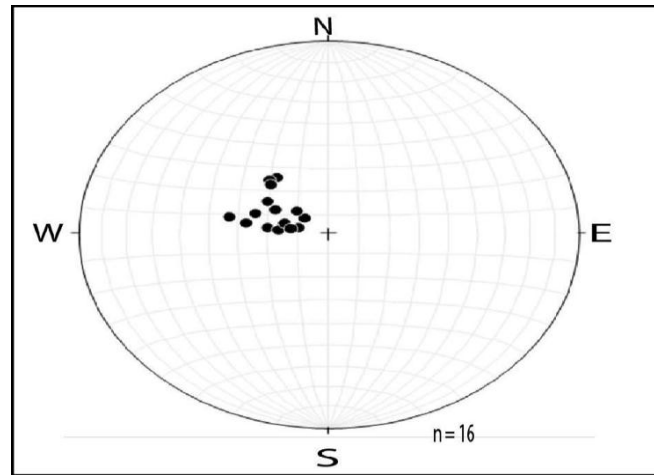


Figure 11 : Stéréogramme de la schistosité S_1 dans les granites de Mbaoussi

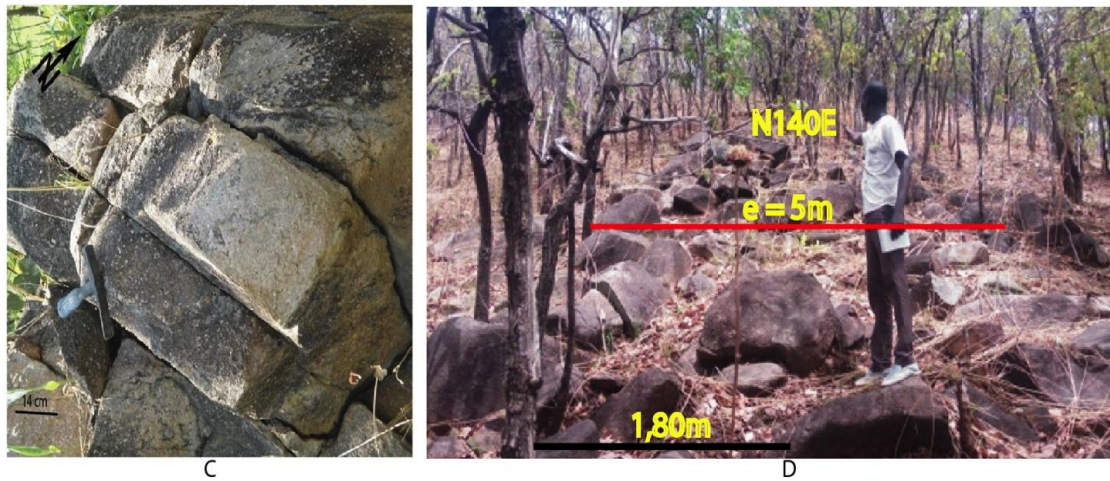


Figure 12 : Photos illustrant les structures observées sur le terrain : C) Fracturations des blocs de granite et D) dyke de dolérite orienté suivant la direction N140E

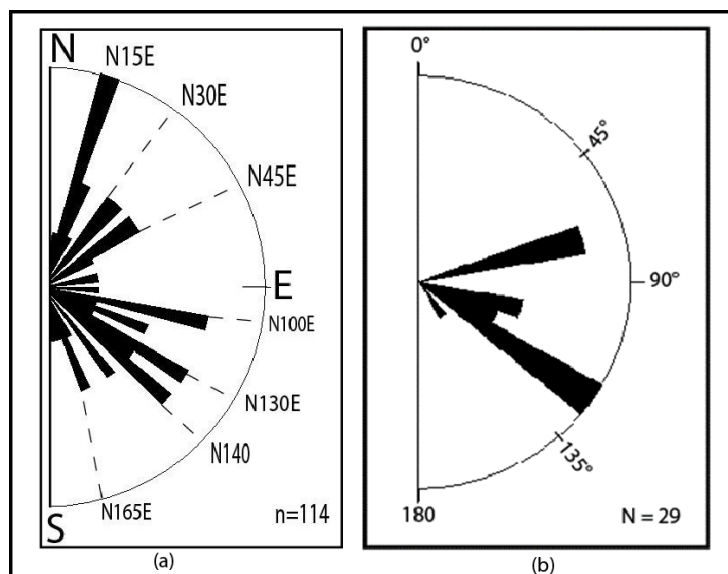


Figure 13 : a) rosace de directions des fracturations dans le socle ; b) rosace de directions des dolérites

5. Discussion

Les résultats des travaux de terrain et l'analyse des images utilisées montrent que la variation des teintes observée sur les formations volcaniques de la région de Mbaoussi détermine l'existence d'au moins deux types d'activité volcanique, l'une antérieure et l'autre postérieure. Les produits des activités volcaniques se distinguent par la superposition des deux coulées basaltiques de caractères pétrographiques différents [3]. Les colorations sombres (ou noires) et bleu pâle observées sur les granites du socle distinguent également deux types de granite de compositions différentes. La coloration sombre (noire) est observée sur les massifs granitiques non déformés. Elle renvoie probablement à l'abondance des minéraux hydroxylés et la coloration bleu pâle est observée sur les granites déformés qui affleurent en arène. Elle traduit certainement la faible teneur en minéraux hydroxylés de ces roches, tel que le présente la **Figure 14**. Les hypothèses émises ici sont soutenues par : (1) la faible pente observée sur les spectres des granites du domaine visible (bandes 2 et 3), qui serait liée à la richesse (teneur) en oxydes de Fer présents dans ces formations [30] et (2) par le pic d'absorption des spectres observé sur la bande 7 et la teinte violacée-sombre observée lors des traitements d'images en composition colorée 752 qui sont probablement liés à la sensibilité de la bande 7 à la présence des minéraux hydroxylés de fer (biotite et amphibole) comme le suggèrent [30 - 32]. La présence de minéraux anhydres (olivine, pyroxènes, oxydes) ayant cristallisé dans les roches serait à l'origine de la forte réflectance observée sur la bande 4 du domaine proche infra-rouge [31].

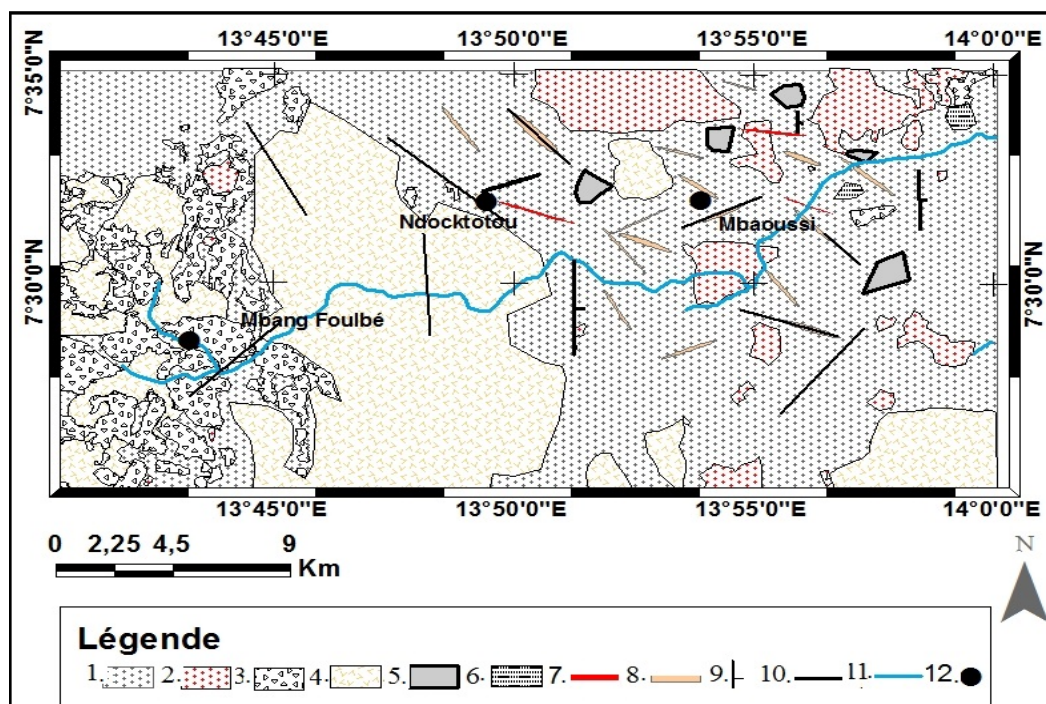


Figure 14 : Carte géologique de la zone d'étude. 1. Granites syn-tectoniques; 2. Massifs granitiques intrusifs post-tectoniques; 3. Coulées inférieures; 4. Coulées supérieures; 5. Diorites; 6. Orthogneiss; 7. Filon d'aplite; 8. Dyke de dolérite; 9. Schistosité; 10. Fracturation; 11. Réseau hydrographique; 12. Localité

L'analyse des segments linéaires du socle montre que la direction majeure N50E correspond à l'orientation du cisaillement de Tcholliré-Banyo [6]. Elle marque la deuxième phase de déformation dans le domaine Centre de la Chaîne Orogénique d'Afrique Centrale responsable de la foliation et une linéation orientées NE-SW [4, 21, 33]. La direction N60-70E est celle du Cisaillement Centre Camerounais (C.C.C.), aussi connu sous le nom de faille de l'Adamaoua [16]. Elle est reconnue comme la direction de la foliation panafricaine et aussi comme celle

d'un couloir tectonique traversant l'Afrique d'Est en Ouest et ayant joué en décrochement dextre à la fin du panafricain [17]. Le jeu ou le rejet des failles du couloir tectonique au crétacé seraient responsables de la mise en place des structures en horst et graben au niveau de Djérem et de Mbéré [22, 7]. La tranche de directions N110E à N120E des linéaments a été identifiée dans le domaine Adamaoua-Yadé et serait responsable de la quatrième phase de déformation [6]. Elle correspond à l'une des discontinuités panafricaines qui limitent les blocs crustaux de la chaîne mobile dans un dispositif tardi-panafricain en réponse à la relaxation des contraintes orogéniques [8]. La direction majeure N130E à N140E est l'une des directions majeures du Cisaillement Centre Camerounais [21]. Elle marque la deuxième phase de déformation et correspond à un décrochement majeur responsable de la mylonitisation des granitoïdes du socle précambrien du Centre Cameroun [34]. Cette direction, aussi appelée décrochement de Tcholliré, souligne la bordure orientale du domaine schisteux à l'Est de Poli [14, 35]. Elle correspond également aux directions des failles qui bordent la série crétacée de Lamé au Sud de Pala au Tchad [28] et celles qui limitent le massif de Yadé au Nord-Ouest avec les sédiments du bassin de Doba [29]. Le parallélisme entre les orientations des dykes de dolérite et celles des discontinuités structurales N70E, N100E, N110 à N120E et N130 à N140E suggère que le magma à l'origine des dolérites aurait emprunté ces fractures. La multiplicité des directions mise en évidence sur le socle de Mbaoussi dans cette étude suggère plusieurs épisodes tectoniques [36] associées à l'événement orogénique panafricain [16]. Cela indiquerait que la mise en place des dykes de dolérite de Mbaoussi serait liée soit (1) à des activités tectoniques différentes qui ont marqué l'évolution de la chaîne panafricaine [6, 14, 37, 38] soit (2) à un événement tectonique probablement post panafricain qui marque la fin de l'orogénèse panafricaine et qui aurait affecté le socle des environs de Ngaoundéré à Likok et à Mbaoussi comme le suggèrent [1, 39]. L'hypothèse la plus probable est celle d'une mise en place au cours d'événements tectoniques post-panafricains. Les dykes de dolérite de Mbaoussi seraient à cet effet des marqueurs des événements tardi-tectoniques, mis en place à travers des fractures au cours des périodes de relaxation thermique [6]. Cette hypothèse est vraisemblable en l'absence des signes de déformation sur les dykes de dolérite de Mbaoussi [1].

6. Conclusion

L'analyse des images Landsat7 ETM+ et SRTM couplée aux observations de terrain déterminent trois directions majeures NE-SW, NW-SE et NNW-SSE, et des directions secondaires ENE-WSW et WNW-ESE. Il en ressort que le socle de Mbaoussi est affecté par une ou plusieurs phases d'activité tectonique post-panafricaine. La mise en place des roches plutoniques panafricaines et volcaniques cénozoïques de Mbaoussi est favorisée par le réseau des failles et fractures qui découpent la croûte continentale. Les dykes de dolérite qui affleurent à Mbaoussi sont des marqueurs des événements tectoniques tardi-pan Africains. Ils se sont mis en place au cours des périodes de relaxation thermique des granites post tectoniques.

Références

- [1] - O. F. NKOUANDOU, J. M. BARDINTZEFF, P. D. DOURWÉ and A. M. FAGNY, Geochemistry and Petrogenesis of Mafic Doleritic Dykes at Mbaoussi, Adamawa Plateau, Cameroon, Central Africa. *Journal of Geography, Environment and Earth Science International*, 8 (1) (2016) 1 - 18
- [2] - J. C. OLIVRY, Fleuves et rivières du Cameroun. Collection « Monographies hydrologiques, *ORSTOM* », Paris (1986) 546 p.
- [3] - A. F. TIABOU, R. TEMDJIM, C. N. NGWA, V. BIH CHE and F. X. O. MEBARA, Polymagmatic Processes at Monogenetic Volcanoes: Insights from Baossi Monogenetic Lava Flows, Adamawa Plateau, Cameroon Volcanic Line. *Journal of Geography and Geology*, 7 (2) (2015) 56 - 69

- [4] - R. TCHAMENI, A. POUCKET, J. PENAYE, A. A. GANWA and S. F. TOTEU, Petrography and geochemistry of the Ngaoundéré Pan-African granitoids in central north Cameroon : implications for their sources and geological setting. *Journal of African Earth Sciences*, 44 (2006) 511 - 529
- [5] - A. NDAIROU, Pétrographie et minéralogie des basaltes et du socle granitique du secteur de Ndoktoto-Mbaoussi, Nord-Ouest de Nganha, plateau de l'Adamaoua. Mémoire de Master en Géosciences et Environnement, Université de Ngaoundéré, (2013) 56 p.
- [6] - S. F. TOTEU, J. PENAYE and Y. H. P. DJOMANI, Geodynamic evolution of the Pan-African belt in central Africa with special reference to Cameroon. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 41 (2004) 73 - 85
- [7] - J. F. DUMONT, Étude structurale des bordures nord et sud du plateau de l'Adamaoua : influence du contexte atlantique. *Géodynamique*, 2 (1987) 55 - 68
- [8] - M. POPOFF, The African rift system: basins, magmatism and rifting in the Benue trough, In : C. Coulon, A. B. Kampunzu, R. T. Lubala, (Eds), Mesozoic to present day magmatism of the African plate and its structural setting, CIFEG, Paris, (1988)
- [9] - A. LE MARECHAL et P. M. VINCENT, Le fossé crétacé du Sud Adamaoua, Cameroun, in : T. F. J. Dessauvage, A. J. Whiteman, (Eds.), African Geology, University of Ibadan, (1970) 229 - 249
- [10] - J. TCHAKOUNTÉ, A. S. EGLINGER, S. F. TOTEU, A. ZEH, C. NKOUMBOU, J. M. ONDOA, J. PENAYE, M. DE WIT, P. BARBEY, The Adamawa-Yadé domain, a piece of Archaean crust in the Neoproterozoic Central African Orogenic belt, Bafia area, Cameroon. *Precambrian Research*, 299 (2017) 210 - 229
- [11] - J. F. GOUSSI NGALAMO, D. BISSO, M. G. ABDEL SALAM, E. A. ATEKWANA, A. B. KATUMWEHE and G. E. EKODECK, Geophysical Imaging of Metacratonization in the Northern Edge of the Congo Craton in Cameroon. *Journal of African Earth Sciences*, 129 (2017) 94 - 107
- [12] - J. P. VICAT, I. NGOUNOUNO and A. POUCKET, Existence of old dolerites dykes of continental tholeiites composition in the alkaline province of the Cameroon Line: Implication to the geodynamic context. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences (in French)*, Paris, Sciences de la Terre et des planètes / Earth and Planetary Sciences, 332 (2001) 243 - 249
- [13] - A. A. GANWA, W. FRISCH, W. SIEBEL, G. E. EKODECK, S. K. COSMAS and V. NGAKO, Archean inheritances in the pyroxene-amphibole-bearing gneiss of the Meiganga area, Central North Cameroon : Geochemical and $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age imprints. *Comptes Rendus Géoscience*, 340 (2008) 211 - 222
- [14] - A. K. DIGUIM, A. A. GANWA, U. KLÖTZLI, C. HAUZENBERGER, I. NGOUNOUNO, S. NAÏMOU, The Pan-African Biotite-Muscovite Granite and Amphibole-Biotite Granite of Doua, Central Cameroon: Zircon Features, LA-MC-ICP-MS U-Pb Dating and Implication on Their Tectonic Setting. *Journal of Geosciences and Geomatics*, 5 (3) (2017) 119 - 129
- [15] - S. F. TOTEU, J. PENAYE, E. DELOULE, W. R. VAN SCHMUS and R. TCHAMENI, Diachronous evolution of volcano-sedimentary basins north of the Congo craton: insights from U-Pb ion microprobe dating of zircons from the Poli, Lom and Yaoundé Groups, Cameroon. *Journal of African Earth Sciences*, 44 (2006) 428 - 442
- [16] - J. PENAYE, S. F. TOTEU, R. TCHAMENI, W. R. VAN SCHMUS, J. TCHAKOUNTE, A. A. GANWA, D. MIYEM and E. N. NSIFA, The 2.1 Ga West Central African Belt in Cameroon: extension and evolution. *Journal of African Earth Sciences*, 39 (2004) 159 - 164
- [17] - D. SOBA, A. MICHARD, S. F. TOTEU, D. I. NORMAN, J. PENAYE, V. NGAKO, J. P. NZENTI et D. DAUTEL, Données géochronologiques nouvelles (Rb-Sr, U-Pb et Sm-Nd) sur la zone mobile panafricaine de l'Est Cameroun : âge protérozoïque supérieur de la série de Lom. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris*, 312 (1991) 1453 - 1458
- [18] - A. N. SAHA FOUOTSA, R. TCHAMÉNI, E. NOMO NEGUE, D. DAWAI, J. PENAYE, P. M. FOSSO TCHUNTE, Polyphase deformation in the Mbé - Sassa-Bersi area : implications on the tectono-magmatic history

- of the area and the tectonic evolution of the Tcholiré-Banyo and Central Cameroon Shear Zones, Central North Cameroon. *Journal of Geosciences and Geomatics*, 6 (2) (2018) 41 - 54
- [19] - C. MOREAU, J. M. REGNOULT, B. DÉRUELLE and B. ROBINEAU, A new tectonic model for the Cameroon Line, central Africa. *Tectonophysics*, 139 (1987) 317 - 334
- [20] - M. CORNACCHIA et R. DARS, Un trait structural majeur du continent africain : Les linéaments centrafricains du Cameroun au Golfe d'Aden. *Bulletin de Société de Géologie*, 2 (1983) 19 - 27
- [21] - A. M. FAGNY, O. F. NKOUANDOU, J. M. BARDINTZEFF, R. TEMDJIM et H. GUILLOU, Pétrologie du volcanisme Eocène-Oligocène du massif de Tchabal Mbabo, Adamaoua-Cameroun, Afrique centrale. *Afrique Science*, 12 (6) (2016) 35 - 47
- [22] - O. F. NKOUANDOU, I. NGOUNOUNO, B. DÉRUELLE, D. OHNENSTETTER, R. MONTIGNY and D. DEMAIFFE, Petrology of the Mio-Pliocene Volcanism to the North and East of Ngaoundéré, Adamawa-Cameroon. *Comptes Rendus Géoscience*, 340 (2008) 27 - 38
- [23] - J. GOUHIER, J. NOUGIER and D. NOUGIER, Contribution to the volcanology study of Cameroon, Cameroon Line-Adamawa. Annexe Faculté des Sciences, Université de Yaoundé, Cameroon, 17 (1974) 3 - 49
- [24] - V. NGAKO, P. JEGOUZO et J. P. NZENTI, Le cisaillement centre camerounais : Rôle structural et géodynamique dans l'orogénèse panafricaine. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris, Série 2A*, (1991) 457 - 463
- [25] - E. NGANGOM, Étude tectonique du fossé Crétacé de la Mbéré et du Djérem, Sud-Adamawa, Cameroun. *Bulletin des Centres de Recherche Exploration-Production Elf-Aquitaine*, 7 (1983) 339 - 347
- [26] - Commission interministérielle de terminologie de la télédétection aérospatiale, (1998)
- [27] - T. TOUTIN, La correction géométrique rigoureuse: un mal nécessaire pour la santé de vos résultats. *Journal canadien de télédétection*, 22 (2) (1996) 184 - 189
- [28] - J. Y. SCANVIC, Télédétection aérospatiale et informations géologiques. Edition BRGM, Manuels et Méthodes, 24 (1983) 284 p.
- [29] - D. DUCROT, Méthodes d'analyse et d'interprétation d'images de télédétection multi-sources : Extraction de caractéristiques du paysage. Mémoire habilité de recherche, CESBIO, INP Toulouse, (2005) 210 p.
- [30] - H. LAMZOURI, Extraction des linéaments géologiques à partir des images Landsat : Cas de la plaine de Tamilt (Haute Atlas Oriental). Mémoire de Licence en Géoressources et Environnement, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Maroc, (2015) 28 p.
- [31] - J. M. AKAME, J. O. MVONDO, J. B. OLINGA, J. ESSONO et P. K. MBIH, Utilisation des modèles numériques de terrain (MNT) SRTM pour la cartographie des linéaments structuraux : Application à l'Archéen de Mezesse à l'est de Sangmélima, Sud-Cameroun. *Revue Internationale de Géologie, de Géographie et d'Ecologie Tropicales*, 37 (1) (2013) 71 - 80
- [32] - M. Y. KASSER, Evolution précambrienne de la région du Mayo-Kebbi (Tchad) : Un segment de la chaîne panafricaine. Thèse de Doctorat, Université de Lorraine, France, (1995) 168 p.
- [33] - I. KUSNIR, Géologie, ressources minérales et ressources en eau du Tchad; Travaux et documents scientifiques du Tchad, connaissance du Tchad I ; 2eme édition, (1995) 115 p.
- [34] - M. G. G. B. DANRA, R. TCHAMENI, D. DAOUDA, P. M. FOSSO TCHUNTE, S. AWÉ, J. C. BISSÉGUÉ, Geological Mapping of the Panafrican Mokong Gneiss and Granitoides, Far North Cameroon: Contribution of SEMI-automatic Processing from Landsat 8 OLI/TIRS Images. *Journal of Geosciences and Geomatics*, 7 (2) (2019) 80 - 87
- [35] - PH. TREFOIS, Apport de la radiométrie haute résolution à la télédétection géologique. Exemples de roches du Jabal Al'Awaynat, Libye. *Bulletin de Société belge de Géologie*, 99 (1) (1990) 51 - 56
- [36] - R. ESCADAFAL, Les propriétés spectrales des sols : Cartographie des états de surface (Satcarto), (1990) 19 - 41

- [37] - M. SULTAN, R. E. ARVIDSON, N. C. STURCHIO and E. A. GUINNESS, Lithologic mapping in arid regions with Landsat Thematic Mapper data : Meatiq dome, Egypt. *Geological Society of America Bulletin*, 99 (1987) 748 - 762
- [38] - P. M. FOSSO TCHUNTE, R. TCHAMENI, A. S. A. MAYER, H. S. DAKOURE, F. TURLIN, M. POUJOL, E. N. NOMO, A. N. SAHA FOUOTSA, O. ROUER, Evidence for Nb-Ta Occurrences in the Syn-Tectonic Pan-African Mayo Salah Leucogranite, Northern Cameroon : Constraints from Nb-Ta Oxide Mineralogy, Geochemistry and U-Pb LA-ICP-MS Geochronology on Columbite and Monazite. *Minerals*, 8 (2018) 188
- [39] - A. A. GANWA, W. SIEBEL, W. FRISCH, C. K. SHANG and G. E. EKODECK, Geochemistry and geochronology of the Meiganga metadiorite: implications on the timing of D2 deformational phase in Adamawa-Yadé Domain in Cameroon. *International Journal of Biology and Chemical Science*, 5 (4) (2011) 1754 - 1767
- [40] - J. M. BERTRAND, P. BARBEY, L. LATOUCHE et J. MACAUDIERE, Le socle précambrien du Cameroun, une revue partielle des travaux récents. *Conférences Pangea*, 21 (1994) 33 - 41
- [41] - J. PENAYE, Pétrologie et structure des ensembles métamorphiques au sud-est de Poli, Nord Cameroun: Rôles respectifs du socle protérozoïque inférieur et de l'accrétion crustale panafricaine. Thèse de doctorat Institut Polytechnique Lorraine, Nancy, Inédit, (1988) 196 p.
- [42] - R. E. ERNST, Large igneous provinces. Cambridge University Press, (2014)
- [43] - S. E. BRYAN and R. E. ERNST, Revised definition of Large Igneous Provinces (LIPs). *Earth Science Review*, 86 (2008) 175 - 202
- [44] - J. TCHAKOUNTÉ, A. EGLINGER, S. F. TOTEU, A. ZEH, C. NKOUMBOU, J. M. ONDOA, J. PENAYE, M. DE WIT and P. BARBEY, The Adamawa-Yadé domain, a piece of Archaean crust in the Neoproterozoic Central African Orogenic belt, Bafia area, Cameroon. *Precambrian Research*, 299 (2017) 210 - 229
- [45] - A. A. GANWA, U. S. KLOTZLI and C. HAUZEMBERGER, Evidence for Archean inheritance in the pre-Panafrican crust of Central Cameroon: Insight from zircon internal structure and LA-MC ICP-MS U-Pb ages. *Journal of African Earth Sciences*, 120 (2016) 12 - 22
- [46] - O. F. NKOUANDOU, A. M. FAGNY, G. O. IANCU and J. M. BARDINTZEFF, Petrology and geochemistry of doleritic dyke of Likok, Cameroon, Central Africa. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 10 (2015) 121 - 132