

# **Apport Des Images ETM+ Et Du Modèle Numérique De Terrain (MNT) A La Cartographie Des Fractures En Région Montagneuse : Secteur De Timia (Massif De l'Air, Nord Du Niger)**

***Illias Alhassane, PhD***

Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Géologie, Niamey, Niger  
Université d'Agadez, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Géologie, Agadez, Niger

***Abdou Babaye Maman Sani, M.A.***

Université Dan Dicko Dankoulodo, Faculté des Sciences et Techniques, UMR SERMUG, Département de Géologie, Maradi, Niger

***Sandao Issoufou, M.A.***

Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Géologie, Niamey, Niger

***Saley Mahaman Bachir, Pr.***

Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, Cocody, UFR SRTM, CURAT, Abidjan, Côte d'Ivoire

***Ousmane Boureima, Pr.***

Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Géologie, Niamey, Niger

Doi: 10.19044/esj.2018.v14n9p103 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n9p103](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n9p103)

---

## **Abstract**

Timia is located at the Air massifs region. This locality, which is the substratum that constituted the basement formations, has some difficulty of water supply. This present study focuses on fractures mapping to acquire the best knowledge of the fractured aquifer in Timia zone. The methodological approach is based on landsat7 image processing and DEM, especially directional filtering and shaded digital terrain models. These diverse processing has shown complementarity between the satellites images and DEM in linear mapping on the one hand and in establishing a lineaments map on the other hand. The lineament map showed that the fractures network is distributed in the following directions: N0°-N10°, N140°-N170°, N 70°-N100°, and N30°-N50°. These fractures map, which was allowed to increase the density of faults from the previous studies, were used to actualize

hydrogeological knowledge and in determining the favorable sites for drilling boreholes in Timia locality.

---

**Keywords:** DEM, ETM<sup>+</sup>, cartography, fracturation, Aïr massif

---

### Résumé

La localité de Timia est située dans le massif de l'Aïr. Cette zone, dont le substratum est constitué des formations du socle, connaît des difficultés d'approvisionnement en eau. La présente étude a pour objectif de cartographier la fracturation pour une meilleure connaissance des aquifères discontinus de Timia. L'approche méthodologique utilisée repose sur les traitements des images Landsat7 et le MNT, principalement le filtrage directionnel, l'estompage et l'orientation des facettes. Ces divers traitements, ont permis de mettre en évidence la complémentarité entre les images satellite et le MNT dans la cartographie linéamentaire d'une part, et d'établir une carte des linéaments d'autre part. La carte des linéaments réalisée donne les orientations N0°-N10°, N140°-N170°, N70°-N100° et N30°-N50°. Cette carte permettra d'orienter les futures recherches hydrogéologiques pour l'implantation des forages dans la zone de Timia.

---

**Mots-clés:** MNT, ETM<sup>+</sup>, cartographie, fracturation, massif de l'Aïr

### Introduction

La fracturation et l'altération déterminent l'existence des réservoirs aquifères en zone de socle (Engalenc, 1978). De nombreuses études menées dans le socle Ouest Africain, ont montré l'intérêt de l'étude de la fracturation dans l'identification des aquifères discontinus du socle (Kouamé, 1999; Saley, 2003; Jourda, 2005; Lasm, 2000; koita, 2010).

Au Niger, le rôle de la fracturation dans l'hydrodynamique souterraine est démontré par les travaux antérieurs (Ousmane, 1988 ; Girard, 1993 ; Corgne et *al.*, 2010; Abdou Babaye, 2012).

La région de l'Aïr, en particulier la localité de Timia, est une zone aride à laquelle est difficile accéder dû à son relief montagneux très accidenté. Dans cette zone, trois forages ont été récemment réalisés (2012) dont un (1) forage négatif et deux (2) positifs qui se sont asséchés au bout de deux ans d'exploitation. La recherche des sites favorables à l'implantation des ouvrages hydrauliques s'avère nécessaire et cela passe par une caractérisation du réseau des fractures. Or, la carte géologique réalisée à l'échelle régionale n'offre qu'un nombre limité de failles (Black et *al.*, 1967). Pour pallier cette insuffisance, le recours à la télédétection est une alternative pour la cartographie morpho-structurale dans les régions d'accès difficile (Kouamé, 2006).

Sur le massif de l’Aïr, la technique de la télédétection a été utilisée pour les études géologiques et géomorphologiques (Moreau, 1978) ; Morel et *al.*, 1982).

En zone montagneuse le Modèle Numérique de Terrain (MNT) offre plusieurs avantages dans la cartographie structurale (Durand, 2005). Ce support numérique n’a pas été exploité dans la cartographie structurale et dans la caractérisation hydrogéologique des réservoirs fissurés du socle panafricain du massif de l’Aïr.

Cette étude a pour objectif l’amélioration des connaissances hydrogéologiques des aquifères fracturés du socle de l’Aïr central à travers la cartographie des fractures.

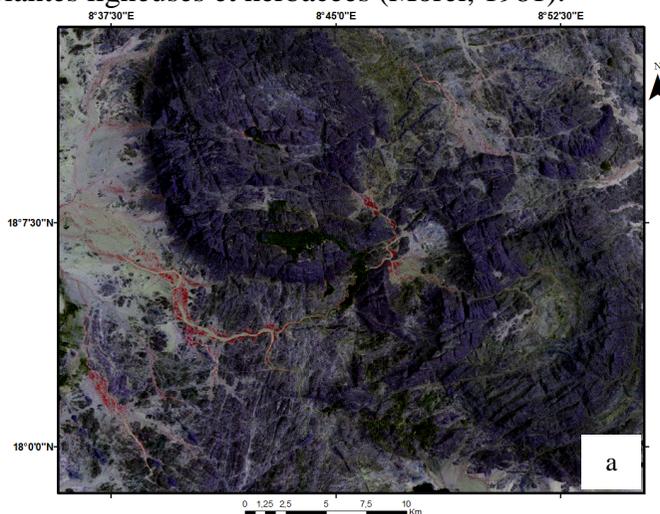
## Généralités sur la Zone d’étude

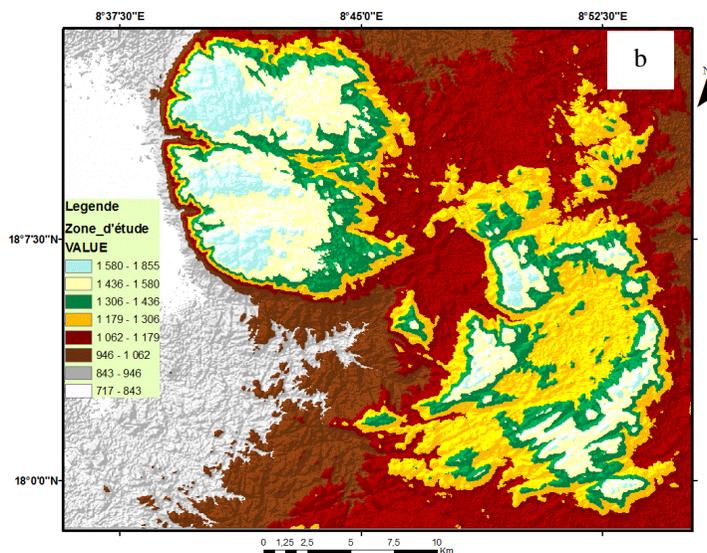
### Localisation

La zone d’étude est située au centre du massif de l’Aïr, entre 17°50’ et 18°15’ de latitudes Nord et 8°30’ et 9°00’ de longitudes Est (Figure 1a). Cette zone est délimitée par trois massifs montagneux dont le mont Egalagh au Nord, culminant à 1855m, le mont Aroyan à l’Est à 1134 m d’altitude et au Sud le mont Iskou à 1708 m d’altitude.

Le climat est semi-aride, de type sahélo-saharien, caractérisé par une alternance de deux saisons : une saison sèche d’Octobre à Juin et une saison de pluies de Juillet à Septembre. La pluviométrie moyenne annuelle est en général inférieure à 200 mm (Morel, 1981). Les précipitations apparaissent plus abondantes à l’ouest qu’à l’est du massif. Cette répartition contrastée de la hauteur pluviométrique est due à l’effet du relief.

La végétation est très mal répartie et clairsemée. Elle est abondante dans les vallées et les plaines inondables, et se compose pour l’essentiel des variétés de plantes ligneuses et herbacées (Morel, 1981).





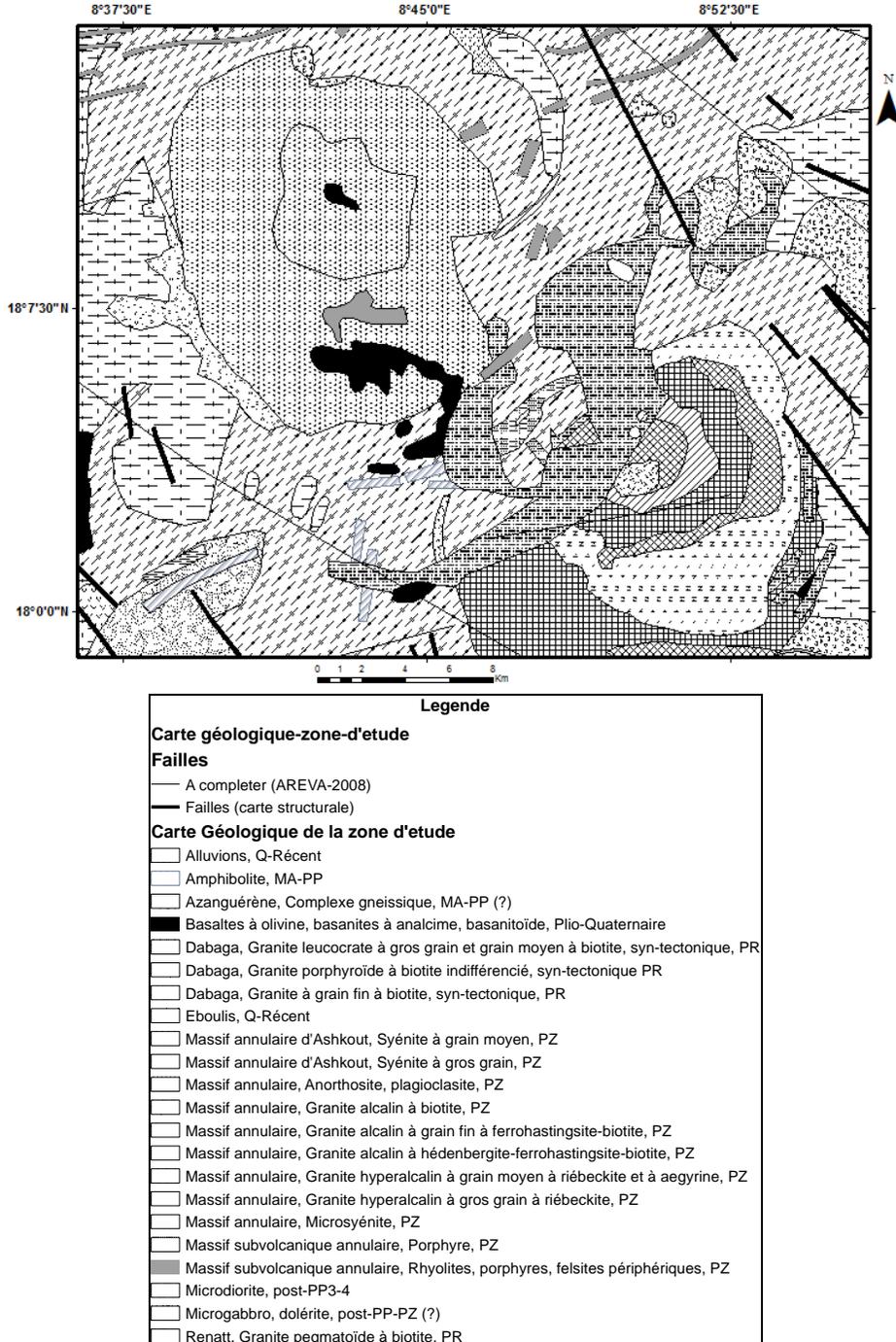
**Figure 1.** Présentation de la zone d'étude, a) image satellitaire ETM+ Landsat7 fausse couleur bandes 432; b) répartition des altitudes.

### Contexte géologique, structural et hydrogéologique

Le socle cristallin de l'Air (Figure 2) est formé d'un ensemble intensément plissé de roches métamorphisées dans la catazone généralement migmatitique, traversé par de nombreuses venues granitiques (Black et al., 1967).

L'Air, prolongement sud du Hoggar, comprend des formations géologiques d'âges très variés. Il est composé des formations granitiques (Greigert & Pougnet, 1967; Black, 1967) d'âge précambrien moyen et supérieur. Les formations les plus répandues sont les granites à deux micas syntectoniques à panafricain. On rencontre des granites à structures annulaires d'âge paléozoïque (Bowden et al., 1981). Aussi, les datations géochronologiques réalisées à partir du Rb/Sr ont révélé un étalement de l'activité magmatique de l'Ordovicien à la fin du Silurien (Karche et Vachette, 1978) avec des complexes sub-volcaniques et volcaniques hypercalins (Younger Granites) (Raulais, 1959) à structure annulaires (Black et al., 1967; Moreau, 1982; Moreau et al., 1991). Le massif de l'Air est marqué par la présence de nombreux filons de quartz, de rhyolite, de pegmatite et de syénite qui traversent les formations préexistantes (Cavellec, 2006).

Les principales orientations tectoniques dans le massif de l'Air, sont les directions N120°-N150° et les directions N50-90° parfois soulignées par des dykes rhyolitiques et des gabbros (Black et al., 1967). Ces accidents qui affectent les formations du socle sont parfois recouverts par d'épaisses couches d'altérites. Ces dernières sont susceptibles de constituer des aquifères potentiels dans le massif de l'Air.



**Figure 2.** Carte Géologique de l’Air central (zone de Timia), (Black et al., 1967 ; Joulia, 196 ; AREVA, 2008 ; modifié)

## **Matériel et Méthodes**

Il s'agit du matériel utilisé et la démarche méthodologique adoptée dans ce travail.

### **Matériel**

Le matériel utilisé est composé par des données et des outils qui sont les suivants :

#### **Données utilisées**

La base de données cartographiques qui a servi à cette étude comprend une image Landsat7 ETM+ (de 6 Décembre 2013, résolution 30m pour les bandes 3, 5,4 ; scènes : 188-047 et 188-048) et un Model Numérique de Terrain (MNT, résolution 30 m, scènes : 17-008 et 17-009, SRTM 30 M, NASA, USGS/2011).

Une carte topographique du secteur de Timia (Marchaud et al., 1961) (feuille Timia NE-32-XV) au 1/200 000<sup>e</sup> et une carte géologique de l'Air (Black et al., 1967) au 1/500 000<sup>e</sup> .

#### **Les outils**

Les outils sont essentiellement composés de logiciels de télédétection ( Envi 5.1) ; de SIG (ArcGIS9.3); de traitement de linéaments (Linwin). Les différentes opérations ayant permis l'exploitation des images satellitaires et le MNT sont présentées par l'organigramme de la Figure 3.

#### **Méthodes**

L'approche méthodologique a porté sur les aspects suivants :

#### **Prétraitements**

Les prétraitements des images reposent sur la correction des altérations radiométriques et géométriques reçues au cours de l'enregistrement. Dans les régions désertiques, les conditions atmosphériques sont acceptables avec un ciel dégagé, donc aucune image n'a fait l'objet d'une correction radiométrique. Pour la correction géométrique, elle a été faite à partir de quatre ouvrages hydrauliques (points de calage) relevés sur la carte topographique. Ainsi, cette correction est de type image à carte . En suite, une réctification polynomiale de degré 2 et un re-échantillonnage par la méthode d' interpolation bilineaire ont été réalisés.

S'agissant du MNT, une correction d'image à image a été réalisée à partir de cinq points de calage issus des bandes ETM+ corrigées. La transformation polynomiale de degré 1, et un re-échantillonnage par la méthode de convolution cubique ont été appliqués à ces cinq points de calage. La valeur de l' erreur résiduelle moyenne (RMS) pour l'image Landsat7 et le

MNT sont respectivement de 0,107 m et 0,218 m (Tableau 1). comparées au demi-pixel (15m); ces erreurs sont plus petites que celui ci, donc la correction est acceptable ( Kouamé et *al.*, 2015).

En outre, une mosaïque de deux scènes (188-047 et 188-048) de ETM+ et de deux scènes (17-008 et 17-009) du MNT ont été réalisées pour couvrir l'ensemble de la zone d'étude. Le deuxième prétraitement (stretching) appliqué au MNT a permis d'étendre et à réattribuer les valeurs des pixels, ce qui permet d'améliorer les variations du rayonnement et de faciliter l'interprétation de l'image (IGIP, 2008). Enfin, toutes ces données numériques ont été projetées dans un même référentiel (WGS 84).

**Tableau 1.** valeurs de RMS et les Méthodes d'interpolations de correction géométrique (logiciel Envi).

Image	Points de calage	Type de correction	Méthode (interpolation bilineaire)	RMS en (m)
Landsat7	4	image à carte	degré 2	0,107
MNT	5	image à image	degré 1	0,218

### Filtrages

Hung et *al.* (2005) ont montré que les meilleurs résultats pour l'extraction manuelle des linéaments sont issus de la bande 4 ETM+. Ainsi, pour l'extraction des linéaments dans l'Aïr central, les filtres directionnels de Sobel de matrice 7×7 selon les orientations N-S, NE-SO, E-O, NO-SE ont été appliqués. Ces filtres permettent d'accentuer les discontinuités structurales et lithologiques pour une meilleure discrimination des linéaments (Kouamé, 2006).

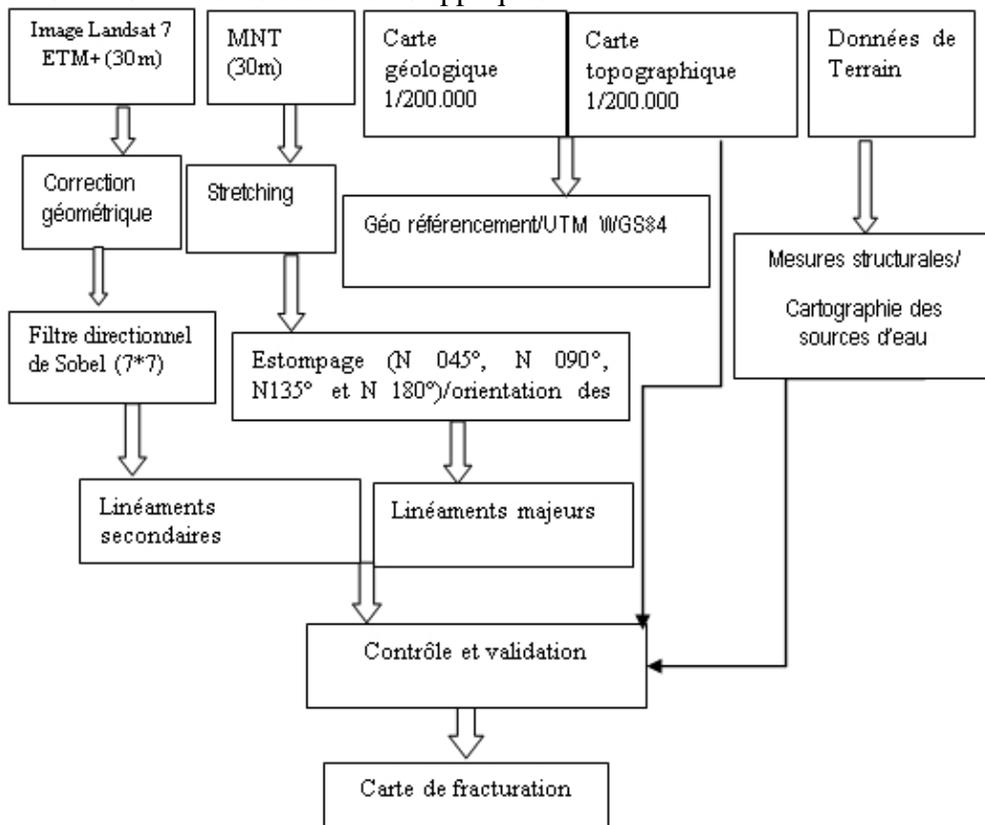
**Tableau 2.** Matrice 7×7 des filtres directionnels de Sobel

Sobel N-S							Sobel E-O						
1	1	1	2	1	1	1	-1	-1	-1	0	1	1	1
1	1	2	3	2	1	1	-1	-1	-2	0	2	1	1
1	2	3	4	3	2	1	-1	-2	-3	0	3	2	1
0	0	0	0	0	0	0	-2	-3	-4	0	4	3	2
-1	-2	-3	-4	-3	-2	-1	-1	-2	-3	0	3	2	1
-1	-1	-2	-3	-2	-1	-1	-1	-1	-2	0	2	1	1
-1	-1	-1	-2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	1	1	1
Sobel NE-SO							Sobel NO-SE						
0	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	0
-1	0	2	2	2	3	1	1	3	2	2	2	0	-1
-1	-2	0	3	4	2	1	1	2	4	3	0	-2	-1
-1	-2	-3	0	3	2	1	1	2	3	0	-3	-2	-1
-1	-2	-4	-3	0	2	1	1	2	0	-3	-4	-2	-1
-1	-3	-2	-2	-2	0	1	1	0	-2	-2	-2	-3	-1
-2	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-2

## Estompage

Le traitement du Modèle Numérique de Terrain (MNT) a consisté à réaliser l'estompage. Ce dernier est une technique classique de cartographie, qui consiste à représenter l'effet du relief en éclairant le modèle selon une direction définie et en faisant ainsi apparaître des ombres formant une image monochrome (Donnay, 2000).

Dans cette étude, le MNT a été estompé suivant quatre directions (N045°, N090°, N135° et N180°) afin d'accentuer les directions structurales qui leur sont perpendiculaires (NO-SE, N-S, NE-SO et E-O). Sur les images issues de ce traitement, en plus des alignements structuraux, des formes en relief et en creux sont prises en compte dans la cartographie. Le deuxième type de traitement du MNT a consisté à l'orientation des facettes. La Figure 4 illustre les différents traitements appliqués.



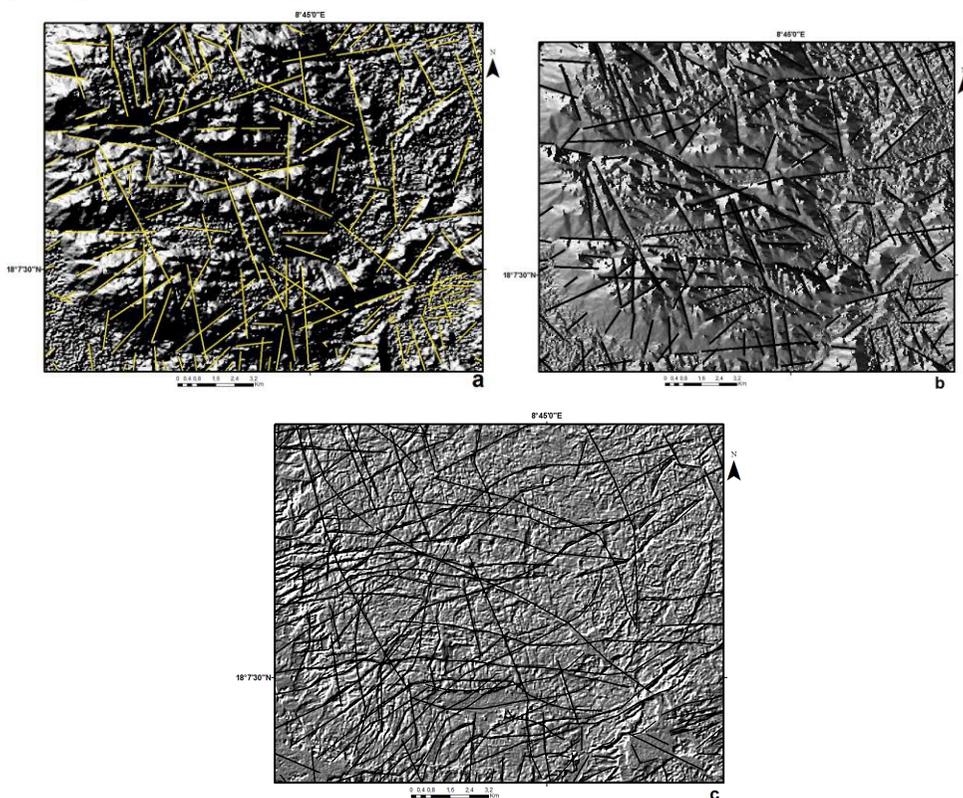
**Figure 3.** organigramme des différents traitements appliqués aux images satellite.

## Extraction manuelle des linéaments

Avant de procéder à l'extraction des linéaments, les structures linéaires d'origine anthropique (pistes) ont été supprimées.

Deux méthodes prédominent pour l'extraction des linéaments :

- L’une automatique, basée sur un algorithme mathématique (Hung et *al.*, 2005 ; Ghazi, 2013);
- l’autre manuelle fondée sur l’observation visuelle par photo-interprétation (Koussoubé, 1996 ; Kouamé et *al.*, 2006 ; Youan Ta, 2008 ; Abdou Babayé, 2012). Cette extraction manuelle consiste à tracer les segments correspondant aux discontinuités et aux variations brusques de tonalité observées sur les images ainsi traitées. Il s’agit principalement du réseau hydrographique, les ruptures de pente, et des alignements ou des contacts géologiques. Dans ce travail, c’est cette dernière méthode qui a été utilisée.



**Figure 4.** a) estompage N135° et b) orientation des facettes, c) Image issue du filtrage directionnel N-S de Sobel suivant la direction E-O

### Validation des cartes de fracturations

L’étape de validation des fractures issues du traitement numérique des images satellitaires et du MNT est fondamentale (Youan Ta et al., 2008).

Les structures mises en évidence à partir de l’image ETM+ et le MNT ont été confrontées à celles des accidents représentés sur la carte géologique (Black et al., 1967) pour valider les linéaments afin de leur donner une signification structurale. Toutefois, sur la carte géologique la densité des failles est très faible. De ce fait, la deuxième approche de validation a été effectuée

par la vérification de ces structures sur le terrain. Ainsi, plusieurs sources d'eau ont été cartographiées dans la zone d'étude. Le fait que la majorité des sources se situent au croisement des fractures suggère que ces structures sont d'origine tectonique.

## Résultats et discussion

### Répartition directionnelle des fractures issues de l'imagerie satellitaire

Les rosaces directionnelles de fractures en nombre et en longueurs cumulées permettent de distinguer les différentes familles directionnelles de fractures (Youan Ta et al., 2008). La rosace directionnelle (Figure 5a) en nombre de fractures met en évidence quatre directions principales. Il s'agit des directions N0°-N10°, (11%), N70°-N80°, N90°-N100° (9%) et plus ou moins la direction N50°-N60° (7%). Quant aux directions N130°-N140° et N160°-N170° leur pourcentage est égale à 5%. L'analyse portant sur les longueurs cumulées de fractures (Figure 5b) montre que les orientations N60°-70°, (11%), N70°-N80° (9%), N50°-N60° (9%) et N90°-N100° (7%) semblent avoir le pourcentage le plus élevé. Ensuite, suivent les directions N140°-N150° (8%), N150°-N160° et N0°-N10° (6%).

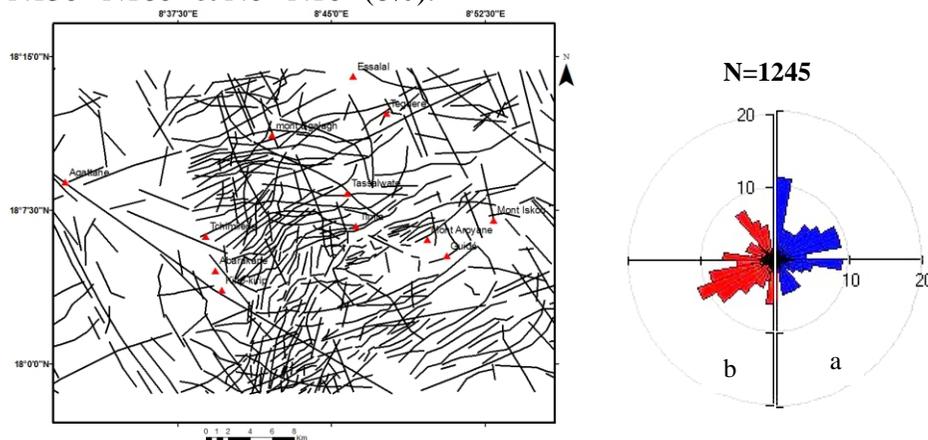
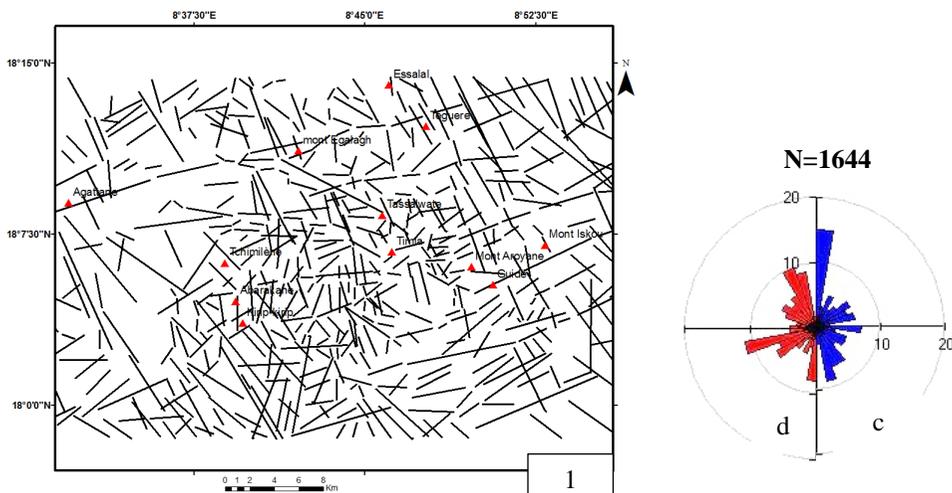


Figure 5. Carte de fracturation issue de Landsat7

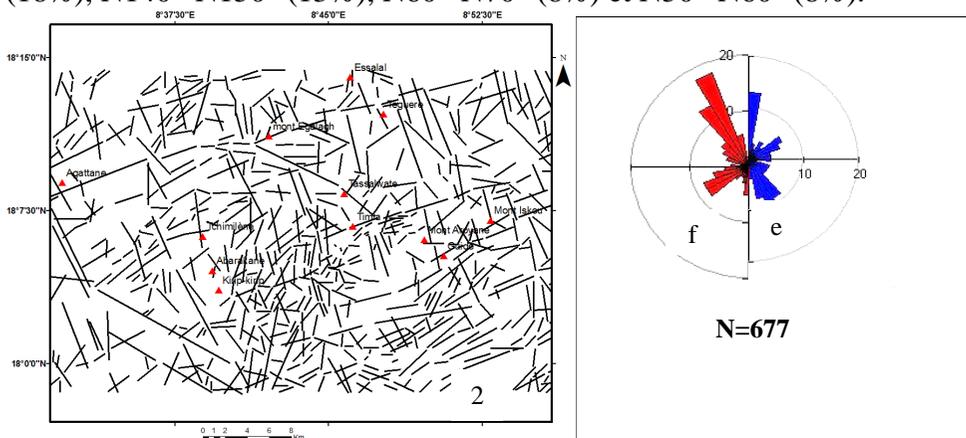
### Répartition directionnelle des fractures issues du MNT

La distribution (Figure 6c) des directions en nombre de fractures fait ressortir quatre directions majeures. Il s'agit des directions N0°-N10° (15%), N160°-N170° (9%), N140°-N160° (7%), et N90°-N100° (7%). Ensuite viennent les directions N70°-N80° (6%), N50°-N60° (6%), et N110°-N130°, N20°-N30°, N60°-N70° (5%). En ce qui concerne la répartition des fractures en longueurs cumulées (Figure 7d), on distingue aussi quatre directions principales. Ce sont les directions N70°-N80° (11%), N150°-N160° (10%), N160°-N170° (9%) et N0°-N10° (8%). Enfin, les directions N50°-N60° (7%), et N60°-N70°, N130°-N140° (6%) possèdent un pourcentage faible.



**Figure 6.** 1) Carte de fracturations provenant de l'estompage du MNT

La rosace directionnelle portant sur le nombre de fractures issues du traitement par orientation des facettes (Figure 7e) ne montre que trois directions dominantes à savoir : N°150-N160° (14%), N0°-N10° (13%), N140°-N150° (9%), et dans une moindre mesure les directions N160°-N170° (8%) et N50°-N60° (7%). En ce qui concerne la distribution des fractures en longueurs cumulées (Figure 7 f), celle-ci indique les directions N160°-N170° (18%), N140°-N150° (13%), N60°-N70° (8%) et N50°-N60° (8%).



**Figure 7.** 2) carte de fracturation issue de l'orientation des facettes du MNT

### Synthèse de la cartographie structurale

La synthèse des résultats issus de ces différents traitements (Figure 4) indique la prédominance des directions (Figure 8) N0°-10°, N140°-N170° et N70°-N100°. Les orientations secondaires oscillent entre N30°-50° et N120°-130°. La Figure 9 présentant le pourcentage de longueurs cumulées des fractures permet de retenir que les méga-fractures sont des directions N150°-

170° et N 60°-N90°, et dans une moindre mesure les directions N0°-10° et N90°-N100°. Cela montre la même tendance que les orientations majeures de la Figure 7 avec, néanmoins, une faible proportion de la direction N0-10° inférieure à 10%. De plus, les figures 8 et 9 indiquent aussi que les fractures identifiées sur l'image Landsat7 se superposent aux fractures issues du MNT seulement lorsqu'il s'agit des méga fractures (pourcentage en longueur fort). Or, lorsqu'il s'agit des fractures secondaires (faible pourcentage en longueur) la correspondance n'est pas effective. Ce qui s'explique par le fait que les images satellitaires favorisent la cartographie des fractures mineures, tandis que le MNT privilégie celle des fractures majeures (Saley, 2003).

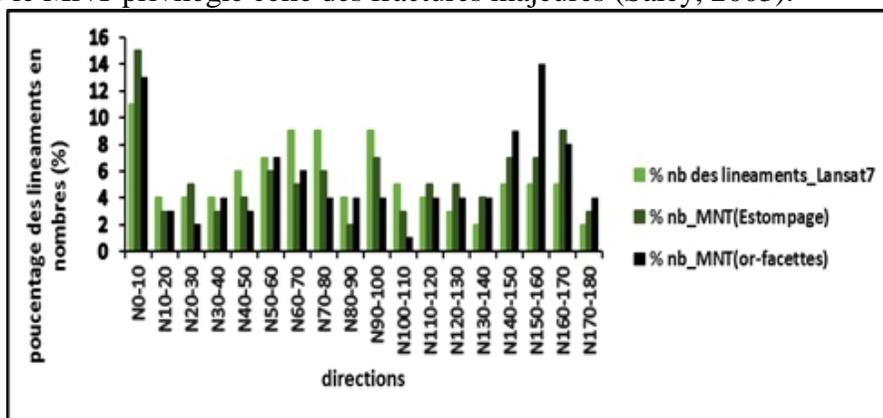


Figure 8. Variation de nombre de fractures en fonction des supports et les méthodes utilisées

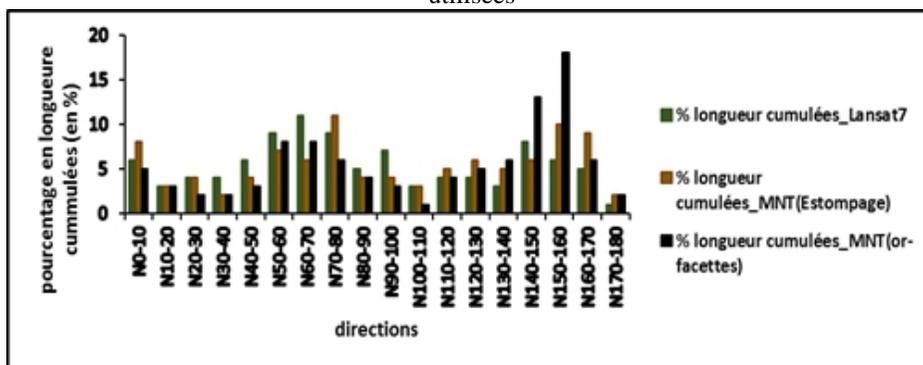


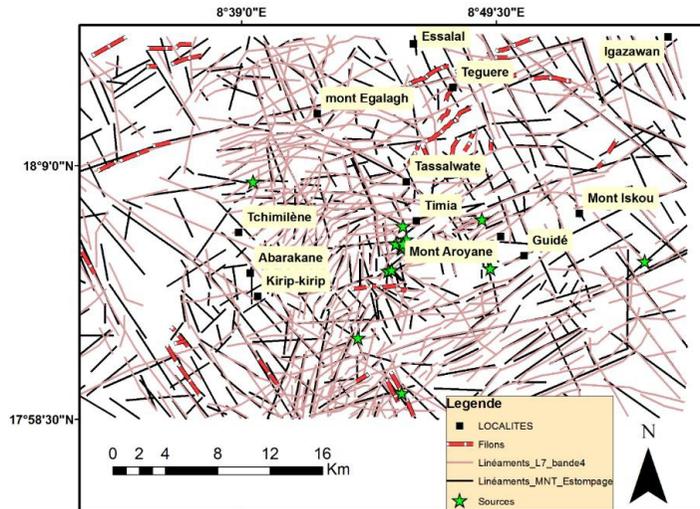
Figure 9. Variation de longueur cumulée de fractures en fonction des supports et les méthodes utilisées

### Relation fracturation et sources

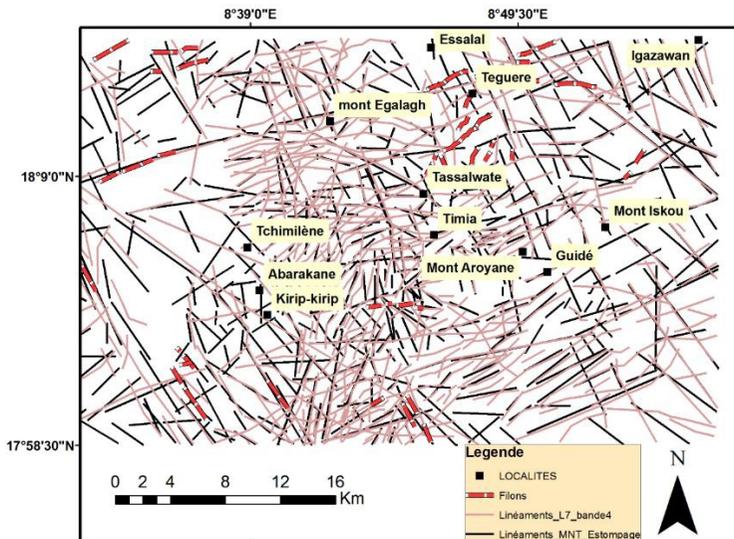
La Figure 10 montre que des sources d'eau jaillissent à travers les accidents tectoniques majeurs dont les principaux ont une orientation N0°-N10°, N70°-N80°, N130°-N140° et N140°-N170°. En outre, les sources (Taganjir 1 et 2) apparaissent sur le nœud des accidents tectoniques majeurs (NNW-SSE et NW-SE) d'importance régionale. Certaines d'entre elles

comme celles de Timia (Tekarkar, Aguilmane satafane, Intilizdague) jaillissent au contact de deux coulées basaltiques successives.

Ainsi, les cartes linéamentaires élaborées semblent être représentatives de la fracturation dans la zone de Timia.



**Figure 10.** Correspondances entre fractures et sources



**Figure 11.** Carte synthétique de fracturation issue de l'ensemble des supports utilisés

### Discussion

Dans la cartographie de la fracturation, l'usage de filtres directionnels de Sobel à la bande 4 de Landsat7, ainsi que l'Estompag des MNT ont permis de démontrer l'aptitude de ces supports numériques à la

cartographie structurale. De nombreux travaux (Jourda, 2005 ; Youan Ta et *al.*, 2008 ; Abdou Babaye, 2012) ont montré la contribution de l'usage des images satellitaires dans la caractérisation des réservoirs fissurés. Aussi, plusieurs études (Durand, 2005 ; Kouamé et *al.*, 2006 ) ont également permis d'améliorer de manière significative la connaissance des aquifères du socle à partir des MNT.

Dans le massif de l'Aïr, la carte linéamentaire réalisée montre trois (3) directions principales :  $N0^{\circ}$ - $N10^{\circ}$ ,  $N140^{\circ}$ - $N170^{\circ}$ ,  $N70^{\circ}$ - $N100^{\circ}$  et deux (2) directions secondaires qui sont  $N40^{\circ}$ - $N50^{\circ}$  et  $N120^{\circ}$ - $N130^{\circ}$ . Ce qui est en accord avec les travaux antérieurs (Black, 1967 ; Moreau, 1978).

En relation au système d'accidents  $N0^{\circ}$ - $N10^{\circ}$ , le plus remarquable et le plus important est le cisaillement de *Raghane* large de 5 à 10 Km traversant l'Aïr sur plus de 400 Km (Liégeois et *al.*, 1994). Ces accidents affectent fortement l'ancien socle et sont observés principalement au centre de la zone d'étude selon un axe Nord-Sud, disparaissant sur les bordures est et ouest. Cette famille est principalement fréquente dans les gneiss migmatitiques d'Agassara au Sud du mont Egalagh. Il est à noter également que des grands couloirs de cisaillement, caractérisés par la présence des roches à aspect broyé et/ou plissé observées dans des gneiss migmatitiques d'Agassara, ont cette orientation  $N0^{\circ}$ - $N10^{\circ}$ . Ces dernières correspondent aux grandes structures mylonitiques en C/S dont l'angle est inférieur à  $5^{\circ}$  et des plans de cisaillements définis par le quartz rubané observés au Nord du Mont Egalagh par Liégeois et *al.*, 1994. Des résultats similaires ont été obtenus au Nord de Timia, à partir des travaux de Moreau, 1978 portant sur la fracturation du massif de Oufoud.

Parmi les accidents  $N140^{\circ}$ - $N170^{\circ}$ , les orientations  $N160^{\circ}$ - $N170^{\circ}$ , sont les plus abondantes en nombre après la classe  $N0^{\circ}$ - $N10^{\circ}$  dans la zone de Timia. Cependant, en longueur cumulée la classe  $N0^{\circ}$ - $N10^{\circ}$  est la plus importante. Cela est en accord avec les travaux réalisés par Black et *al.* (1967) soulignant les accidents  $N0^{\circ}$ - $N10^{\circ}$  qui sont observables sur des distances supérieures à 10 km.

Les fractures de direction  $N130^{\circ}$ - $N140^{\circ}$  sont observées principalement sur les reliques du socle panafricain affleurant sur les bordures est, ouest et au centre de la zone d'étude. Ces faisceaux des fractures ont joué dans la structuration du fossé de Tefidet (Black et *al.*, 1967 ; Ahmed, et *al.*, 2016). Quant aux accidents  $N160^{\circ}$ - $N170^{\circ}$ , observés dans la partie sud du Mont Egalagh, ils constituent des directions majoritaires des filons de quartz et de quartzite, ce qui est en conformité avec les études menées par Ahmed et *al.* (2016) qui ont mis en évidence la présence de ces accidents  $N160^{\circ}$ - $N170^{\circ}$  dans le fossé de Tefidet.

Les accidents de la famille  $N70^{\circ}$ - $N80^{\circ}$  s'observent en général sur toute la zone d'étude. Cette famille d'accidents, est la deuxième plus importante en longueur cumulée (Figure 8), ce qui fait que ces accidents soient des méga-

linéaments. De plus, une partie des sources d'eau de la zone d'étude se situe sur ces méga-fractures ou dans les zones d'intersections des fractures N70°-N80° avec les accidents N0°-N10°. La majorité des kosis de la zone d'étude ont ces orientations (N70°-N80°, N90°-N100°). Selon Joseph (1990), les accidents N70°-N80° affectant profondément le socle ainsi que les formations sédimentaires en bordure ouest du massif de l'Air, peuvent assurer un éventuel transfert hydraulique.

La relation Kosis-fractures et les coïncidences entre les nœuds des fractures et les sources d'eau (Figure 10) constituent des éléments importants de validation de la carte des linéaments. Ces éléments de preuve suggèrent que les structures linéaires cartographiées à partir des supports numériques correspondent aux structures d'origine tectonique.

Ainsi, des études basées sur photo-interprétation, et l'interprétation des imageries satellitaires ont permis aux auteurs (Ball, 1980 ; Ferré et *al.*, 2001; Goki, et *al.*, 2011 ; Abubacar, 2012) de mettre en évidence les orientations NO-SE, NE-SO, NNE-SSE, N-S, et E-O dans le socle Panafricain du Nigeria.

En Algérie, sur le massif du Hoggar (bouclier Touareg), Nouar, et *al.* (2011) les traitements des images Landsat et de la Géochimie isotopique ont mis en évidence la présence de deux générations de failles : la direction NNE-SSO issue de la première et l'orientation NO-SE formant la deuxième. En plus, dans le même massif, Bouzid et *al.* (2015) ces traitements ont mis en évidence l'existence des failles de direction NO-SE à NNO-SSE limitant les terrains dans le Hoggar ( Algérie).

Des travaux effectués dans le socle Ouest Africain, sur la base d'exploitation des imageries satellitaires, au Niger (Abdou Babaye, 2012) et en Côte d'Ivoire (Biémi, 1992 ; Lasm, 2000; Jourda, 2005; Jourda et *al.*, 2006; Koita, 2010) ont trouvé des résultats satisfaisants; mieux encore, ils ont montré le lien entre la fréquence de la fracturation et la productivité des forages.

## **Conclusion**

Les techniques de la télédétection restent comme un outil performant dans la recherche des eaux souterraines des milieux fracturés. Le traitement et l'analyse de l'image ETM+ Landsat7 et du MNT a permis de cartographier les fractures dans la zone de Timia qui sont peu connues. Elles sont principalement orientées N0°-N10°, N140°-N170°, N70°-N100° et N30°-N50°. Ces fractures identifiées doivent être prises avec réserve, car la seule analyse par télédétection ne suffit pas à déterminer si ces fractures forment des réservoirs d'eaux souterraines. Toutefois, ces structures combinées avec d'autres informations hydrogéologiques complémentaires contribueront de manière significative à l'identification des sites favorables pour

l'implantation des forages dans la zone de Timia. Des études géophysiques permettront de confirmer ces structures mises en évidence.

### References:

1. Abdou Babaye, M.S. (2012). *Evaluation des ressources en eau souterraine dans le bassin de Dargol (Liptako-Niger)*. PhD theisis Université de Liège, 244p.
2. Abubakar, Y.I. (2012). *An Integrated Technique in Delineating Structures: A Case Study of the Kushaka Schist Belt Northwestern Nigeria*. International Journal of Applied Science and Technology Vol. 2 N° 5 pp 164-176.
3. Ahmed, Y., Konaté, M., & Harouna, M. (2016). *Tectono- magmatic reactivation of Téfidet Cretaceous trough during Cenozoic (Aïr, Niger)*. Bull. Soc. géol. France, 2016, t. 187, n°2, pp. 3-10.
4. Biemi, J. (1992). *Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants subsahéliens du socle Précambrien d'Afrique de l'Ouest : hydro structurale, hydrodynamique, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus de sillons et aires granitiques de la haute Marahoué (Côte d'Ivoire)*. Thèse Univ. Natio. Côte d'Ivoire, 493p.
5. Black, Jaujoum, & Pellatonc (1967). *Notice explicative sur la carte géologique de l'Aïr, à l'échelle du 1/500 000ième*. Direction des Mines et de la Géologie, République du Niger. Editions BRGM, Orléans, 57 p.
6. Bouzid, A., Bayou, B., Liegeois, J.P., Bourouis, S., Bougchiche, S., Bendekken, A., Abtout, A., Bouklouf, W., & Oubadi, A. (2015). *Lithospheric structure of Atakormetacratonic volcanic swell (Hoggar, Tuareg shield, southern Algeria): Electrical constraints from magnetotelluric data*. In: Gillian R. Foulger (Durham Univ), Ed., Don L. Anderson honor volume. Geological Society of America and the American geophysical Union. [www.MantlePlumes.org](http://www.MantlePlumes.org).
7. Cazoulat, M. (1985). *Geologic environment of the uranium deposits in the carboniferous and jurassic sandstones of the western margin of the Aïr Mountains in the republic of Niger*. IAEA TECDOC 328, Geological environments of sandstone type uranium deposits. Vienne, pp 247-261.
8. Corgne, S., Magagi, R., Yergeau, M., & Sylla, D. (2010). *An integrated approach to hydro-geological lineament mapping of a semi-arid region of West Africa using Radarsat-1 and GIS*. Remote Sensing of Environment 114 -pp1863–1875.
9. Donnay, J.P. (2000). *Bulletin de la société Géographique de Liège*, 38,2000/1, pp 107-119.

10. Durand, V. (2005). *Recherche multidisciplinaire pour caractériser deux aquifères fracturés: les eaux minérales de Plancoët en contexte métamorphique, et de quezac en milieu carbonaté*. THESE UNIV.PARIS VI-PIERRE ET MARIE CURIE, 255P.
11. Engalenc, M. (1978). *Méthode d'étude et de recherche de l'eau souterraine des roches cristallines de l'Afrique de l'Ouest*. Comité interafricain d'études hydrauliques (CIEH), 318p.
12. Ferre, E., Gleizes, G., & Caby, R. (2002). *Obliquely convergent tectonics and granite emplacement in the Trans-Saharan belt of Eastern Nigeria: a synthesis*. Precambrian Research 114 (2002), pp 199– 219.
13. Ghazi, T.R. (2013). *Automatic Extraction and Geospatial Analysis of Lineaments and their Tectonic Significance in some areas of Northern Iraq using Remote Sensing Techniques and GIS*. International journal of enhanced research in science technology & engineering. vol. 2 issue 2, feb.ISSN NO: pp 2319-7463.
14. Girard, P. (1993). *Techniques isotopiques ( $^{15}\text{N}$ ,  $^{18}\text{O}$ ) appliquées à l'étude des Nappes des altérites et du socle fracturé de l'ouest africain. Étude de cas: l'Ouest du Niger*. Thèse univ. Québec à Montréal, 141p.
15. Goki, NG., Amadi, AN., Olasehinde, P.I., Dada, SS., Ikpokonte, E A., & Adekeye, J.I.D. (2011). *Journal of Engineering and Technology Research Vol.3 (2)*, pp 26-36.
16. Greigert, J. (1968). *Les eaux souterraines de la république du Niger*. Ministère des Travaux Publics, des Transports, des Mines et de l'Urbanisme de la république du Niger. Rapport BRGM, 68 ABI 006 NIA, 2 volumes, 407 p.
17. Hung, L.Q., Batelaan, O., & Smedt, F. DE. (2005). *Lineament extraction and analysis, comparison of LANDSAT ETM and ASTER imagery. Case study: Suoimuoi tropical karst catchment, Vietnam*. Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology Edited by Manfred Ehlers, Ulrich Michel, Proc. of SPIE Vol. pp 5983- 59830.
18. Jourda, J.P.R. (2005). *Méthodologie d'application des techniques de télédétection et des systèmes d'information géographique à l'étude des aquifères fissurés d'Afrique de l'ouest. Concept de l'hydrotechnique spatiale : cas des zones tests de la Côte d'Ivoire*. Thèse de Doctorat d'état, ès Sciences Naturelles Université de Cocody 429 p.
19. Joseph, A. (1990). *Recharges et paléo recharges des nappes en région sub désertiques au Niger*. Thèse de l'université Paris VI, 163 p.
20. Koita, M. (2010). *Caractérisation et modélisation du fonctionnement hydrodynamique d'un aquifère fracturé en zone de socle*. Région de

- Dimbokro-Bongouanou (Centre Est de la Côte d'Ivoire)*. Thèse de doctorat, Université Montpellier II, 220 p.
21. Kouame, K.F. (1999). *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 3ème cycle, Univ. Cocody-Abidjan, 194 p.
  22. Kouamé, K.F., Penven, M.J., Kouadio, B.H., Saley, M.H., & Gronayes, C.C. (2006). *Contribution des images d'aster de terra et D'un modèle numérique d'altitude à la cartographie morpho structurale du massif des Toura (Ouest de la Côte d'Ivoire)*. Télédétection, vol. 6, n°2, pp 103-121.
  23. Koussoube, Y. (1996). *Hydrogéologie en milieu de socle cristallin du Burkina Faso. Cas du bassin versant du bas-fond de Bidi (province du Yatenga)*. Thèse de Doctorat de 3ème cycle, Univ. Cheikh Anta Diop, 210 p.
  24. Lasm, T. (2000). *Hydrogéologie des réservoirs fracturés de socle: Analyses statistiques et géostatistique de la fracturation et des propriétés hydrauliques. Application à la région des montagnes de Côte d'Ivoire (Domaine Archéen)*. Thèse Univ. Poitiers, 272 p.
  25. Liégeois, J.P., Black, Nave, ZJ. & Latouchel (1994). *Early and late Pan-African orogenies in the Air assemblage of terranes (Tuareg shield, Niger)*. Precambrian Research, 67, pp 59-88.
  26. Liégeois, J.P., Latouche, L., Boughrara, M., Nave, Z.J., & Guiraud, M. (2003). *The LATEA metacraton (Central Hoggar, Tuareg shield, Algeria): behavior of an old passive margin during the pan-African orogeny*. Journal African Earth Sciences, 37, pp 161-190.
  27. Liégeois, J.P., Benhallou, A., Azzouni-Sekkal, A., Yahiaoui, R., & Bonin, B. (2005). *The Hoggar swell and volcanism: Reactivation of the Precambrian Tuareg shield during Alpine convergence and West African Cenozoic volcanism*. In: G.R. Foulger, J.H. Natland and D.L Anderson, Eds, *Plates, plumes, and paradigms*. Geological Society of America Special Paper, 379-400.
  28. Moreau, C. (1978). *Mise en évidence sur photographie satellite ERTS d'éléments structuraux dans l'Air central*. Ann.Univ.Niamey, t. I, p.127-132.
  29. Moreau C., Brown W.L., Demaiffe D., Rocci G., Perez J.B. (1991): *Palaeozoic magmatism in the Air massif (Niger)*. In: A.B. Kampunzu and R.T. Lubala (Eds), *Magmatism in Extensional Structural Settings. The Phanerozoic African Plate*. Springer, Berlin: pp 345-358.

30. Moreau, C., Demaiffe, D., Bellion, Y., & Boullier, A.M. (1994). *A tectonic model for the location of Paleozoic ring complexes in Air (Niger, West Africa)*. Tectonophysics, 234 (1-2): pp129-146.
31. Morel, A. (1981). *Formes, formations superficielles et variations climatiques récentes dans les massifs de l'Air (Sud-Sahara). Palaeoecology of Africa and the surrounding islands*, Rotterdam, vol.13, pp 189 -98.
32. More, LA., Moreau, C., & Simonin, A. (1982). *Apport d'un enregistrement Landsat à la connaissance géomorphologique et géologique du Massif de l'Oufoud (Air central)*. Ann.Univ.Niamey, t.XXXII, p.81-88.
33. Nouar, O., Henry, B., Liegeois, J.P., Derder, M.E.M., Bayou, B., Bruguier, O., Ouabadi, A., Amenna, M., Hemmi, A., & Ayache, M. (2011). *Eburnean and Pan African granitoids and the Raghane mega-shear zone evolution: Image analysis, U–Pb zircon age and AMS study in the Arokam Ténéré (Tuareg shield, Algeria)*. Journal of African Earth Sciences 60 pp 133-152.
34. Olivier, G. (2006). *Evolution structurale du bassin de Tim Mersoï : déformations de la couverture sédimentaire, relations avec la localisation des gisements uranifère du secteur d'Arlit(Niger)*. Thèse de doctorat Université Paris XI Orsay.
35. Ousmane, B. (1988). *Étude géochimique et isotopique des aquifères du socle de la bande sahélienne du Niger (Liptako, Sud-Maradi, Zinder-Est)*. Thèse Univ. Niamey, 175p.
36. Raulais, M. (1959). *Esquisse géologique sur le massif cristallin de l'Air (Niger)*. Bull. Soc. géol. Fr., 7e série, t. 1, no 2, pp. 207-223.
37. Saley, M.B. (2003). *Cartographie thématique des aquifères de fissures pour l'évaluation des ressources en eau. Mise en place d'une nouvelle méthode d'extraction des discontinuités images et d'un SIHRS pour la région semi-montagneuse de Man Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire*, Thèse Univ. Cocody-Abidjan, 209 p.
38. Youan, TAM., Lasm, T., Jourda, J.P., Kouame, K.F., & Razack, M. (2008). *Cartographie structurale par imagerie satellitaire ETM+ de Landsat-7 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.