

# CONTRIBUTION DES DONNÉES ALOS ET LANDSAT DANS LA CARTOGRAPHIE ET L'ANALYSE DES LINÉAMENTS DANS LE SAHEL CENTRAL (MAROC OCCIDENTAL)

Adnane Habib<sup>1</sup>, Kamal Labbassi<sup>1</sup>, Nadia Akdim<sup>1</sup>, Amina Tajdi<sup>1</sup>

1 : Faculté des Sciences, Université Chouaïb Doukkali, El Jadida, Maroc – adnanehabib@gmail.com

## Résumé

Dans la région du sahel, l'avance du biseau salé lié à la surexploitation de nappes et la dégradation de la côte constituent un problème majeur dans cette région où les nappes phréatiques constituent la seule ressource d'alimentation en eau. En conséquence, plusieurs recherches hydrogéologiques ont été entamées dans le secteur afin d'assurer une bonne alimentation en eau pour les populations locales, l'agriculture et l'industrie. Dans cette étude, plusieurs techniques d'extraction des linéaments ont été appliquées sur des données ALOS et LANDSAT dans la région du Sahel central (entre Sidi-Moussa et Oualidia), incluant différents types de rehaussement, ainsi que l'application de différents filtres directionnels sur des produits ACP dérivés des images d'origine. Les linéaments extraits ont été évalués à la base des cartes géologiques et cartes hydrogéologiques de la zone d'étude. Des analyses statistiques ont été aussi réalisées pour déterminer les longueurs et les densités des linéaments. Ces nouveaux documents générés permettront une meilleure compréhension de la relation fracturation - circulation des eaux, à l'identification des zones de recharge et de minéralisation, et permettront aussi par la suite l'orientation de la prospection hydrogéologique dans ce secteur qui fera l'objet d'une prochaine publication.

**Mots clés :** ALOS, LANDSAT, linéaments, cartographie, analyse, Sahel central.

## Abstract

*In the Sahel of Abda-Doukkala, the advance of salt water intrusion related to the over exploitation of groundwater and to the coastal degradation is a major problem in this region, where groundwater is the only water supply resources. Consequently, several hydrogeological investigations were started in this region to ensure a good water supply for local people, agriculture and industry. In this work, several techniques for extracting lineaments were applied to ALOS and LANDSAT datasets in the central Sahel (between Sidi-Moussa and Oualidia), including different types of enhancement, and the application of different directional filters on PCA products derived from the original images. The extracted lineaments were evaluated through the published geological and hydrogeological maps for the study area, using GIS overlay operations. Statistical analyses were also performed to determine the length, density of lineaments. This new documents generated will allow a better understanding of the relationship fracturing - water circulation, and identification of areas of recharge and mineralization, and also allow the orientation of the hydrogeological exploration in this area; and this aims will be object of a next publication.*

**Keywords :** ALOS, LANDSAT, lineaments, cartography, analysis, Central Sahel.

## 1. Introduction

La cartographie linéamentaire constitue une composante essentielle dans la prospection hydrogéologique. Un linéament est un trait linéaire cartographiable, simple ou composite d'une surface dont les éléments sont alignés d'une façon rectiligne ou légèrement curviligne et qui diffère des structures adjacentes et qui peut refléter un phénomène de subsurface (O'Leary et al., 1976). La télédétection, grâce à sa vision synoptique, permet d'étudier de vastes champs géographiques et constitue un puissant outil pour l'étude de la fracturation. En effet, le traitement des données satellitaires est devenu incontournable pour l'évaluation des ressources naturelles et la cartographie des états de surface (Aboyeji et al., 2012; Himayri et al., 2002;

Jourda et al., 2006; Labbassi et al., 2011; Youan Ta et al., 2008; Tajdi, 2010).

L'objectif de cette étude est de faire la cartographie et l'analyse de la fracturation dans la région du Sahel central à partir de l'ensemble des données ALOS AVNIR-2 et LANDSAT5 TM en faisant appel aux techniques de traitement d'images.

Le site d'étude appartient au Maroc occidental, et il couvre la région entre Sidi-Moussa et Oualidia. Il est compris entre les latitudes 32°40'N et 33°0'N, et les longitudes 8°40'30"O et 8°57'30"O. Dans l'ensemble, la morphologie dunaire est régulière : les crêtes se suivent sur de grandes distances avec la même orientation SSO-NNE, séparées par des dépressions interdunaires, remplies de limons très sableux (Figure 1). Du point de

vue géologique, le secteur étudié fait partie de la grande unité géologique connue sous le nom de "Meseta Marocaine". Celle-ci est définie par le régime tabulaire des dépôts secondaires et tertiaires reposant sur des terrains primaires fortement plissés par l'orogénèse hercynienne (Figure 2). Du point de vue structural, la zone d'étude est essentiellement affectée par la tectonique tertiaire, conséquence à la fois des mouvements orogéniques rifains et atlasiques.

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1. Données utilisées

L'ensemble des données utilisées pour cette étude provient des données ALOS (Advanced Land Observing Satellite) et des données LANDSAT5. Les données ALOS sont prises par le capteur AVNIR-2 (Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2) avec une résolution spatiale de 10 m et comportent 4 bandes spectrales (bande1 (0,42 - 0,50  $\mu\text{m}$ ), bande2 (0,52 - 0,60  $\mu\text{m}$ ), bande3 (0,61 - 0,69  $\mu\text{m}$ ) et bande4 (0,76 - 0,89  $\mu\text{m}$ )). Les données ALOS AVNIR-2 ont été acquises le 10 décembre 2010 et ont été livrées avec le format CEOS avec le niveau 1B2G. Les données LANDSAT5 sont prises par le capteur Thematic Mapper (TM) avec une résolution spatiale de 30 m (les bandes thermiques des données LANDSAT provenant des stations de l'ESA sont rééchantillonnées à 30 m par pixel) et comportent 7 bandes spectrales (bande 1 (0,45 - 0,52  $\mu\text{m}$ ), bande 2 (0,52 - 0,60  $\mu\text{m}$ ), bande 3 (0,63 - 0,69  $\mu\text{m}$ ), bande 4 (0,76 - 0,90  $\mu\text{m}$ ), bande 5 (1,55 - 1,75  $\mu\text{m}$ ), bande 6 (10,42 - 12,50  $\mu\text{m}$ ) et bande 7 (2,08 - 2,35  $\mu\text{m}$ )). Ces données ont été acquises le 11 décembre 2010 et ont été livrées avec le format Geotiff.

Les données auxiliaires comprennent les cartes topographiques de l'ANCFCC (l'Agence Nationale de la Conservation Foncière, du Cadastre et de la Cartographie) à 1 :50000, les cartes géologiques de Gigout (1954) publiées par le Service Géologique du Maroc à 1 :200000 et des cartes issues des études de prospection géophysique.

### 2.2. Traitement des données

La méthodologie employée dans cette étude comprend principalement la correction des données et la création de produits dérivés. Par la suite, les différents produits résultants de ces trois sections ont été utilisés pour l'analyse structurale de la région d'étude.

#### 2.2.1. Correction géométrique

Les corrections géométriques effectuées sont de type image-à-carte, faites à la base des cartes topographiques, avec une transformation géométrique basée sur une équation polynomiale du second degré, associée à un rééchantillonnage par la méthode du plus proche voisin. Le système de projection utilisé est celui de Lambert Maroc Nord.

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

**TABLE 1 :** Matrices 3×3 des filtres directionnels de Sobel dans quatre directions principales appliquée dans cette étude.

#### 2.2.2. Amélioration de contraste

Cette opération permet d'augmenter le contraste des données afin d'obtenir une meilleure visualisation de l'image.

#### 2.2.3. ACP

L'ACP ou Analyse en Composantes Principales est une transformation mathématique basée sur l'analyse de la matrice de covariance de l'image ou de la matrice de corrélation de plusieurs séries de données (Bonn et Rochon, 1992). L'analyse en composantes principales est une technique efficace pour préparer une image multi-spectrale à des fins d'interprétation géologique (Biémi et al., 1991). Nous avons donc calculé des composantes principales à partir des 4 bandes spectrales AVNIR-2 et des 7 bandes TM.

#### 2.2.4. Filtrage

Le filtrage est une technique visant à éliminer le bruit contenu dans les données, le bruit 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 zone relativement homogènes, ce qui peut révéler la présence de failles ou de fractures. 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. 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 correspondant de la matrice de convolution. La valeur finale attribuée au pixel central représente la somme de ces produits divisée par le nombre d'éléments de la fenêtre. L'image résultante provient de la convolution de la fenêtre sur l'image entière. Des filtres de convolution ont été appliqués sur les différentes images issues du traitement par l'ACP, dans des différentes directions N-S, E-O, NE-SO et NO-SE, pour augmenter la fréquence et le contraste des images. Le tableau 1 montre les filtres directionnels de Sobel utilisés dans les quatre directions principales. Ceci permet de détecter les linéaments dans toutes les directions possibles.

#### 2.2.5. Extraction des linéaments

Le relevé des linéaments à partir de l'image a été établi par extraction manuelle, où la numérisation des

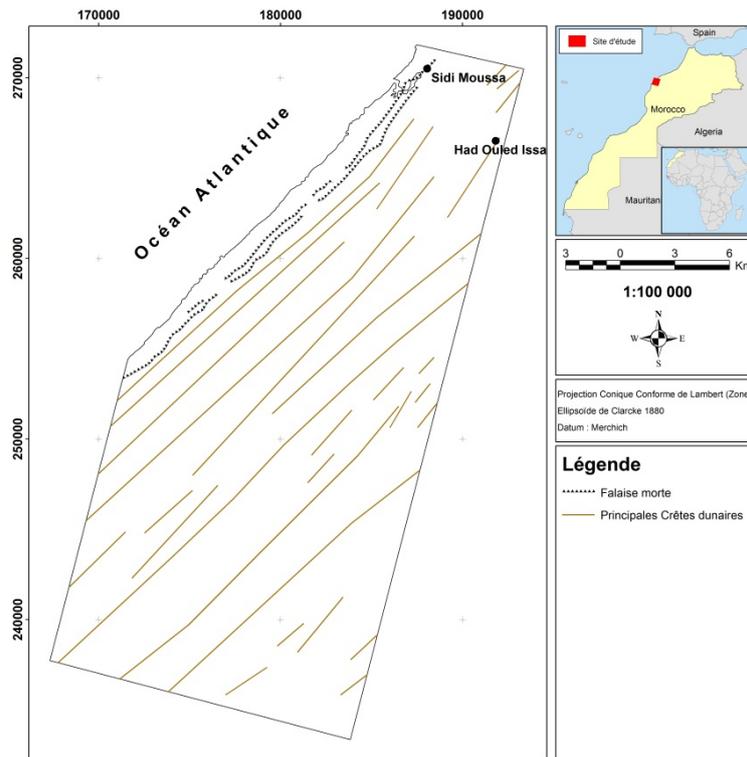


FIGURE 1 : Cadre géomorphologique du site d'étude.

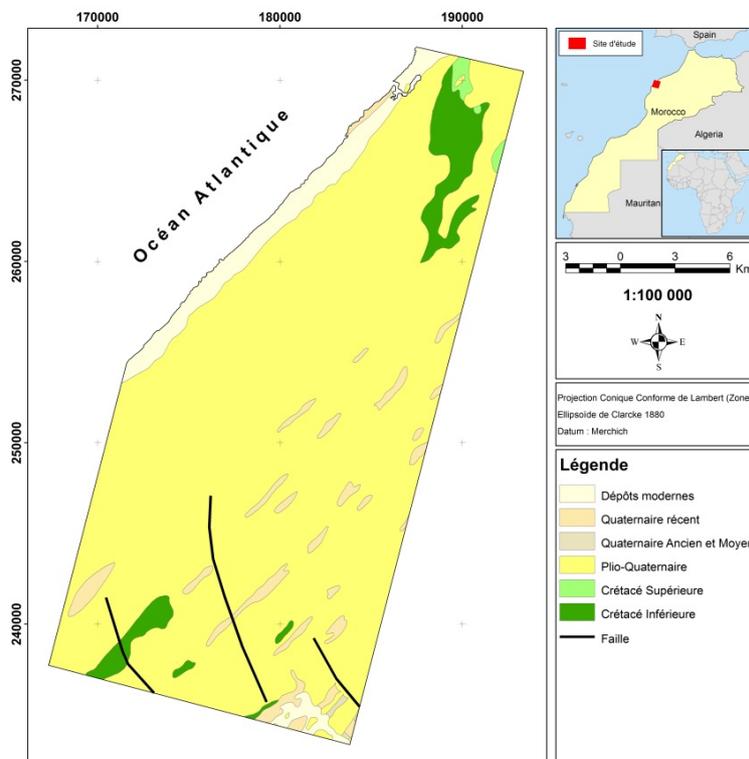
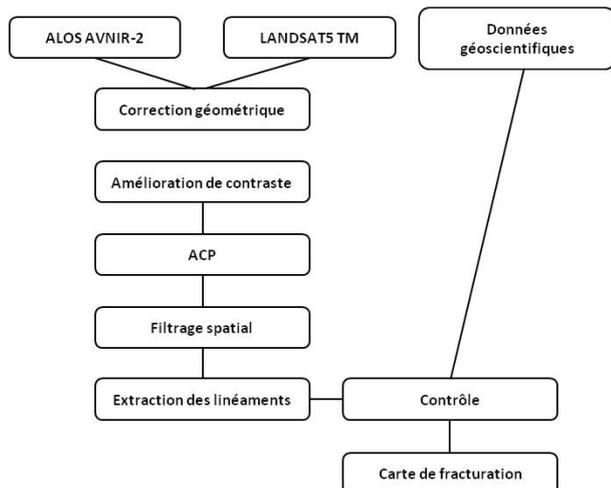


FIGURE 2 : Carte géologique du site étudié.

linéaments s'effectue directement à l'écran sur les produits filtrés, en procédant parfois à des grossissements localisés en cas d'incertitude sur l'existence de petits tronçons. Les linéaments extraits sont vérifiés sur les images en composition colorée avant d'être retenus. L'organigramme de la figure 3, résume les différentes opérations de traitements effectués pour aboutir à l'extraction des linéaments.



**FIGURE 3** : Organigramme des principaux traitements effectués pour l'extraction des linéaments.

### 3. Résultats et discussion

#### 3.1. Cartographie et analyse statistique des structures linéamentaires

L'application des filtres précédemment décrits sur les différents produits traités a permis de mettre en évidence de nombreuses discontinuités dans les images. Sur ces images, les linéaments sont matérialisés par des limites formées par les zones sombres et claires. Le traitement et l'interprétation ont abouti à la mise en évidence près de 236 linéaments pour les données ALOS AVNIR-2 (Tableau 2 & Figure 4) contre 98 pour les données LANDSAT5 TM (Tableau 2 & Figure 5), soit 334 linéaments au total. La carte de synthèse des linéaments représente l'ensemble des linéaments résultant de la superposition de l'information contenue dans les différents produits filtrés. Cette carte de synthèse (Figure 6) regroupe au total 334 linéaments et elle présente une densité importante de linéaments de tailles variables allant de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres.

L'analyse de la rosace de distribution des linéaments provenant des données LANDSAT5 TM montre les tendances dominantes dans les directions NO-SE et NE-SO (Figure 5), tandis que l'analyse de celle des données ALOS AVNIR-2 a permis de faire ressortir, en plus des deux directions révélées précédemment, une troisième tendance dans la direction E-O (Figure 4).

La combinaison et l'analyse de tous les linéaments en un seul ensemble ont abouti à l'identification et à la confirmation de trois directions précédemment décrits : NE-SO, E-O et SE-NO (Figure 6).

334 linéaments au total ont été cartographiés dans la région d'étude à partir de l'ensemble des données ALOS AVNIR-2 et LANDSAT5. La longueur des linéaments suit une loi log-normale, avec une longueur totale d'environ 376066 km. La longueur minimale est d'environ 207 m, avec une longueur maximale d'environ 5820 km, la moyenne de la longueur des linéaments est au voisinage de 1125 km, avec une déviation standard de 881 m (Tableau 2).

Une carte de densité Kernel a été obtenue pour l'ensemble des linéaments avec un rayon de 5 km. La densité Kernel applique une surface arrondie autour de la ligne correspondant à un linéament avec une valeur plus grande sur la ligne et diminuant lorsque qu'on s'en éloigne. La figure 7 laisse voir une région à faible et à moyenne densité de linéaments dans le Sud de la carte, alors que le Nord présente une forte densité de linéaments.

La densité des linéaments est un indicateur du degré de fracturation de la roche. Les zones de densité linéamentaire relativement élevée sont identifiées comme des zones de haut degré de fracturation des roches qui sont indispensables au développement de conduit des eaux souterraines dans une zone donnée.

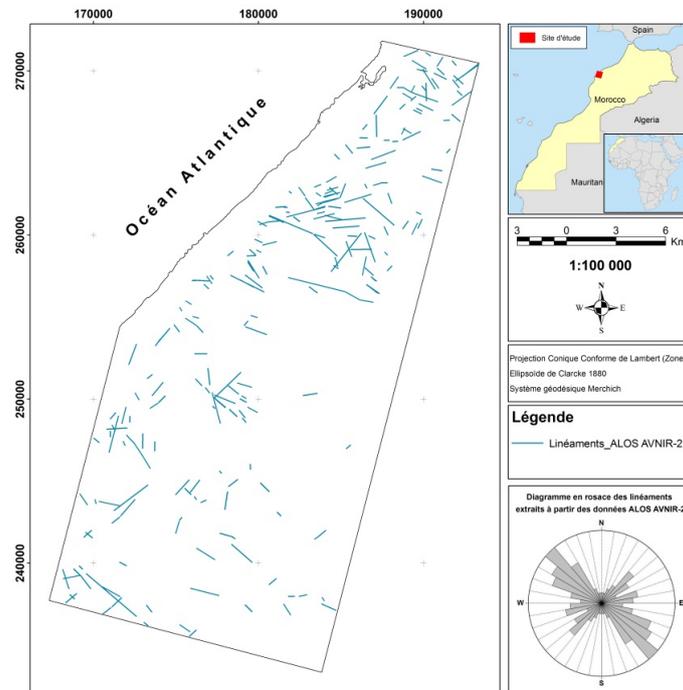
L'analyse de la densité des intersections des linéaments a été faite en suivant la même procédure décrite pour l'analyse de la densité des linéaments (Figure 8). L'ensemble des intersections est d'environ 277. La comparaison de la carte de densité des linéaments avec celle de densité des intersections montre que la zone à forte densité des linéaments est caractérisée par une forte densité des intersections. Cette zone caractérisée par une forte densité d'intersections peut être une zone favorable à la mise en place de réserve d'eau souterraine. Les nœuds des fractures constituées par les intersections des fractures auraient des potentiels hydriques non négligeables.

#### 3.2. Confrontation des résultats avec les données géoscientifiques

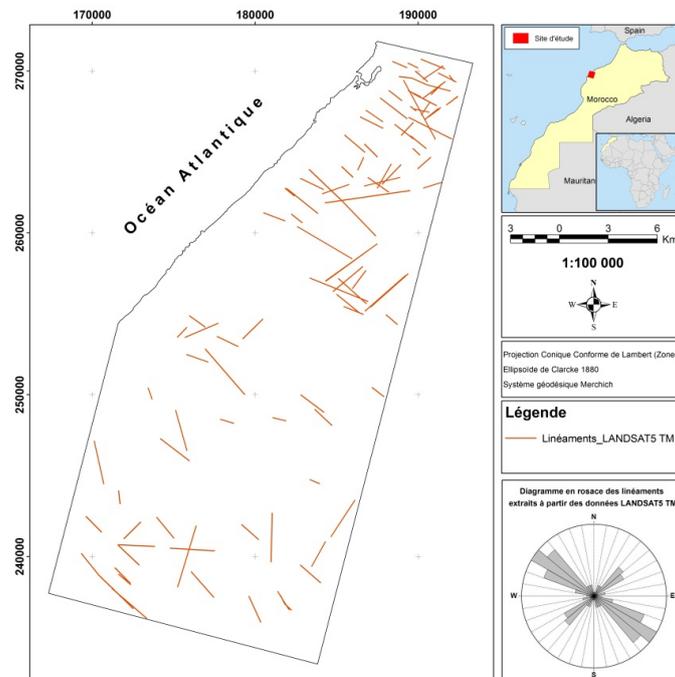
Pour valider la présence de ces accidents mis en évidence sur les images satellitaires, ces derniers ont été comparés aux différents accidents d'origine tectonique déjà mis en évidence sur les esquisses structurales faites d'après des sondages géophysiques et forages (Ferré, 1969 ; Ferré et al., 1975) (Figure 9). En comparant la rosace des accidents majeurs de la figure 9 aux orientations principales des linéaments extraits à partir des données ALOS AVNIR-2 et LANDSAT5 (Figure 5 et 6), on voit bien que les nouveaux documents ont mis en évidence les deux orientations NE-SO, E-O.

	Moyenne	Nombre	Max	Min	Ecart-type	Somme
<b>ALOS</b>	840,51	236	4026,47	207,33	580,32	198360,64
<b>LANDSAT</b>	1813,32	98	5820,45	466,43	1085,70	177705,76
<b>TOTAL</b>	1125,95	334	5820,45	207,32	881,93	376066,41

**TABLE 2 :** Statistiques des linéaments extraits à partir de l'ensemble des données ALOS AVNIR-2 & LANDSAT5 TM.



**FIGURE 4 :** Carte des linéaments extraits à partir des données ALOS AVNIR-2.



**FIGURE 5 :** Carte des linéaments extraits à partir des données LANDSAT5 TM.

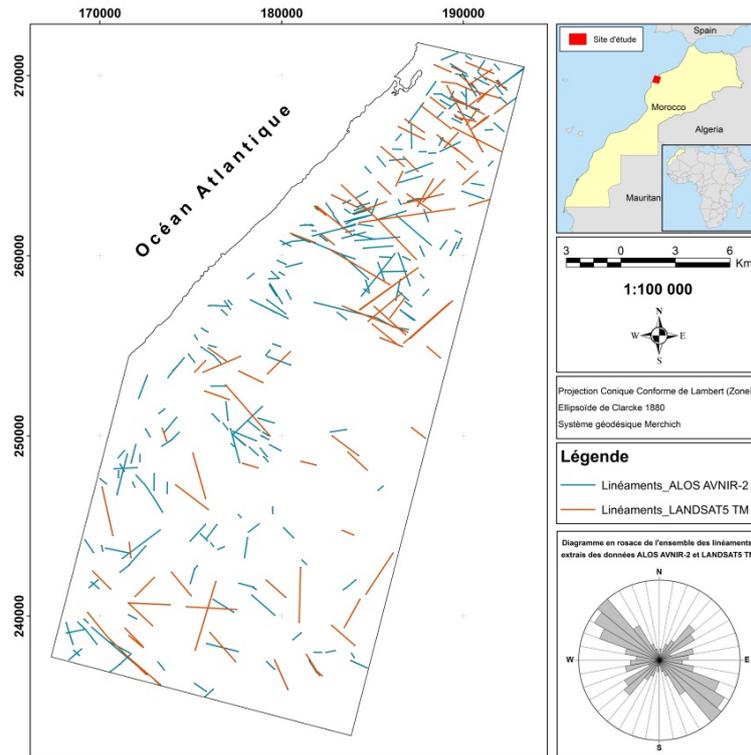


FIGURE 6 : Carte des linéaments extraits à partir de l'ensemble des données ALOS AVNIR-2 et LANDSAT5 TM.

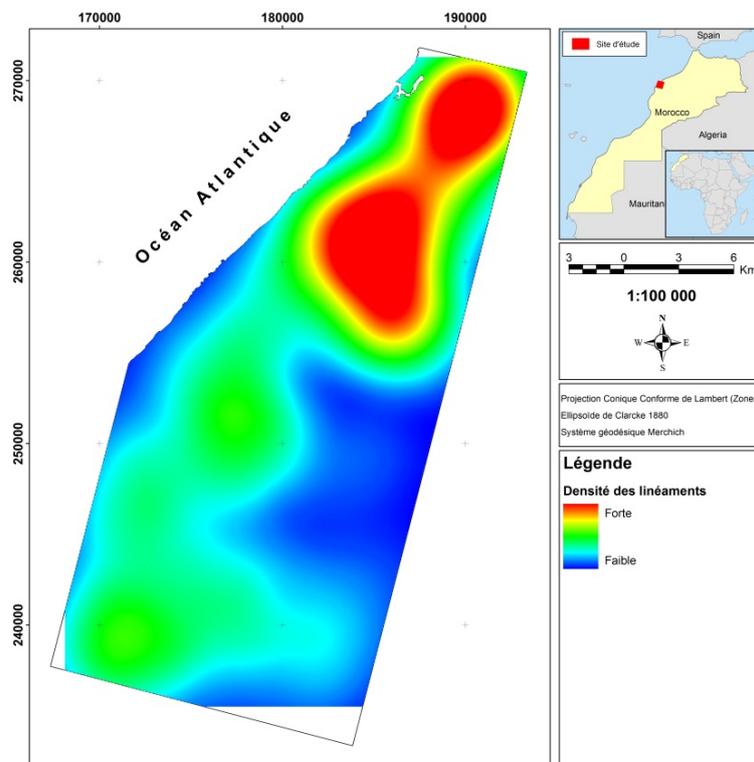


FIGURE 7 : Densité des linéaments extraits à partir de l'ensemble des données ALOS AVNIR-2 & LANDSAT5 TM.

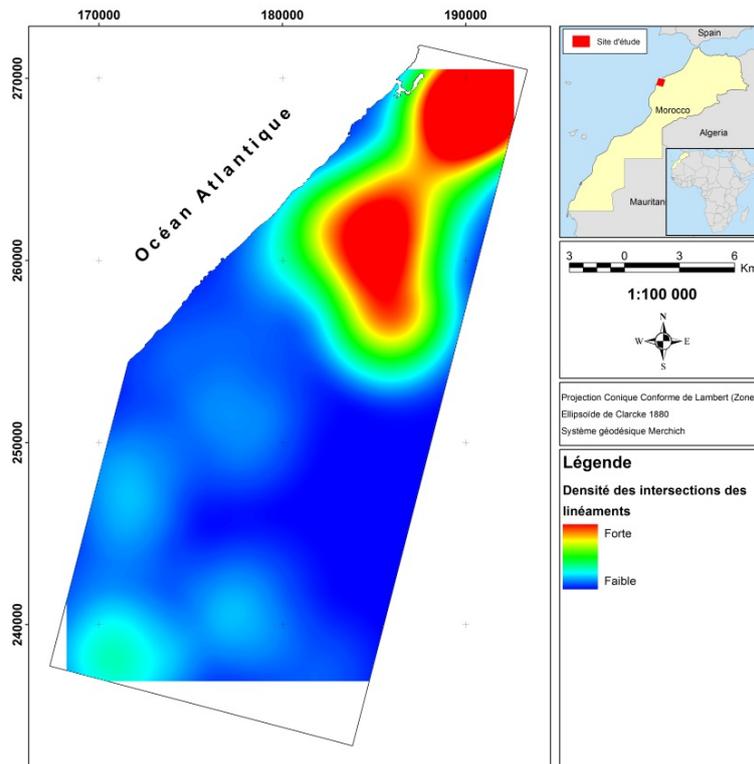


FIGURE 8 : Densité des intersections des linéaments extraits à partir de l'ensemble des données ALOS AVNIR-2 & LANDSAT5.

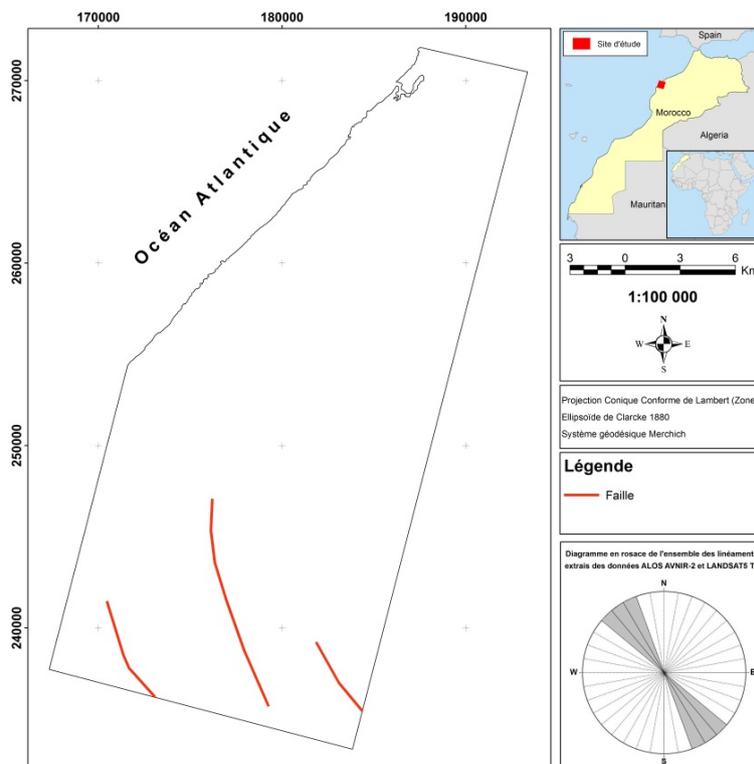


FIGURE 9 : Failles numérisées à partir des données géoscientifiques de la zone d'étude.

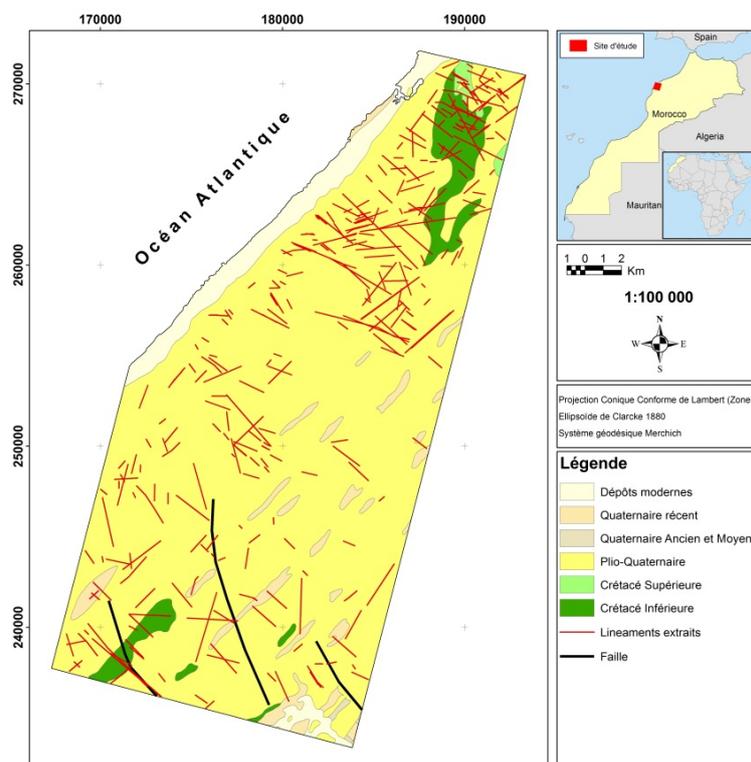


FIGURE 10 : Carte géologique mise à jour de la zone d'étude.

#### 4. Conclusion

L'étude a été réalisée pour explorer l'applicabilité des données optiques ALOS AVNIR-2 et LANDSAT5 dans la cartographie des linéaments. La combinaison entre la bonne résolution spatiale des données ALOS AVNIR-2 et la bonne résolution spectrale des données LANDSAT5 a permis d'affiner les caractéristiques structurales du Sahel central, en apportant un complément à l'inventaire des failles dans le secteur d'étude ou peu de structures ont été cartographiées (Service Géologique du Maroc, 1954 ; Ferred 1975).

En utilisant les linéaments extraits, on a pu mettre à jour la carte géologique (Figure 10) de la région en ajoutant les linéaments dérivés des données ALOS AVNIR-2 et LANDSAT5. Ces linéaments ont été superposés par la suite sur la carte lithologique numérisée à partir des cartes géologiques de Gigout (1954) publiées par le Service Géologique du Maroc à 1 :200000.

#### Remerciements

Les travaux décrits dans la présente publication ont été réalisés dans le cadre de l'Initiative TIGER soutenu par l'Agence Spatiale Européenne (ESA) (<http://www.tiger.esa.int/>).

#### Références

Aboyeji O.S., Mogaji K.A., Oyinloye R.O., 2012. Structural Interpretation of Remotely Sensed Data Sets, Its Hydrogeological Implication Over Ile-Ife And Environs. *Ocean Journal of Applied Sciences* 5 (1) : 43–54.

Biémi J., Gwyn Q.H.J., Deslandes S., Jourda J.P., 1991. Géologie et réseaux de linéaments régionaux du bassin versant de la Marahoué (Côte d'Ivoire) : cartographie à l'aide des données Landsat TM et du champ magnétique total. *Téledétection et gestion des ressources*, Vol. VII, P. Gagnon (Ed.). In : 7th AQT congress, Montreal, Canada, pp. 135–145.

Bonn F. and Rochon G., 1992. *Précis de télédétection. Volume 1 : Principes et Méthodes*. Presses de l'université du Québec/AUPELF, Sainte-Foy, Canada, 485p.

Ferré M., 1969. *Hydrologie et hydrogéologie des Abdoukkala (Maroc occidental). Application aux problèmes posés pour la mise en valeur par irrigation*. PhD thesis, University of Nancy, France.

Ferré M. and Ruhard J.P., 1975. *Ressources en eau du Maroc Tome 2 (Plaines et bassins du Maroc atlantique)*. Technical Report n°231 Geological Service. Editions du Service Géologique du Maroc, pp. 261–298.

Gigout M., 1954. *Carte géologique de la Meseta entre*

Settat et Mazagan (Doukkala et Chaouia Occidentale). Editions du Service Géologique du Maroc, 1 :200000.

Himyari S.M., Hoepffner C., Benzakourb M., El Hadani D., 2002. Étude structurale du Haut Atlas Oriental (Maroc) à l'aide de l'analyse linéamentaire des images HRV (XS) de SPOT. *Téledétection* 2(4) :243–253.

Jourda J.P., Djagoua E.V., Kouamé K., Saley M.B., Gronayes C., Achy J.J., Biémi J., Razack M., 2006. Identification et cartographie des unités lithologiques et des accidents structuraux majeurs du département de korhogo (Nord de la Côte D'ivoire) : Apport de l'imagerie ETM+ de Landsat. *Téledétection* 6(2) : 123–142.

Labassi K., Tajdi A., Akdim N., Sandoz A., 2011. Cartographie des linéaments et lithologique dans le secteur de Sebt Brikyne (Jonction Doukkala-Rehamna, Maroc) par l'utilisation de l'imagerie satellitaire optique et radar. *Revue Française de Photogrammétrie et de Téledétection* 195 :11–17.

Tajdi A., 2010. Potentialités des données satellitaires multi-sources dans l'exploration des ressources en eau dans la région aride de Sebt Brikyne (jonction Doukkala-Rehamna occidentaux) : caractérisation géomorphologique et cartographie géologique. PhD thesis, University Chouaib Doukkali, Morocco.

Yésou H., Pion J.C., Besnus Y., Saint Jean R., 1993. Amélioration des données SPOT pour la cartographie structurale en milieu tropical. Exemple de la région des chapeaux de fer de Pagala Togo. In : 3èmes Journées Scientifiques du Réseau Télédétection UREF, Toulouse, France, pp. 143–164.

Youan Ta M., 2008. Contribution de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques à la prospection hydrogéologique du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : Cas de la région de Bondoukou Nord Est de la Côte d'Ivoire. PhD thesis, University of Cocody-Abidjan, Ivory Coast.

Youan Ta M., Lasm T., Jourda J.P., Kouamé K.F., Razack M., 2008. Cartographie des Accidents Géologiques par Imagerie Satellitaire Landsat-7 ETM+ et Analyse des Réseaux de Fractures du Socle Précambrien de la Région de Bondoukou (Nord-Est de la Côte d'Ivoire). *Téledétection* 2(2) : 119–135.