

# IMPACT DE LA FRACTURATION SUR L'ARCHITECTURE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE (CAS DE LA REGION DE SMAALA, MAROC CENTRAL HERCYNIEN) APPORT DU SIG ET DE LA TELEDETECTION

*Jamal Oubbih*  
*Aziz El Mahdaouy*  
*Bouabid El Mansouri*  
*Abdelaziz Mridekh*  
*Said chakiri*

Faculté des Sciences, Université Ibn Tofail, Kénitra, Maroc

*Hicham Elbelrhiti*

DFSA, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc

---

## Abstract

In the Smaala area, Paleozoic rocks crop out and are structured by the Hercynian orogeny. The hydrographic network is dense and displays various flow directions. It consists of temporary streams that eventually lead to the Grou river.

Analysis of the Landsat TM satellite image can extract lineament network. The majority of these lineaments coincide with geological fractures identified on the field. Their distribution is organized around four major directions: NE-SW, N-S, NW-SE and E-W.

The comparison of the statistics of the hydrographic network with those of lineaments shows that the majority of rivers are affected by geological structures, especially the fracturing.

The topography of the area also has a secondary impact on the water circulation, by the presence of slopes generally oriented North-West and North.

---

**Keywords:** Lineaments, Hydrographic network, Hercynian Central Morocco, Smaala, GIS, Remote Sensing.

---

## Résumé

Dans la région de Smaâla, affleure des terrains d'âge paléozoïque qui sont structurés lors de l'orogénèse hercynienne. Le réseau hydrographique

est dense et montre des directions d'écoulement variées. Il est constitué d'un ensemble de cours d'eau temporaires qui finissent par aboutir à l'oued Grou. L'analyse de l'image satellitaire Landsat TM permet d'extraire le réseau de linéaments. La majorité de ces linéaments coïncide avec les fractures géologiques repérées sur le terrain. Leur distribution s'organise autour de quatre directions majeures: NE-SW, N-S, NW-SE et E-W.

La confrontation des données statistiques du réseau hydrographique avec celles des linéaments montre que la majorité des cours d'eau sont influencés par les structures géologiques, notamment la fracturation.

La topographie de la région possède aussi un impact secondaire sur les écoulements, par la présence de pentes généralement orientées vers le Nord-Ouest et le Nord.

---

**Mots Clés:** Linéaments, Réseau hydrographique, Maroc central hercynien, Smaâla, SIG, Télédétection

## **Introduction**

Les cartes de linéaments, présentées souvent dans les cartes géologiques, sont des outils qui ont un intérêt économique majeur. Leur importance est primordiale dans le choix des sites potentiels pour abriter des ouvrages d'art (barrages, ponts, autoroutes,...etc.), l'exploitation pétrolière, la gestion et le stockage des eaux souterraines, la compréhension et la gestion des catastrophes naturelles et environnementales telles que les glissements des terrains, les séismes, la pollution et les inondations (Marghany & Hashim, 2010).

La cartographie des linéaments et des fractures a fait souvent appel à des techniques de cartographie traditionnelle comme les photographies aériennes et les investigations de terrains (Maged et al., 2009). Dans ce cadre, la tâche principale du géologue est d'étudier la répartition, l'abondance et la variation temporelle et spatiale des différentes structures géologiques dans une région donnée. Dans ce contexte, le défi majeur était de couvrir simultanément une région large par ces techniques traditionnelles. Ce problème de couverture des régions vastes est résolu par l'utilisation de l'imagerie satellitaire. Sa capacité de couvrir des régions très large et de manière répétitive lui a donné un succès dans la cartographie et le suivie des linéaments (Mostafa & Bishta, 2005; Semere & Ghebream, 2006).

La détection des linéaments par télédétection sur des images satellitaires peut être divisée en trois catégories (Katsuki et al., 1995 ; Walsh & Clark 2000) : (i) Le rehaussement de la qualité de l'image et l'extraction des linéaments après caractérisation de la structure géologique ;(ii) la cartographie géologique basée sur classification d'image et la détection, par utilisation de signature spectral, des anomalies attribuables à la

minéralisation ; (iii) l'utilisation d'un système d'information géographique pour superposer les images satellitaires à des bases de données géologiques, géophysiques et géochimiques.

Les linéaments et les fractures sont parmi les paramètres déterminants qui guident la circulation des eaux par l'accélération de l'érosion et l'altération. En effet, le réseau hydrographique emprunte souvent les zones de faiblesses afin de minimiser l'énergie nécessaire à son écoulement (Deffontaines, 1990).

La présente étude est basée sur l'utilisation d'un système d'information géographique et le traitement d'image satellitaire. Elle consiste dans un premier temps, à cartographier les linéaments du socle paléozoïque dans la région de Smaâla (Maroc central hercynien) en utilisant une image Landsat TM. Ce travail complétera et actualisera la carte géologique établie par des techniques classiques (Cailleux, 1978). Puis, dans un deuxième temps, à quantifier l'influence directionnelle de ces linéaments sur le réseau hydrographique.

### **Présentation du secteur d'étude**

La région de Smaâla est située au Sud du Maroc central hercynien, à environ 120 km au SSE de Rabat (Fig. 1). Elle se trouve à cheval entre l'anticlinorium de Khouribga-Oulmès et le synclinorium de Fourhal. Ces deux mégastructures sont séparées par le grand accident de Smaâla-Oulmès orienté NE-SW (Cailleux, 1978 ; Oubbih, 1991 ; Tahiri, 1991 ; Oubbih et al., 2014). Dans cette zone, affleure essentiellement des terrains sédimentaires ou faiblement métamorphiques d'âge Paléozoïque, déformés lors de l'orogénèse hercynienne notamment au cours de la phase majeure namuro-westphalienne (Michard et al., 2008).

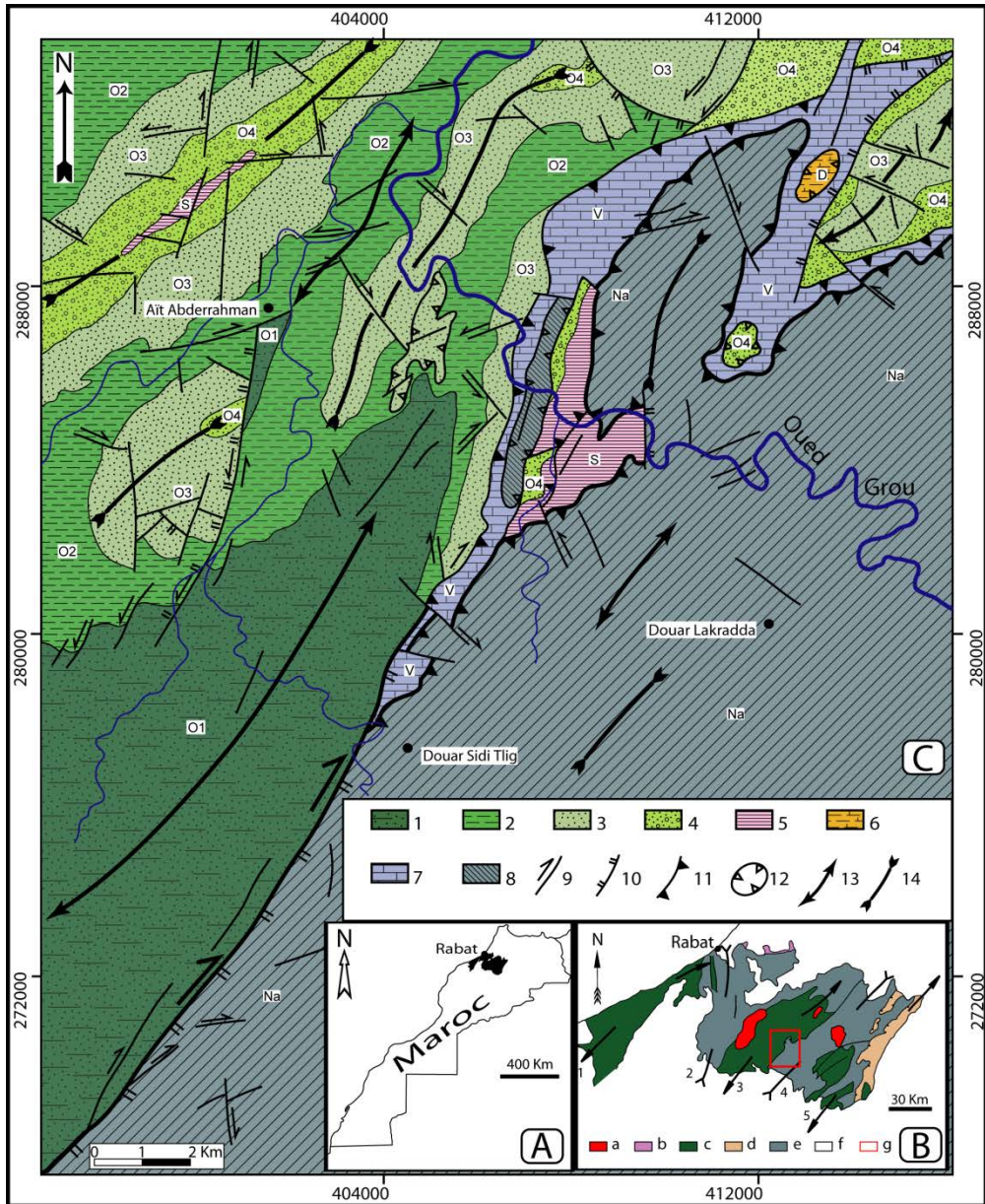


Figure 1 : **A-** Localisation du Maroc central hercynien ; **B-** Les unités structurales du Maroc central hercynien (Bouabdelli, 1989), 1 : anticlinorium de Casablanca, 2 : synclinorium occidental, 3 : anticlinorium de Khouribga-Oulmès, 4 : synclinorium de Fourhal, 5 : anticlinorium de Kasbat Tadla-Azrou, a : granites tardi-hercyniens, b : bloc de Sehou, c : Paléozoïque inférieur (Cambrien à Silurien), d : Paléozoïque inférieur allochtone, e : Paléozoïque supérieur (Dévonien à Carbonifère), f : post-paléozoïque, g : zone d'étude; **C-** Carte géologique simplifiée de la région de Smaâla (Cailleux, 1978), 1 : Llandeilo inférieur et moyen (O1), 2 : Llandeilo supérieur-Caradoc inférieur (O2), 3 : Caradoc (O3), 4 : Ashgill (O4), 5 : Silurien (S), 6 : Dévonien (D), 7 : Viséen (V), 8 : Namurien (Na), 9 : décrochement, 10 : faille normale, 11 : chevauchement, 12 : klippe tectonique, 13 : axe anticlinal, 14 : axe synclinal.

Sur le plan structural, la région est subdivisée en deux domaines (Cailleux, 1978) : un domaine occidental autochtone et un domaine oriental allochtone, les deux sont séparés par la faille de Smaâla (Fig. 1).

Le domaine occidental est constitué d'une épaisse série ordovicienne (1600m), qui occupe la plus grande superficie de cette zone et contribue essentiellement à sa morphologie. Il s'agit de terrains détritiques silicoclastiques : d'abord fins pélitiques à l'Ordovicien inférieur, puis devenant grossiers à l'Ordovicien supérieur, avec grès et des barres quartzitiques et se terminent par des argilites microconglomératiques à affinité périglaciaire (Cailleux, 1978 ; Hammoumi, 1988 ; Oubbih, 1991 ; Tahiri, 1991 et Attou, 1992). Le Silurien est réduit à quelques affleurements disséminés d'argilites noires à graptolithes. Il se localise essentiellement dans les zones des accidents majeurs. Son épaisseur est de 90m au maximum. Les affleurements d'âge dévonien sont très réduits et se localisent uniquement au NE du secteur d'étude, dans la zone de contact entre les deux domaines. Ce sont des pélites jaunes où s'intercalent des nodules calcaires riches en débris bioclastiques, la puissance est de 60m. Ces terrains paléozoïques sont plissés et schistosés, avec une succession d'anticlinaux et de synclinaux orientés NE-SW. Ces plis sont affectés ultérieurement par des failles normales et des décrochements verticaux, les décrochements senestres se répartissent autour d'une direction N20, alors que les décrochements dextres sont orientés globalement E-W.

Le domaine oriental est constitué de terrains carbonifères, avec des dépôts carbonatés du Viséen supérieur (300m), localisés au NW à proximité de l'accident majeur. Ils sont suivis d'une épaisse série grésopélitique (800 m) à caractère turbiditique (flysch) d'âge Namurien. Les terrains de ce domaine ont subi deux phases de plissement, synschisteuses et coaxiales, avec des plis orientés NE-SW et une vergence vers le NW.

L'accentuation du serrage tectonique a pour conséquence le chevauchement du domaine oriental sur le domaine occidental. L'évolution structurale se poursuit, au cours du Permien, par le jeu de la faille de Smaala, située au SW de la région, en faille normale puis en décrochement dextre (Cailleux, 1978).

Durant le Néogène et le Plio-quaternaire, la tectonique atlasique, liée à la surrection du Moyen Atlas, provoque des mouvements au niveau du Maroc central hercynien (y compris la zone étudiée). Ces mouvements soulèvent la partie orientale du massif et affaissent par paliers vers l'ouest le socle hercynien. C'est au cours de cette période quese sont mis en place les grands axes hydrographiques de la région qui sont orientés globalement SE-NW (Beaudet, 1969 ; Michard, 1976).

## **Matériel et méthodes**

Dans le cadre de ce travail, nous avons utilisé une image Landsat TM (Scène 201-37) offerte par le site web GLOVIS. Cette image, dépourvue de nuage, a été prise le 07 mai 1987 et couvre la zone d'étude, elle a été utilisée pour extraire le réseau de linéaments. En plus, la carte topographique au 1/50000 de Tlat Chougrane a servi pour digitaliser les réseaux hydrographiques, routier et électrique. Le réseau de fracture cartographié par Cailleux (1978) a été digitalisé pour le comparer aux linéaments obtenus à partir de l'image Landsat. L'intégration de ces différentes données dans un SIG permet d'établir des relations entre elles (Fig. 2).

La méthode que nous avons adoptée, pour extraire les linéaments, est basée dans un premier temps sur le rehaussement de la qualité de l'image, par application de l'Analyse en Composante Principale (ACP). Ensuite, nous avons appliqué les filtres directionnels de Sobel sur l'image traitée par la méthode ACP.

L'analyse en composantes principales est une technique basée sur des analyses statistiques et changement de référentiel, qui permet d'accentuer une image multi-spectrale pour des interprétations fines (Biémi et al, 1991). Elle permet de réduire l'information contenue dans plusieurs bandes, parfois hautement corrélées en un nombre plus restreint de composantes. Celles-ci représentent généralement 97% de la variation totale de l'ensemble des données originales (Deslandes, 1986). Parfois, 90% de l'information comprise dans 5 ou 6 bandes est réduite par l'ACP en trois composantes. Cette analyse permet aussi de créer des compositions colorées des trois premières composantes qui constituent un excellent produit d'interprétation visuelle, augmentant ainsi le contraste entre les divers objets au sol (Coulibaly, 1996).

Nous avons utilisé l'image ACP constituée des néo-canaux CP1, CP2 et CP3 respectivement dans les canaux rouge, vert et bleu, pour identifier et cartographier les linéaments potentiels qui correspondent aux changements de contraste entre les différentes occupations du sol. Cette carte correspond aux linéaments potentiels obtenus par la technique ACP. Ensuite, nous avons utilisé un SIG pour confronter cette carte aux cartes de réseaux routier, électrique et hydrique. Un linéament potentiel qui se superpose avec l'un de ces réseaux sera éliminé de la carte.

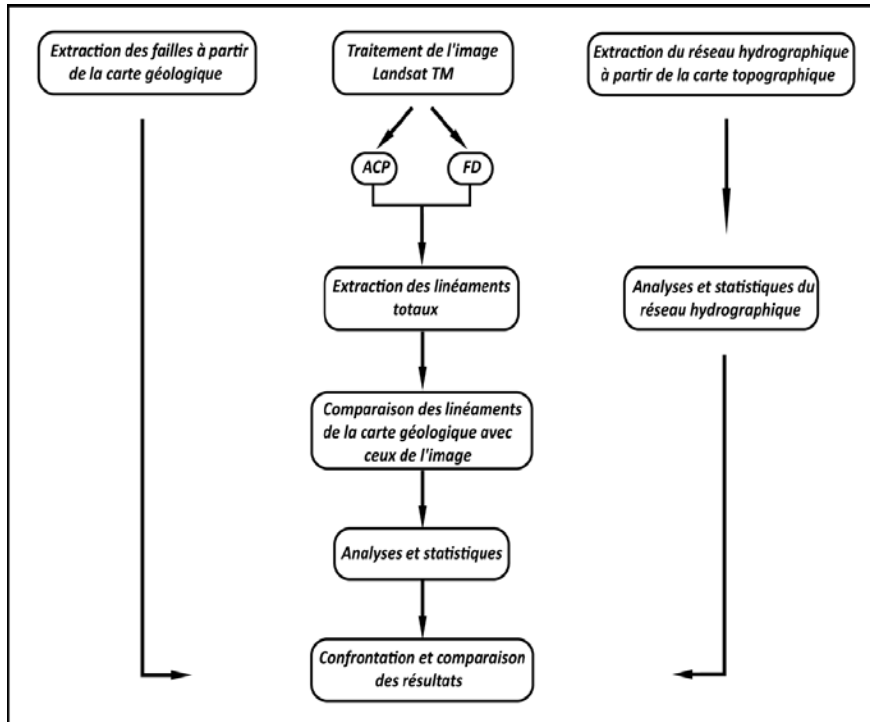


Figure 2: Organigramme de la méthodologie de travail

Le filtrage est une technique visant à éliminer le bruit contenu dans les images satellitaires. Il permet d'améliorer la qualité visuelle de l'image afin de faciliter son interprétation. Ces filtres ont de nombreuses applications en géologie. Par exemple, Ils sont utilisés pour identifier les linéaments correspondant à des discontinuités lithologiques ou structurales dans les images. La taille des linéaments détectés est une fonction de la taille de la fenêtre choisie. Pour les images Landsat de résolution spatiale de 30m x 30m, des fenêtres de 5 x 5 sont utilisées (Ezzine et al., 2011).

Dans ce travail, nous avons choisi les filtres directionnels de Sobel qui améliorent la perception des linéaments en provoquant un effet optique d'ombre portée sur l'image comme s'elle était éclairée par une lumière rasante (Marion, 1987). De plus, ce type de filtre permet de rehausser les linéaments qui ne sont pas favorisés par la source d'éclairage (Drury, 1986). Nous avons appliqué les filtres de Sobel sur l'image Landsat précédemment traitée par analyse en composante principale (ACP) (Tabl.1) (Laghouag, 2011).

Le rehaussement a été effectué dans de nombreuses directions dont nous avons retenues N00°, N45°, N90° et N135° à cause du fort contraste obtenu dans les images. Ensuite, nous avons rassemblé tous les filtres obtenus par les quatre directions dans un seul fichier qui correspond à tous les linéaments obtenus par la technique de filtrage directionnel. Une

attention particulière a été faite pour supprimer les linéaments qui apparaissent sur plusieurs directions. Au final, nous avons obtenu cinq cartes de linéaments par la technique de filtrage directionnel. Une carte pour chacune des quatre directions que nous avons utilisées, et une cinquième carte qui correspond à la somme des filtres obtenus par la technique de filtrage. Cette dernière carte est fusionnée avec celle des linéaments obtenus par la technique d’analyses en composante principale et donne la carte des linéaments totaux que nous allons étudier dans le présent travail. Dans ce cas, nous avons pris précaution une fois de plus pour ne pas présenter un linéament deux fois sur la carte.

Tabl. 1: Matrices des filtres de Sobel (5x5)

Filtre Sobel de direction : N00°	Filtre Sobel de direction : N45°	Filtre Sobel de direction : N90°	Filtre Sobel de direction : N135°
-1 -1 0 1 1	-1.4 -1.4 -0.7 0 0	-1 -1 -1 -1 -1	0 0 -0.7 -1.4 -1.4
-1 -1 0 1 1	-1.4 -1.4 -0.7 0 0	-1 -1 -1 -1 -1	0 0 -0.7 -1. -1.4
-1 -1 0 1 1	-0.7 -0.7 0 0.7 0	0 0 0 0 0	0.7 0.7 0 -0.7 -0.7
-1 -1 0 1 1	0 0 0.7 1.4 1.4	1 1 1 1 1	1.4 1.4 0.7 0 0
-1 -1 0 1 1	0 0 0.7 1.4 1.4	1 1 1 1 1	1.4 1.4 0.7 0 0

## Résultats et discussions

### Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique dans ce pays semi-aride est essentiellement intermittent. Tous les cours d’eau finissent par aboutir à l’oued Grou (Fig. 3). Cette artère hydrographique principale présente un écoulement pèrenne généralement vers le NW ou le Nord. Cette orientation est certes conforme à la disposition topographique globale de la région (Fig. 4), mais elle est souvent orthogonale ou sub-orthogonale aux directions les plus fréquentes des structures hercyniennes.

Les cours d’eau sont classés par ordre d’importance en six grand ordres selon la classification de Strahler (1952). Le premier ordre correspond au plus petit affluent. Le confluent de deux cours d’eau d’ordre 1 correspond à l’ordre 2. En régle général, le confluent de deux ordres de même ordre n, donne un cours d’eau d’ordre n+1(Strahler ,1952). La longueur total des cours d’eau, que nous avons calculée, dans cette région est de 602 km. Ces cours d’eau drainent des sous bassins versants de 394 km<sup>2</sup> de superficie. A partir de ces donnés, nous avons déterminé la densité de drainage dans la région qui



est de l'ordre de  $1,53 \text{ Km}^{-1}$ , ce qui montre que le drainage et le réseau hydrographique sont bien développés. Par conséquent, la région étudiée est exposée aux risques et aléas de l'érosion hydrique, surtout pour les sols non protégés.

La figure 5 présente les statistiques de distribution des directions de drainage pour chaque ordre. En plus, elle présente la répartition de réseau hydrographique total, composé par la somme de tous les ordres, selon les différentes directions. A part l'ordre 1 où la distribution est plus au moins anisotrope, et l'ordre 6 dominé par les directions N-S et NW-SE, les autres ordres présentent une nette dominance des direction NE-SW et N-S. Ceci, a un impact sur la répartition du réseau hydrographique total qui est dominé par les mêmes directions NE-SW et N-S.

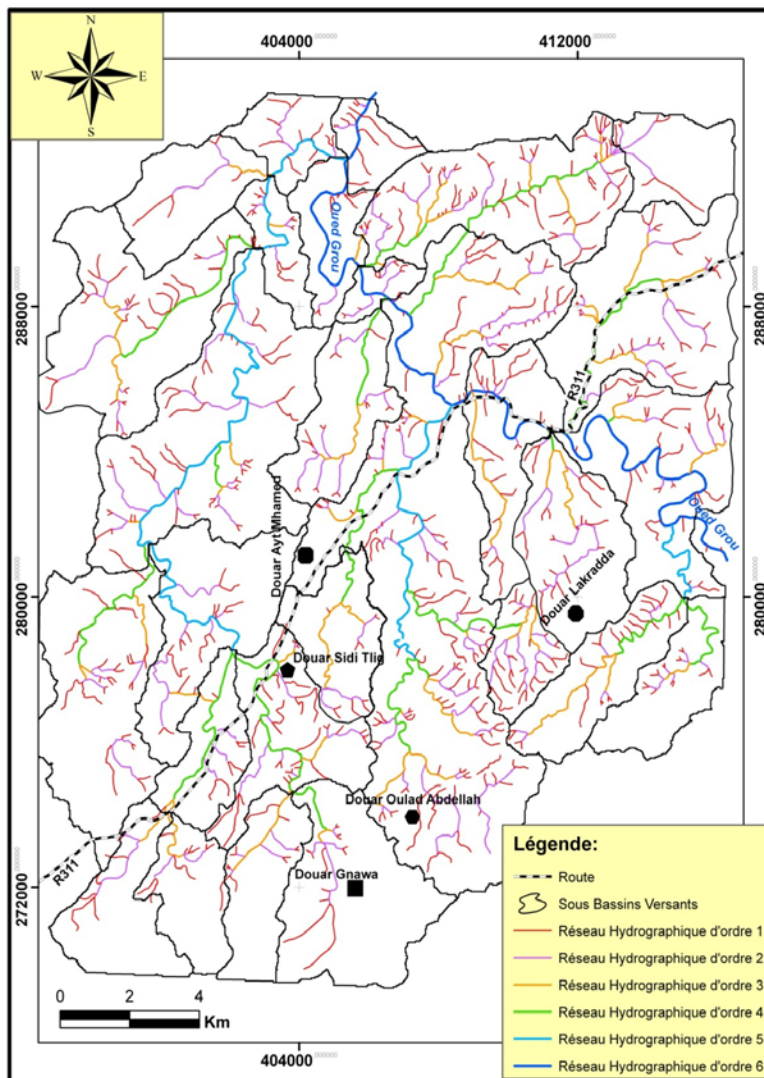


Figure 3: le réseau hydrographique et les sous bassins versants de la région de Smaâla.

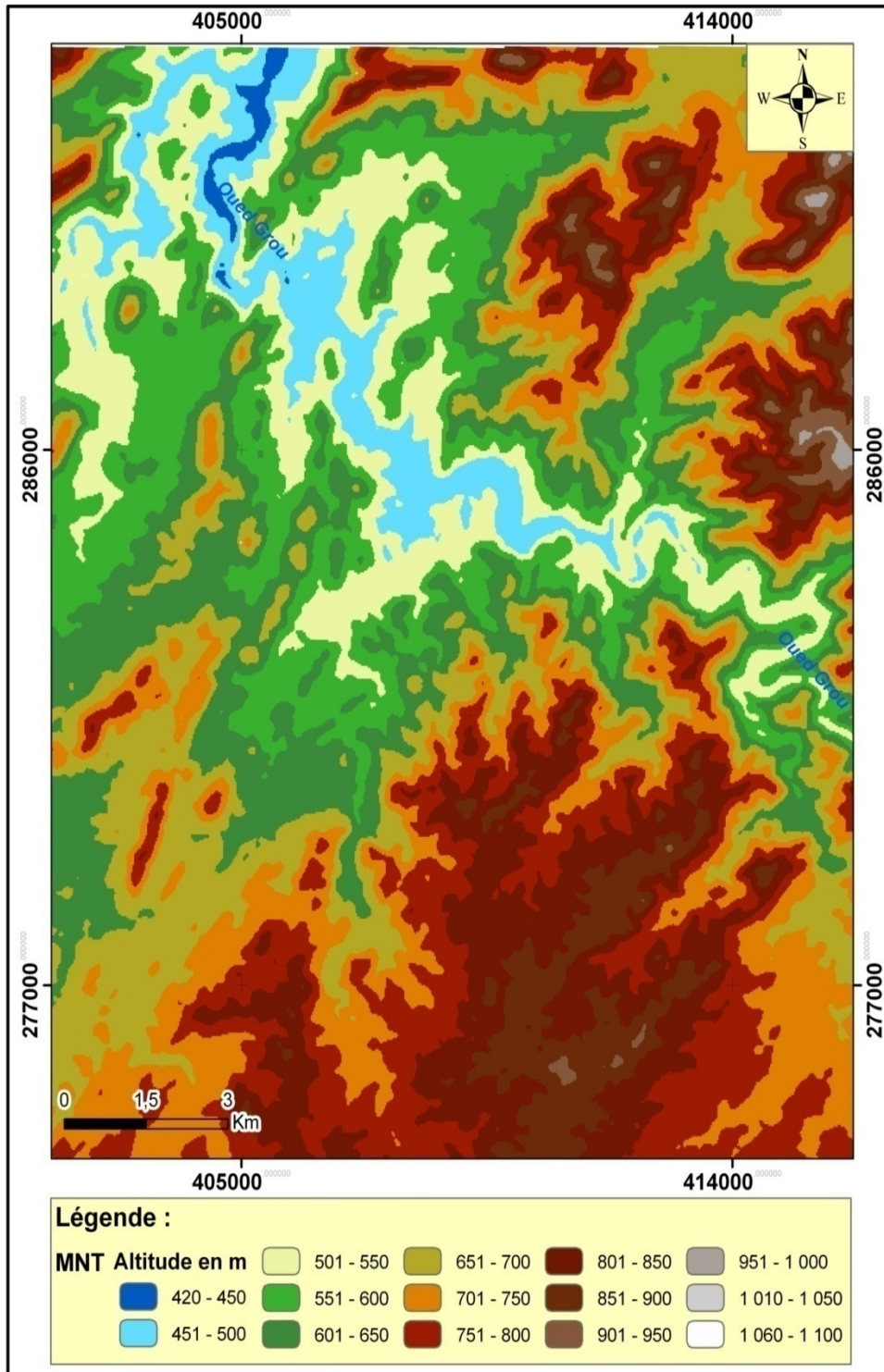


Figure4: Modèle Numérique de Terrain (MNT) de la région de Smaâla.

<p>■ N-S ■ NE-SW ■ E-W ■ NW-SE</p>	<p>■ N-S ■ NE-SW ■ W-E ■ SE-NW</p>
<p><b>Pourcentages des directions du 1<sup>er</sup> ordre de drainage.</b></p>	<p><b>Pourcentages des directions du 2<sup>ème</sup> ordre de drainage.</b></p>
<p>■ N-S ■ NE-SW ■ E-W ■ NW-SE</p>	<p>■ N-S ■ NE-SW ■ E-W ■ NW-SE</p>
<p><b>Pourcentages des directions du 3<sup>ème</sup> ordre de drainage.</b></p>	<p><b>Pourcentages des directions du 4<sup>ème</sup> ordre de drainage.</b></p>
<p>■ N-S ■ NE-SW ■ E-W ■ NW-SE</p>	<p>■ N-S ■ NE-SW ■ E-W ■ NW-SE</p>
<p><b>Pourcentages des directions du 5<sup>ème</sup> ordre de drainage.</b></p>	<p><b>Pourcentages des directions du 6<sup>ème</sup> ordre de drainage.</b></p>

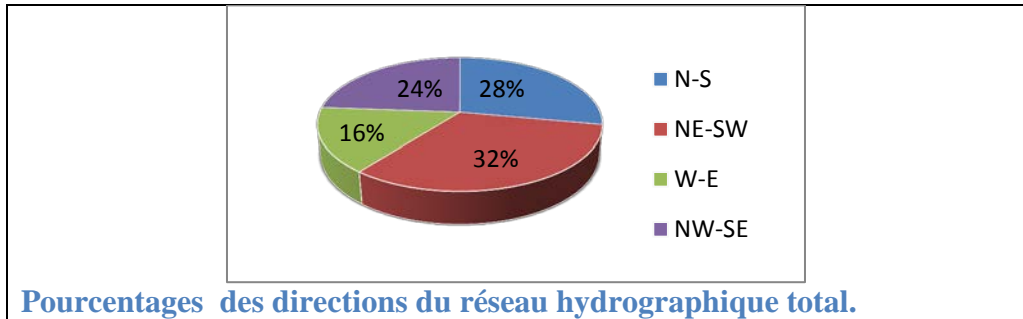


Figure 5: Distribution des ordres de drainage avec leurs directions.

### Réseau de linéaments

Comme nous avons expliqué dans un paragraphe précédent, nous avons utilisé plusieurs techniques de traitement d'image pour extraire les linéaments à partir de l'image landsat. La première technique que nous avons utilisée est basée sur le rehaussement de la qualité de l'image par analyse en composante principale (ACP). Les résultats obtenus par cette technique montrent que quatre directions majeures se distinguent dans la région : N-S, NE-SW, E-W et NW-SE. Les linéaments sont majoritairement orientés NE-SW avec un taux de 53%, les directions N-S, NW-SE et E-W représentent respectivement 20, 18 et 9% (Fig. 6).

La deuxième technique que nous avons adoptée est l'utilisation des filtres directionnels de Sobel (FD) selon les directions : N00°, N45°, N90° et N135°. On constate que les linéaments détectés par chaque filtre sont dominés majoritairement par sa direction principale. La somme de tous les linéaments obtenus selon les quatre directions est représentée sur la figure 7 qui montre la dominance de la direction NE- SW (N45°).

Les linéaments totaux étant la somme des linéaments obtenus par les deux techniques. On y voit la dominance de la direction NE-SW qui représente 43% de la longueur totale des linéaments, soit 442 km. Ensuite, la direction N-S avec 27% soit 280,5 km. Quant à la direction NW-SE, elle représente 20% et finalement la direction E-W est minoritaire (10%) (Fig. 8).

Pour vérifier la qualité de ces résultats, nous avons confronté les linéaments obtenus par traitement d'image avec les failles de la carte géologique (Cailleux, 1978) (Fig. 9). On y voit que les principaux réseaux de fractures représentés sur cette carte ont été détectés, surtout le long de la faille de Smaala. En plus, d'autres linéaments, principalement de petite taille (allant de 200 à 2000 m), ont été détectés par traitement d'image et qui n'étaient pas cartographiés sur le terrain, notamment dans le domaine oriental. Ceci est dû à l'homogénéité du faciès gréséo-pélimitique du Namurien et au manque de couches repères qui nous permettent de détecter, sur le terrain, les décalages produits par les jeux de failles.



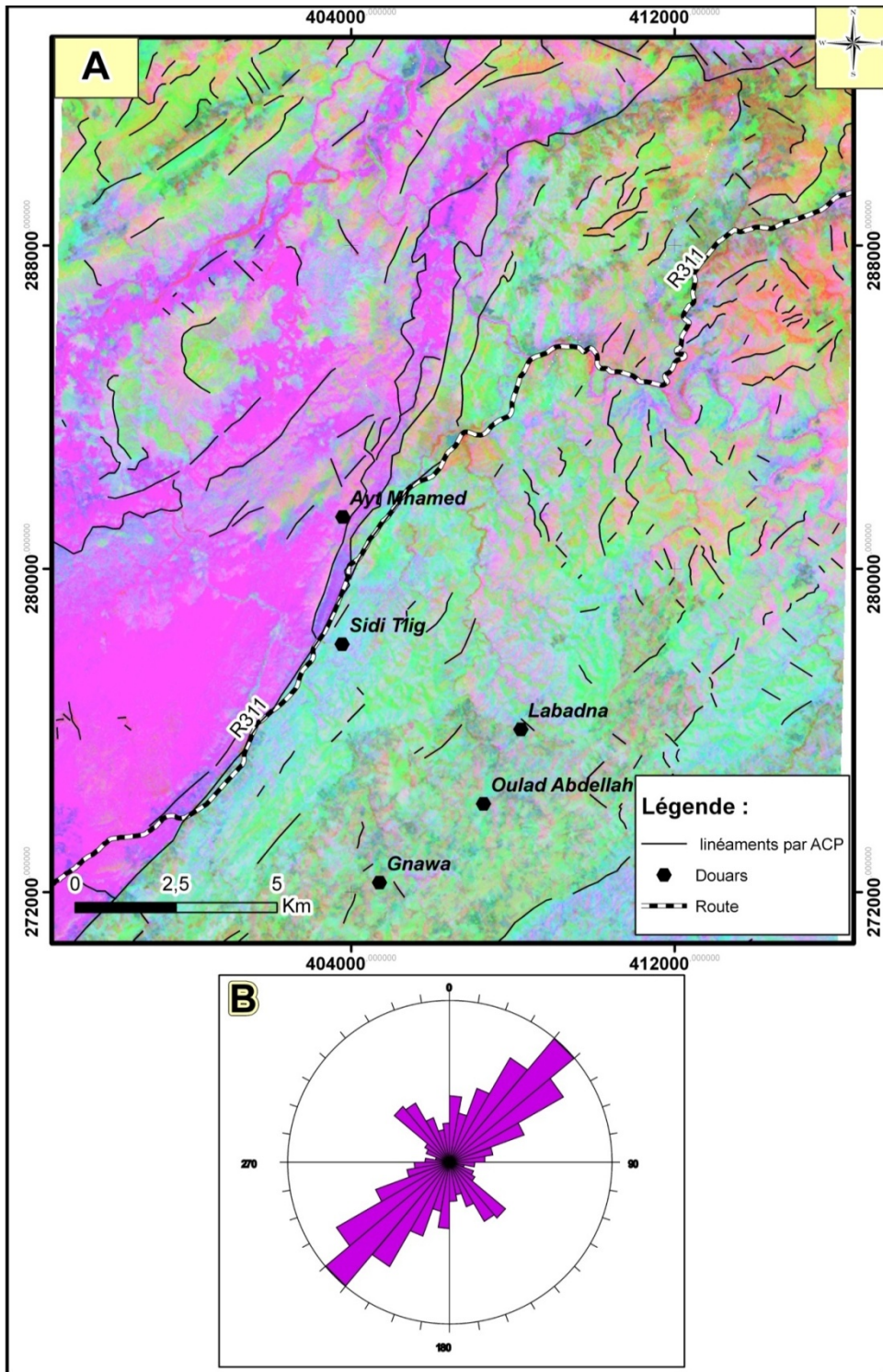


Figure 6: A: Linéaments détectés par la technique de l'ACP. B : Rosace des directions.

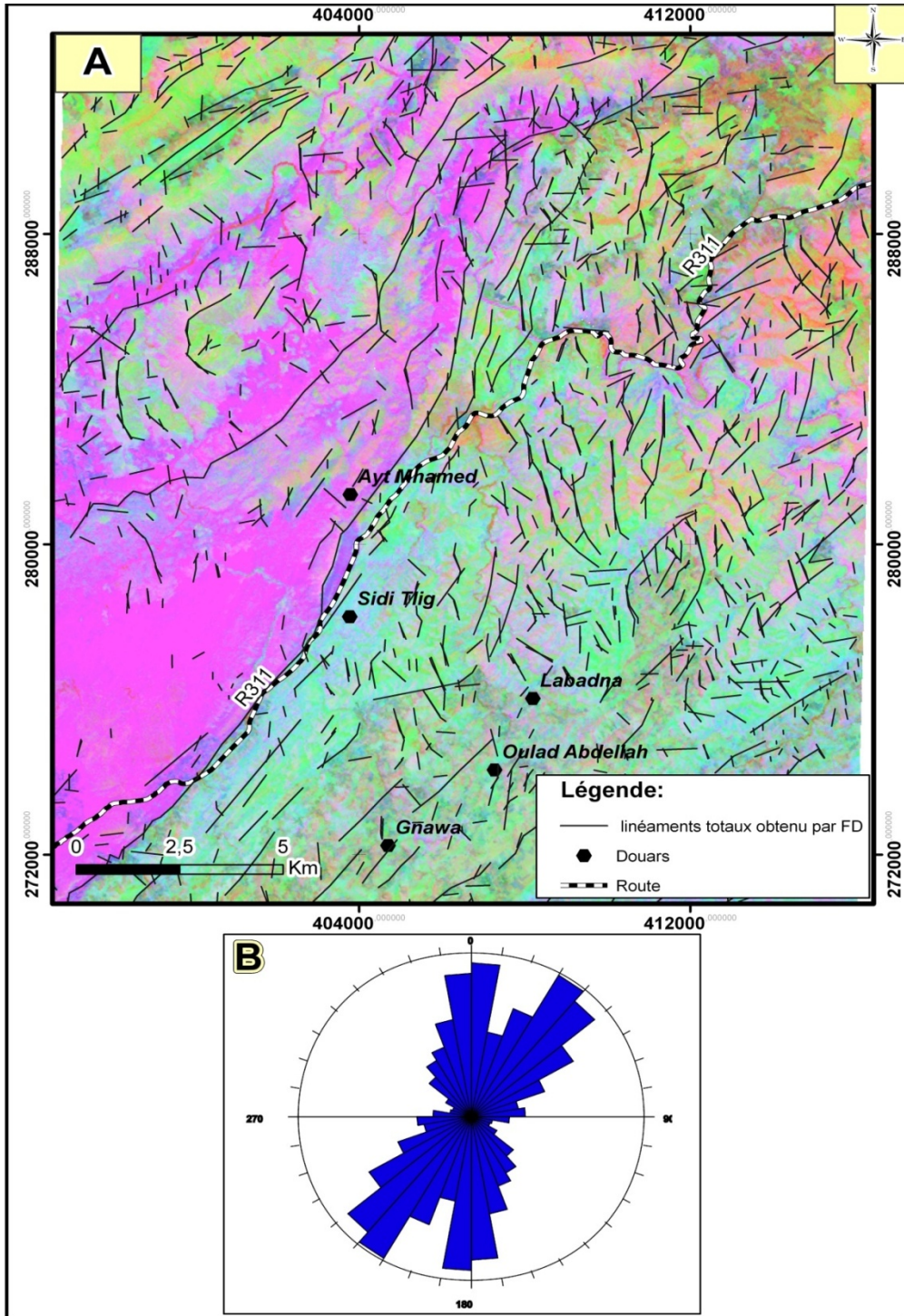


Figure 7: Linéaments détectés par les filtres directionnels (A) et la rosace des directions (B).



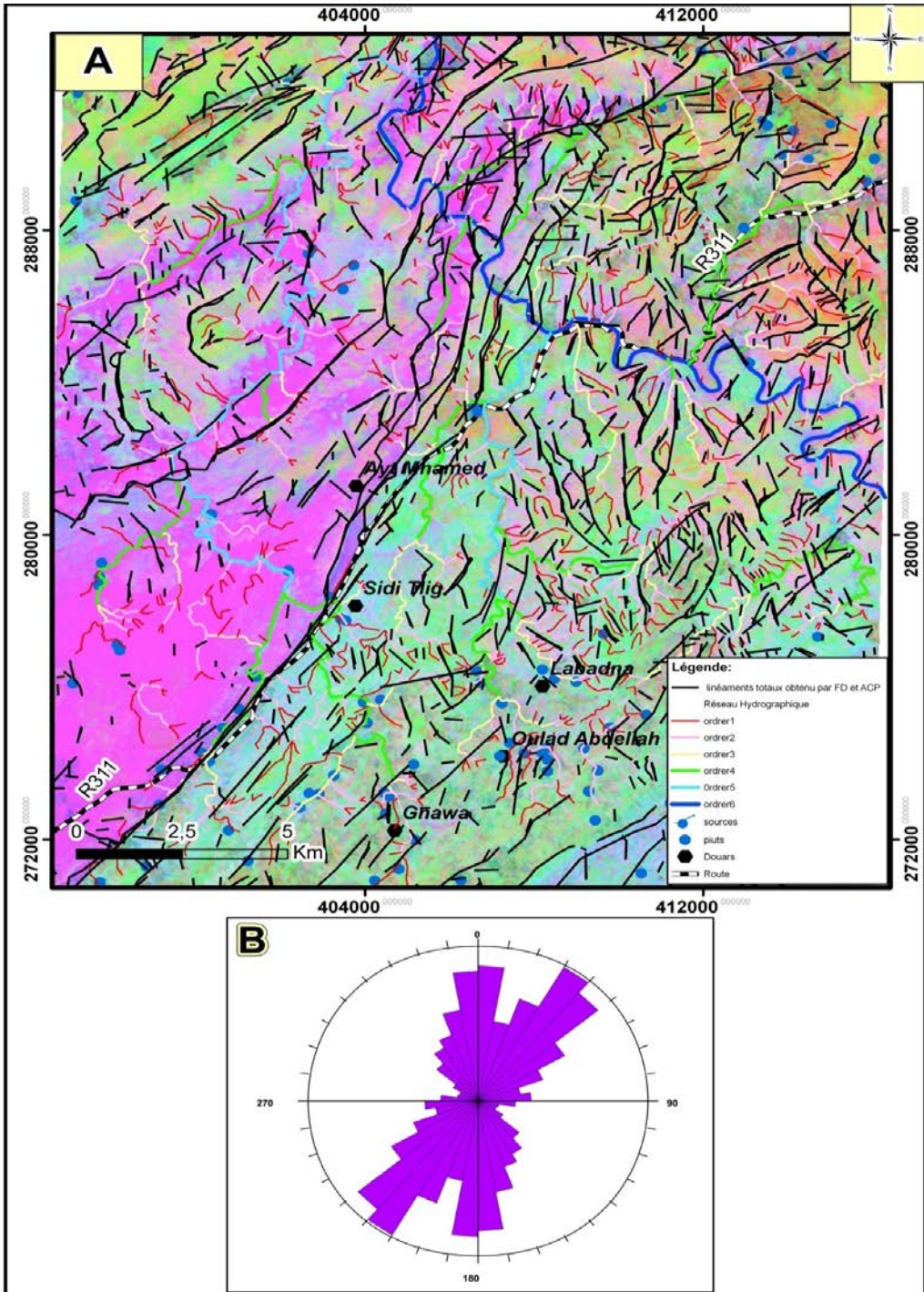


Figure 8: Linéaments totaux détectés par les filtres directionnels et par l'Analyse en Composante Principale (A) et la rosace d'orientation des linéaments (B).

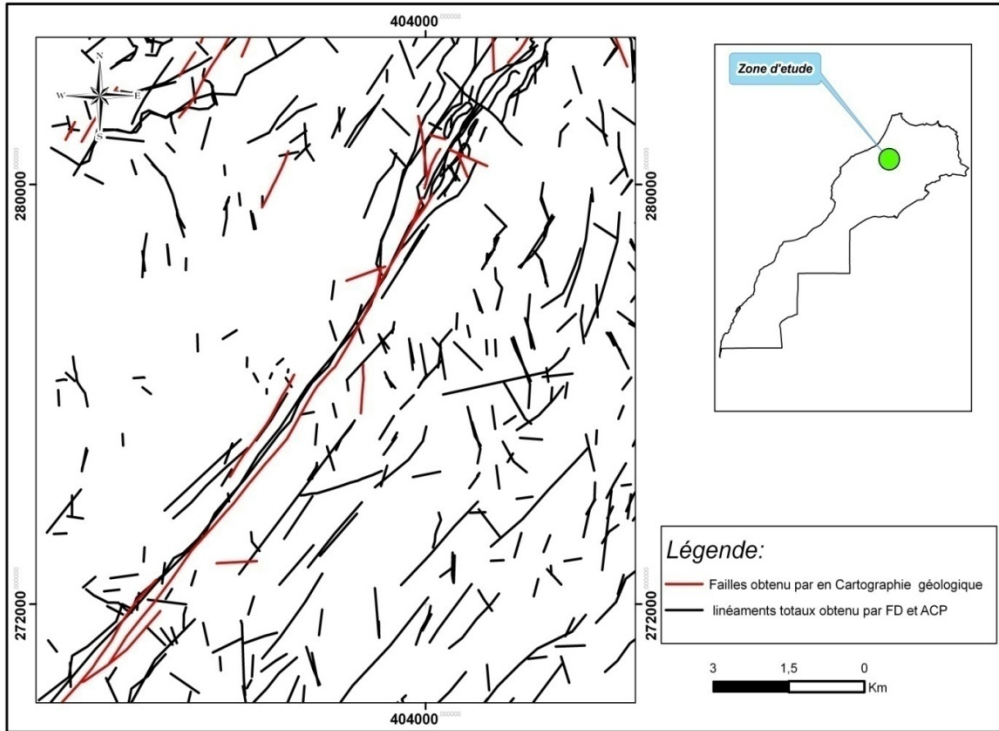


Figure 9: Confrontation entre les failles de la carte géologique et les linéaments obtenus par les deux techniques ACP et FD.

### Confrontation du réseau hydrographique avec les linéaments

La confrontation des données statistiques du réseau hydrographique avec celles des linéaments a permis d'établir des liens génétiques entre les orientations des failles et les principales directions de circulation des eaux de surface (Fig. 5 et 8).

Dans la région étudiée, l'analyse de l'image satellitaire a montré la dominance de la direction NE-SW avec 43% de linéaments recensés. Cette orientation est celle des principaux ensembles lithologiques et des structures hercyniennes majeures (Cailleux, 1978 ; Tahiri, 1991 ; Oubbih et al, 2014). Son influence est perceptible sur l'ensemble du réseau hydrographique notamment sur les ordres 2, 4 et 5.

Les linéaments orientés N-S représentent 27%, cette direction est souvent empruntée par les cours d'eau d'ordre 3, 5 et 6. Dans le cas du cours d'eau principal (ordre 6), l'influence des linéaments N-S est visible dans la partie septentrionale du secteur.

La fréquence des linéaments NW-SE est relativement faible (20%). Pourtant le réseau hydrographique empreinte souvent cette direction, notamment l'ordre 6. Ceci est dû à la topographie de la région, avec la présence de pentes généralement dirigées vers le NW.



Les linéaments E-W ont une fréquence très faible (10%). Leur influence est plus notable sur les petits affluents, elle diminue au fur et à mesure que l'ordre des cours d'eau augmente.

### **Conclusion**

La superposition des linéaments détectés à partir de l'image satellitaire, avec la carte du réseau hydrographique permet d'illustrer les relations spatiales et directionnelles qui existent entre ces différents éléments. Dans la zone d'étude, la disposition des différents segments du réseau hydrographique est influencée par deux paramètres essentiels qui sont d'une part les structures géologiques hercyniennes, en particulier la fracturation, et d'autre part la topographie caractérisée par des pentes généralement dirigées vers le NW.

Ainsi, la majorité des cours d'eau emprunte les directions NE-SW et N-S. De telles orientations sont constatées dans les limites des formations géologiques et les familles des failles hercyniennes.

Quant à la fréquence relativement élevée des cours d'eau orientés NW-SE, avec une fracturation minoritaire selon cette direction, elle semble être liée à la topographie de la région. Conséquence du basculement vers le NW du Maroc central hercynien au cours du Néogène et du Plio-quadernaire.

Cette étude ouvre de nouveaux horizons pour l'étude de la distribution des ressources en eau superficielles dans les zones où coexistent plusieurs directions structurales. Elle permettra aussi de proposer des recommandations pour maîtriser les phénomènes hydrologiques extrêmes (les crues et les étiages) et améliorer les performances des infrastructures. Afin d'assurer une utilisation bénéfique des ressources hydriques dans la région de Smaâla.

### **References:**

- Attou A. (1992) - L'Ordovicien supérieur du massif central hercynien (Maroc) : Pétrographie et dynamique des ensembles sédimentaires, contrôle eustatique et géodynamique. Thèse de 3ème cycle, Univ. Mohamed V, Rabat.
- Beudet G. (1969) - Le plateau central marocain et ses bordures : étude géomorphologique. Thèse, Fac. Lettres et Sci. humaines, Univ. Paris, 478 p.
- Biemi J., Deslandes S., Gwyn Q. HJ. et Jourda J.P. (1991) - Influence des linéaments sur la productivité des forages dans le bassin versant de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire): Apport de la télédétection et d'un Système d'Information à Référence Spéciale. p. 43-49 in Gagnon, P. (éd). Télédétection et gestion des ressources. Vol VII. Comptes rendus du septième congrès de l'Association Québécoise de Télédétection. 714 p.

- Bouadbelli M. (1989) - Tectonique et sédimentation dans un bassin orogénique : le sillon viséen d'Azrou-Khénifra (Est du Massif hercynien du Maroc). Thèse ès-sci., Univ. Strasbourg, 262 p.
- Cailleux Y. (1978) - Géologie de la région des Smaâla (Massif central marocain). Stratigraphie du Paléozoïque. Tectonique hercynienne. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc., n° 275, t. 40, 106 p.
- Coulibaly L. (1996) - Interprétation structurale des linéaments par traitement d'image satellitaire: cas des sous provinces d'Abitibi et d'Opatica (Québec).
- Deffontaines B. (1990) - Développement d'une méthodologie morpho-tectonique et morphostructurale. Analyse des surfaces enveloppes, du réseau hydrographique et des modèles numériques de terrain; application au Nord-Est de la France. Thèse nouveau doctorat, Paris VI, n 90 PA06 6740, 260 p.
- Deslandes S. (1986) - Évaluation des images Spot et Seasat pour la cartographie des linéaments du secteur des Monts Stoke, au Québec une comparaison basée sur l'analyse du spectre de Foumer. Mémoire de maîtrise, Département de géographie, Université de Sherbrooke, 62 p.
- Drury S.A. (1986) - Remote Sensing of Geological Structure in Temperate Agricultural Terrain. Geological Magazine, vol. 123, n°2, pp. 113- 121.
- Ezzine I., Zargouni F. et Ghanmi M. (2011) - Analyse linéamentaire des images Landsat-TM et spot de l'atlas Centro-septentrional : cartographie du prolongement S-W de la cicatrice de Zaghuan. Revue télédétection vol. 10, n°4, p. 199-211.
- Hammoumi N. (1988) - La plate-forme ordovicienne du Maroc : dynamique des ensembles sédimentaires. Thèse ès-Sciences, Strasbourg, 239 p.
- Katsuaki K., Shuichi N. et Ohmi M. (1995) - Lineament analysis of satellite images using a segment tracing algorithm (STA). Comput. Geosci., 21(9): 1091-1104.
- Laghouag M.Y. (2011) -Apport de la télédétection (images Landsat 7 ETM+) pour la cartographie géologique de la région d'Aflou (Atlas saharien).Mémoire de fin d'études. Alger. 101p.
- Maged M., Mansor S. et Hashim M. (2009) - Geologic mapping of United Arab Emirates using multispectral remotely sensed data. Amer. J. Eng. Appl. Sci. Vol 2, pp: 476-480.
- Marghany M. et Hashim M. (2010) - Lineament mapping using multispectral remote sensing satellite data. International Journal of the Physical Sciences. Vol. 5(10), pp. 1501-1507.
- Marion A. (1987) - Introduction aux techniques de traitement d'image. Paris, Éditions Eyrolles, 278p.
- Michard A. (1976) - Eléments de géologie marocaine, Notes et Mém. Serv. Géol.Maroc., n° 252, 408p.

- Michard A., Hoepffner Ch., Soulaïmani A. et Baidder L. (2008) - The Variscan Belt. In: Michard A., Saddiqi O., Chalouan A., Frizon de Lamotte D. (Eds), Continental Evolution : The Geology of Morocco. Springer Verl, pp. 65-131.
- Mostafa M.E. et Bishta A.Z. (2005) - Significant of lineament pattern in rock unit classification and designation: A pilot study on the gharib-dara area. Northern eastern Desert, Egypt. *Int. J. Remote Sensing*, 26(7):1463 – 1475.
- Oubbih J. (1991) - Le Maroc central méridional (région de Moulay Bou Azza): stratigraphie du Paléozoïque et tectonique hercynienne. Thèse de 3ème cycle. Univ. Med V. Rabat, 176p.
- Oubbih J., El Mansouri B., Chakiri S., El Hadi H., et Elbelrhiti H. (2014) - La faille de Moulay Bou Azza : un cisaillement ductile et une zone d'écaillages hercyniens (Maroc central). *Scientical- Editions Mersenne*, Vol.1, N° 1280, 15p.
- Semere S. et Ghebream W. (2006) - Lineament characterization and their tectonic significance using Landsat TM data and field studies in the central highlands of Eritrea. *J. Afr. Earth Sci.*, 46(4): 371-378.
- Strahler A.N. (1952) - Hypsometric (area-attitude) analysis of erosion topology, *Geological society of America Bulletin*, 63(11):1117-1142.
- Tahiri A. (1991) - Le Maroc central septentrional: stratigraphie, sédimentologie et tectonique du Paléozoïque ; un exemple de passage des zones internes aux zones externes de la chaîne hercynienne du Maroc. Thèse ès-Sciences, Brest, 216 p.
- Walsh G.J. et Clark Jr. SF. (2000) - Contrasting methods of fracture trend characterization in crystalline metamorphic and igneous rocks of the Windham quadrangle, New Hampshire.Northeast. *Northeastern Geol. Environ. Sci.*, 22(2): 109-120.