



Université Cadi Ayyad
Faculté des Sciences et Techniques
Département des Sciences de la Terre

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

LICENCE En SCIENCES ET TECHNIQUES

« **Géologie appliquée aux ressources minières** »

Intitulé :

**CARTOGRAPHIE ET PROSPECTION MINIERE
PAR TELEDETECTION SUR IMAGE *TM LANDSAT*
REGION D'AZILAL (HAUT ATLAS CENTRAL).**

Réalisé par

EDDARDOURI Mounir & HABYBELLAH Mohamed

Encadré par :

Pr. H. IBOUH

Soutenu : Le 20 /02/2015 Devant le jury composé de :

Pr. H. IBOUH

Pr. A. SAIDI

2014-2015

Remerciement

Le devoir de la reconnaissance et de la gratitude m'impose à exalter mes immenses remerciements à Dieu et à tous ceux qui ont contribué au bon déroulement de mon projet.

Mon très profonde gratitude va à Mr. SAIDI Abdeltif responsable de l'option Géologie Appliquée aux Ressources Minières, qui m'a beaucoup servi à mener à terme et dans des bonnes conditions ce stage. Qu'il soit profondément remercié.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements et notre gratitude à Mr. IBOUH Hassan professeurs de la faculté des sciences et techniques Gueliz de Marrakech, qui nous a confié ce travail et qui a mis à notre disposition tous les moyens et outils nécessaires pour sa réalisation, nous la remercions aussi pour sa disponibilité permanente, ses conseils et la confiance qu'elle nous a accordée.

Nous adressons nos sincères remerciements à Mr.SAIDI Abdeltif pour nous avoir honoré et accepté d'assister à cette soutenance.

Sommaire

Introduction Générale	5
I. Introduction.....	6
II. Les domaines structuraux du Maroc	6
III. Le Haut Atlas central.....	8
1. Cadre géomorphologique	8
2. La lithostratigraphie.....	8
IV. L'objectif de cette étude :	22
<i>Notions de Télédétection et d'image satellitaire. ..</i>	24
I. Introduction :	25
II. Définition de la télédétection :	25
III. Principes de base de la télédétection :	25
IV. -Les principales étapes de la télédétection :	27
V. Les bases physiques de la télédétection :	29
VI. Signatures spectrales des principales surfaces naturelles	32
VII. Le Satellite	34
<i>Matériel et méthode.</i>	37
I. Introduction :	38
II. Matériel.....	40
1) Données satellitaires.....	40
2) Données géologiques.	41
3) Données topographiques.	42
III. METHODOLOGIE DE TRAITEMENT DES IMAGES SATELLITAIRES	43
1) Prétraitement de l'image satellitaire :	43
2) Amélioration du contraste ou rehaussement	43
3) Extraction du réseau de linéaments	43
4) Validation du réseau de linéaments.....	43
<i>Résultats et interprétations</i>	44
I. Introduction :	45
II. Résultats.....	46
1) Les cartes des Filtres 3x3, 5x5, 7x7 :	46
III. Correction avec Carte topographique :	49

IV.	Analyse statistique des réseaux de linéaments.....	50
1)	Filtre directionnelle 3x3 (Right, Left, Horizontal, Vertical)	50
2)	Filtre directionnelle 5x5 (Edge detection, Horizontal, Vertical).....	55
3)	Filtre directionnelle 7x7 (Horizontal, Vertical).....	59
V.	Validation des cartes des linéaments.....	63
1)	Validation par la carte géologique.....	63
2)	Validation par Google Earth.....	66
3)	Validation par la littérature géologique.....	68
VI.	Analyse en composantes principales (ACP).....	69
VII.	Traitement des indices.....	72
1)	Indice de végétation simple (VI) :.....	73
2)	l'indice de minéraux ferreux (Ferrous Minerals)	75
3)	l'indice des minéraux argileux (clay minerals).....	77
4)	l'indice des oxydes de fer (iron oxyde)	78
5)	indice de l'altération hydrothermal (Hydrothermal composite)	80
VIII.	CONCLUSION	83
	Liste des références.....	85
	Liste des figures	87
	Liste des tableaux.....	90

Introduction Générale

I. Introduction

Géologie du Maroc :

Le Maroc « paradis des géologues » est situé à l'extrémité occidentale de l'Afrique du Nord., il est bordé par la Méditerranée au nord et par l'Atlantique à l'ouest, au sud par la Mauritanie et à l'est par l'Algérie.

II. Les domaines structuraux du Maroc

L'examen de la carte structurale du NW de l'Afrique permet de dégager les différents domaines structuraux du Maroc qui sont en nombre de cinq. **(Fig.1)** (Michard, 1976; Piqué 1983; Piqué et Michard, 1989).

1. Domain Rifain

Le rif constitue une partie intégrante de la chaîne Alpine périméditerranéenne, et présente ainsi une tectonique tertiaire complètement différente de celle qui affecte le système atlasique. Au-dessus du socle paléozoïque, le Mésozoïque et le Tertiaire sont impliqués dans un système d'échelles et de nappes très compliquées.

2. Domaine Atlasique

Le domaine atlasique est constitué de deux chaînes de montagnes, le Haut Atlas et le Moyen Atlas (Michard, 1976). Le Moyen Atlas, de direction NE-SW, sépare la Méséta en Deux. Le Haut Atlas, situé entre le Domaine Mésétien au nord et l'Anti Atlas au sud, se prolonge en Algérie et en Tunisie par l'Atlas Saharien.

Ce domaine est formé d'une épaisse série permo-mésozoïque et cénozoïque, plissée au cours de l'orogénèse atlasique. Les phases de plissement sont d'âge jurassique-supérieur et tertiaire. En outre, il renferme des terrains paléozoïques tels que le bloc paléozoïque du Haut Atlas occidental et les boutonnières du Haut Atlas central et oriental et celles du Moyen Atlas.

3. Domaine Mésétien

Le Domaine Mésétien a été défini par Gentil (1918) comme étant le domaine de la Chaîne hercynienne du Maroc. Il est constitué d'un socle paléozoïque couvert en discordance par des séries méso-cénozoïques non déformées. Ce domaine est séparé en deux parties par le Moyen Atlas, (Termier, 1936; Michard, 1976):

- a. La Méséta Occidentale, dite marocaine. Elle est constituée de trois grands massifs Paléozoïques, le Massif central ou Maroc central, les Rehamna et les Jebilets, qui affleurent au sein de la couverture méso-cénozoïque.
- b. La Méséta Orientale ou oranaise. Elle est composée de plusieurs boutonnières (Jerada, Debdou, Mekam et Midelt) dont les affleurements des terrains paléozoïques sont relativement plus restreints.

4. Domaine Pré-Saharien ou Anti-atlasique :

Dans l'Anti Atlas, le socle ancien et sa couverture du Protérozoïque supérieur ont été Affectés par l'orogénèse panafricaine (680-570Ma) (Leblanc et al, 1980). Plus tard, la Couverture fini-Protérozoïque et paléozoïque de la chaîne panafricaine a été affectée par une Déformation hercynienne, varisque, relativement modérée .La couverture méso-cénozoïque est peu épaisse et non déformée.

5. Domaine saharien

Il fait partie du Bouclier Ouest Africain (Michard, 1976;Piqué et Michard, 1989).Il est formé de séries du Protérozoïque inférieur, extrêmement déformées et Métamorphisées au cours de l'orogénèse éburnéenne (vers 2000Ma).Ces séries sont Surmontées, au nord, par des roches paléozoïques non déformées du Bassin de Tindouf, qui sont à leur tour cachées en partie par une couverture mésozoïque et cénozoïque.

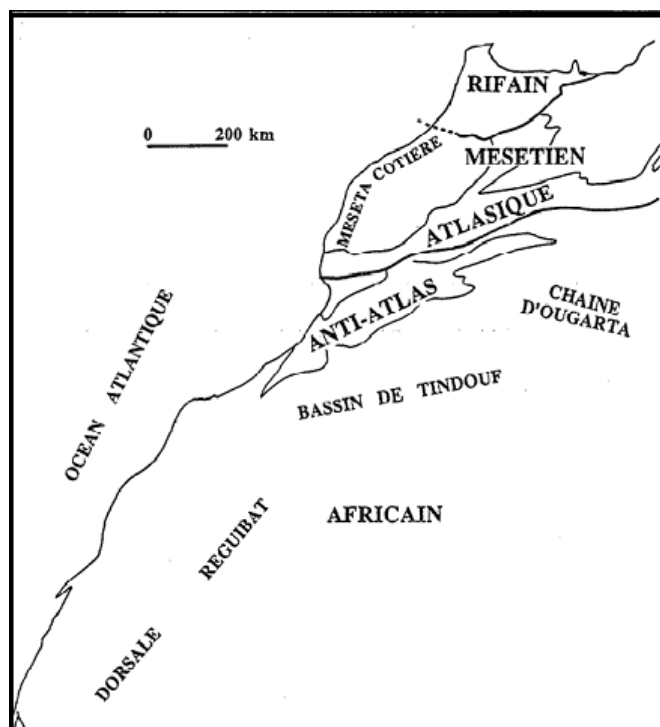


Fig.1:Principaux domaines structuraux du Maroc. (Khattach.1989)

III. Le Haut Atlas central

Entre la vallée de l'oued Ziz à l'Est et le « Massif ancien » de Marrakech à l'ouest, le Haut Atlas central est bordé, au nord, par les plaines de la Moulouya et de Tadla et par le Moyen Atlas méridional ; au sud, il est séparé de l'Anti Atlas par le sillon présaharien d'Ouarzazate Errachidia.

1. Cadre géomorphologique

La partie centrale du Haut Atlas marocain comporte deux grandes unités structurales : à l'ouest, le massif ancien du Haut Atlas est constitué d'un socle précambrien, de terrains primaires plissés et de granites relevant de l'orogénèse hercynienne et à l'est, le Haut Atlas central (HAC), prolongement du massif précité, où dominant les séries mésozoïques plissées. Le HAC est donc une chaîne intracontinentale typique (Choubert & Faure Muret, 1962 ; Michard, 1976 ; Mattauer et al. 1977), qui résulte de l'inversion d'un bassin essentiellement jurassique et d'obédience téthysienne. La couverture post-hercynienne, plissée et décollée sur le Trias, comporte une épaisse série d'âge jurassique inférieur et moyen avec, localement, des dépôts crétacés et tertiaires affleurant surtout sur les bords de la chaîne. Elle montre un système de plis anticlinaux, généralement droits et étroits, érodés jusqu'au Lias ou au Trias avec localement des intrusions de roches magmatiques d'âge jurassico-crétacé. Ces anticlinaux sont séparés par de larges synclinaux à fond plat.

2. La lithostratigraphie

Les attributions stratigraphiques des formations lithologiques reconnues sont fondées sur les ammonites, les foraminifères benthiques et les brachiopodes. Des compléments concernant les couches rouges proviennent des déterminations d'ostracodes et de charophytes (Charrière et al., 2005 ; Mojon et al., 2005 ; Haddoumi et al., 2010).**(Fig.6)**

a) Les terrigènes et évaporites du Trias

Le faciès principal correspond à des argiles roses et évaporites affleurant uniquement en association avec les roches magmatiques au niveau des principales rides anticlinales. Ici, la stratification est inexistante : argiles et paillettes évaporitiques sont intimement liées donnant à l'ensemble un aspect bréchique.

La masse triasique emballe par ailleurs des lambeaux décamétriques voire hectométriques de Lias inférieur calcaire ou dolomitique. Ces derniers sont fortement déformés et recristallisés, indiquant le développement d'un léger métamorphisme lors de leur remobilisation au sein du complexe chaotique.

Formations d'Aït Ras et Tighanimine

Les affleurements de ces formations sont géographiquement peu étendus. Ils se présentent en bandes discontinues au voisinage des accidents bordiers de la chaîne ainsi qu'à la faveur de certaines rides anticlinales en son centre. Le décollement systématique de la masse carbonatée sus-jacente produit des phénomènes de laminage, de dédoublement et de replis au sein de cette formation, de telle manière que ses relations avec le Trias sous-jacents ne sont jamais claires.

La formation d'Aït Ras correspond à une succession de petits bancs dolomitiques blanchâtres plus ou moins crayeux alternant avec des marnes de couleur rouge ou lie de vin. **La formation de Tighanimine** présente quant à elle un assemblage de brèches intraformationnelles au sein des quelles abondent des blocs anguleux décimétriques à métriques, des slumps ainsi que de nombreuses petites failles synsédimentaire.

b) Lias inférieur et moyen 1 : Domaine de plate-forme

Parmi tous les dépôts marins jurassiques, ce sont les carbonates massifs du Lias inférieur qui ont présenté la plus large extension, notamment vers l'ouest (Jenny, 1988), le long de la terminaison occidentale du golfe du Haut Atlas. La nette différenciation paléogéographique opérée à la fin du Lias inférieur est responsable dans le terrain visité d'une zonation de faciès et d'environnements complexe. Ainsi, aux formations calcaro-dolomitiques massives du Lias inférieur succèdent, au Lias moyen, des formations carbonatées plus finement litées, montrant d'importantes variations de faciès et d'épaisseur.

Quatre formations principales caractérisent la bordure occidentale du golfe atlasique, les formations d'Ait Bou Oulli, de Jbel Rat, de Jbel Choucht et d'Aganane

Formation d'Ait Bou Oulli :

Elle forme l'ossature des reliefs de l'Atlas dominant les plaines adjacentes. Elle présente généralement un aspect massif : bancs de dolomies et de calcaires de 1 à 3m d'épaisseur, à onchoïdes et à oolithes. La faune est représentée par des brachiopodes, lamellibranches et foraminifères benthiques (Septfontaine, 1984).

Formation de Jbel Rat:

Les calcaires et dolomies massifs de la formation d'Ait Bou Oulli laissent place progressivement à un ensemble riche en structures en « tipis ». Cette succession présente les mêmes caractéristiques stratonomiques que la formation sous-jacente, mais s'en différencie par une plus grande fréquence des faciès à bird eyes et pisolithes vadoses ainsi que par la présence de nombreuses structures en "tipis". Celles-ci sont matérialisées par des niveaux calcitiques d'épaisseur centimétriques, à tracé irrégulier, sur des hauteurs de 0,5 à 2 m.

Formation d'Aganane:

Elle caractérise le sommet des carbonates liasiques dans tout le secteur d'étude. Sa base peut être définie avec l'apparition des premières intercalations marneuses et argileuses au toit des carbonates plus massifs sous-jacents. De la base au sommet, on distingue trois unités successives Ag 1, Ag 2 et Ag 3:

- **l'unité Ag 1** : Montre une succession rythmique de calcaires fins à Foraminifères, de dolomies laminées et de dolomies marneuses. Son âge est Sinémurien terminal-Carixien inférieur.

- **l'unité Ag 2** : Correspond à l'ensemble marnodolomitique à caractère azoïque représenté sur la carte géologique au 1/100 000 de Zaouit Ahancal (Jossen, 1988) sous la dénomination de «Formation d'Ait Bazzi».

- **l'unité Ag 3** : Montre une succession de facies similaire et a celle de l'unité Ag 1; avec cependant une prédominance de facies biodétritiques: calcaires graveleux de teinte sombre, riches en algues *Cayeuxia* et en foraminifères. Le toit de certains niveaux au sommet de cette unité s'avère particulièrement riche en empreintes de pas de Dinosaures. Cette dernière unité est placée dans le Domérien en raison de l'association de Foraminifères benthiques rencontrés: *Lituosepta compressa*, *Pseudocyclamina liasica* et *Haurania* sp.

Formation de Jbel Choucht:

Cet ensemble est caractérisé dans sa localité type par des calcaires massifs à faune récifale. Ses affleurements réduits et sa position au contact des accidents majeurs (failles et décrochements) et des intrusions de gabbros, (Jossen, 1988), rendent sa limite inférieure difficile à mettre en évidence. En revanche sa limite supérieure a été reconnue et datée par ammonites du Carixien (Septfontaine, 1986).

c) Lias inférieur-moyen, 2 : Domaine de bassin.

Formation du J. Taguendouft :

Elle comporte deux unités distinctes : une unité basale (unité de J. Abbadine) très épaisse et relativement pauvre en faune, et une unité sommitale (unité de J. Taguendouft) de faible épaisseur et remarquablement riche en ammonites.

Unité de Jbel Abbadine :

Le flanc sud de l'anticlinal du J. Abbadine offre une coupe continue de cette unité sur une épaisseur d'environ 300 m. Les termes à sa base correspondent à des dolomies et calcaires en gros bancs localement riches en passées de brachiopodes. Ces termes passent dans les deux tiers supérieurs de la coupe à des calcaires plus lités, organisés en bancs d'épaisseur décimétriques riches en silex et alternant localement avec de minces passées marneuses jaunâtres à verdâtres. D'une manière générale, les unités de dépôt en présence montrent le passage des environnements côtiers à ceux de la plateforme ouverte, circalittorale. Cette ouverture des milieux de dépôt semble être réalisée d'une manière progressive.

Unité de J.Taguendouft :

Dans le chaînon de Taguendouft, cette unité est épaisse d'environ 45 m et évoque par son organisation stratonomique une sédimentation de milieu hémipélagique. Elle est constituée par une alternance de bancs calcaires fins de 20 à 30 cm de puissance séparés par des joints de marnes compactes ou de marno-calcaires gris à verdâtres. Les marnes peuvent contenir une microfaune, peu abondante, représentée par des lenticulines à test hyalin. Les calcaires localement très riches en faune d'ammonite, correspondent au microscope à une boue carbonatée (mudstone) où sont noyés des proportions variables de grains fins de quartz, des bioclastes et de rares foraminifères. Ces caractéristiques témoignent d'un milieu de dépôt relativement profond pour ces deux composantes de faciès.

Les assises domériennes de cette unité correspondent à des dépôts réduits, noduleux et de couleur plus sombre. Ils sont imprégnés par de nombreuses surfaces de discontinuité et de ravinement. Le sommet de l'unité montre une surface ferruginisée et perforée riche en "Cancellophycus" et en faune d'ammonites du Toarcien inférieur (Eodactylitoceras).

Formation de Tamadout 1:

Les affleurements de bordure de bassin du Lias moyen sont caractérisés au cours du Domérien par une arrivée massive de détritiques fins et témoignent le plus souvent d'un contexte tectonique instable. Dans la région de Tamadout, cette unité approche les 200 m d'épaisseur et montre deux composantes différentes dans ses faciès:

-Une composante hémipélagique à pélagique, autochtone, résultant d'un processus sédimentaire de décantation. Il s'agit de bancs calcaires noduleux, fins, localement riches en faune d'ammonites alternant avec des marnes argileuses rouges

d'épaisseur variable (quelques centimètres à plusieurs mètres) le plus souvent azoïques.

-Une composante allochtone représentée par des dépôts biodétritiques resédimentés par des processus gravitaires. Il s'agit de blocs de taille variable (1 à 4m) de calcaires organogènes à coraux et éponges ainsi que de biocalcarénites parfois associées à des coulées boueuses.

Un modèle de sédimentation similaire est représenté par les dépôts de *la formation d'Assemssouk*, d'âge domérien moyen à supérieur (Jossen, 1988). Les affleurements de cette unité sont limités à de petits bassins situés aux extrémités W/NW et E/SE des rides d'Assemssouk et de Taghia le long de l'Accident nord-Atlasique. On relève une alternance de marnes grises à débit schisteux et de niveaux de calcaires marneux en plaquettes. Les deux tiers inférieurs sont très riches en passées de séquences turbiditiques calcaires granoclassées, mais aussi en blocs resédimentés de différentes tailles (quelque centimètres à 300 m) issus du démantèlement des plates-formes du Lias inférieur et moyen sous-jacents.

d) Les terrigènes du Lias supérieur.

Dans tout le domaine atlasique marocain, le passage du Lias moyen au Lias supérieur est marqué par un changement brutal dans les conditions de la sédimentation (Choubert et Faure - Muret, 1960-62 ; Du Dresnay, 1979). Ce changement se marque essentiellement par le passage d'une sédimentation carbonatée à une sédimentation terrigène.

Formation de Tamadout 2 :

Cette unité affleure uniquement dans le secteur dans lequel s'est installé le bassin du Lias moyen. Dans l'ensemble, malgré des variations notables d'épaisseur, la série présente très peu de variations latérales de faciès. Elle est essentiellement formée de marnes vertes à beiges riches en passées gréseuses à son sommet.

Les dépôts de cette unité correspondent à des épandages terrigènes dans l'ancien bassin du Lias moyen. La tendance générale observée montre une évolution en comblement. A la base de la série, l'assemblage des foraminifères, les traces d'ammonites ainsi que les crachées turbiditiques observées dans les marnes de l'unité 1 reflètent des conditions de sédimentation dans un domaine marin ouvert, circalittoral. Les turbidites gréseuses observées au niveau de la bordure nord du bassin témoignent d'un transit du matériel à travers la plate-forme exondée du Lias moyen. Celles de nature carbonatée, observées plus au sud, dans le secteur de

Taquat N° Agrd, seraient déterminées par l'érosion de zones hautes intra-bassinales. Les unités 2 et 3 montrent par leur organisation verticale un lent processus de comblement conduisant à l'établissement d'un environnement côtier.

Formations de Wazzant, d'Azilal :

Les deux formations de Wazzant et d'Azilal caractérisent les bordures externes du golfe atlasique au cours du Toarcien-Aalénien. Elles correspondent à une succession de teinte brun rouge à dominance terrigène: conglomérats, grès, argiles à paléosols et calcaires gréseux parfois dolomités. La formation de Wazzant présente un caractère proximal par rapport à la formation d'Azilal.

L'épaisseur de ces unités est extrêmement variable (de quelques mètres à 800 m) en raison des irrégularités de leur substratum plienschbachien. Ces dépôts comblent en effet de nombreux petits bassins de déchirure dans l'Atlas d'Afourer (Laville, 1978) et dans celui d'Azilal (Jenny, 1988). Cette formation n'est pas datée paléontologiquement dans l'Atlas de Beni Mellal. Seul son encadrement stratigraphique permet de la situer dans l'intervalle Toarcienmoyen - Aalénien.

Les dépôts à dominante terrigène de cette formation se sont déposés dans un environnement côtier à influence continentale. On note, du nord au sud et d'ouest en est, un passage latéral depuis des faciès côtiers à fluviaux d'estran jusqu'à des faciès de plage.

Formations d'Amezraï, de Tafraout et d'Aguerd-n-Tazoult.

Ces trois formations sont principalement définies dans le bassin d'Amezraï où elles présentent leur maximum de développement. Il s'agit essentiellement de marnes, grès et calcaires rapportés à l'intervalle Domérien supérieur - Aalénien (Bouchouata et al., 1995). L'ensemble comporte trois unités :

Formation d'Amezraï :

Caractérisée par une succession de calcaires gréseux à brachiopodes, de grès et de marnes rouges.

Formation de Tafraout:

Représentée par des marnes vertes et des calcaires marneux, noduleux au sein desquels se développent des petits récifs coralliens isolés.

-Formation d'Aguerd-n-Tazoult :

Composée de calcaires, de marnes jaunes et de grès. Son sommet est souligné par une corniche de calcaires à faune récifale.

Le calage chrono stratigraphique de ces séries est essentiellement basé sur une faune de brachiopodes rencontrée dans la formation d'Amezraï et dans la formation d'Agard N'Tazoult (Bouchouata et al., 1994).

La base de la formation d'Amezraï est d'âge Domérien supérieur. Son sommet est daté du Toarcien par des brachiopodes de la zone à *Serpentinus* et *Pseudogibbirhynchia jurensis*.

Les dépôts de la formation d'Aguerd n-Tazoult sont d'âge Aalénien comme l'indiquent les brachiopodes de la zone à *Bradfordensis/Murchisonae* : *Globirhynchia subobsoleta* (DAVIDSON), *Curtirhynchia benacensis* (ROTHPLETZ) et *Stroudithyris pisolithica*(BUCKMAN)

La formation de Tamadout (1 & 2) est corrélable à la formation d'Amezraï et la formation d'Azilal aux formations de Tafraout et d'Agard N'Tazoult.

e) Les carbonates du Dogger.

Les carbonates du Dogger correspondent à un ensemble sédimentaire bien défini lithologiquement. Il s'agit d'une série à dominance calcaire encadrée, à la base, par l'ensemble marno-gréseux du Toarcien-Aalénien et, au sommet, par un complexe gréso-conglomératique rouge d'âge Jurassico-Crétacé. Cette succession représente le second et dernier grand événement transgressif du Jurassique, après celui du Lias inférieur - moyen, ayant conduit à l'installation d'une plate-forme carbonatée à l'échelle du Haut Atlas central tout entier.

La nature lithologique des diverses unités composant cet ensemble a été progressivement définie par Lévêque (1952), Rolley (1973 - 78), Rebouillat (1983), Monbaron (1985), Jenny (1988), Jossen (1988) et Bouchouata (1993).

Une suite de 2 à 3 barres calcaires séparées par des zones marneuses ou marno-gréseuses a été ainsi reconnue au sein de cette succession. Il s'agit des formations du groupe de Bin El Ouidane dans les feuilles de Béni-Mellal et de Zawiat Ahançal et de celles du groupe de Tanant dans la feuille d'Azilal. La nature lithologique relativement homogène de ces unités ressort d'ailleurs de l'analyse des travaux des divers auteurs dans l'ensemble du Haut Atlas. Une formation supplémentaire, celle de Tilougguit, a par ailleurs été identifiée et cartographiée séparément au sommet de cette succession.

Formation Bin El Ouidane I:

Elle correspond à une barre de calcaires lités à bird eyes. Plus au sud, dans l'axe du bassin atlasique, elle est formée de calcaires à dominante oolithique (formation d'Aït Abdi, Jossen; 1988). Sa base correspond régionalement à l'horizon à *Timidonella Sarda* (horizon F de Septfontaine, 1984). (Fig.2)

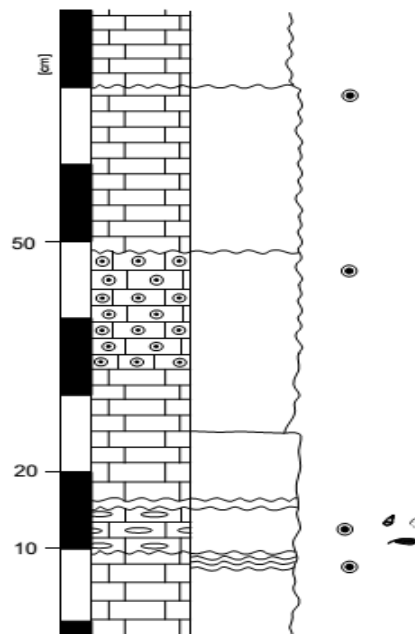


Fig 2: coupe du Col de Ghnim, avec des niveaux oncholitiques et biodétritiques, montrant une succession typique du sommet de la formation de Bin El Ouidane I. (Ralf lowner.2009).

Formation Bin El Ouidane II :

Elle est formée par des marnes et des calcaires marneux soulignés, dans la partie moyenne, par des passées pétries de rhynchonelles. Des ammonites de la zone à sauzei y ont également été signalées (Jossen, 1988). (Fig.3)

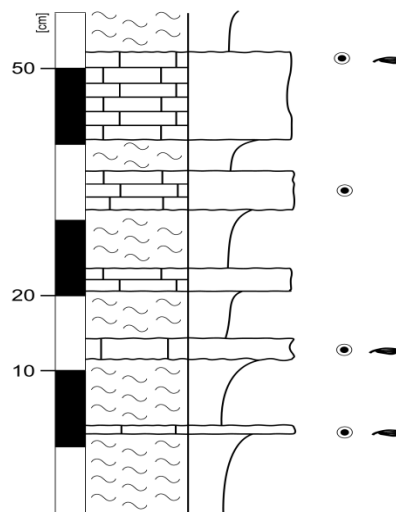


Fig 3 : coupe, montrant une séquence stratocroissante caractéristique de la formation de Bin El Ouidane II. (Ralf lowner.2009)

Formation Bin El Ouidane III:

C'est une succession de calcaires à onchoïdes en dalles, localement coralligènes et riches en brachiopodes. Ces derniers indiquent un âge Bajocien moyen pour les assises sommitales de cette unité.

Formation de Tilougguit :

Les dépôts de cette formation représentent les derniers témoins marins d'âge jurassique dans le Haut Atlas de Béni-Mellal. Il s'agit d'une série marneuse et marno-gréseuse à sa base et carbonatée à son sommet. Le contenu fossilifère est représenté par des restes osseux de Dinosaures au niveau des grès, et par des coraux, lamellibranches et brachiopodes dans les calcaires sommitaux.

f) Les Couches rouges jurassico-crétacées.

A partir du Bathonien inférieur et jusqu'à l'Aptien, l'Atlas de Beni Mellal a été le siège d'une sédimentation terrigène au sein de laquelle se reconnaissent trois formations principales (Jenny et al., 1981), celles de Guettioua, d'Iouaridène et du Jbel Sidal. Elles s'échelonnent dans un milieu essentiellement continental et témoignent de la diversité des paléoenvironnements qui se sont succédés dans le Haut Atlas de Béni-Mellal durant la période jurassico-crétacée considérée.

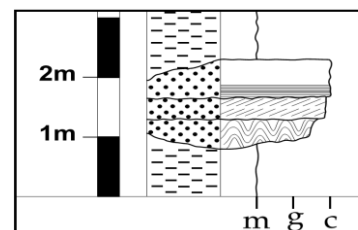
Formation de Guettioua :

Cette unité correspond à une alternance de grès lenticulaires et d'argiles, occupant le fond de la plupart des bassins synclinaux de la région. Les faciès dominant sont des argiles de plaines d'inondation; des silts, des grès lenticulaires, des conglomérats et microconglomérats. Les diverses associations présentées par ces faciès témoignent d'un environnement continental alluvial.

Elle renferme les meilleurs gisements de dinosaures du Haut Atlas central. Il s'agit essentiellement d'ossements et d'empreintes de Dinosauriens Théropodes et Sauropodes. Le meilleur exemple dont on dispose est celui d'un squelette complet d'Atlasaurus Imelakei. (Monbaron et al., 1999) caractéristique du Bathonien. Ce dernier fut découvert dans les assises basales occupant le bassin de Tilougguit.

(Fig.4)

*Fig4 : Exemple d'une lentille du faciès gréseux dans la Formation de Guettioua.
(Ralf Iowner.2009)*



Formation d'Iouaridène :

Cette formation, d'une épaisseur oscillant entre 0 et 300m, occupe les axes des synclinaux haut atlasiques. Comme les autres couches rouges, elle est caractérisée par une série d'argiles pélitiques rouges, bien litées et par son aspect mou et sa troncation sommitale d'érosion.

La base de cette formation est marquée par un changement net de faciès entre les grès massifs de la Formation de Guettoua, organisés en lentilles hectométriques à kilométriques et ces couches argileuses rougeâtres pélitiques bien litées. Ce changement brutal est très bien conservé dans le synclinal d'Aghbala.

Le sommet de cette série est marqué par une discordance angulaire régionale, qui se manifeste partout dans le Haut Atlas central. La Formation d'Iouaridène est surmontée soit par les grès de la Formation de Jbel Sidal, notamment dans les synclinaux d'Aït Attab, d'Ouaouizarth et d'Aghbala, soit par les calcaires de la Formation d'Aït Tafelt (synclinal d'Aghzif-Naour).

Formation de Jbel Sidal :

Cette formation se présente sous forme d'une alternance de bancs gréseux rouges à orangés et d'argiles rouges. Ses affleurements sont observables dans la plupart des grands synclinaux de la bordure ouest du Haut Atlas central. Elle admet comme encadrement stratigraphique les formations d'Iouaridène à la base et d'Ait Tafelt au sommet. Puissante d'environ 200 m, elle repose partout sur le dernier membre évaporitique de la formation d'Iouaridène.

Les faciès caractéristiques sont des argiles de plaines d'inondation et faciès gréseux du système fluvial en "tresse". Les orientations préférentielles des paléocourants montrent des directions vers l'ouest et le nord-ouest. Cette formation est datée à sa base du Crétacé inférieur (Haddoumi et al., 2002). **(Fig.5)**

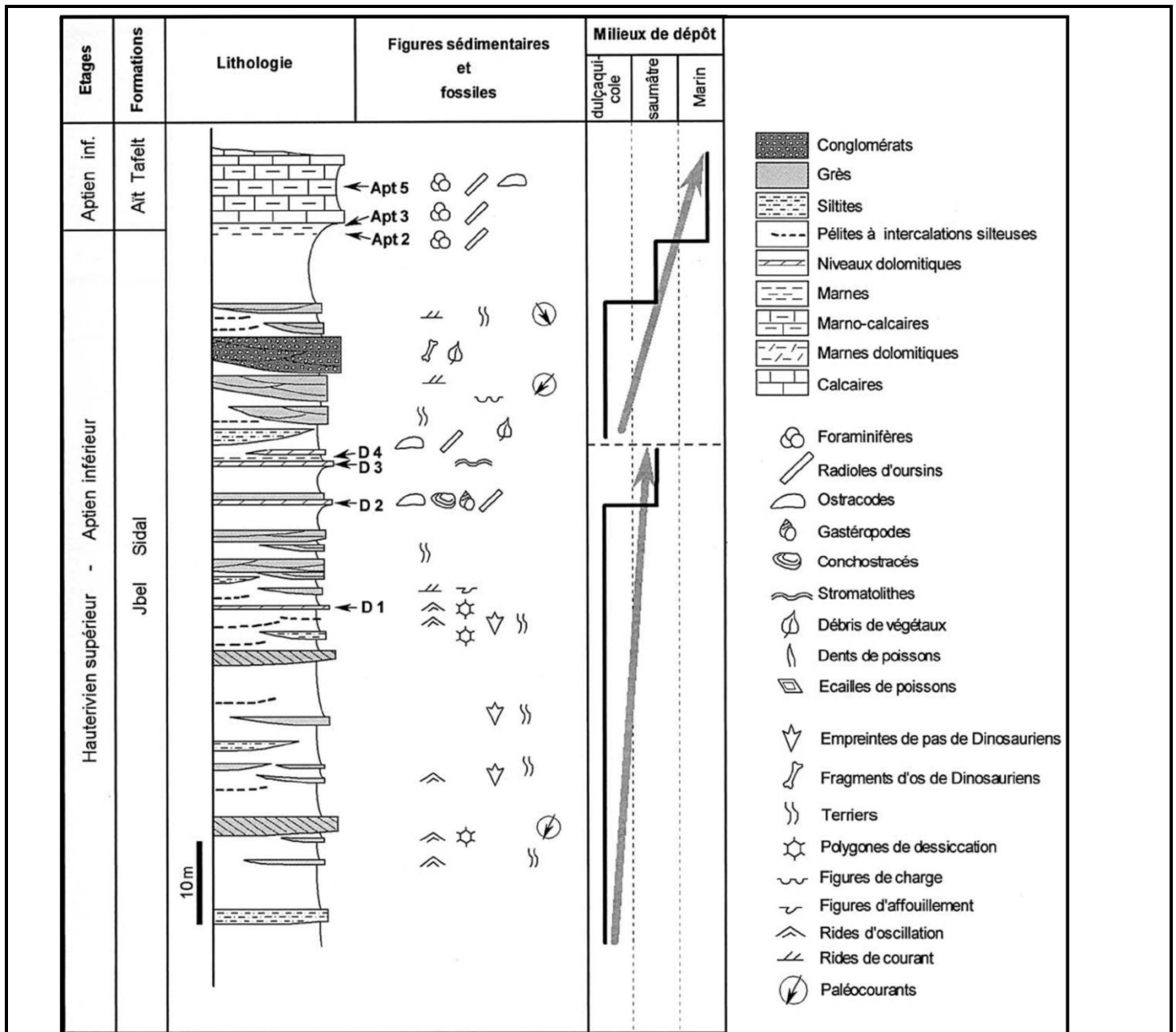


Fig.5 : Coupe synthétique du tiers supérieur de la Formation du Jbel Sidal et détail des niveaux à microfaune (secteur d'Ioughmane), (Haddoumi, 1988, modifié).

g) Les dépôts carbonatés et terrigènes de l'Aptien à l'Eocène

La première pulsion marine franche sur la bordure occidentale du golfe atlasique est représentée par des marnes et calcaires d'âge Aptien, d'origine atlantique (Choubert & Faure-Muret, 1960-62). Cet épisode est bref puisque se manifeste ensuite une sédimentation détritique continentale puis évaporitique couvrant la majeure partie de l'intervalle Albien - Cénomaniens. C'est au Cénomaniens supérieur que la mer conquiert à nouveau cette région, ainsi que la majeure partie du domaine atlasique et même subsaharien, et s'affirme par une série de calcaires infralittoraux d'âge cénomano-turonien. De rares passées marno-calcaires d'âge Sénonien (Rolley, 1978) suivies de calcaires et sables phosphatés du

Maastrichtien -Paléocène, le plus souvent tronqués par érosion, constituent le dernier témoin de la sédimentation mésozoïque dans cette région.

Formation d'Aït-Tafelt :

Elle affleure dans les synclinaux de la bordure nord de l'atlas et présente une épaisseur décroissante du SW vers le NE. Sa puissance atteint ainsi 35 m dans le synclinal d'Ouaouizaght et 20 m dans celui d'Aghzif-Naour. Les faciès qui composent cette unité s'échelonnent d'un milieu marin infralittoral (biomicrites à ammonites et brachiopodes) à un milieu côtier laguno-continental (marnes rouges bioclastiques et évaporites).

Les ammonites récoltées dans les niveaux de base de cette formation (Souhel, 1987) sont caractéristiques du Bédoulien moyen (zone à Forbesi). Il s'agit de *Roloboceras hambroviet* de *Roloboceras saxbyi*.

Formation d'Ouaouizaght :

La Formation de Ouaouizaght présente une épaisseur de 330 m dans sa localité type. Elle peut être subdivisée en trois membres. Le membre inférieur montre une alternance de bancs gréseux et de passées argileuses, typique des dépôts de plaines alluviales. Le membre moyen est formé d'argiles rouges à intercalations de gypse, et révèle une sédimentation essentiellement chimique, à dominante évaporitique lagunaire, bien affirmée vers le sommet. Enfin, le membre supérieur est caractérisé par des termes calcaires et marneux riches en microfaune : lituolidés et ostracodes. Il traduit dans son ensemble l'ouverture du domaine sur une plate-forme infralittorale. Les derniers termes, surmontés par les premiers bancs des calcaires blancs, lithographiques, à foraminifères planctoniques du Turonien, confirment cette tendance.

Formation Ben Cherrou :

La barre céno-mano-turonienne des auteurs est décrite comme un ensemble de calcaire crayeux blancs ou beiges à silex formant une corniche aisément repérable dans la topographie (Rolley 1978). Sur la bordure nord du Haut Atlas central, de nouvelles observations lithologiques et biostratigraphiques effectuées en particulier dans le synclinal de Naour, permettent de cerner avec précision la limite Céno-manien-Turonien. La Formation Ben Cherrou, exclusivement carbonatée, débute par les premiers dépôts carbonatés massifs, bioclastiques et/ou lumachellique correspondant à l'installation de la plate-forme proprement dite, elle se poursuit

des calcaires crayeux, en petits bancs blanchâtres localement riches en foraminifères planctoniques et en empreintes d'ammonites, alternant avec des calcaires beiges massifs et bioclastiques. Sa limite supérieure est marquée par des bancs carbonatés dolomitiques à structures stromatolithiques.

h) Le Sénonien

Il est représenté par des marnes et des marno-calcaires affleurant au cœur des principaux synclinaux du nord de l'Atlas. Sous la plaine du Tadla, il peut atteindre une puissance de 200 m. Ces représentent les derniers témoins marins mésozoïques du versant nord du Haut Atlas. (CHOUBERT 1957, MONBARON 1982).

Cet ensemble débute par des marnes blanches et jaunâtres qui reposent en contact normal sur les calcaires du Turonien. Des niveaux métriques d'argiles blanches totalement lessivées et décolorées s'y intercalent. Plusieurs bancs de calcaires jaunâtres à patine rose s'inter stratifient dans cet ensemble marneux. La partie supérieure est constituée par des marnes qui s'enrichissent progressivement vers le haut en fractions sableuses et phosphatées constituant ainsi la base de la formation phosphatée sus-jacente.

IV. L'objectif de cette étude :

La zone d'étude est caractérisée par la présence d'une fracturation intense, engendrée au cours de l'histoire géologique de la chaîne atlasique ; Cette étude a pour but de réaliser une cartographie structurale et minéralogique. Les étapes à suivre sont :

-Extraire le maximum d'information à partir des images satellites du Haut Atlas Central.

-Extraire et corriger les linéaments de l'image satellite à l'aide de la carte topographique du Haut Atlas Central (région d'Azilal).

-Comparer les linéaments avec ceux cartographiés de façon conventionnelle sur la carte géologique.

-Traitement de l'image landsat pour construire des cartes des indices utilisables dans l'exploration minière.

-Et enfin fournir un document de synthèse des linéaments et des indices de la zone d'étude.

V. La situation du secteur d'étude :

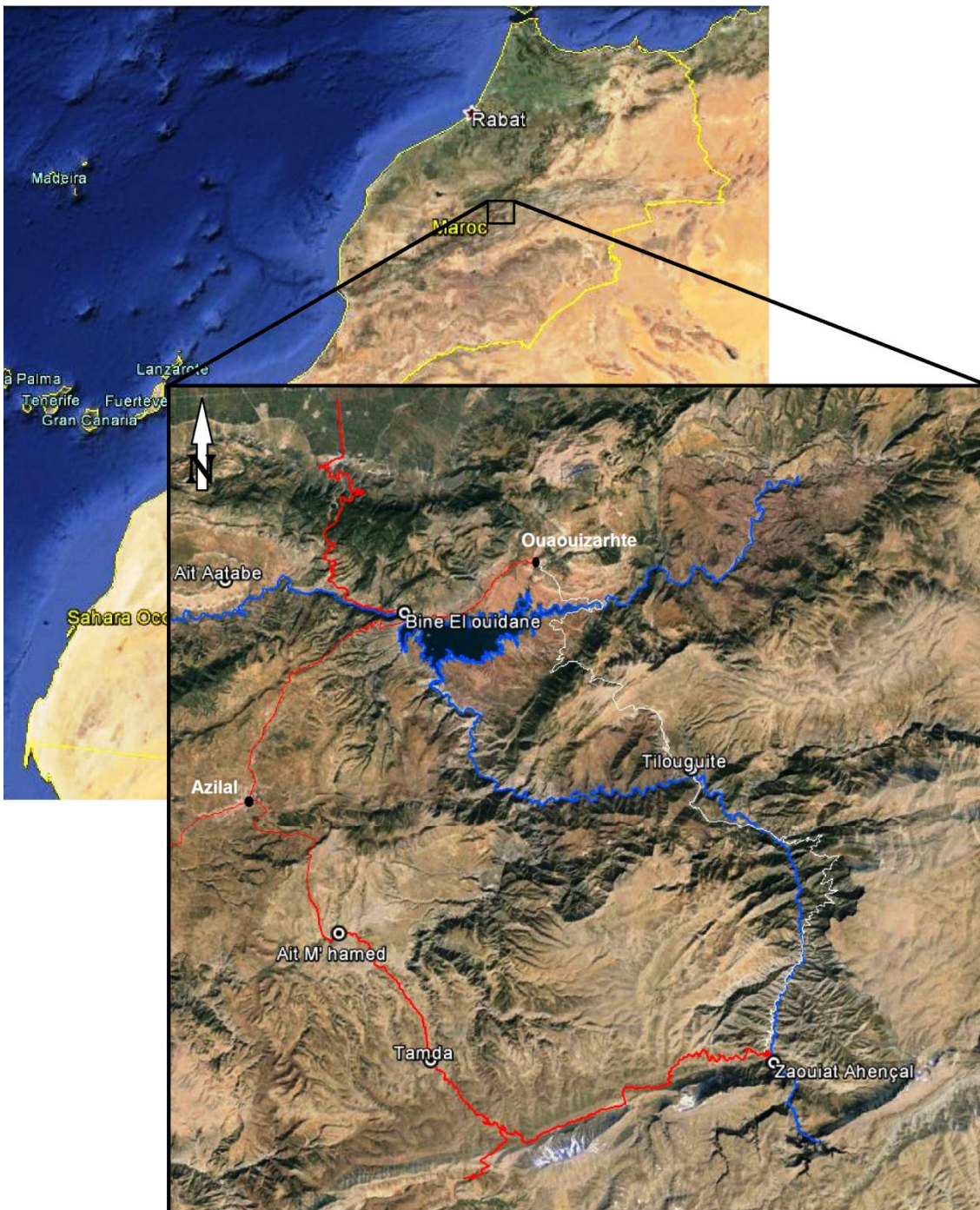


Fig.7 : carte de zone d'étude extrait par Google Earth.

Notions de
Téledétection et
d'image
satellitaire.

I. Introduction :

La télédétection est une technique permettant d'obtenir de l'information sur des objets en analysant des données collectées par des instruments qui ne sont pas en contact direct avec ces objets.

Le choix de la télédétection comme base de cette étude est en raison :

- la télédétection reste la seule méthode pour traiter des problèmes qui ne peuvent être résolus par des moyens classiques (endroits inaccessibles par des moyens terrestres...).
- Il peut être long et coûteux de recueillir de l'information sur une grande région en la parcourant à pied, en auto, en bateau ou en la survolant en avion.
- Il est parfois difficile de détecter des changements légers et il est pénible de noter ou de cartographier des petits changements, en particulier s'ils se trouvent sur des grandes surfaces. Un satellite peut acquérir plusieurs images d'une même région et les ordinateurs peuvent détecter avec précision les changements entre les différentes images acquises pour le suivi des changements.
- L'information de télédétection est numérique et peut être analysée et comparée par ordinateur. Les décisions peuvent donc être prises rapidement et avec précision.

II. Définition de la télédétection :

«La télédétection est la discipline scientifique qui regroupe l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour l'observation, l'analyse, l'interprétation et la gestion de l'environnement à partir des mesures et d'images obtenues à l'aide de plates-formes aéroportées, spatiales, terrestres ou maritimes. Comme son nom l'indique, elle suppose l'acquisition d'informations à distance, sans contact direct avec l'objet détecté.» (Bonn, 1991)

III. Principes de base de la télédétection :

Le principe de base de la télédétection est similaire à celui de la vision de l'homme. La Télédétection est le fruit de l'interaction entre quatre éléments fondamentaux : une source d'énergie, une cible, un rayonnement et un capteur. (**Fig. 8**)

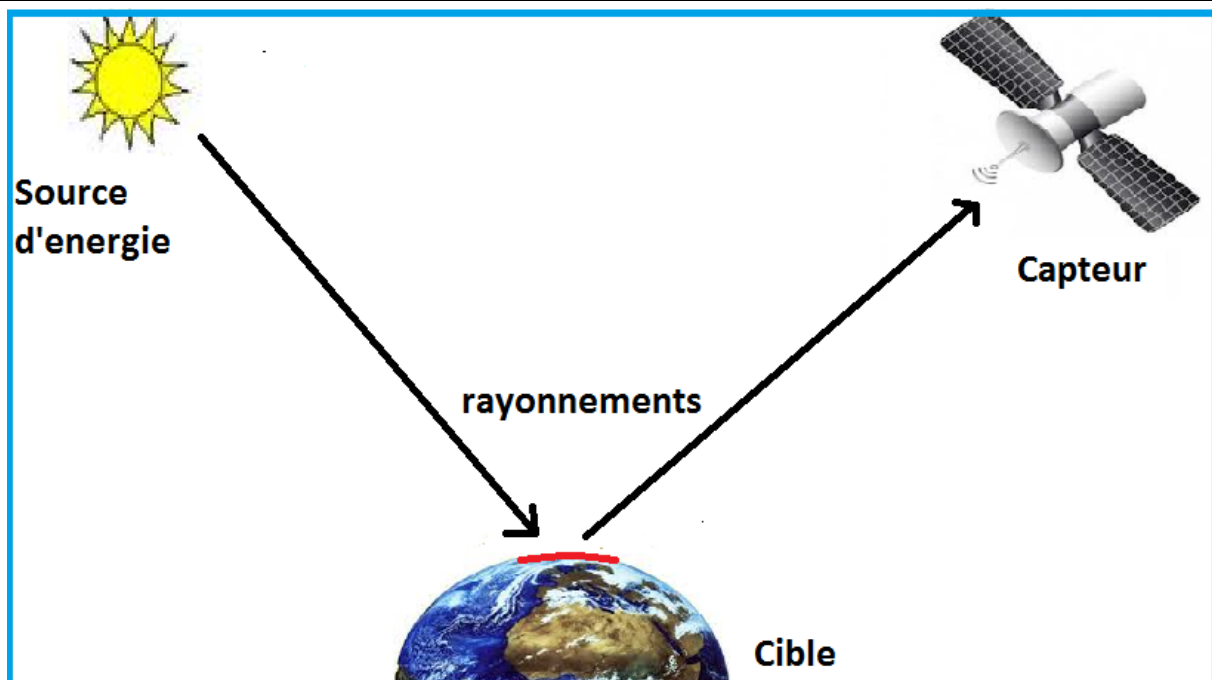


Fig.8 : Principe de base de la télédétection

1) **La cible** : est la portion de la surface terrestre observée par le satellite. Sa taille peut varier de quelques dizaines à plusieurs milliers de kilomètres carrés.

2) **La source** : d'énergie est l'élément qui "éclaire" la cible en émettant une onde électromagnétique (flux de photons). Dans l'immense majorité des cas, la source d'énergie est le soleil. Néanmoins, la technologie RADAR nécessite qu'un émetteur soit embarqué sur le satellite, dans ce cas le satellite lui-même est source d'énergie. Il est également possible de mesurer la chaleur qui se dégage à la surface de la cible (infrarouge thermique), auquel cas c'est la cible qui est source d'énergie (bien qu'il s'agisse d'énergie solaire stockée et réémise).

3) **Les rayonnements** : sont les rayonnements électromagnétiques envoyée par la source et réfléchi par la cible. Les capteurs embarqués sur le satellite mesurent le rayonnement électromagnétique réfléchi, puis un émetteur renvoie l'image sur Terre vers des stations de réception.

4) **Le Capteur** : Les capteurs embarqués sur le satellite qui enregistre le rayonnement électromagnétique réfléchi, puis un émetteur renvoie l'image sur Terre vers des stations de réception.

Lorsque le satellite ne fait que capter le rayonnement réfléchi, on parle de **télédétection passive** et lorsque le satellite émet une onde vers la cible et en mesure l'écho, on parle de **télédétection active**.

IV. -Les principales étapes de la télédétection :

De manière plus détaillée, on peut schématiser la télédétection comme un ensemble de 7 étapes clés (**fig. 9**) :

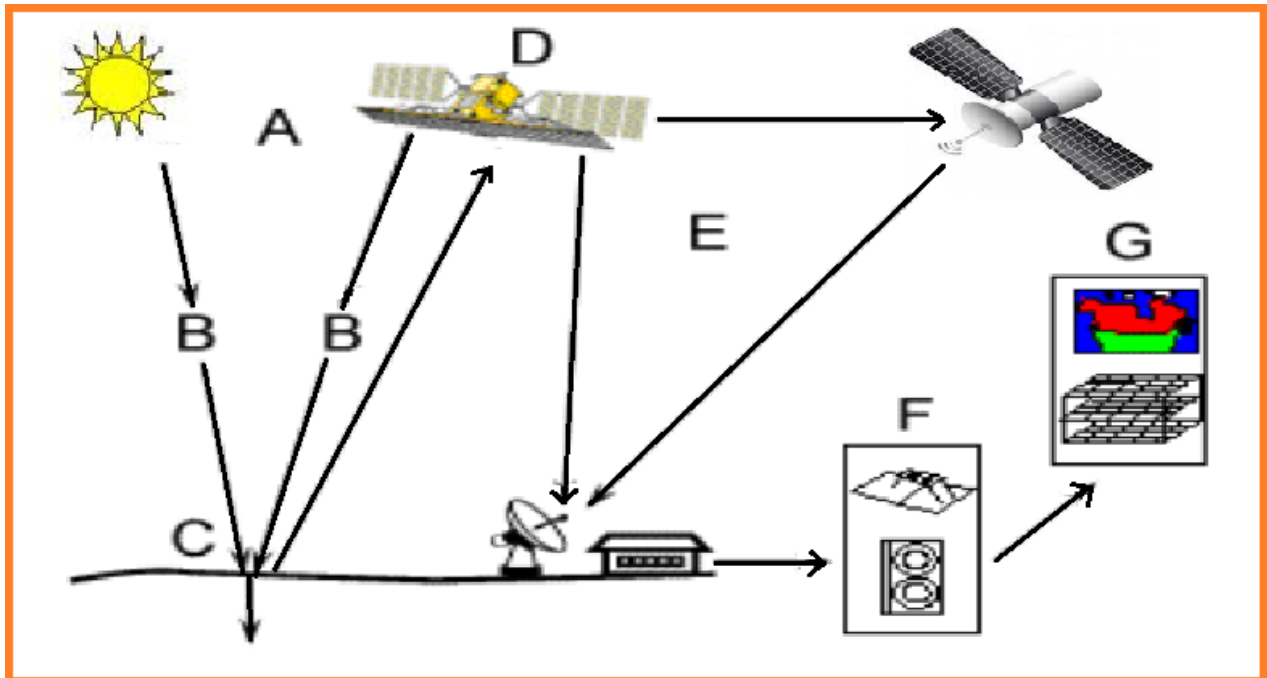


Fig.9 : les sept étapes de la télédétection. Site Web du Centre Canadien de Télédétection : <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>.

1) Source d'énergie ou d'illumination (A):

À l'origine de tout processus de télédétection se trouve nécessairement une source d'énergie pour illuminer la cible. Le plus souvent, voire dans la presque totalité des cas, cette source d'énergie est le soleil. Mais le satellite lui-même peut être source d'énergie : c'est le cas pour le domaine de la télédétection radar.

2) Rayonnement et atmosphère (B):

Durant son parcours « aller » entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère. Une seconde interaction se produit lors du trajet « retour » entre la cible et le capteur.

3) Interaction avec la cible (C):

Une fois parvenue à la cible, l'énergie interagit avec la surface de celle-ci. La nature de cette interaction dépend des caractéristiques du rayonnement et des propriétés de la surface. Chaque objet géographique émet ou réfléchit un rayonnement dans les diverses fréquences du spectre électromagnétique.

Cette caractéristique s'appelle le comportement spectral. En télédétection, on suppose que tout objet ou classe d'objet sur la surface terrestre possède sa propre « empreinte digitale » dans le spectre électromagnétique (la signature spectrale), en fonction de la longueur d'onde du rayonnement qui est réfléchi ou émis par lui-même.

4) Enregistrement de l'énergie par le capteur (D):

Une fois l'énergie diffusée ou émise par la cible, elle doit être captée à distance par un capteur qui n'est pas en contact avec la cible mais embarqué à bord d'un satellite ou d'un avion par exemple, pour être enfin enregistrée sous format numérique.

5) Transmission, réception et traitement (E):

Cette information enregistrée par le capteur est transmise, souvent par des moyens électroniques, à une station de réception généralement située au sol où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques).

6) Interprétation et analyse (F):

Une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image traitée est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible.

7) Application (G):

La dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible, c'est-à-dire la portion d'espace étudiée pour nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier. Ces sept étapes couvrent le processus de la télédétection, du début à la fin.

V. Les bases physiques de la télédétection :

1) Le rayonnement électromagnétique (Soudani K., 2005) :

Selon la théorie corpusculaire de la lumière, le rayonnement électromagnétique peut être considéré comme étant un flux de particules élémentaires appelés photons. Selon la théorie ondulatoire, le rayonnement électromagnétique est composé de deux vecteurs champ électrique et magnétique perpendiculaires et se déplaçant à la vitesse de la lumière (300 000 km/s dans le vide). Deux propriétés principales caractérisent une onde électromagnétique : sa longueur et sa fréquence (fig. 10).

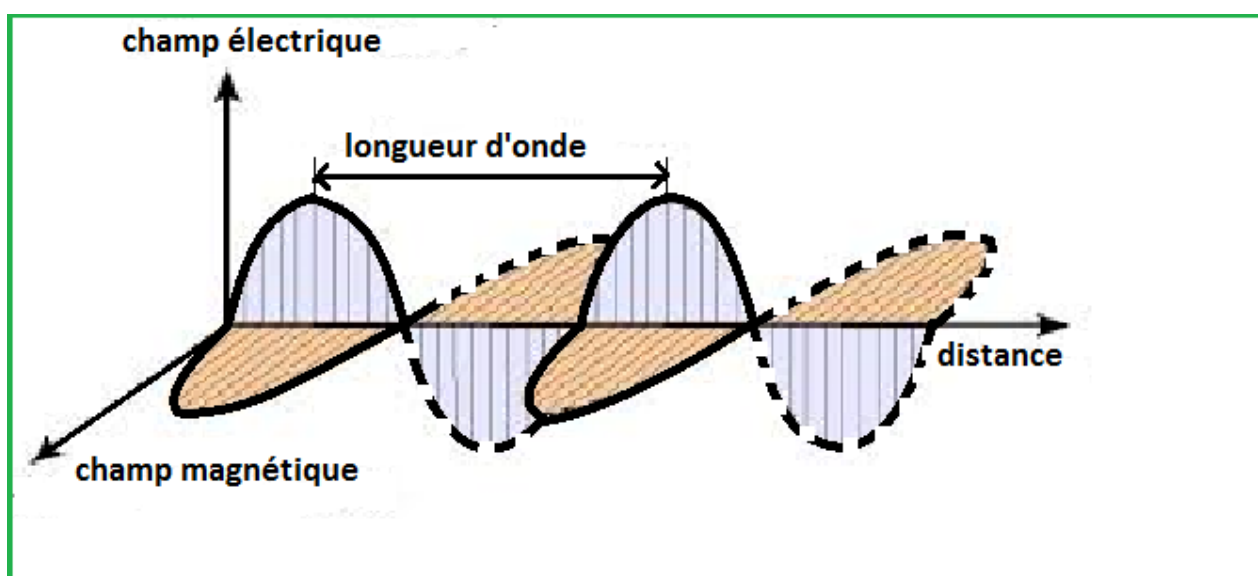


Fig.10: Représentation de l'onde électromagnétique.
www.nocivitedesondes.free.fr/page11.html (modifié).

2) Le spectre électromagnétique :

C'est le résultat de la décomposition du rayonnement électromagnétique en ses fréquences constituantes. Il s'étend des courtes longueurs d'onde (dont font partie les rayons gamma et les rayons X) aux grandes longueurs d'onde (micro-ondes et ondes radio). L'ensemble des fenêtres de toutes les longueurs d'ondes est appelé « spectre électromagnétique » (fig. 11).

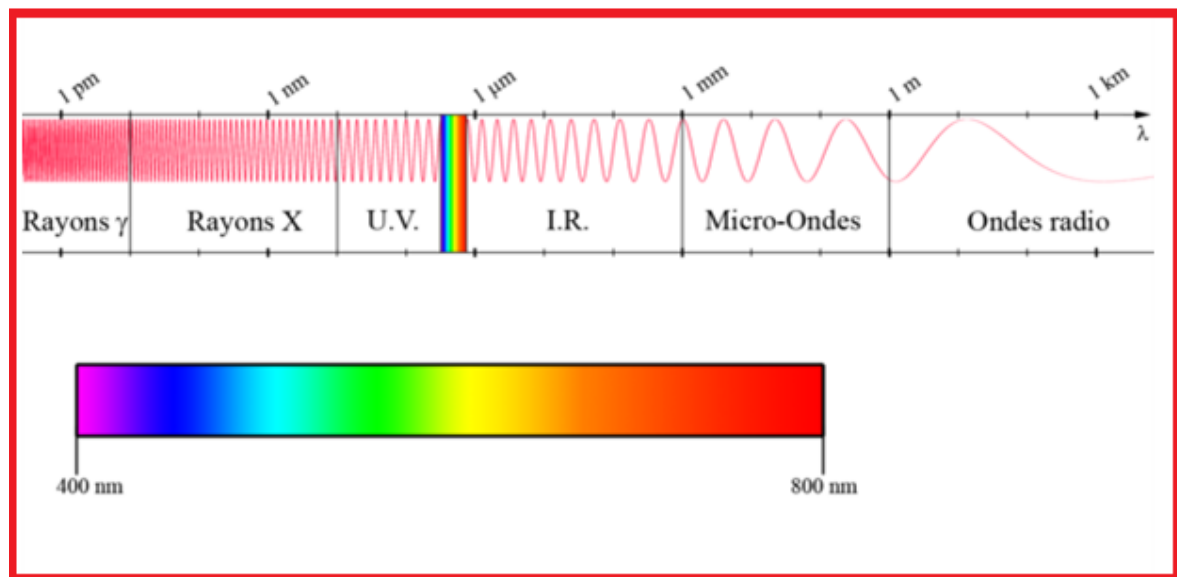


Fig.11 : les différents domaines spectraux. (fr.wikiversity.org).

3) Les interactions rayonnement / matière :

Lorsqu'un rayonnement électromagnétique atteint un objet, certaines longueurs d'onde sont absorbées tandis que d'autres sont réfléchies par l'objet. Une partie du rayonnement peut éventuellement être transmise à travers l'objet si celui-ci est plus ou moins transparent, avec un changement de direction de la propagation dû à la réfraction. La partie du rayonnement qui est absorbée modifie l'énergie interne de l'objet et produit de la chaleur qui sera réémise sous forme d'un rayonnement à une plus grande longueur d'onde (les rayonnements Infrarouge) (Bonn et Rochon, 1992). (fig.12)

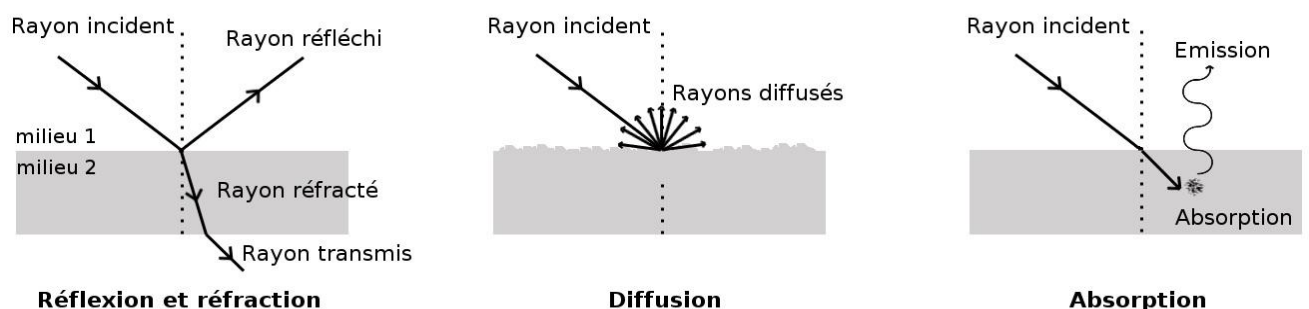


Fig.12: Interaction du rayonnement électromagnétique. (e-mars.geologie-lyon.fr / ?page id=63).

- **Emission :**

Tout corps dont la température est supérieure au zéro absolu (0° Kelvin équivaut à -273°C) émet un rayonnement électromagnétique issu de l'agitation thermique des molécules, dont la longueur d'onde est fonction de la température. Emission et absorption étant liées (loi du rayonnement de Kirchhoff). (Lillesand et Kieffer, 1987).

- **Réflexion :**

La réflexion se définit comme un changement de direction du rayonnement électromagnétique quand celui-ci atteint une surface. En télédétection, le phénomène de réflexion est primordial, car l'identification de la nature des objets par les capteurs satellitaires repose en grande partie sur la manière dont ils renvoient le rayonnement. La direction du rayonnement réfléchi peut varier, elle dépend de la rugosité des surfaces naturelles. On distingue ainsi trois types de réflexion : réflexion spéculaire, réflexion diffuse et réflexion de volume.

- **Absorption :**

Tous les corps naturels absorbent une partie du rayonnement qui leur parvient. La partie du rayonnement absorbé modifie l'énergie interne du corps. Il y a production de chaleur et réémission de l'énergie à une plus grande longueur d'onde. En télédétection spatiale, la notion d'absorption est fondamentale car le signal parvenant au capteur satellitaire est modifié au cours de la traversée atmosphérique où le rayonnement est fortement absorbé par les constituants gazeux et les particules en suspension. Il est intéressant de noter que contrairement à ce qui se passe dans l'atmosphère, transparente aux rayonnements visible et proche infrarouge, les surfaces naturelles elles, absorbent une partie de ces rayonnements.

- **Transmission :**

Lorsqu'une partie du rayonnement incident passe à travers un milieu, on dit que le rayonnement est transmis. Le phénomène de transmission concerne les milieux plus ou moins transparents comme l'eau, les nuages ou l'atmosphère, mais pas uniquement. Le feuillage des arbres par exemple se comporte comme un milieu transparent vis-à-vis du rayonnement proche infrarouge.

Cette notion de transmission est très importante en télédétection, puisque les capteurs dédiés à l'observation des surfaces terrestres et océaniques utilisent les bandes spectrales pour lesquelles l'absorption du rayonnement solaire par l'atmosphère est négligeable. Ces bandes spectrales correspondent aux fenêtres atmosphériques.

VI. Signatures spectrales des principales surfaces naturelles

En fonction de la nature et des caractéristiques intrinsèques des objets et des surfaces, le rayonnement incident interagira avec la cible selon l'une ou l'autre de ces propriétés ou de manière générale selon une combinaison de ces propriétés.

Chaque surface possède ainsi une signature spectrale - quantité d'énergie émise ou réfléchi en fonction de la longueur d'onde - qui lui est propre et qui permettra son identification sur les images satellitaires. (Gower et al., 1988).

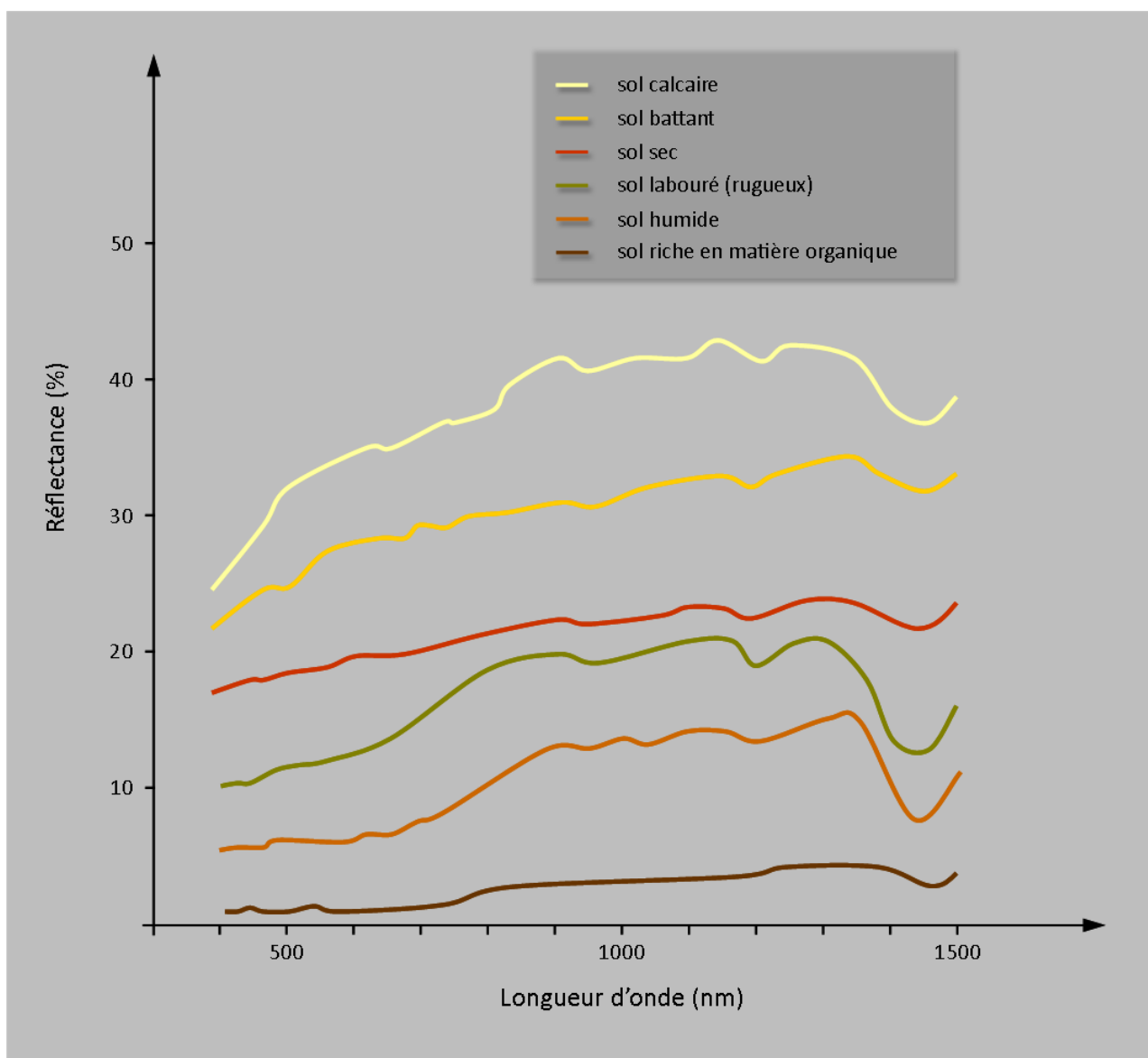


Fig.13 : la signature spectrale des différents types de sol.(e-cours.univ-paris1.fr).

1) Définition d'image :

Une image est la projection plane d'une scène tridimensionnelle sur un support physique capable de restituer les valeurs de luminances en chacun de ses points (pun, 1982). Une image numérique correspond à un tableau ou une matrice bidimensionnelle $T(i,j)$ où i et j sont les coordonnées spatiales des pixels. La taille de l'image est définie par le nombre de lignes et de colonnes du tableau. On définit pour pixel (i, j) , la luminance $L(i,j)$ dont les bornes généralement fixées entre 0 et 255.

2) Un pixel :

Une image au format numérique est un ensemble de points de couleur, nommés pixels. Chaque pixel est localisable par ses coordonnées dans l'image (la ligne et colonne). C'est représentation graphique de la valeur de luminance d'un objet.

3) Image monospectrale :

C'est une image prise dans un intervalle radiométrique, elle représente la réflectance des objets de la surface de la terre dans cet intervalle, elle est représenté en générale dans la gamme du gris. (ibouh ,2012), (**fig. 14**)



Fig.14 : exemple d'image monospectrale.

4) image multispectrale :

C'est une image qui est formée de plusieurs image Monospectrale La visualisation se fait par la superposition de trois image avec une coloration chacun des trois images respectivement en bleu, vert et rouge. L'image qui en résulte est en couleur elle est dite « composé coloré ». (ibouh. 2012). (**Fig. 15**).

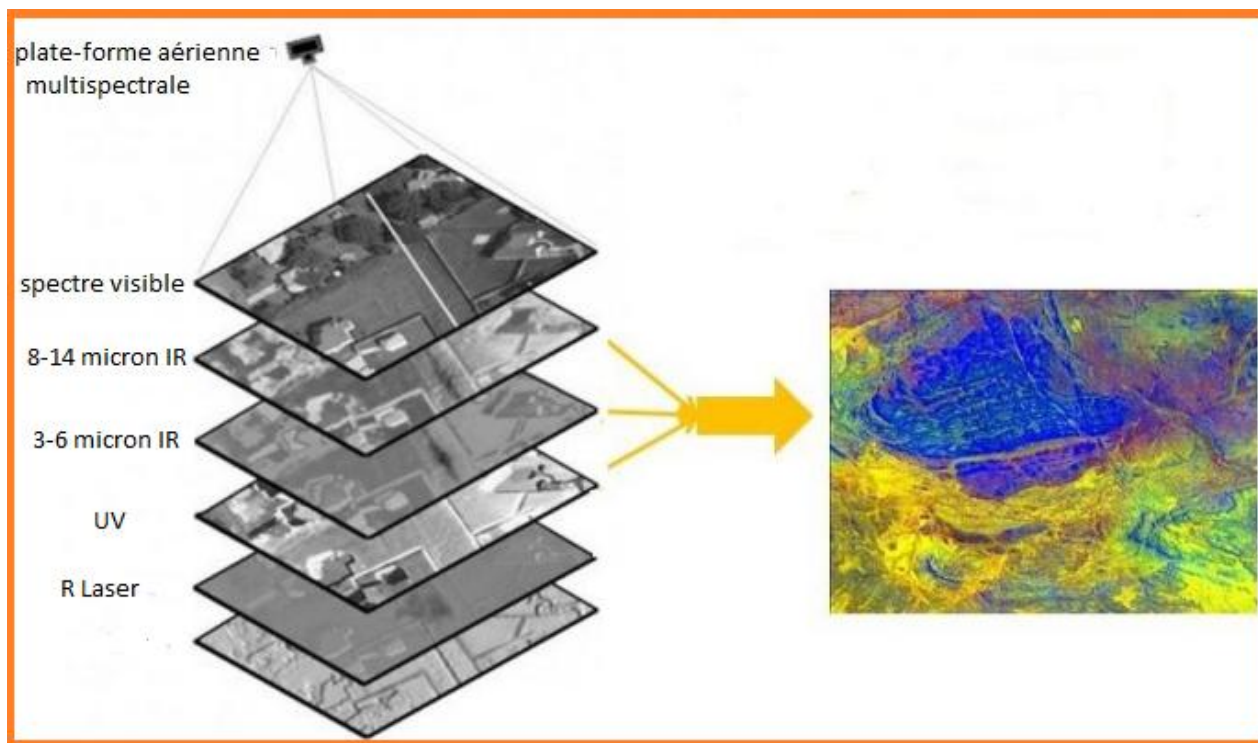


Fig.15 : exemple de résultats d'ensemble d'image monospectrale.(ibouh.2012)

VII. Le Satellite

Dans ce travail nous avons utilisé des images satellitaires UTM landsat. Avant de présenter les traitements appliqués et les résultats de notre étude, on présentera tout d'abord un bref aperçu sur le programme LandSat.

1) Programme Landsat :

Ce programme américain de télédétection spatiale NASA (agence spatiale américaine) et USGS (Institut des études géologiques américain) a été le premier programme civil d'observation de la Terre par satellite. Il a commencé avec le lancement du premier LANDSAT en 1972 et se poursuit encore. Ce programme a donc permis d'engranger des millions de données formant une bibliothèque exceptionnelle des conditions sur Terre depuis presque 40 ans. Depuis janvier 2009, l'entièreté des images d'archive Landsat est accessible gratuitement via Internet.

2) les Capteur de Landsat :

❖ Capteurs RBV : Sur les deux premiers satellites, la série de 3 caméras vidéo prenait des images dans le visible et dans l'infrarouge. La résolution était de 80 m pour des images de 185 km sur 185 km. Sur LANDSAT 3, la résolution a été portée à 40 m, mais les caméras ne prenaient plus des images que dans une seule bande spectrale panchromatique (0,5 - 0,75 μm).

❖ Capteurs MSS : Ces scanners mécaniques enregistraient des informations dans quatre bandes spectrales et sur une zone de 185 km sur 185 km.

Comme ces instruments ont été développés après les trois caméras RBV, ces bandes ont été numérotées de 4 à 7. Le capteur MSS de LANDSAT 3 comportait une bande spectrale supplémentaire dans l'infrarouge thermique.

❖ Capteurs TM : Ces scanners à haute résolution possèdent 7 bandes spectrales et couvrent toujours une zone de 185 km sur 185 km.

❖ Capteur ETM+ : Ce scanner est une évolution des TM précédents. Il comporte maintenant une large bande panchromatique à haute résolution.

❖ Capteur infrarouge thermique (TIRS) : Le capteur infrarouge thermique (TIRS) permettra de mesurer la température de surface de la terre dans deux bandes thermiques avec une nouvelle technologie qui s'applique la physique quantique pour détecter la chaleur.

❖ Capteur OLI : permettra de mesurer dans les parties visibles, proche infrarouge et ondes courtes infrarouges du spectre. Ses images auront de 15 mètres panchromatique et de 30 mètres de résolution multi-spectrales spatiales le long d'un 185 km.

Caractéristiques	Landsat-1 à 3	Landsat-4 et 5	Landsat-6	Landsat-7	LDCM
Début et fin de mission	Landsat-1 : 1972-1978 Landsat-2 : 1975-1981 Landsat-3 : 1982-1993	Landsat-4 : 1982-1993 Landsat-5 : 1984-2013	1993 (échec)	1999-	2013-
Statut satellite	Achevée	Achevée (L-4) Fonctionne en mode dégradé (L-5)	Echec au lancement	Actif	En développement
Masse	816-960 kg	1938-1961 kg	-	2200 kg	2600 kg
Instruments	MSS : radiomètre RVB : caméra vidéo	MSS et TM : radiomètre	MSS et TM : radiomètre	ETM+ : radiomètre	OLI et TIRS : radiomètre
Bandes spectrales	0,5-0,6 µm 0,6-0,7 µm 0,7-0,8 µm 0,8-1,1 µm	0,45-0,52 µm 0,52-0,6 µm 0,63-0,69 µm 0,76-0,9 µm 1,55-1,75 µm 2,08-2,35 µm	-	0,45-0,52 µm 0,53-0,61 µm 0,63-0,69 µm 0,78-0,9 µm 1,55-1,75 µm 2,09-2,35 µm	0,433-0,453 µm 0,45-0,515 µm 0,525-0,6 µm 0,63-0,68 µm 0,845-0,885 µm 1,56-1,66 µm 1,36-1,39 µm 2,1-2,3 µm
Infrarouge thermique	-	10,4-12,5 µm	-	10,4-12,5 µm	10,3-11,3 µm 11,5-12,5 µm
Panchromatique	-	-	-	0,52-0,9 µm	0,5-0,68 µm
Résolution	Générale : 79 m	Générale : 30 m Infrarouge thermique : 120 m	-	Générale : 30 m Panchromatique : 15 m Infrarouge thermique : 100 m	Générale : 30 m Panchromatique : 15 m Infrarouge thermique : 60 m
Technique de prise d'image	Whiskbroom	Whiskbroom	-	Whiskbroom	Pushbroom
Orbite	Altitude : 907-915 km cycle : 18 jours heure : 9h45	Altitude : 705 km cycle : 16 jours heure : 9h30-10h	-	Altitude : 705 km cycle : 16 jours heure : 10h-10h15	Altitude : 705 km cycle : 16 jours heure : 10h

Fig.16 : les caractéristiques principales des capteurs landsat.

Matériel et méthode.

I. Introduction :

Dans ce chapitre on va essayer de faire la description des différents matériels utilisés pour extraire l'information géologique (les linéaments, les indices des minéralisations) a l'aide de l'image satellitaire et de deux cartes géologique, topographique. Durant la réalisation de ce travail on va respecter la succession des étapes, présentée dans l'Organigramme de la fig. 17 :

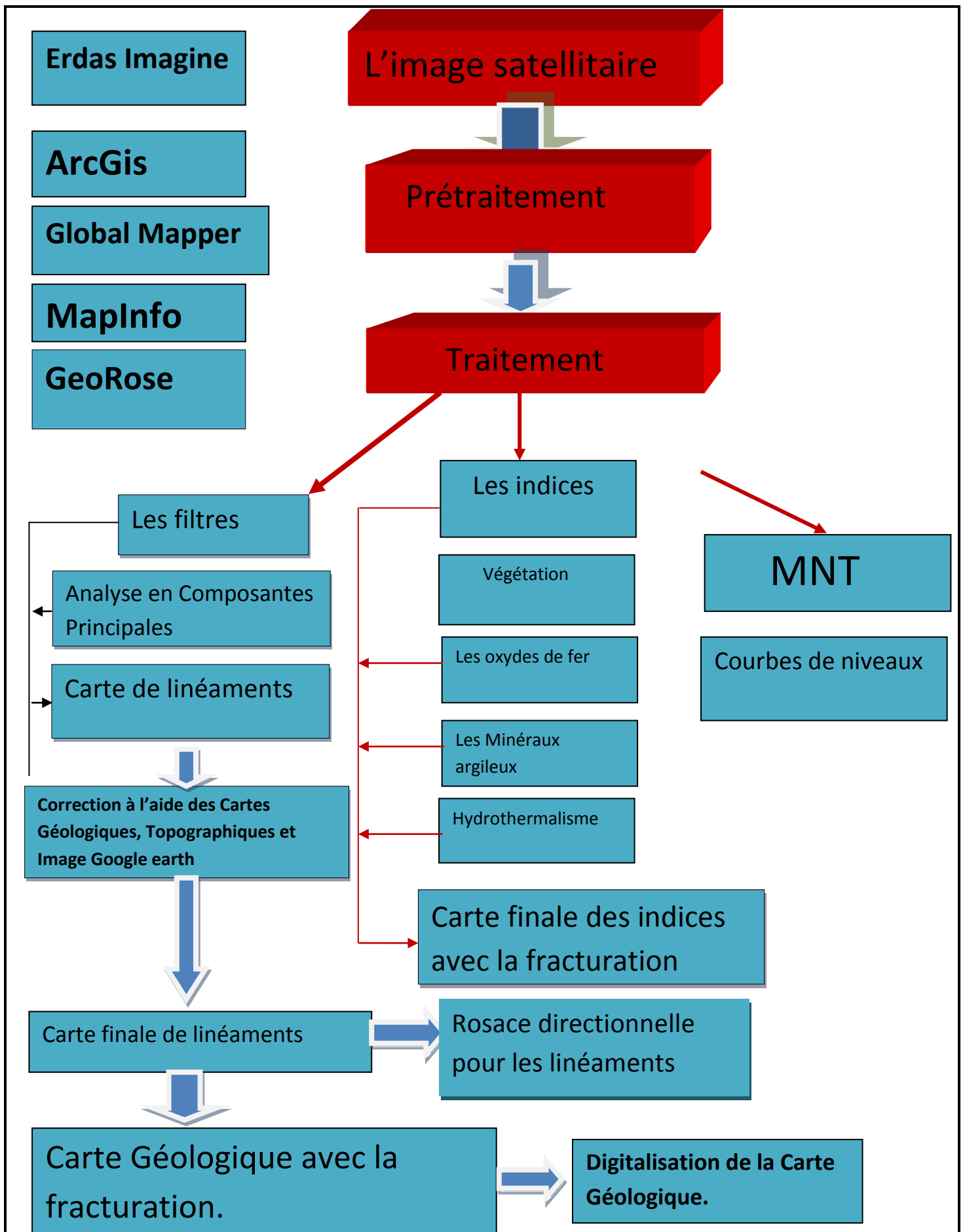


Fig.17 : Organigramme des différentes étapes de travail

II. Matériel

Dans le cadre de ce travail, nous avons utilisé plusieurs types de données :

1) Données satellitaires

Les données satellitaires sont constituées d'images satellitaires Landsat TM (Thematic Mapper); projection UTM; Sphéroid WGS 84; UTM Zone 29 NORTH. Cette image a un périmètre de 247692.27 mètres et il couvre une superficie de 383293.5810 hectares. (**Fig. 18**).

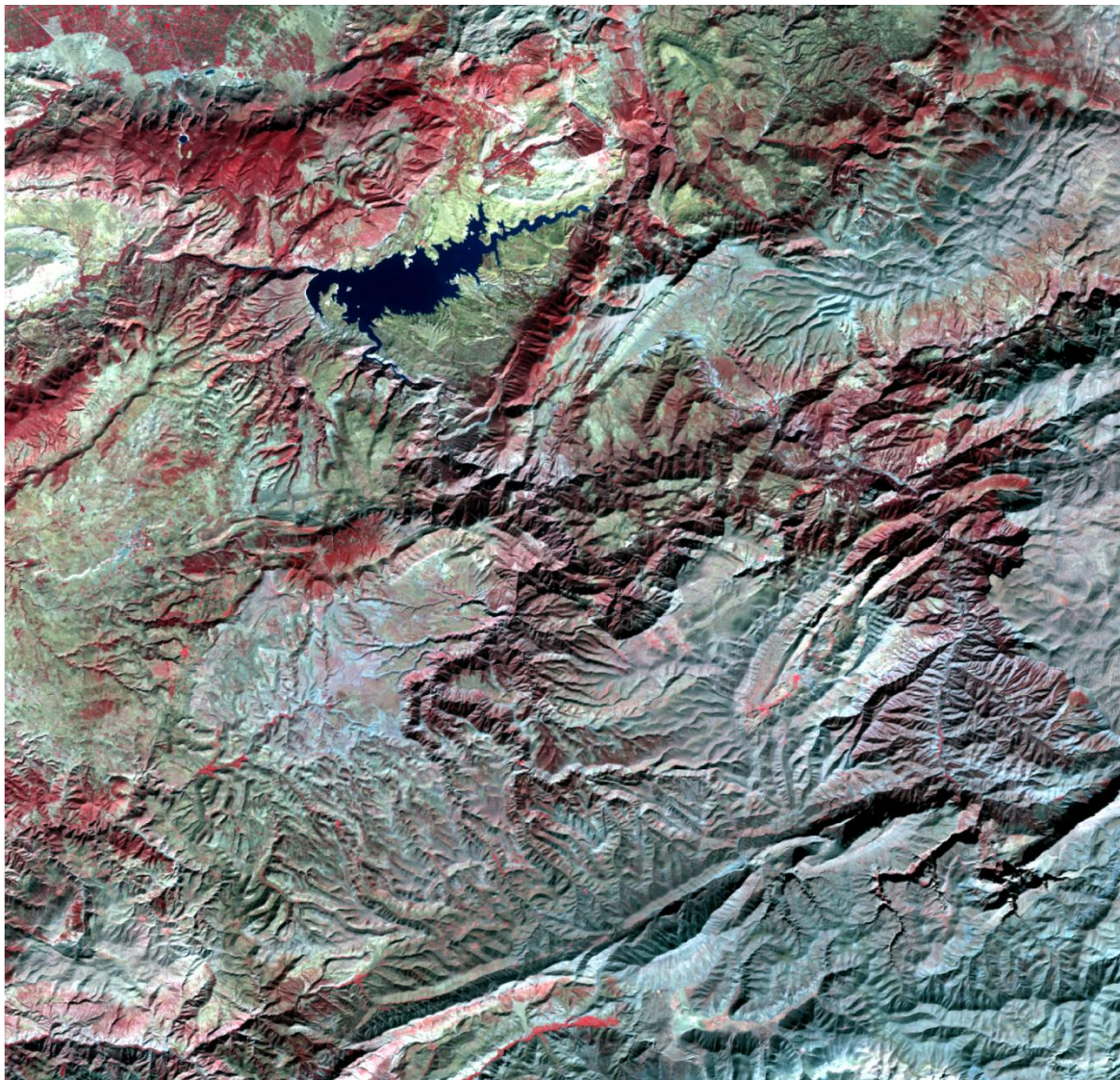


Fig.18 : Image satellitaire de la zone d'étude (Haut atlas central)

3) Données topographiques.

Deux cartes topographiques 1/250 000 ont été nécessaires pour réaliser cette étude. La première c'est la carte topographique de Demnat et la deuxième c'est la carte topographique de Beni mellal. (Fig.20)

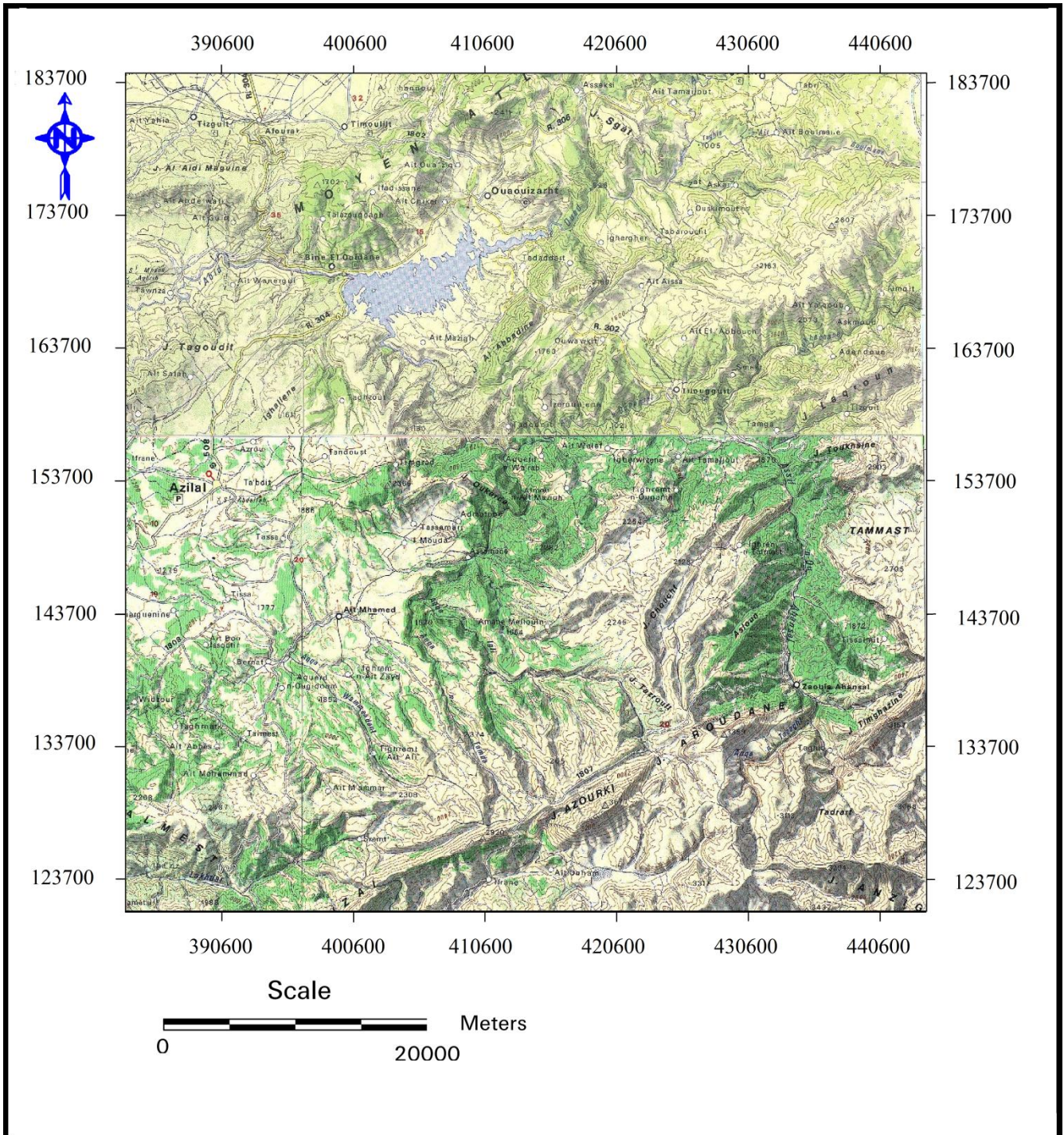


Fig. 20: la carte topographique de la zone d'étude (extrait des deux feuilles topo 1/250000)

III. METHODOLOGIE DE TRAITEMENT DES IMAGES SATELLITAIRES

1) Prétraitement de l'image satellitaire :

Les opérations de prétraitement ont consisté en des corrections radiométriques et géométriques. La correction géométrique réalisée selon la méthode polynomiale permet de corriger les différentes distorsions causées par l'environnement (courbure de la terre, variation d'altitude du sol, etc.), provenant du mouvement de la plate-forme, et dues aux erreurs des systèmes de mesures. La correction radiométrique permet de corriger les erreurs de l'image causées généralement par les perturbations atmosphériques.

2) Amélioration du contraste ou rehaussement

Les images ainsi corrigées ont été traitées dans le but d'augmenter la perception visuelle de l'image, en améliorant sa qualité et en la rendant plus expressive. Ces différentes tâches sont accomplies dans l'optique d'une meilleure visualisation ou observation des discontinuités. Parmi les nombreuses techniques d'amélioration d'images, les techniques suivantes ont été appliquées : la transformée de Hotelling (ACP), les combinaisons d'images, les compositions colorées et le filtrage spatial.

3) Extraction du réseau de linéaments

L'extraction manuelle des linéaments est utilisée dans le cadre de cette étude. En effet, les linéaments sont les structures linéaires observées sur les images satellitaires exceptés les linéarités anthropologiques (piste, routes, fils de haute tension). L'extraction manuelle consiste à numériser toute structure linéaire observée sur l'image en ignorant les linéarités anthropiques (pistes, routes, fils de haute tension) par superposition des couches vectorielles aux images. La carte du réseau de fractures est obtenue après la validation de réseau des linéaments.

4) Validation du réseau de linéaments

La validation de la carte des linéaments consiste à accomplir les tâches suivantes :

- Comparaison des rosaces directionnelles ;
- Utilisation des données de terrain.
- Utilisation des images de Google Earth.
- Comparaison des résultats obtenus avec celle de la littérature géologique de la région.

Résultats et
interprétations

I. Introduction :

Le traitement des images satellitaires se fait grâce au logiciel «Erdas Imagine», qui permet d'extraire l'information Géologique avec des différents filtres. Ces filtres fonctionnent suivant des équations logarithmiques (chaque filtre calcule ces équations et met la valeur du résultat dans le centre de filtre (le pixel au centre) (fig. 17)) pour mettre en évidence les linéaments enregistrés lors de la prise de l'image satellitaire avec des différents capteurs. Dans notre étude on a travaillé avec des filtres de types :

- * 3x3 Horizontal Edge Detection.
- * 3x3 Vertical Edge Detection.
- * 3x3 Left Diagonal Edge Detection.
- * 3x3 Right Diagonal Edge Detection.
- * 5x5 Edge Detection.
- * 5x5 Horizontal.
- * 5x5 Vertical.
- * 7x7 Horizontal.
- * 7x7 Vertical.

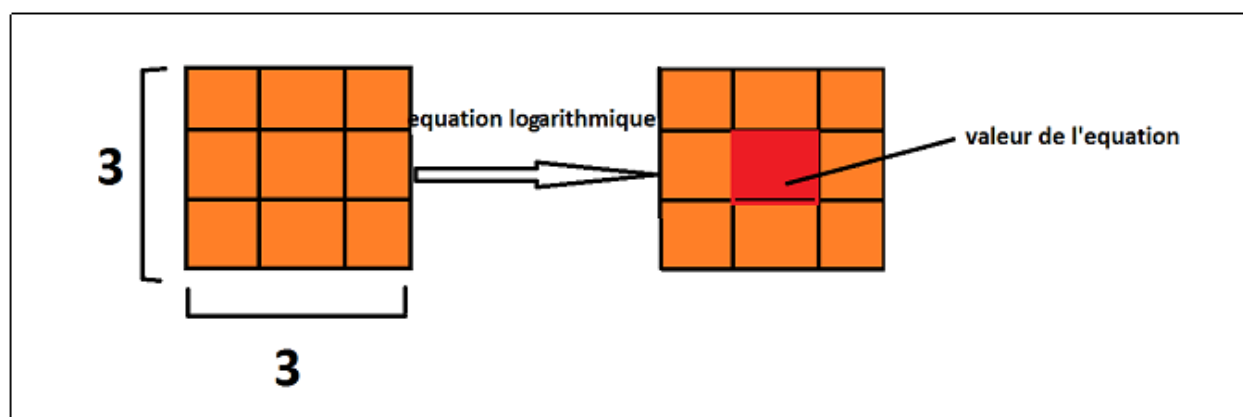


Fig. 21 : Méthode de travail des filtres pour Erdas Imagine, exemple filtre 3x3.

II. Résultats

Le traitement de l'image satellitaire landsat TM de notre zone d'étude par les filtrages directionnels nous permette de mettre en évidence un réseau des linéaments enregistré au niveau des formations géologiques superficiel qui affleure dans le secteur d'étude.

1) Les cartes des Filtres 3x3, 5x5, 7x7 :

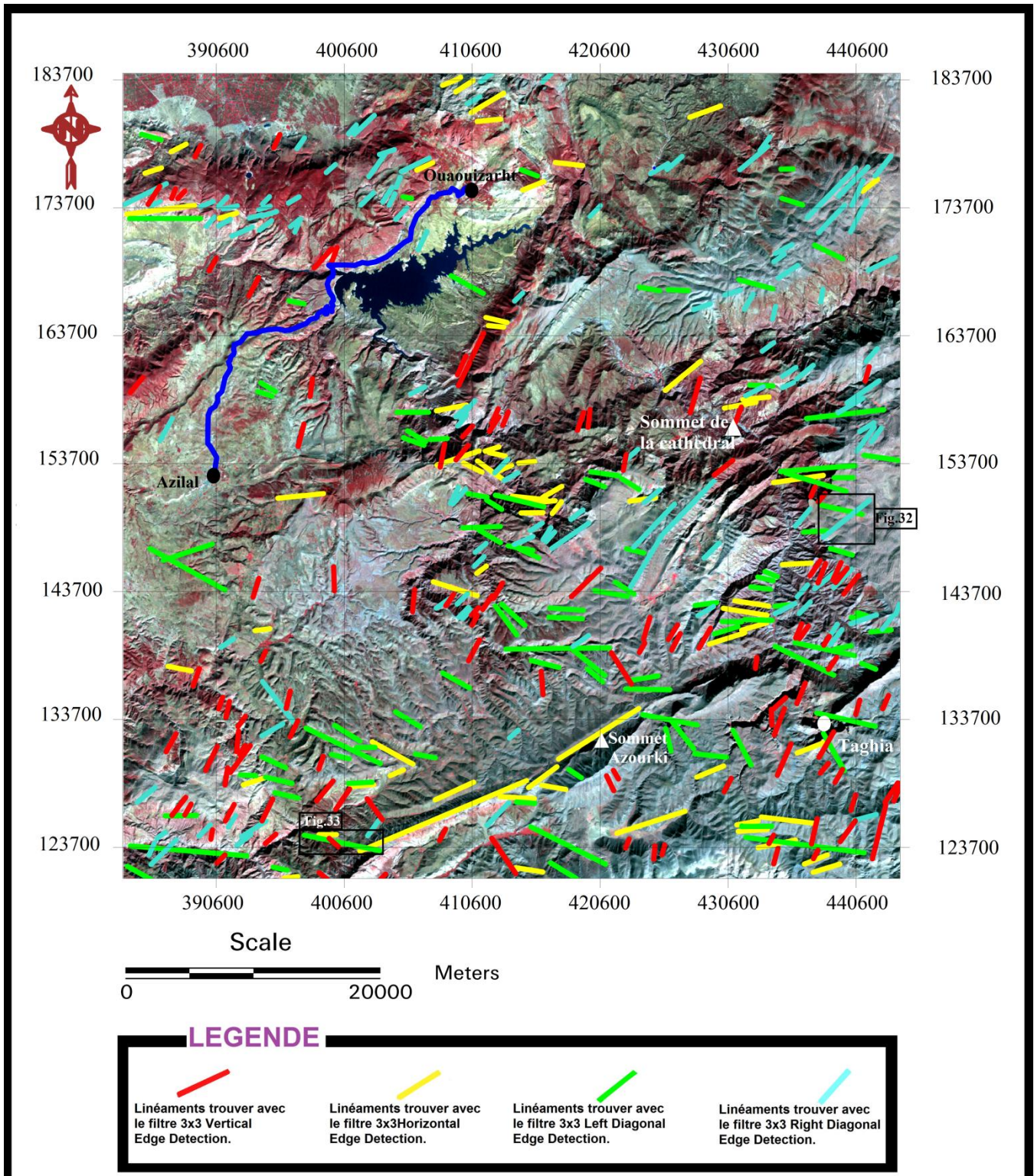


Fig.22: Carte des linéaments du filtre 3x3 Projetés sur l'image satellite de la zone d'étude.

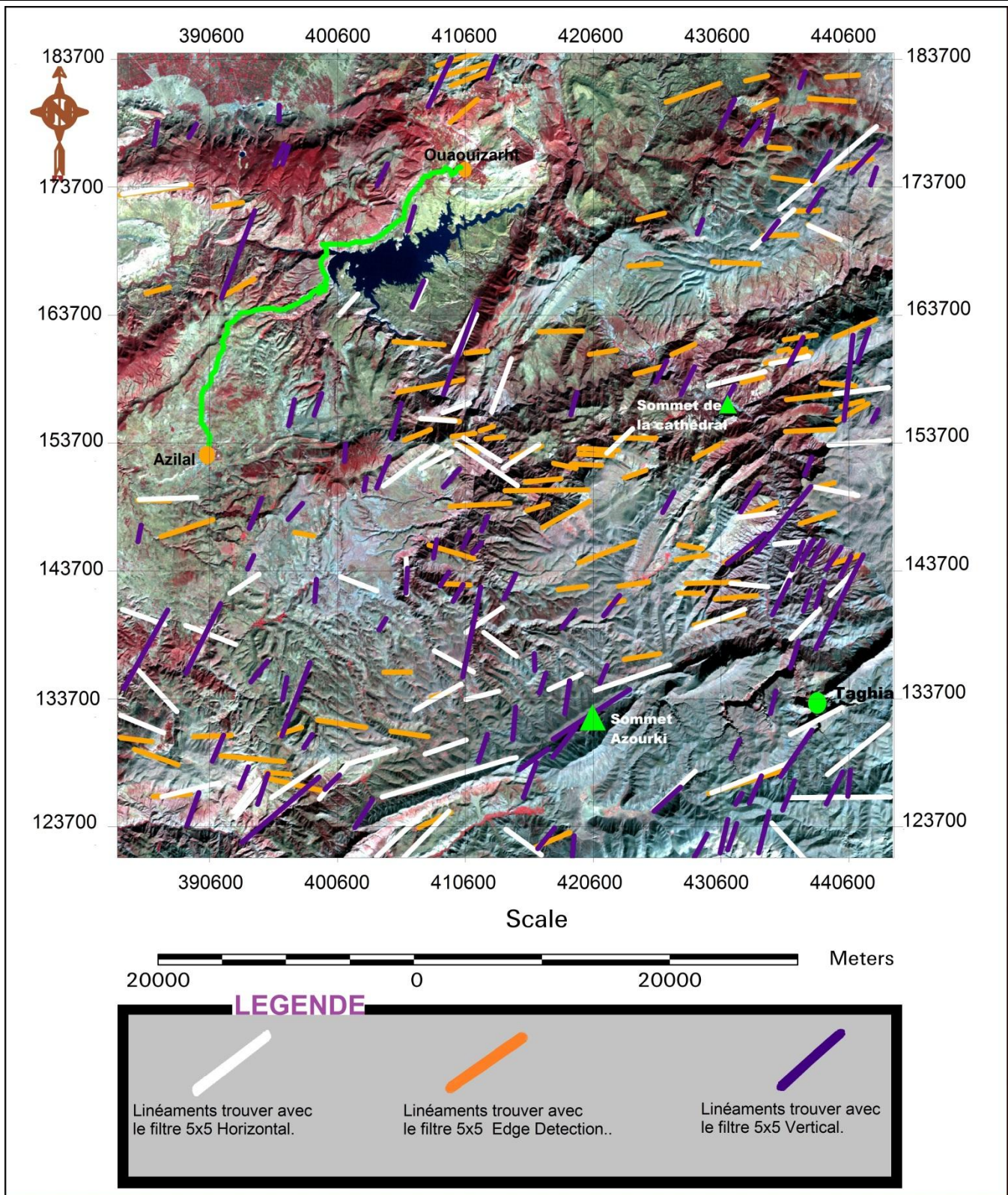
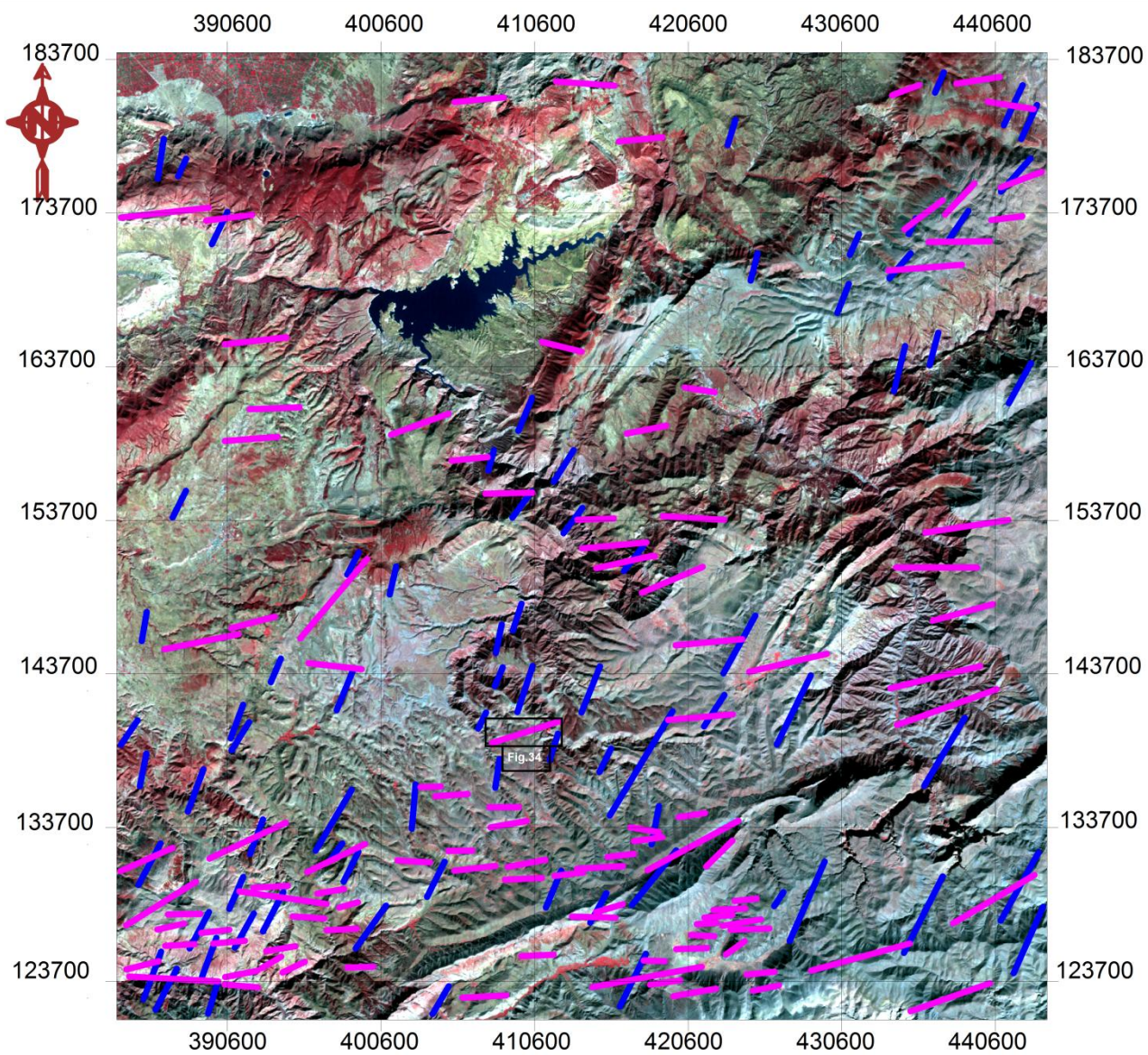
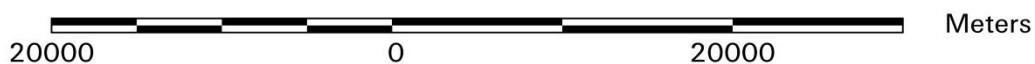


Fig.23 : Carte des linéaments du filtre 5x5 Projetés sur l'image satellite du secteur d'étude.



Scale



LEGENDE

**Linéaments trouver avec
le filtre 7x7 Vertical.**

**Linéaments trouver avec
le filtre 7x7 horizontal.**

Fig. 24 : Carte des linéaments du filtre 7x7 Projetés sur l'image satellite de la zone d'étude

III. Correction avec Carte topographique :

Après transformation, rehaussement et filtrage des images, les linéaments ont été extraits. Ensuite, en superposant la carte des linéaments et les cartes topographiques, les routes, les pistes et les fils de haute tension ont été isolés. La plupart des linéaments ont été extraits à partir des images filtrées. (Fig.25)

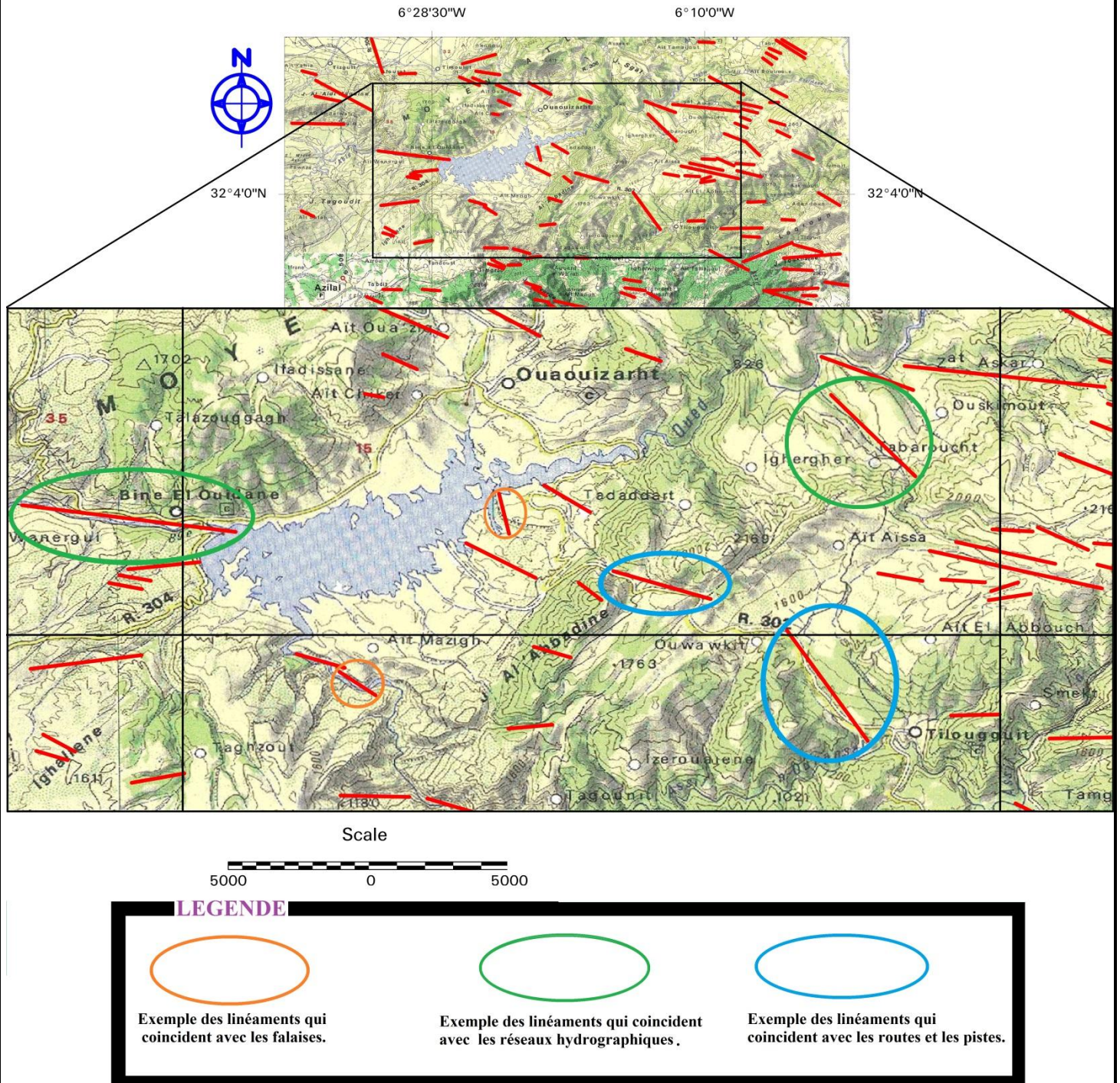


Fig. 25 : exemple des linéaments à corriger à l'aide de carte topographique.

IV. Analyse statistique des réseaux de linéaments

1) Filtre directionnelle 3x3 (Right, Left, Horizontal, Vertical)

L'application des filtres directionnelles (matrice 3x3) sur l'image TM de notre secteur d'étude montre les résultats suivants (tableau 1 ; 2 ; 3 ; 4.fig 26)

Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)	Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)
1	1424.63	74.3578	34	996.83	59.0362
2	5361.57	84.7793	35	3607.95	105.9454
3	1458.48	77.0054	36	1016.73	82.3039
4	1695.24	68.8952	37	1228.28	84.9204
5	2160.80	82.7857	38	1919.18	100.6698
6	734.92	70.2011	39	1439.95	73.3008
7	1643.29	70.3462	40	1993.02	73.0725
8	1689.34	62.1524	41	2277.00	77.4712
9	3053.94	65.0782	42	3088.34	81.8699
10	1897.24	86.7295	43	2284.93	88.6361
11	1737.78	102.7244	44	1715.77	80.8377
12	1252.45	94.9697	45	4365.50	96.8144
13	3591.29	86.0995	46	2316.12	72.6460
14	1620.60	115.6768	47	2388.62	70.3014
15	2629.23	122.9977	48	5545.43	76.2392
16	1410.36	70.4976	49	7431.91	63.1431
17	1306.31	100.8403	50	2969.51	76.0922
18	1201.50	74.0546	51	2028.83	76.7151
19	1248.85	87.5104	52	3521.95	98.0047
20	2757.79	95.6544	53	2697.48	98.1301
21	1709.87	88.1817	54	2360.83	90.0000
22	1791.32	91.7357	55	3907.45	84.0119
23	2464.45	83.0317	56	1817.93	65.4099
24	3703.13	56.6788	57	1198.26	43.9949
25	1678.50	90.0000	58	2100.33	84.8056
26	2209.96	96.3402	59	2695.85	92.8913
27	1831.89	71.5651	60	3389.40	70.3777
28	2268.61	99.0085	61	14189.08	71.3173
29	2661.04	59.0362	62	2389.93	75.3236
30	1854.75	99.3236	63	1263.13	70.7693
31	1388.14	92.2457	64	1754.86	73.5596
32	3664.22	115.9744	65	1537.51	58.6713
33	1142.34	90.0000	66	2155.85	76.8201

Tableau 1 : résultats des mesures des linéaments trouver avec filtre 3x3 Horizontal Edge Detection. (azimuth(°), longueur (m)).

Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)	Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)	Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)	Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)
1	1081.93	31.8660	30	1485.59	31.293	59	2966.69	144.46	88	1297.88	39.6678
2	1740.52	38.1572	31	1108.34	24.227	60	959.04	34.508	89	883.61	39.4007
3	924.83	20.9245	32	1860.40	43.423	61	1781.27	19.212	90	1133.61	41.5318
4	828.08	46.1691	33	1082.02	34.777	62	1420.49	39.427	91	1357.99	52.7336
5	1268.81	27.0721	34	1529.24	32.399	63	1574.57	31.429	92	2297.00	24.0265
6	1159.21	36.3844	35	796.09	14.931	64	1918.04	34.508	93	1808.31	27.2768
7	2054.46	47.8156	36	1967.74	30.465	65	3338.83	51.024	94	1372.29	177.838
8	1597.68	26.1616	37	958.48	50.013	66	1610.29	29.744	95	2702.53	28.2288
9	1662.44	45.0000	38	2054.18	32.152	67	2164.58	31.866	96	2309.28	35.8927
10	1516.93	9.7824	39	2013.23	39.093	68	1999.41	30.718	97	1254.55	21.3706
11	2441.11	26.3010	40	1006.18	125.537	69	1153.73	45.000	98	1119.29	29.4275
12	1855.63	18.4349	41	2059.72	140.281	70	1594.97	45.000	99	1033.52	45.9392
13	1904.72	14.0362	42	989.56	126.32	71	1240.70	30.173	100	1282.83	33.9965
14	1527.73	21.4477	43	1298.66	39.667	72	1330.96	39.805	101	769.96	33.1785
15	1966.92	179.2462	44	1162.22	30.963	73	1245.54	27.597	102	1254.69	21.3706
16	1822.29	7.3264	45	1535.15	22.328	74	1414.59	10.491	103	2000.45	16.3482
17	1196.34	39.2072	46	3382.90	142.963	75	1185.07	12.528	104	747.48	34.2157
18	970.82	32.4712	47	829.06	28.886	76	918.49	19.440	105	1254.64	21.3706
19	1461.86	23.4590	48	1064.69	5.572	77	2972.54	19.521	106	1976.26	41.5167
20	1763.48	32.3474	49	851.79	22.751	78	1142.20	20.854	107	4296.01	18.0042
21	995.88	23.9625	50	1367.65	151.557	79	852.18	28.072	108	1887.40	37.6140
22	1360.44	16.3895	51	836.60	145.840	80	882.48	45.000	109	1711.16	26.1881
23	1024.95	43.0908	52	1274.38	30.579	81	1454.07	39.559	110	2072.29	45.0000
24	1045.33	42.1844	53	1840.36	33.476	82	1678.41	25.796	111	1879.74	58.0693
25	859.38	36.8699	54	892.19	33.690	83	1456.19	28.767	112	1381.68	27.0309
26	2668.97	40.9407	55	814.87	45.000	84	1454.73	46.332	113	1157.59	52.4314
27	1443.78	11.3099	56	1319.00	38.991	85	1927.14	43.479	114	890.80	50.3893
28	1616.66	8.2594	57	1461.04	36.098	86	864.14	10.304			
29	1558.06	18.1381	58	1814.86	175.914	87	1213.35	27.095			

Tableau 2 : résultats de mesure des linéaments trouver avec filtre 3x3 Vertical Edge Detection. (azimuth(°), longueur (m)).

Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)	Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)	Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)
1	1587.52	106.1645	34	3203.03	150.2551	67	1647.82	108.9246
2	5599.50	91.3374	35	4790.74	102.5002	68	2186.33	97.4809
3	775.77	104.8265	36	3353.75	148.8912	69	1592.96	119.1343
4	1280.05	101.8887	37	4411.43	100.6372	70	1625.69	100.0975
5	1412.51	117.8015	38	2881.28	138.0484	71	1639.59	93.8141
6	1226.99	106.7984	39	1914.25	166.8908	72	2726.67	104.0362
7	1910.05	80.7539	40	2584.22	96.8235	73	1749.31	106.1443
8	2486.71	90.0000	41	4769.58	102.5576	74	980.16	91.2730
9	1374.52	90.0000	42	4845.43	102.0766	75	1454.02	108.7117
10	1698.23	117.9371	43	1305.72	82.2782	76	2954.11	116.3688
11	1797.75	109.5583	44	1660.94	89.2462	77	1708.53	108.1992
12	6734.59	116.1343	45	1219.09	112.7824	78	3970.64	102.4943
13	4076.41	75.8885	46	2232.90	82.6656	79	1623.03	99.3350
14	1429.73	103.3925	47	3434.51	91.8241	80	1441.29	119.4072
15	2493.29	117.7342	48	1600.12	127.8750	81	2947.88	90.8488
16	2323.10	118.0725	49	1026.59	107.6501	82	1984.66	118.0339
17	1663.79	101.4588	50	1103.32	96.8428	83	1949.45	101.0564
18	2337.03	118.5658	51	1572.12	98.0171	84	1731.88	112.9058
19	1487.10	90.0000	52	1261.53	102.0948	85	2403.76	99.4623
20	6494.90	113.2768	53	1075.77	110.6955	86	2636.01	98.1301
21	1445.30	102.3391	54	2232.35	92.8064	87	2426.64	118.0092
22	2096.52	112.7144	55	1752.45	86.4237	88	6570.11	114.3625
23	2516.30	90.4982	56	1531.42	92.4540	89	1424.21	92.6425
24	1291.55	91.9415	57	1401.31	102.7244	90	1219.71	121.8908
25	2132.63	103.1726	58	1807.83	104.8863	91	5519.95	128.6218
26	1880.39	102.8937	59	1834.31	89.3179	92	8107.62	90.1544
27	1970.25	88.0908	60	3440.12	101.8131	93	3381.22	126.3175
28	1841.66	120.7189	61	5833.97	87.6408	94	2933.24	141.0441
29	9175.78	95.0705	62	5018.37	105.8759	95	2555.48	130.1434
30	1186.33	104.0362	63	1484.16	90.0000	96	2673.24	93.7517
31	2202.32	116.3010	64	2702.35	98.3929	97	2626.33	92.8624
32	9330.40	97.7105	65	6086.45	85.8851	98	957.29	90.0000
33	2407.35	90.5209	66	1878.50	92.6630	99	1180.87	87.8789

Tableau 3 : résultats de mesure des linéaments trouver avec filtre 3x3 Left Diagonal Edge Detection. (azimuth(°), longueur (m)).

Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)	Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)	Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)	Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)
1	1816.28	78.82	31	1154.78	14.03	61	995.77	52.59	91	2058.36	33.31
2	1241.31	46.5	32	1389.25	75.30	62	2225.73	41.94	92	1529.51	52.43
3	2566.06	58.15	33	1263.11	76.93	63	1836.10	63.74	93	1198.21	51.34
4	1982.57	50.28	34	1370.98	34.82	64	907.84	24.44	94	1133.35	50.04
5	1267.65	49.51	35	1858.82	61.55	65	1312.36	51.49	95	1494.62	61.87
6	929.38	35.36	36	986.77	61.07	66	1416.76	38.04	96	1031.59	52.35
7	1488.16	43.69	37	1504.51	67.24	67	985.10	31.70	97	2503.61	49.57
8	2122.82	73.64	38	2223.91	68.83	68	955.95	23.19	98	1657.89	40.87
9	1442.89	22.54	39	1937.57	47.96	69	965.20	58.57	99	3707.91	68.07
10	1400.88	44.30	40	2998.20	49.44	70	1115.27	26.56	100	911.73	68.45
11	1473.84	64.61	41	2830.48	33.69	71	1299.23	49.39	101	1112.62	72.64
12	1679.25	52.33	42	2117.46	30.16	72	1597.34	29.74	102	1183.75	49.02
13	1847.03	46.04	43	5526.33	49.82	73	964.48	50.90	103	1119.71	83.29
14	6352.12	62.33	44	3358.58	50.6	74	1207.01	65.82	104	1049.42	43.15
15	4793.55	37.16	45	2854.60	56.18	75	1229.34	52.69	105	817.71	48.50
16	5566.54	49.79	46	1432.40	44.32	76	1790.00	43.91	106	1018.56	76.26
17	4723.87	48.84	47	951.47	48.01	77	1463.51	51.48	107	1005.58	78.69
18	1596.50	56.76	48	1609.09	54.94	78	1254.53	68.00	108	1764.23	72.47
19	2388.78	42.96	49	1585.04	66.69	79	1603.78	34.41	109	1228.65	55.71
20	1333.33	63.86	50	1270.65	42.70	80	1563.16	45.61	110	1991.40	34.47
21	1421.20	40.17	51	908.52	63.43	81	1266.21	58.32	111	1252.55	59.21
22	2249.21	64.46	52	1201.88	48.17	82	1190.34	61.47	112	4231.71	138.69
23	3086.35	61.92	53	1393.24	55.78	83	1685.26	69.88	113	1969.36	64.90
24	1573.71	69.25	54	1600.75	60.15	84	1165.72	39.95	114	1800.64	57.52
25	923.69	73.30	55	1236.20	65.29	85	1053.83	47.72	115	820.12	59.85
26	1727.50	55.88	56	2421.79	69.56	86	3552.88	61.30	116	1078.56	28.92
27	1439.64	42.97	57	966.51	48.94	87	1146.90	55.66	117	2816.20	51.41
28	1213.01	63.43	58	2156.77	52.88	88	1218.51	48.91	118	1300.37	50.85
29	1152.81	60.39	59	1035.40	42.18	89	1756.74	60.43	119	2344.85	62.93
30	1114.84	17.19	60	1268.80	75.96	90	1384.76	57.89			

Tableau 4 : résultats de mesure des linéaments trouver avec filtre 3x3 Right Diagonal Edge Detection.. (azimuth(°), longueur (m)).

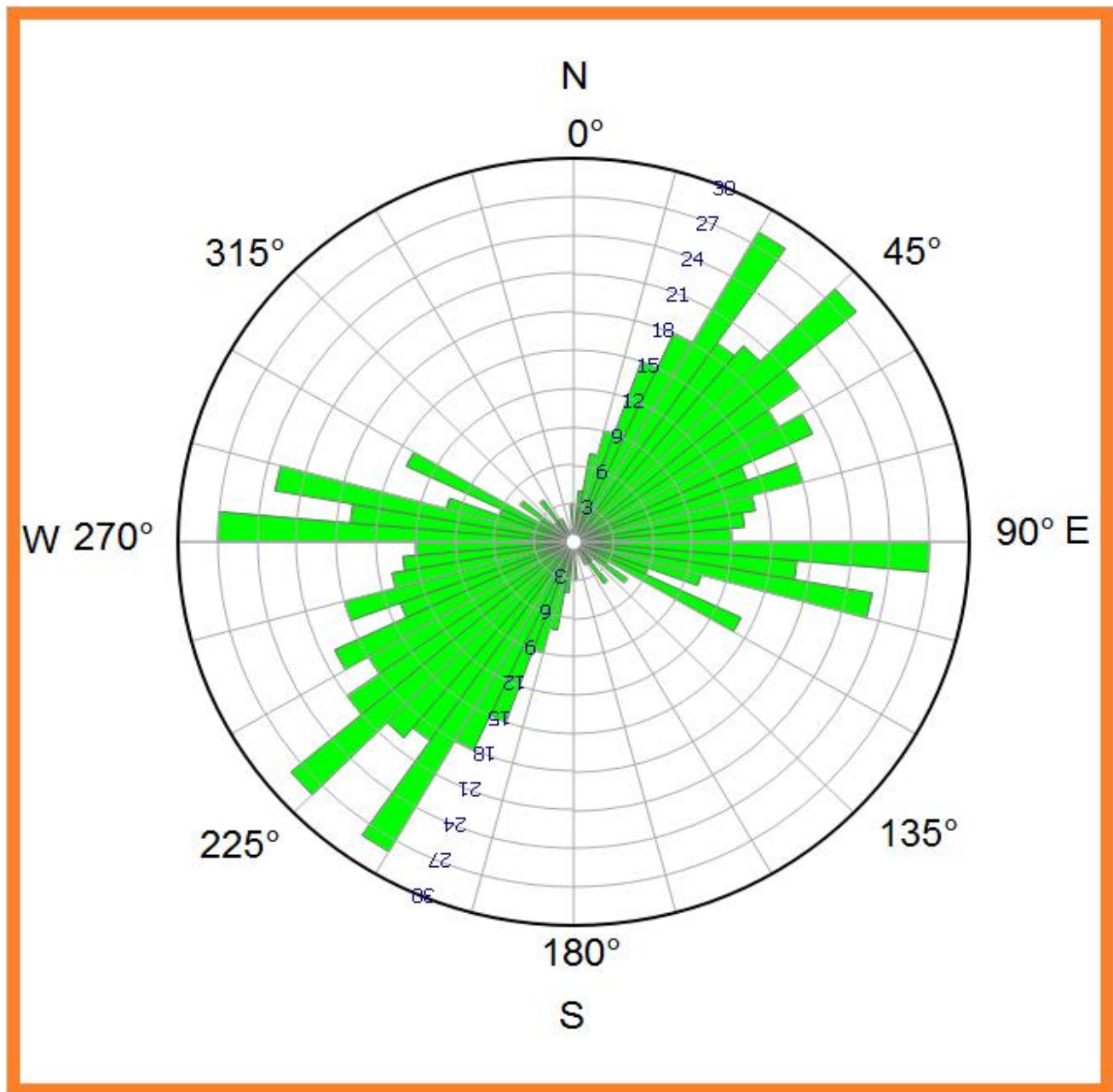


Fig. 26 : rosace pour les linéaments trouver avec filtre 3x3

Le traitement de filtres directionnels (matrice 3x3) appliqué sur l'image satellitaire Landsat TM , correspondant à notre secteur d'études et l'interprétation des résultat obtenu par la rosace directionnelle montre deux familles majeur de direction N90 à N105 et N30 à N45 .et aussi deux familles moins importantes que la première, elles sont de direction N60 à N 75et N120.

2) Filtre directionnelle 5x5 (Edge detection, Horizontal, Vertical)

L'application des filtres directionnelles (matrice 5x5) sur l'image TM de notre secteur d'étude le Haut Atlas (region d'Azilal) montre les résultats suivants (tableau 5 ;6 ;7,fig 27)

Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)	Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)
1	5081.84	83.2544	32	5130.54	49.8596
2	2203.20	48.2397	33	3566.97	123.1785
3	2318.38	30.3112	34	6527.47	73.0221
4	4201.88	32.1826	35	3759.43	135.3201
5	3728.80	29.7449	36	2876.65	68.4047
6	4502.97	89.3097	37	6214.53	74.8561
7	2192.43	74.7449	38	4089.56	72.2996
8	2830.85	94.3987	39	2952.61	95.8156
9	4452.17	25.6699	40	2837.69	65.4623
10	5214.72	59.5186	41	2841.22	31.2827
11	3294.32	118.7676	42	3256.10	50.4576
12	5753.39	120.6236	43	4633.42	67.3004
13	3564.26	107.5924	44	7830.99	90.5968
14	2667.36	60.7086	45	6155.65	56.6064
15	4211.00	109.6284	46	2812.61	84.4547
16	3123.81	108.5954	47	2482.57	84.9759
17	2908.54	0.6296	48	3258.66	49.7334
18	3543.85	60.7672	49	2899.97	68.6071
19	3195.46	121.8425	50	3476.37	100.8685
20	4655.41	133.2021	51	4830.36	88.0694
21	3651.07	110.5050	52	3409.09	62.3740
22	3410.67	115.9308	53	2729.41	53.6156
23	2617.60	79.1597	54	4613.65	79.0889
24	4075.54	66.0775	55	3062.40	80.7890
25	4600.44	79.0243	56	4225.00	84.8389
26	3237.82	44.2559	57	4842.52	51.3402
27	3752.04	45.3201	58	4546.33	52.7652
28	5237.01	60.7945	59	9954.80	55.1164
29	3482.44	45.0000	60	2906.76	111.9032
30	3966.25	77.2133	61	5285.44	51.9314
31	10889.20	77.1893			

Tableau 5 : résultats de mesure des linéaments trouver avec filtre 5x5 Horizontal (azimuth, longueur(m))

Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)	Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)	Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)
1	3292.18	82.3550	32	3096.64	93.2245	63	1822.17	102.5288
2	5911.91	75.9638	33	3198.46	90.3898	64	3690.98	105.6158
3	2929.43	86.5834	34	2512.16	77.9052	65	4768.94	88.6921
4	2862.78	82.9835	35	2239.05	83.2902	66	6595.53	90.5673
5	3975.24	80.4858	36	2022.18	69.3701	67	1773.75	75.6186
6	3249.55	87.6940	37	2673.12	89.0684	68	4175.66	65.5050
7	1983.80	91.8882	38	3682.98	93.7241	69	2184.10	93.4336
8	4118.08	91.2124	39	2802.56	90.4441	70	1537.52	76.7595
9	1125.44	82.1847	40	2172.03	90.0000	71	3000.13	97.5394
10	2366.39	84.7099	41	2049.91	75.0686	72	3774.11	99.3530
11	2229.03	86.0741	42	2204.86	79.1359	73	2811.12	71.5651
12	2242.25	76.3730	43	3404.71	97.3524	74	3051.51	69.4440
13	2842.29	77.0386	44	2788.79	78.6901	75	1859.38	76.2930
14	2432.15	64.1481	45	1676.56	93.7153	76	4953.58	95.0572
15	2681.35	66.8643	46	2079.13	71.3721	77	2008.53	92.4896
16	1966.53	98.3103	47	1741.54	81.3629	78	4492.04	101.8598
17	2486.95	82.9374	48	3553.09	94.5600	79	3139.18	89.2043
18	4639.71	73.3792	49	2625.57	89.5265	80	2690.70	97.4716
19	2552.11	66.1398	50	3605.15	76.6398	81	3815.67	107.5924
20	1671.50	79.4265	51	4567.47	77.8285	82	3140.14	90.0000
21	3938.78	89.0504	52	3543.45	73.3690	83	1692.54	100.4375
22	1803.49	79.5085	53	2949.23	55.1915	84	4412.20	75.5476
23	7928.23	85.5892	54	3968.79	93.7723	85	2658.88	92.8156
24	2730.76	94.5739	55	1332.50	85.3141	86	2662.24	69.4440
25	1787.61	78.6901	56	1765.81	86.4677	87	3076.74	64.9325
26	2849.60	83.8534	57	3391.36	90.0000	88	2353.45	85.7636
27	935.36	88.6678	58	2654.98	92.3469	89	5801.18	85.2720
28	836.97	76.3287	59	5270.42	81.9035	90	1879.64	85.3466
29	2543.97	83.6056	60	3033.92	69.8374	91	1179.39	75.9638
30	3533.78	71.3377	61	3101.90	94.4296	92	1463.34	85.7321
31	2378.83	93.6745	62	2273.75	71.2114	93	1963.73	108.4349

Tableau 6 : résultats de mesure des linéaments trouver avec filtre 5x5 Edge detection (azimuth, longueur(m))

Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)	Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)	Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)
1	1853.54	13.4652	43	2311.56	22.9541	85	2787.18	35.7701
2	1300.21	36.6561	44	2673.74	6.5819	86	2033.43	39.7188
3	1204.30	176.3478	45	3141.20	43.1524	87	3485.71	49.3570
4	1911.05	30.2032	46	7222.07	62.1494	88	1381.92	22.3801
5	7294.05	25.6904	47	1667.54	23.8753	89	1222.58	26.5651
6	1996.08	31.9307	48	1385.92	174.7099	90	1925.33	45.4982
7	2026.08	21.8014	49	2628.13	12.2883	91	1866.06	26.9061
8	2328.07	27.9290	50	1551.09	28.6105	92	2237.20	35.2476
9	2156.62	15.6682	51	1845.11	42.3736	93	2470.21	32.4276
10	1809.81	24.4440	52	2053.51	44.0608	94	2801.85	24.7395
11	2908.27	19.2198	53	2163.69	31.5222	95	6790.59	9.0733
12	1514.83	13.5704	54	7242.67	15.0089	96	982.09	31.7014
13	1746.65	48.8141	55	1610.74	37.0425	97	1644.10	26.9522
14	1199.54	27.0956	56	1356.40	36.2538	98	2716.69	38.5007
15	1486.54	3.9452	57	1628.76	15.3333	99	3847.61	57.1622
16	1096.33	13.3925	58	1337.95	29.8760	100	6645.28	45.0000
17	2662.07	27.7585	59	1069.12	46.7899	101	2384.47	27.8973
18	6179.43	32.1743	60	1287.23	27.5528	102	1973.39	35.4555
19	2034.18	44.5265	61	1818.78	35.1807	103	2140.54	41.3670
20	1824.52	12.8750	62	1974.65	45.9710	104	1787.74	22.2490
21	2081.69	6.3402	63	1808.41	32.8285	105	2376.70	21.6891
22	1180.13	36.6341	64	1902.21	20.1126	106	8308.00	32.3284
23	2320.57	27.3874	65	3994.79	38.1183	107	2096.42	25.3462
24	5122.27	124.5484	66	7818.14	25.0942	108	1867.98	15.7320
25	6281.44	25.8540	67	2564.06	23.5654	109	1114.27	36.1193
26	1262.75	40.3645	68	3026.99	30.3236	110	2435.82	29.1676
27	1651.26	47.8913	69	1833.79	26.5651	111	4419.91	40.3645
28	2630.09	22.4098	70	4304.04	30.9638	112	2496.40	27.8381
29	2787.53	23.8059	71	1596.52	22.1355	113	2913.21	32.6192
30	1773.61	28.3550	72	2086.80	30.4998	114	2120.08	9.6888
31	2792.26	36.8699	73	2249.95	31.6075	115	2140.31	33.3263
32	7976.05	55.2524	74	2504.38	31.3496	116	2725.92	17.2590
33	2946.03	25.0462	75	2305.33	41.6335			
34	2122.15	44.0906	76	2197.02	17.3933			
35	1672.20	7.0165	77	1325.21	25.6022			
36	2951.09	54.5667	78	2280.33	22.6199			
37	2748.93	59.6067	79	3265.37	18.0147			

Tableau 7: résultats de mesure des linéaments trouver avec filtre 5x5 verticale (azimuth(°), longueur(m)).

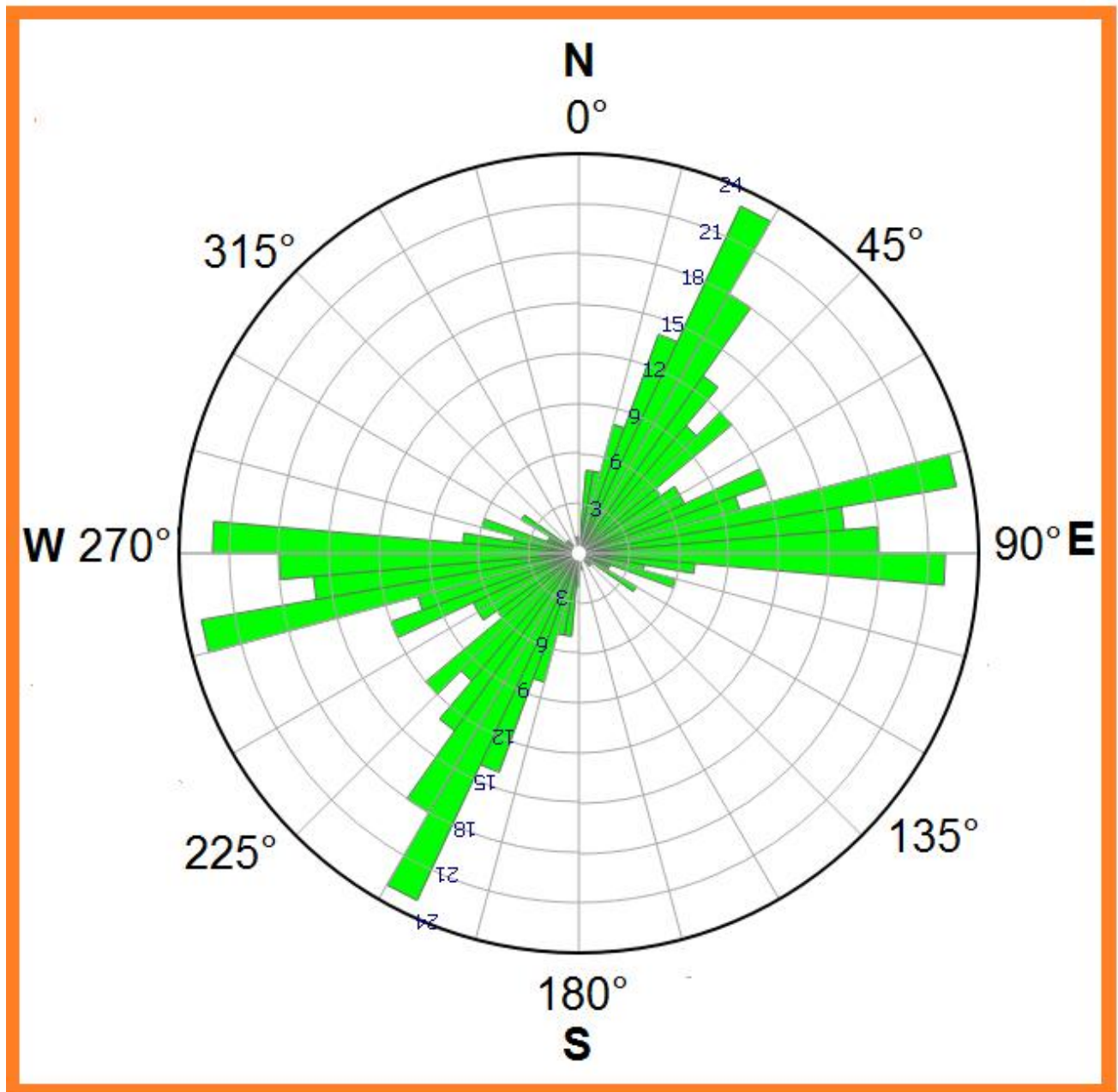


Fig. 27 : rosace pour les linéaments trouver avec filtre 5x5

L'analyse statistique et l'interprétation des directions de linéaments extrait par le filtre 5x5, montre la dominance de deux Familles principale de linéaments:

Une première famille de direction N75 à N90.

Une deuxième famille de direction N30.

3) Filtre directionnelle 7x7 (Horizontal, Vertical)

Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)	Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)	Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)
1	2699.25	11.9442	26	2479.02	37.8750	51	1917.39	19.1481
2	1349.04	28.4429	27	2207.42	21.3179	52	1825.95	20.9245
3	2455.66	31.9448	28	2137.34	36.2188	53	2953.12	31.0455
4	2898.04	31.1303	29	3305.05	25.4077	54	1215.09	29.1676
5	1626.91	28.1237	30	2444.71	28.3792	55	2310.09	28.7571
6	2026.67	32.1523	31	2761.29	27.2553	56	1899.17	20.1126
7	1934.95	14.4000	32	2202.65	33.6901	57	2916.19	25.2532
8	1747.29	28.7398	33	3947.75	31.5141	58	1506.76	27.4076
9	1880.43	14.0362	34	4666.90	44.5878	59	2271.44	45.8425
10	1717.76	32.7843	35	2671.06	14.8265	60	2149.29	27.4510
11	1894.98	16.2602	36	1997.63	11.7386	61	2116.86	30.7355
12	2824.99	27.6884	37	8105.80	36.3553	62	2631.04	24.6236
13	2218.88	13.8775	38	1766.26	30.1414	63	2986.85	31.2062
14	2552.89	24.8142	39	2516.96	39.1737	64	2303.79	20.4099
15	4736.38	36.4590	40	2651.70	46.8012	65	4425.06	34.2157
16	2924.12	6.0090	41	3324.55	27.5199	66	2534.83	37.6353
17	1167.34	33.0239	42	3594.24	22.0979	67	1720.92	26.5651
18	3172.76	32.7087	43	3165.36	22.3062	68	5178.86	32.0341
19	2278.86	4.4972	44	1414.49	29.2488	69	5197.65	36.0667
20	2731.01	34.8245	45	1397.56	21.0375	70	1148.22	39.0355
21	2576.84	34.5923	46	2009.91	13.8610	71	5747.38	29.3175
22	1403.35	46.3639	47	1965.35	39.5362	72	5612.98	31.3939
23	2265.55	29.3578	48	1968.95	43.5312	73	5197.61	34.2869
24	3458.98	41.6335	49	2196.32	42.3575			
25	2598.72	34.2869	50	4824.04	30.3617			

Tableau 8 : résultats de mesure des linéaments trouver avec filtre 7x7 vertical (azimuth (°), longueur(m))

Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)	Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)	Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)
1	6707.55	77.7352	36	7358.75	90.0000	71	3335.58	89.2559
2	5450.08	74.2774	37	1991.45	84.3518	72	3344.80	72.7585
3	6256.26	64.4481	38	1413.67	91.7624	73	3094.90	72.5973
4	1506.96	85.0303	39	2914.41	92.1369	74	6753.32	45.8509
5	2108.99	88.2285	40	1860.67	75.6354	75	4982.67	81.1967
6	1916.39	86.7481	41	1919.92	85.4520	76	3476.43	96.1028
7	1347.25	90.0000	42	2744.51	86.3670	77	5748.43	98.0686
8	2664.93	82.0025	43	2535.38	81.5911	78	1389.67	89.1048
9	2585.95	90.0000	44	2386.75	83.7175	79	2313.75	73.9797
10	1526.56	94.0856	45	1976.05	90.6296	80	1282.15	77.1523
11	2130.00	89.4154	46	3063.71	88.7811	81	5355.90	63.2191
12	1545.48	58.8912	47	2113.82	94.1276	82	2087.17	88.2101
13	1875.63	86.0091	48	1858.93	99.4623	83	1351.10	86.3086
14	1749.19	80.6553	49	4754.46	75.8354	84	2392.49	87.9174
15	2195.24	89.4327	50	2001.47	93.7314	85	2376.85	85.8023
16	6932.72	74.1546	51	1148.11	109.1336	86	1898.87	85.3999
17	3086.80	85.1696	52	2298.93	90.0000	87	1791.05	80.8821
18	8063.02	69.5179	53	1694.07	90.0000	88	2175.48	87.7094
19	2042.42	88.1720	54	1072.15	105.4612	89	5774.43	93.4552
20	2335.24	51.8748	55	2255.69	89.4491	90	3863.70	94.4972
21	6744.60	66.3271	56	2413.46	85.8777	91	3315.06	86.6335
22	4326.09	87.1232	57	4190.49	86.7380	92	5750.26	86.1142
23	4382.52	71.4737	58	3055.42	90.0000	93	1760.84	90.0000
24	4390.58	86.8830	59	2449.25	90.5070	94	2983.99	83.2902
25	5204.62	80.1033	60	4278.06	87.0941	95	1645.26	76.8908
26	6133.87	79.3302	61	1475.27	62.6501	96	5567.25	69.1761
27	4119.33	77.7352	62	2661.06	81.5387	97	1803.97	90.0000
28	5313.48	91.1691	63	2057.12	77.7352	98	3939.40	80.1206
29	5505.68	83.8845	64	2037.21	97.3524	99	4024.35	90.0000
30	4107.78	93.6330	65	4830.01	87.9454	100	4874.38	87.7094
31	2620.33	83.8171	66	1884.01	73.0447	101	2386.86	93.1221
32	3685.44	88.3153	67	2885.92	82.6614	102	2558.41	86.6051
33	2062.03	83.3255	68	3125.45	99.2004	103	2836.93	90.4374
34	2220.23	82.6656	69	3111.36	58.1726	104	2708.20	81.2188
35	1439.80	70.1679	70	2816.24	49.7079	105		

Tableau 9 : résultats de mesure des linéaments trouver avec filtre 7x7 horizontal (azimuth, longueur(m))

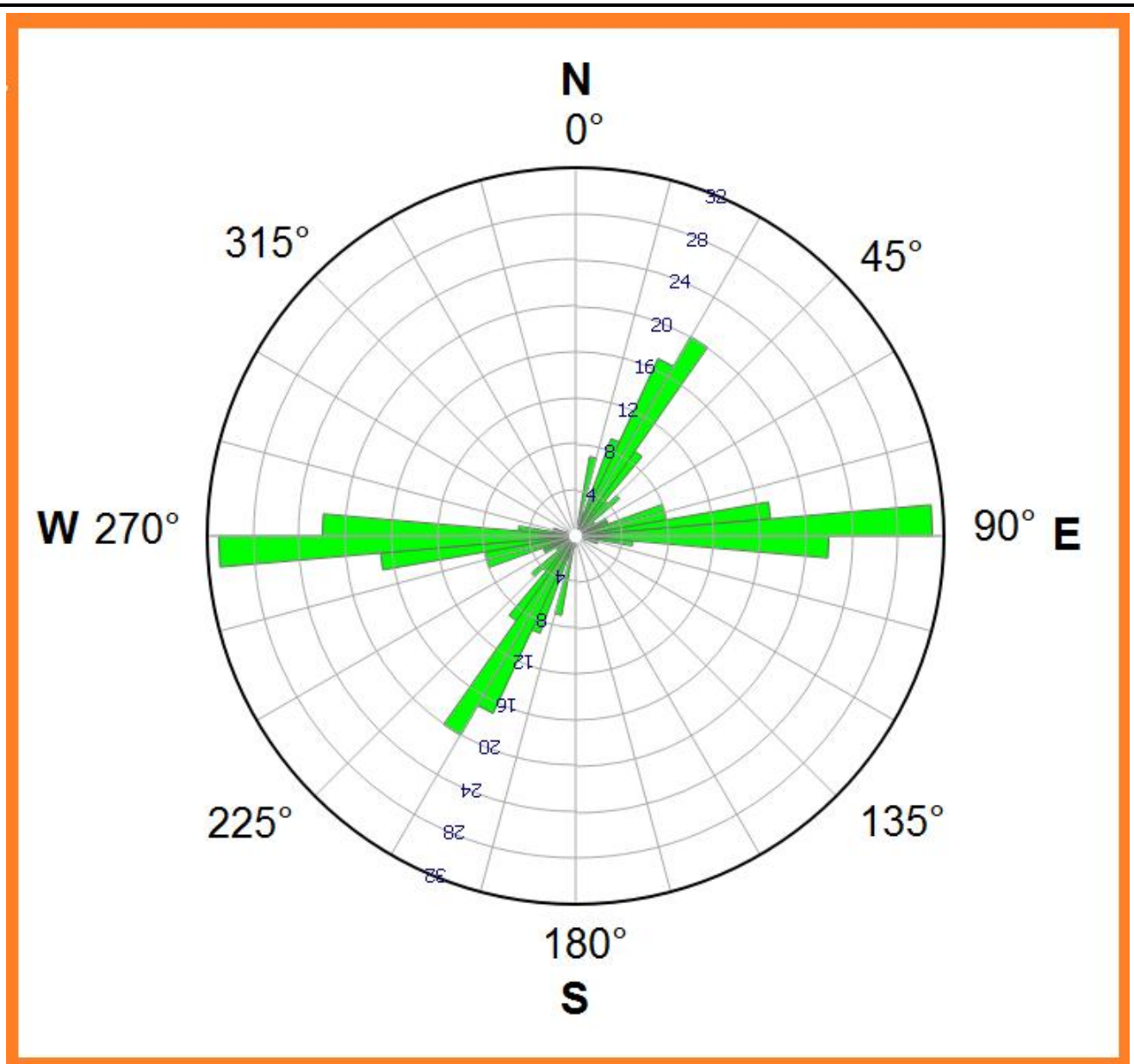


Fig. 28: rosace pour les linéaments trouver avec filtre 7x7

La distribution des linéaments sur la rosace directionnelle est relativement homogène. Cette rosace montre la dominance de deux familles de linéaments: une famille principale de direction EW et une famille secondaire direction N35

Linéaments final	
nombre des linéaments	835
taille minimale (m)	734,92
taille maximale (m)	14189,08
taille moyenne (m)	2555,667

Tableau10 :Distribution des longueurs des linéaments finals extrait par les différents filtres directionnelle.

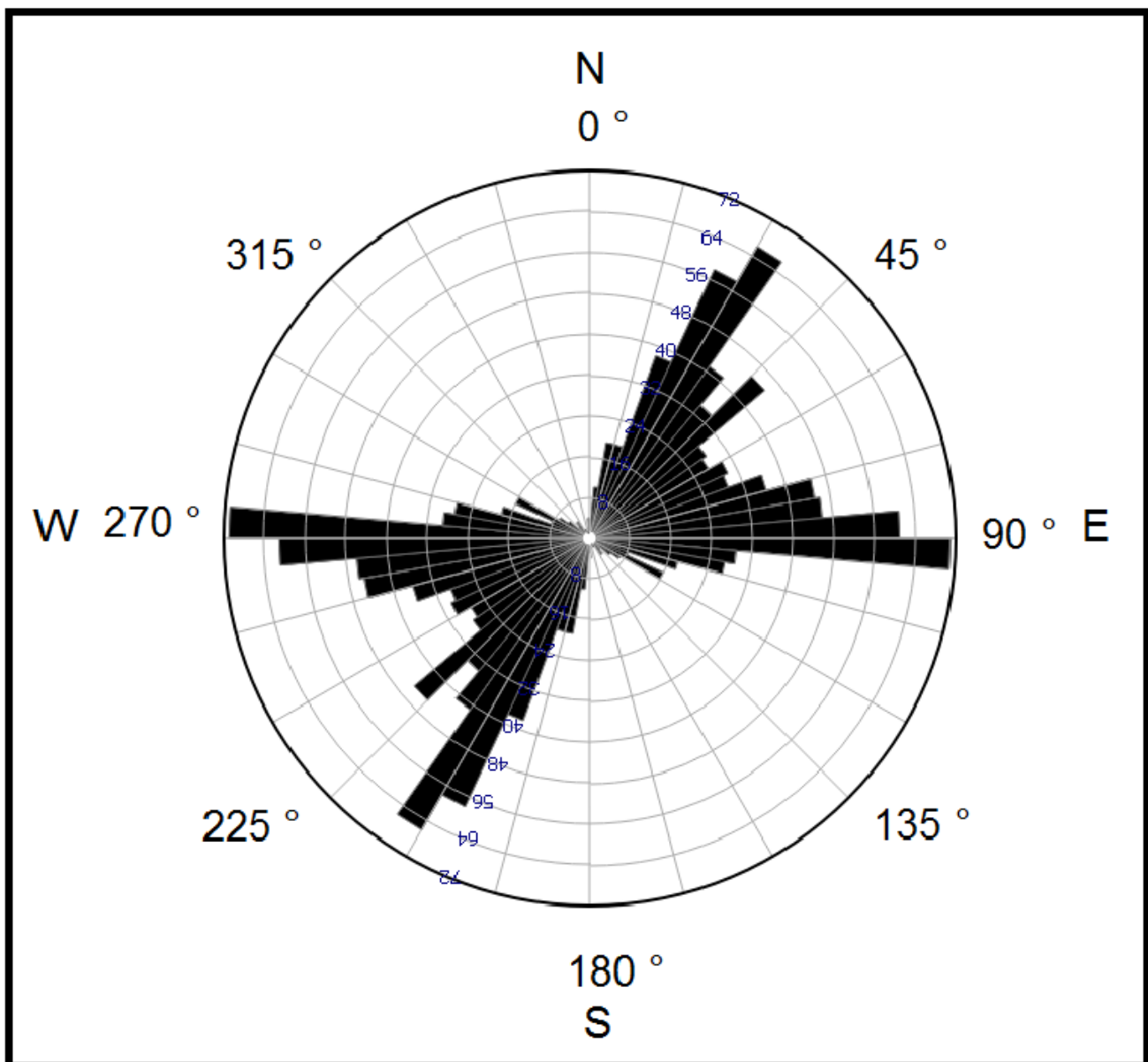


Fig.29 rosace directionnelle des linéaments extraite avec tous les filtres

L'application des filtres directionnelles (matrice 7x7) (matrice 5x5) (matrice 3x3) sur l'image TM de notre secteur d'étude (Haut Atlas Central) montre les résultats suivants (Fig28.): le traitement statistique montre deux familles majeurs de direction N35 à N45 et N90.

V. Validation des cartes des linéaments

1) Validation par la carte géologique

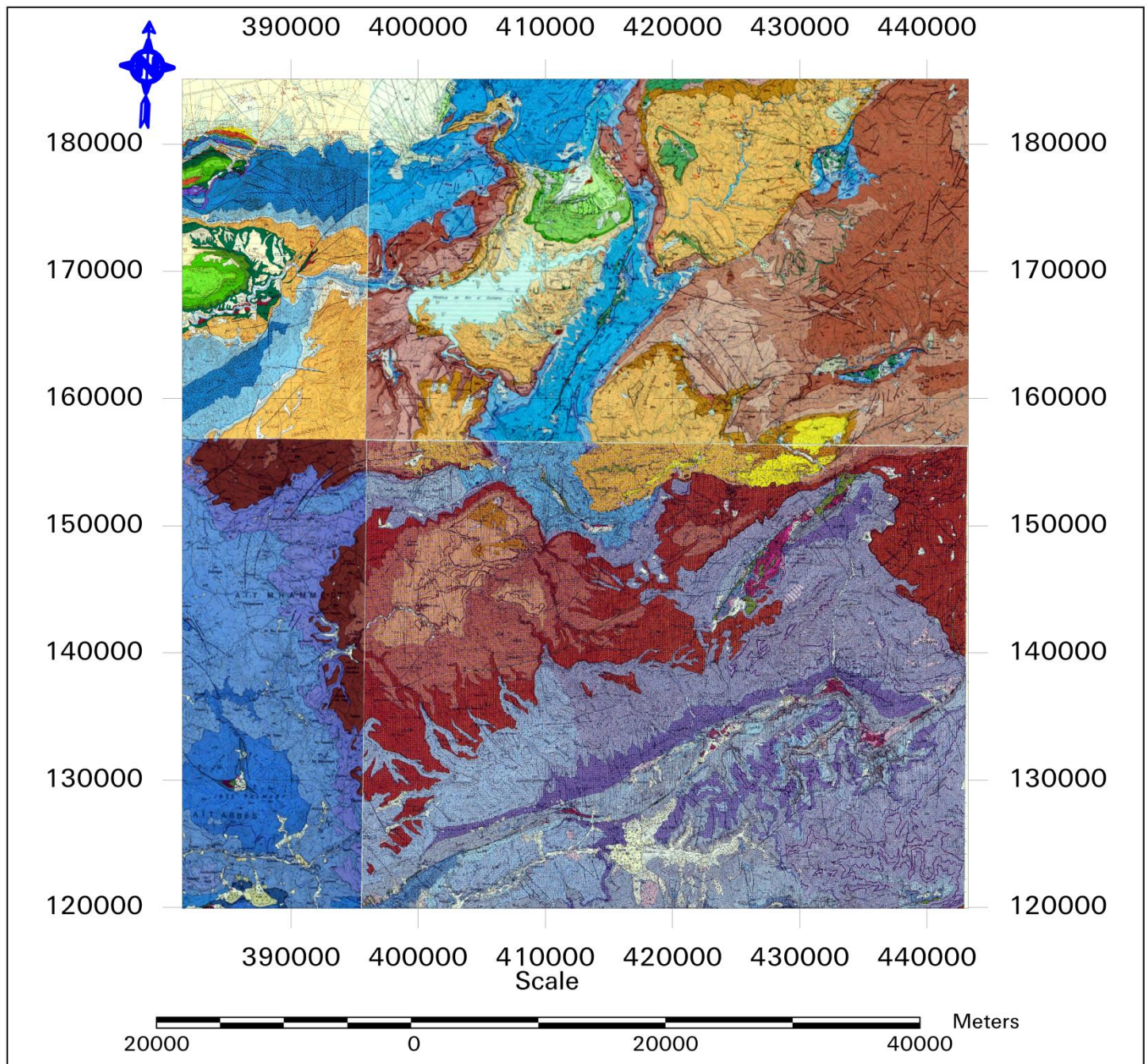


Fig.30 : carte géologique du secteur d'étude

La validation de la carte détaillée des linéaments est une étape très importante. Se fait par le traitement mathématique des données (direction et la longueur) des linéaments extraite de cartes géologiques de la zone d'étude (1/100 000, feuille de Azilal; 1/100 000, feuille de Afourer ; 1/100 000, feuille de Beni Mellal ; 1/100 000, feuille de Zawyat Ahençal) sont donne par le tableau suivant :

Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)	Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)	Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)	Ligne	Longueur en (m)	Azimuth en (°)
1	3568.62	114.421	39	2881.63	137.360	77	1795.42	142.9846	115	1878.59	58.3325
2	3083.99	121.732	40	4023.42	138.670	78	2548.03	158.1486	116	1760.28	43.0620
3	2442.03	108.820	41	4822.15	176.130	79	2310.00	72.6118	117	2677.01	39.0220
4	3930.60	90.0388	42	2669.12	40.9603	80	3206.77	44.3673	118	2318.77	135.072
5	2303.44	177.649	43	4586.87	156.837	81	2418.77	136.5192	119	3236.73	129.422
6	5937.67	45.5045	44	2362.67	110.275	82	3190.28	44.6612	120	1503.77	38.9831
7	3303.39	79.6678	45	1544.23	52.4725	83	3407.28	42.1574	121	2116.84	54.0159
8	3282.77	75.4311	46	2414.75	28.2733	84	3256.22	44.0653	122	2348.32	97.6039
9	2909.37	177.060	47	1373.90	123.437	85	4000.97	119.6275	123	2115.69	56.2890
10	3651.32	52.1011	48	2309.89	147.217	86	2600.77	147.8170	124	1753.35	67.8351
11	1935.87	60.6103	49	2335.15	134.464	87	3918.82	137.5530	125	1386.44	66.9005
12	4431.18	38.4097	50	3294.53	30.0032	88	2656.22	49.2840	126	1999.10	60.3644
13	1367.98	54.0688	51	2695.03	50.6140	89	4052.75	8.8956	127	2717.02	54.0258
14	1377.63	21.1649	52	2657.85	163.833	90	4045.41	134.6063	128	1826.77	58.1584
15	1459.79	30.0169	53	5981.41	48.2264	91	4001.18	144.0777	129	1679.14	120.439
16	2076.99	33.4317	54	3739.65	171.023	92	2216.20	151.4270	130	1641.35	96.9486
17	3858.67	152.532	55	2352.00	114.160	93	1987.16	144.6119	131	2381.82	115.674
18	1851.91	96.6380	56	3121.04	142.464	94	2535.80	81.6580	132	1015.85	73.6449
19	1611.92	133.266	57	2628.38	148.707	95	1309.19	11.8562	133	1910.56	86.1115
20	1497.83	143.291	58	2211.19	157.330	96	3171.23	49.9200	134	2306.14	67.6969
21	1435.32	152.472	59	3233.39	143.938	97	2584.39	132.0203	135	3934.11	114.068
22	12231.0	62.8126	60	2638.55	130.261	98	3000.16	89.1051	136	5862.17	104.984
23	1842.98	132.380	61	3441.00	8.8843	99	3282.69	68.7902	137	2601.91	96.7670
24	1580.41	122.422	62	3200.43	4.9761	100	6381.66	50.4673	138	2941.72	161.141
25	2697.14	135.180	63	3529.00	83.9367	101	1134.09	27.5684	139	6033.49	141.773
26	1944.93	138.354	64	2253.47	133.363	102	2054.08	58.7951	140	7351.37	141.245
27	2066.68	128.538	65	2968.99	5.5024	103	1942.99	41.5177	141	2406.33	34.3897
28	2073.08	132.683	66	1356.07	148.692	104	4900.64	106.1391	142	2146.78	22.5818
29	1851.91	172.283	67	3787.43	131.589	105	4689.32	85.0415	143	2139.59	179.631
30	1520.76	66.0089	68	2306.02	47.8775	106	1354.67	55.1187	144	3777.14	61.3487
31	1686.05	155.065	69	1540.02	37.8875	107	1331.92	24.4031	145	1655.78	79.1279
32	3114.79	156.203	70	1453.10	39.4306	108	1940.48	44.6202	146	5527.63	93.9116
33	2843.09	166.282	71	1985.53	84.2750	109	2361.64	57.4912	147	1558.87	91.2758
34	3653.10	87.6759	72	2687.80	9.0970	110	1238.50	33.8870	148	2660.29	67.3850
35	3611.33	71.8922	73	2098.88	68.2145	111	3373.46	33.1158	149	1383.90	24.2718
36	5224.41	138.257	74	2290.60	40.9611	112	3297.57	11.0410			
37	3424.46	60.5993	75	3334.43	79.1043	113	1757.82	17.3721			
38	2778.53	38.3065	76	1524.49	68.0825	114	2319.70	25.2051			

Tableau11 : représente les mesures (longueur(m),azimuth(°)) des linéaments extrait de la carte géologique.

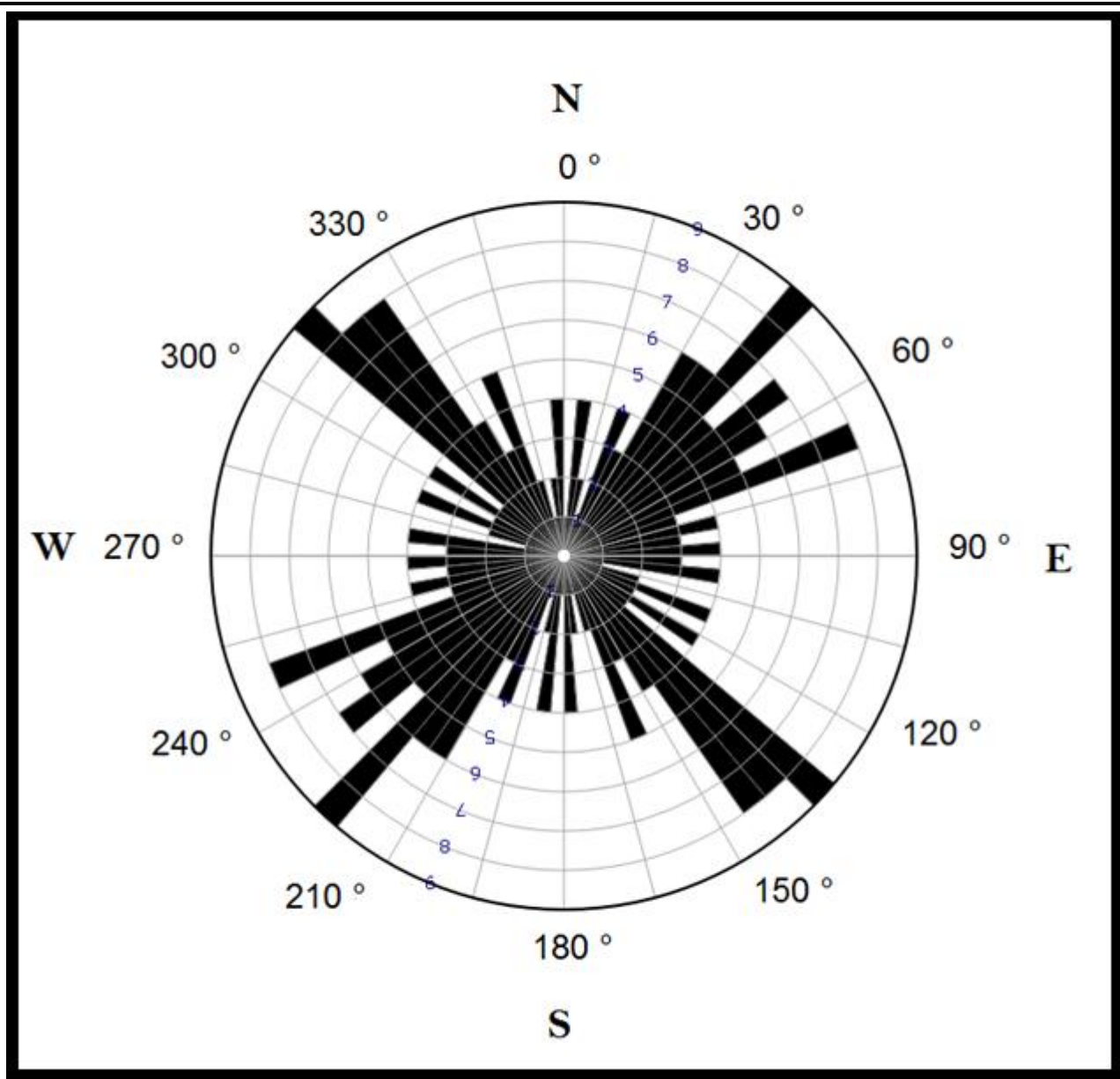


Fig. 31 : rosace pour les linéaments extrait à partir de la carte géologique.

L'analyse statistique et l'interprétation des directions de linéaments extrait de la carte géologique montre la présence d'une famille de linéaments de direction N45 à N75.

Donc les résultats obtenus après l'analyse statistique des données extrait de la carte structural de la zone d'étude confirment une partie de ce que nous avons trouvé avec le traitement mathématique des données extrait par les filtres directionnels de l'image satellitaire landsat.

2) Validation par Google Earth

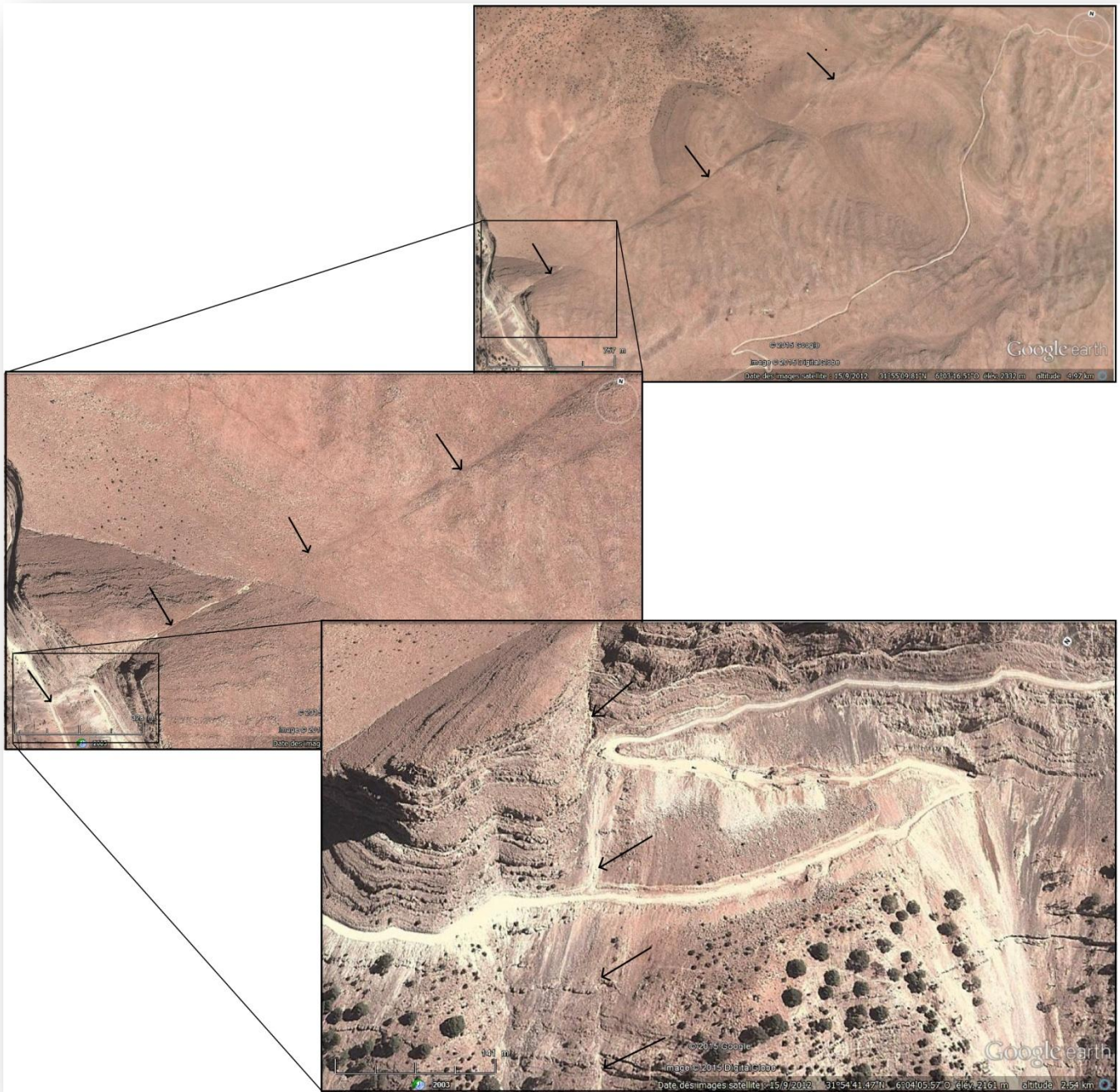


Fig.32 : image de Google Earth de l'un des linéaments extrait par le filtre 3x3 Right Diagonal Edge Detection. (Voir Fig.22 pour la localisation de linéament).



Fig.33 : image de Google Earth de l'un des linéaments extrait par le filtre 3x3 Right Diagonal Edge Detection. (Voir Fig.22 pour la localisation de linéament).



Fig.34 : image de Google Earth de l'un des linéaments extrait par le filtre 7 x 7 horizontal (Voir Fig.24 pour la localisation de linéament).

3) Validation par la littérature géologique.

Des travaux de recherche déjà réalisés dans le Haut Atlas Central intéressent les analyses structurales, sédimentologiques et stratigraphiques des affleurements de différentes formations.

Ces études montrent que Les axes des structures majeures du Haut Atlas central se répartissent selon trois directions principales selon l'ordre de leur intensité : N40–50, N70–90 et N110–120.

Parmi ces travaux on a :

- La structuration de la frange méridionale du Haut-Atlas central est régie par un ensemble de faille dont les axes cartographiques montrent des allures courbées de direction NE-SW et se redressent vers le NNE. (Ettaki et al.2007).
- Des mesures de stries, de plan de cassure et de stratification ont été réalisées au niveau des différents secteurs correspondants à des affleurements de toarcienne dans le Haut Atlas Central. Les traitements stéréographiques de ces mesures montrent deux grandes familles correspondant aux directions N70 à N80 et NW-SE (**H.IBOUH et al., 2000**).
- Les corrélations des épaisseurs et des faciès de part et d'autre, et le long de l'accident ATA, montrent que la sédimentation du Jurassique inférieur de la région d'Ait Bou Guemmez a été contrôlée par deux familles principales d'accidents synsédimentaires (**H.IBOUH et al., 2001**) :

La première famille de direction N70 à E-W est considérée comme étant la direction majeure des Structures qui ont contrôlé la formation de la chaîne Haut Atlasique Centrale. Elle est représentée dans cette région par l'accident Tizal-Azourki (ATA).

La deuxième famille est de direction NW-SE à subméridienne localisée de part et d'autre de l'accident ATA, transverse par rapport à la direction majeure des structures (N70 à E-W) .

VI. Analyse en composantes principales (ACP)

C'est une méthode de rehaussement de la signature spectrale des images. L'ACP est utilisé pour diminuer le nombre de corrélations entre les différentes bandes et augmenter la différenciation entre elles. La transformation en composantes principales génère de nouvelles images non corrélées, dont la première contient le maximum d'informations. Les autres composantes contiennent de moins en moins d'informations. En combinant visuellement (composé coloré. **(Fig.38)**) les composantes, leur interprétation et leur analyse deviennent plus simples et plus efficaces que l'utilisation des sept bandes initiales (**Fig.36**). Pour cela ACP considère parmi les meilleures méthodes pour distinguer les différents faciès et leur distribution, chaque lithologie géologique à une signature spectrale qui permet de la distinguer d'une autre. **(Fig.35)**

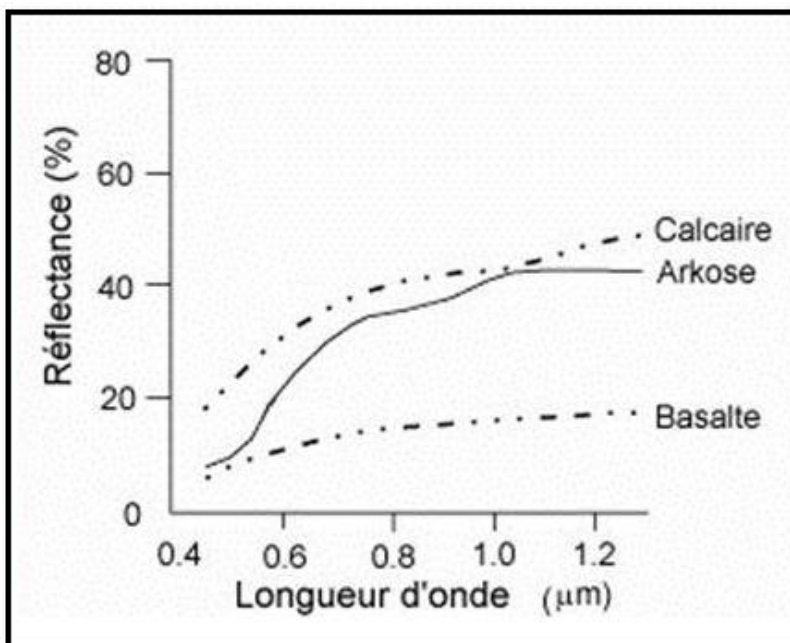


Fig.35: exemple de réflectance (signature spectrale) pour différentes lithologies (ibouh, 2013).

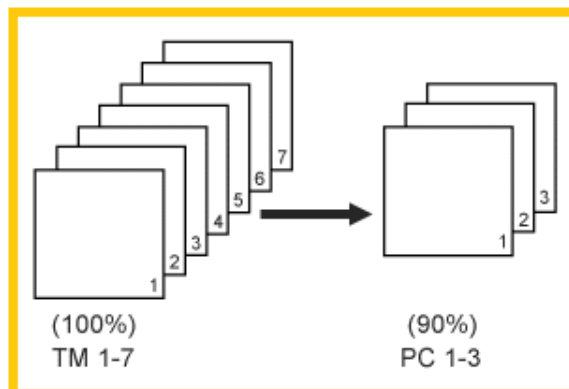


Fig 36: Notion d'Analyse en Composante Principale (CCT, 2000).

Ces résultats sont obtenus à partir d'une comparaison avec la carte géologique.

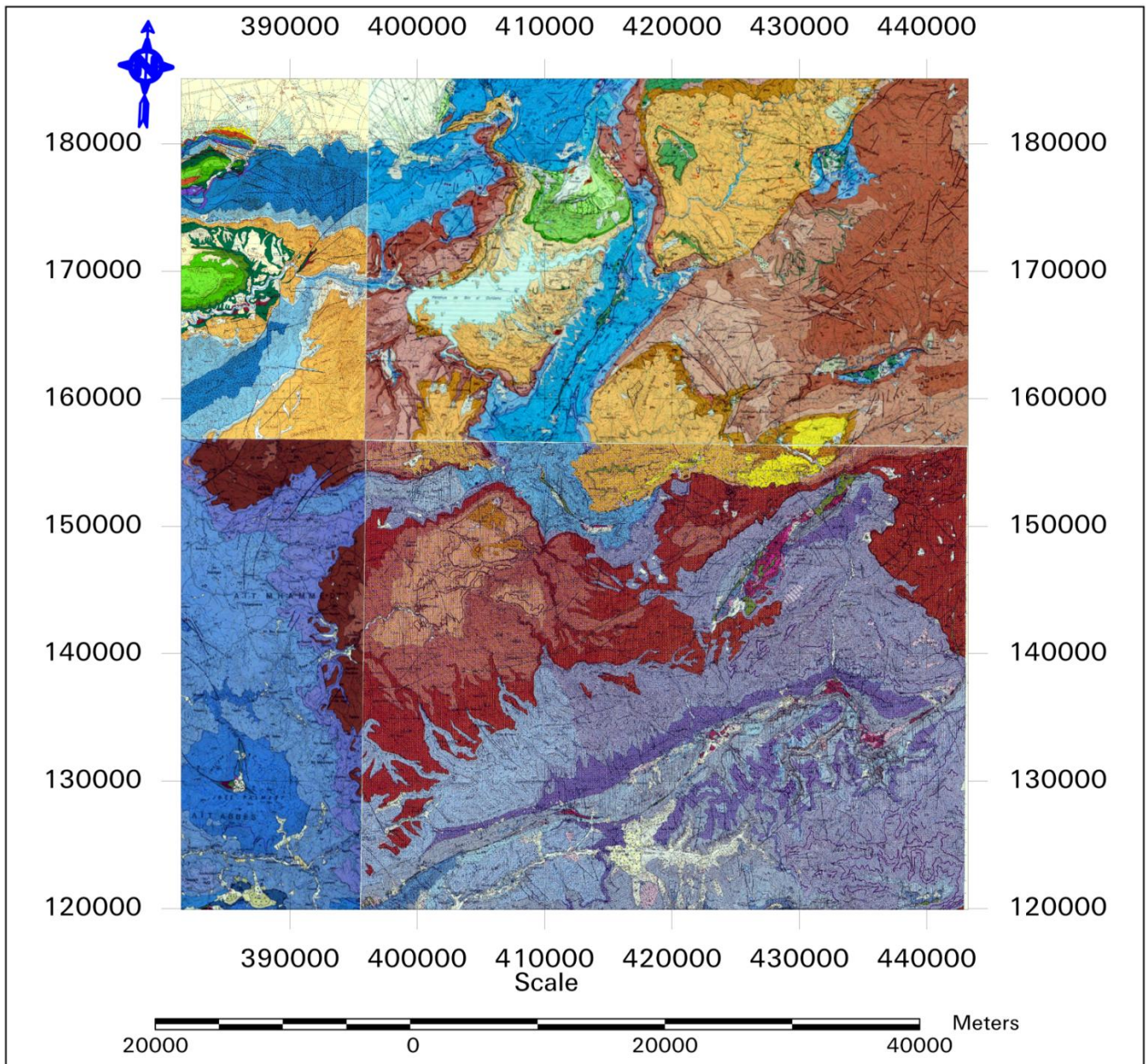


Fig.37 : carte géologique du secteur d'étude composée d'extrait des cartes géologiques au 1/100000 de Afourer, Azilal, Beni Mellal et Z. Ahencçal..

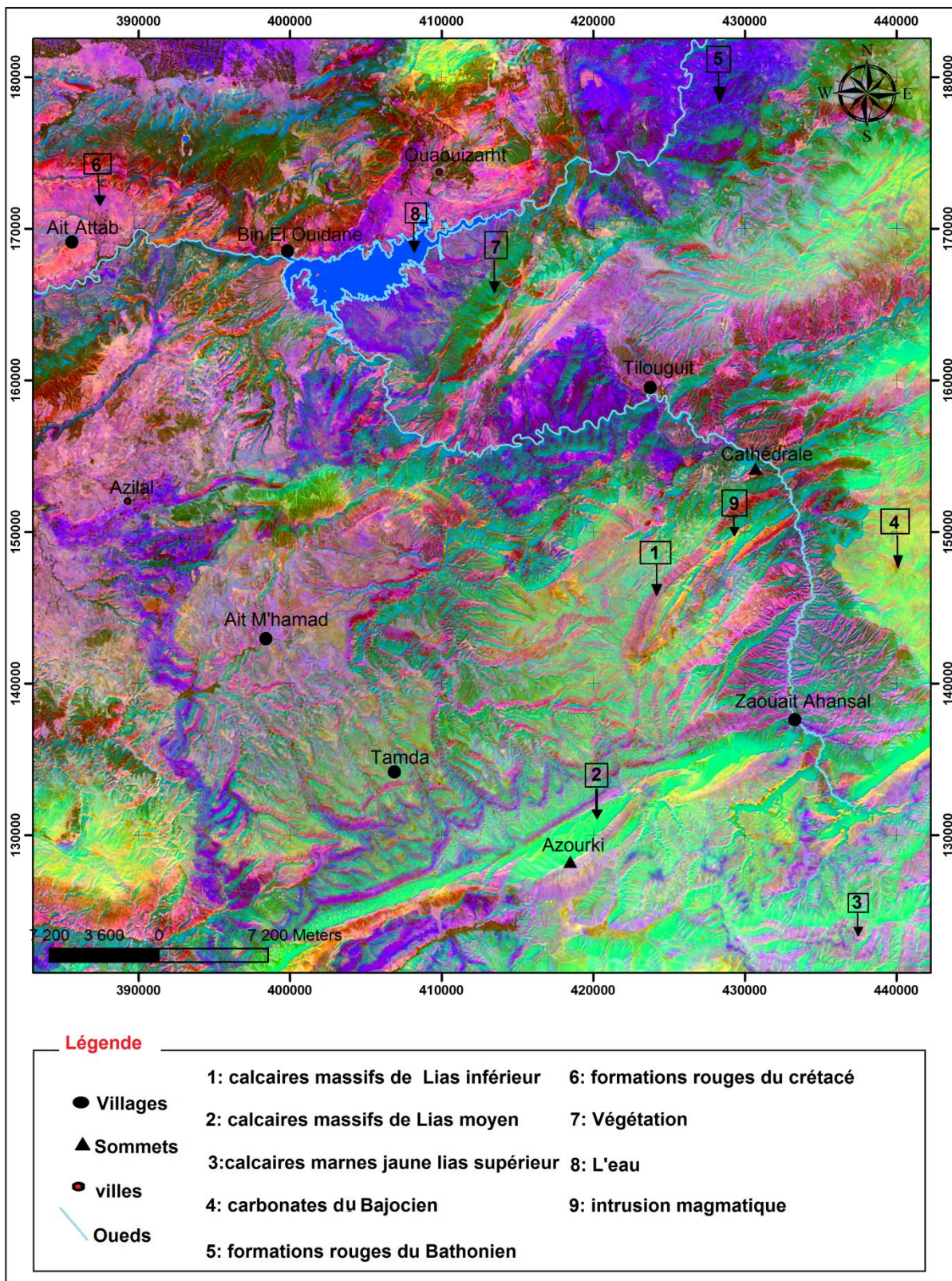


Fig. 38: Carte de la région d'Azilal (Haut Atlas Central) en utilisant l'analyse avec la composante principale.

VII. Traitement des indices

L'utilisation des images satellite Landsat TM pour le calcul des indices des minéraux d'altération de Haut Atlas central (région d'Azilal) est une étape qui peut intervenir dans la phase de recherche et d'étude pour l'exploration minière.

1) Indice de végétation simple (VI) :

C'est un indice indicateur de la végétation donné par le logiciel à partir de l'image « haut atlas central » (Fig.39), le calcul se fait par la formule suivante: **bande 4 – bande 3**

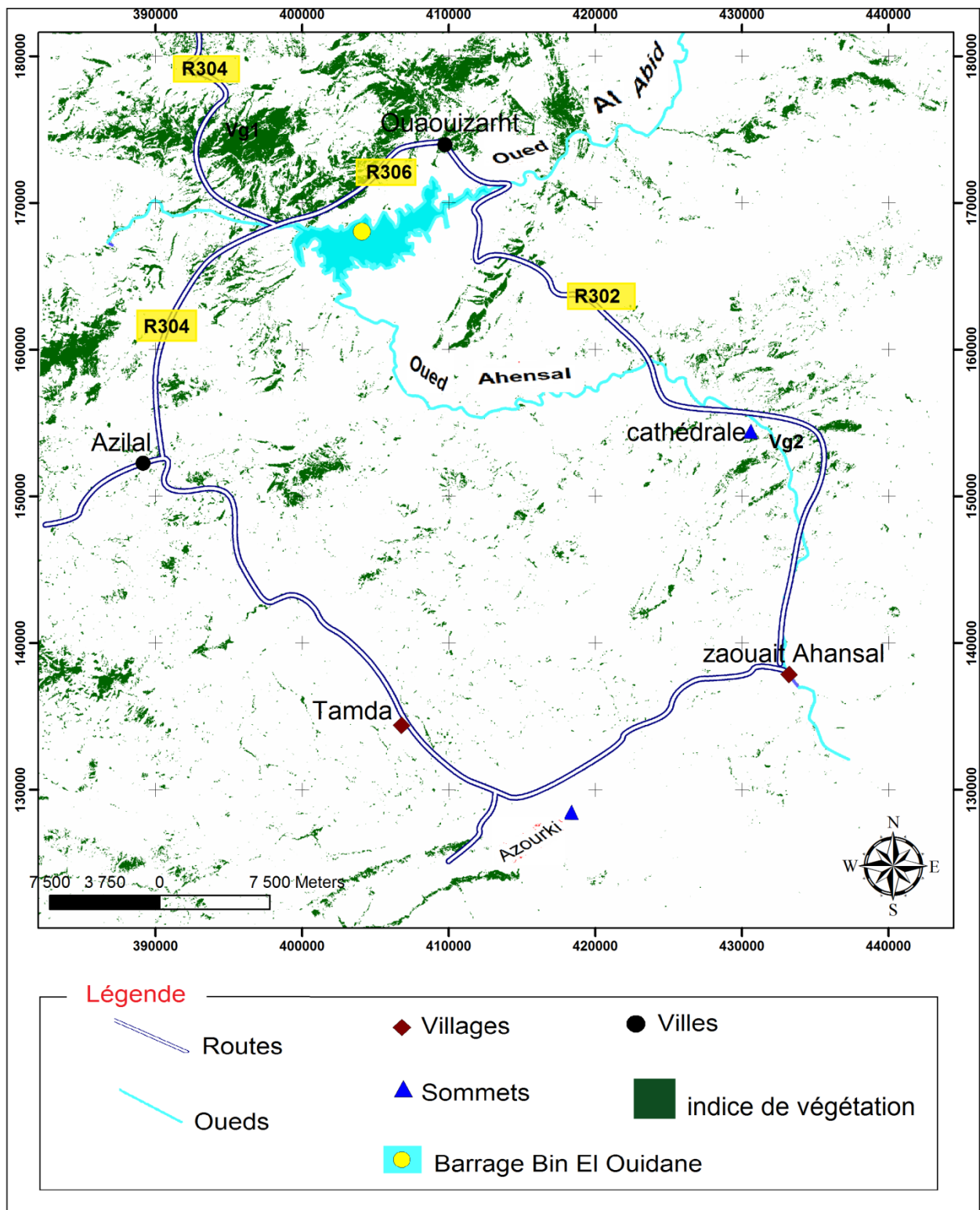


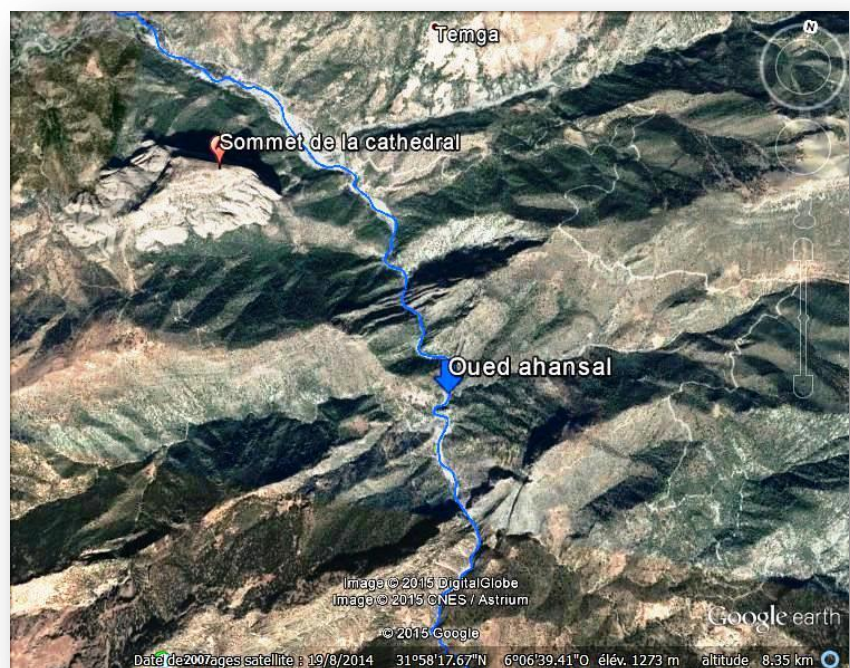
Fig.39 : Carte d'indice de végétation simple extraite de l'image landsat de Haut Atlas Central.

La couverture végétale occupe une grande superficie au niveau de l'Atlas d'Afourer proche de la région de Bin El Ouidane, et des zones parallèle aux réseaux hydrographique par exemple Oued Ahensal, oued El Abid.



Fig.40: image de la végétation prise par Google Earth(voir Fig.31(Vg1) pour la localisation de l'image).

Fig.41 :image de la végétation prise par Google Earth (voir Fig.31(Vg2) pour la localisation de l'image)



2) l'indice de minéraux ferreux (Ferrous Minerals)

L'indice des minéraux ferreux (Fig.42) est obtenu suite à l'application du rapport $TM5/TM4$.

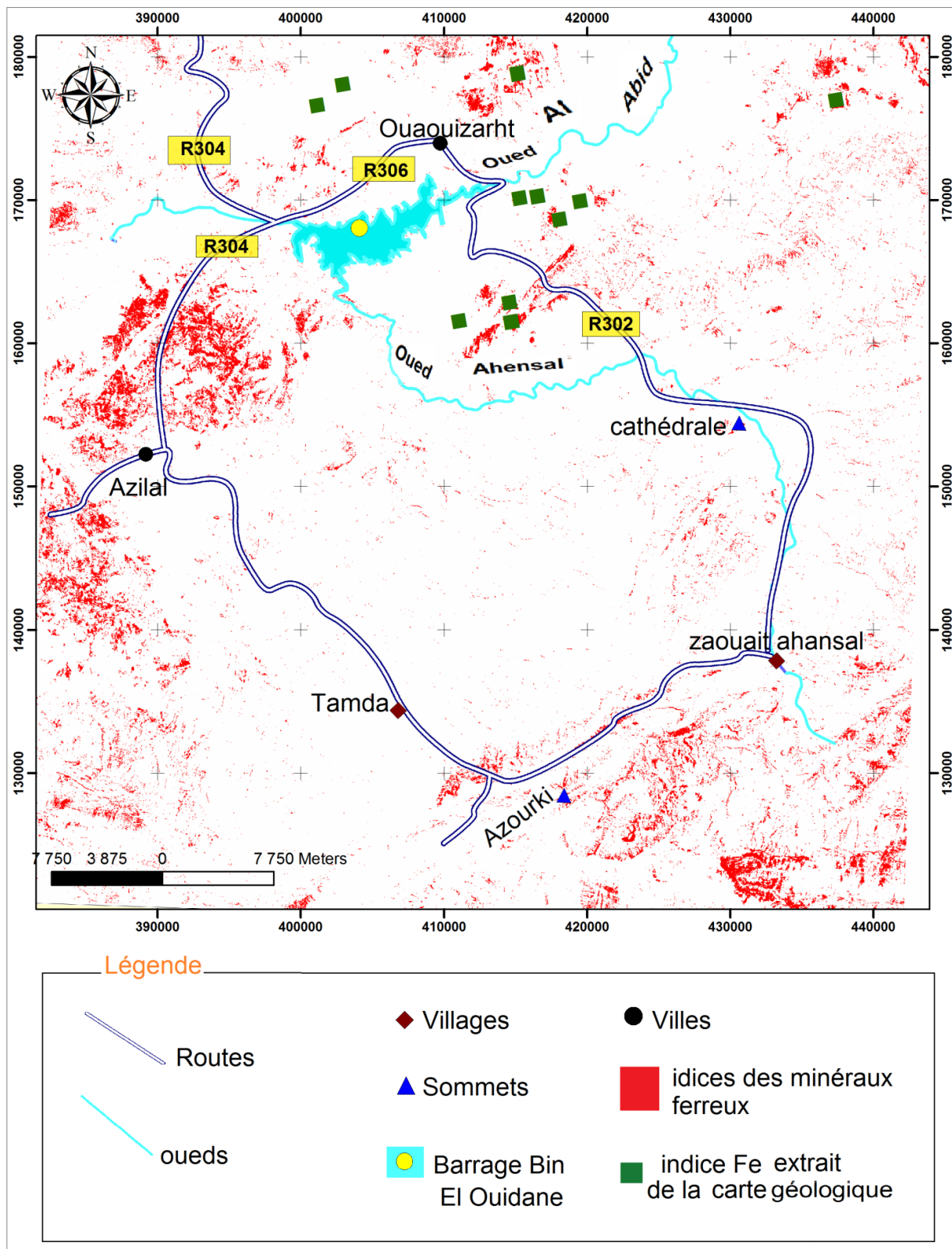


Fig.42: carte d'indice des minéraux ferreux

Le traitement de l'indice des minéraux ferreux montre 3 zones importantes, SE, NW et la partie E, Avec une comparaison avec les indices de fer sur la carte géologique montre une corrélation entre les deux. L'exemple de la mine tansrift(Fig.33) localisée sur la limite nord du Haut Atlas central, la ou les structures du Moyen Atlas viennent le rejoindre (Brede, 1992), au sud de la grande faille dite Accident Aghbala-Afourer(fig), cette région est une preuve essentielle de la confirmation de ce potentiel élevée des minéraux ferreux.sur ce gisement la minéralisation primaire sous forme de sulfures représentés par la chalcosine, la chalcopyrite, la pyrite, la bornite, la covellite, et rarement la proustite. Les minéraux secondaires sont également présents. Il s'agit d'oxydes et hydroxydes de fer (hematite, goethite, limonite), d'oxyde de cuivre (cuprite) et de carbonate et hydrocarbonate de cuivre (malachite, azurite). Subra (1970).

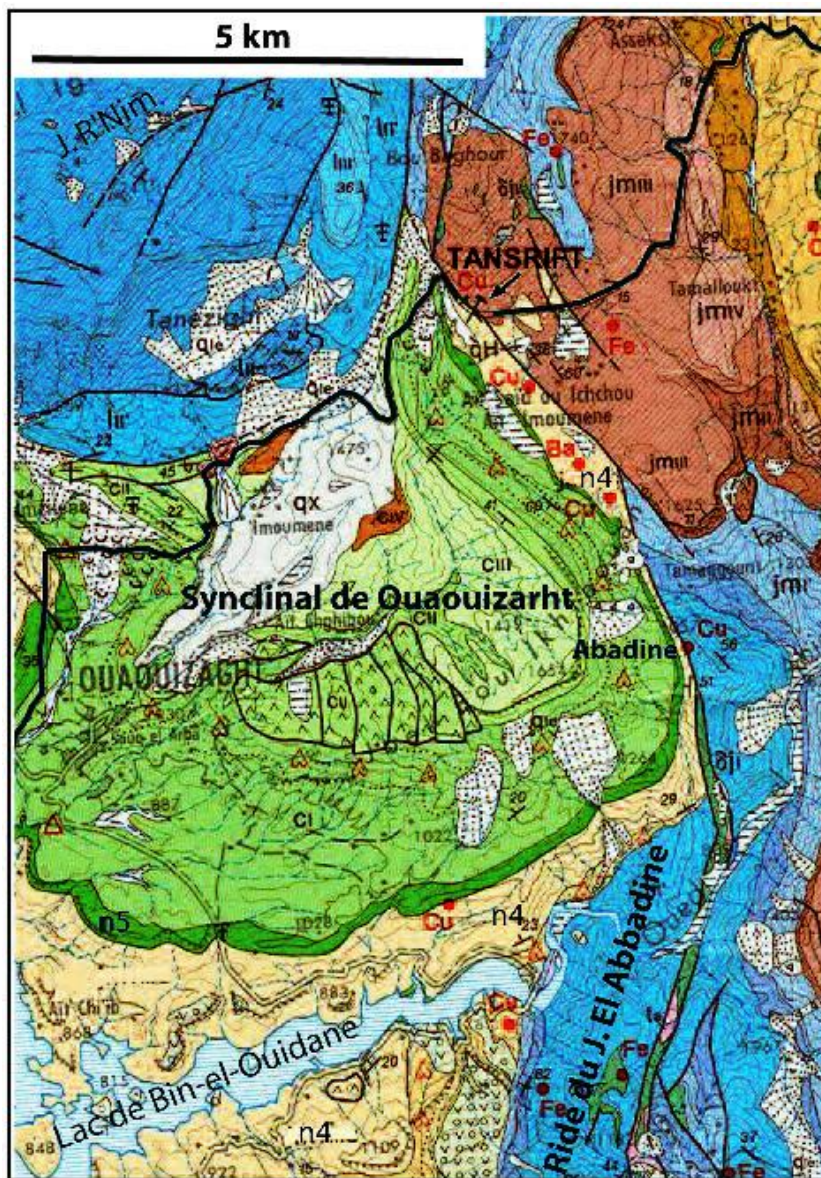


Fig.43: Cadre géologique de la mine de Tansrift sur un extrait de carte géologique Au 1/100 000, feuille de Beni Mellal (d'après Monbaron, 1985).

3) l'indice des minéraux argileux (clay minerals)

L'indice des minéraux argileux(Fig.44), il est obtenu par la fonction band5/band7

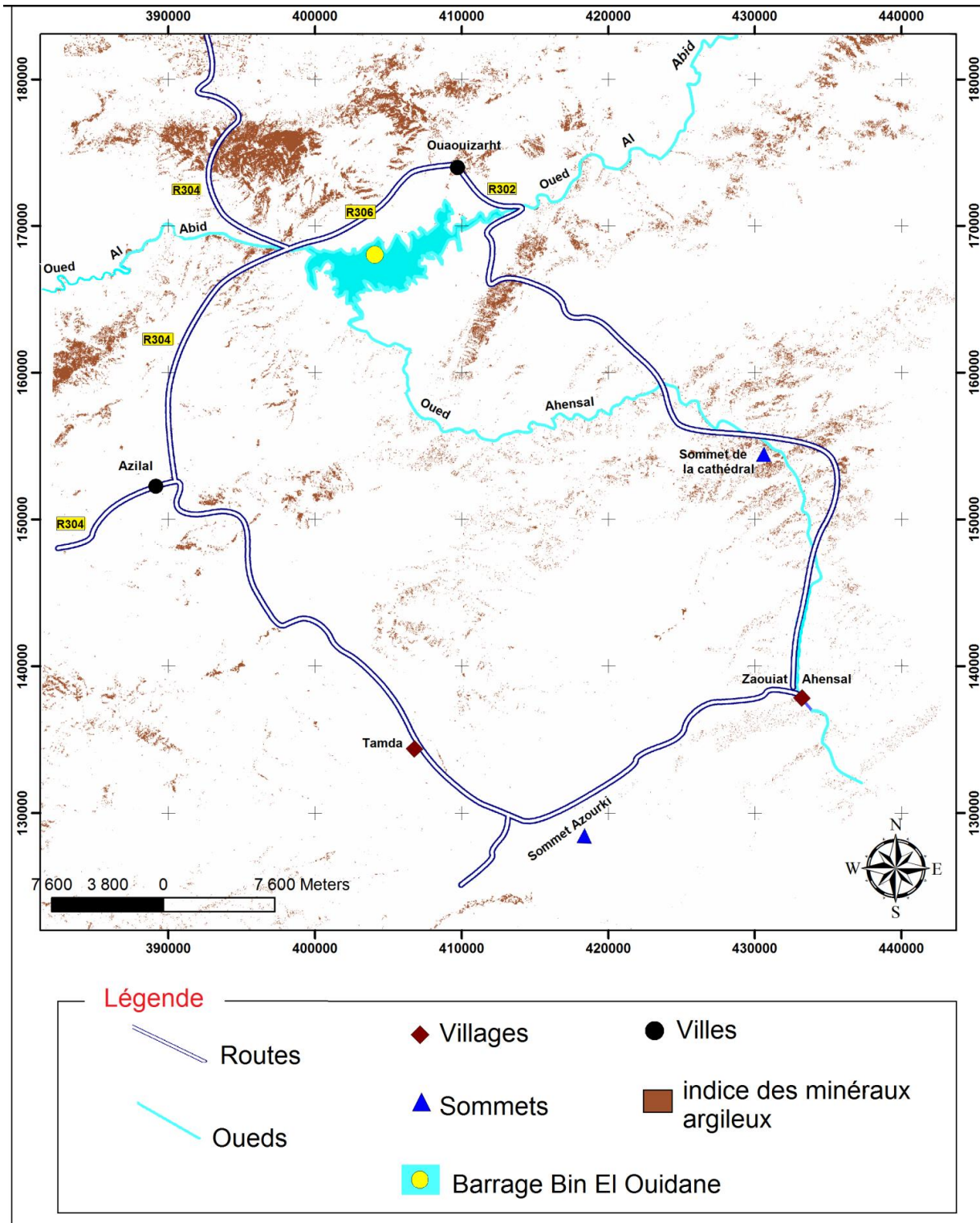


Fig.44: carte d'indice des minéraux argileux

L'analyse de la Figure 25 montre que les minéraux argileux se localisent avec une forte concentration dans la partie NW où la végétation est très dense qui favorise la formation des sols par la météorisation physique du matériau d'origine par la pénétration des racines, et la décomposition des matières organiques, qui sont riches en C, H et O, libère des H⁺ qui favorisent la météorisation chimique du sol.

4) l'indice des oxydes de fer (iron oxyde)

L'indice des oxydes de fer (Fig.45), il est représenté par la fonction band3/band1

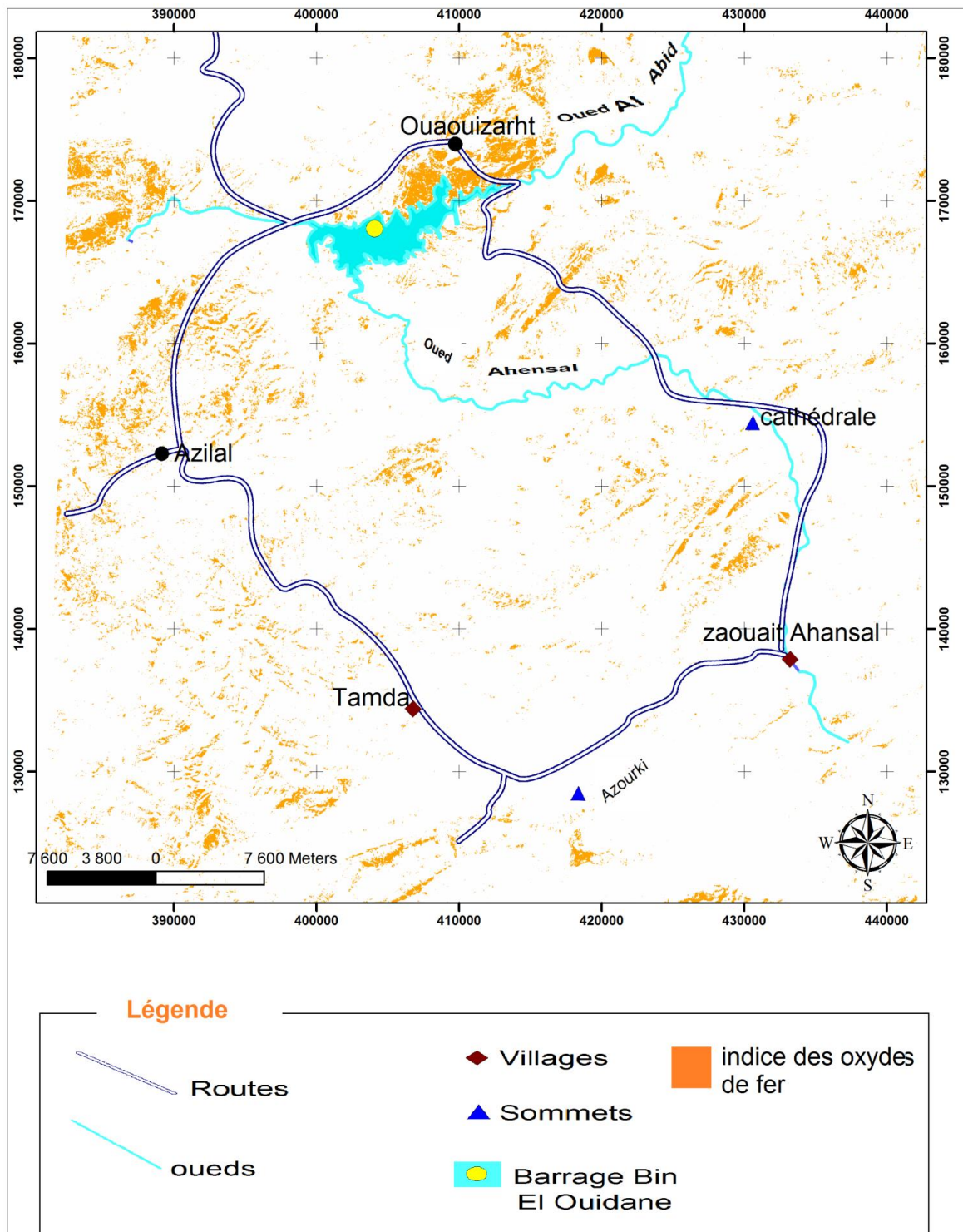


Fig.45: carte d'indice des oxydes de fer

L'indice des oxydes de fer représente sur la carte avec des grandes concentrations dans la partie N principalement sur synclinale de Ouauouizarht et ait attab (Fig35) qui sont caractérisée par des couches rouges d'âge jurassico-crétacé riche on oxyde de fer distribue aléatoirement par contre dans le synclinale de abadine les oxydes prennent la forme allongée de l'intrusion magmatique qui occupe le coeur de la formation.

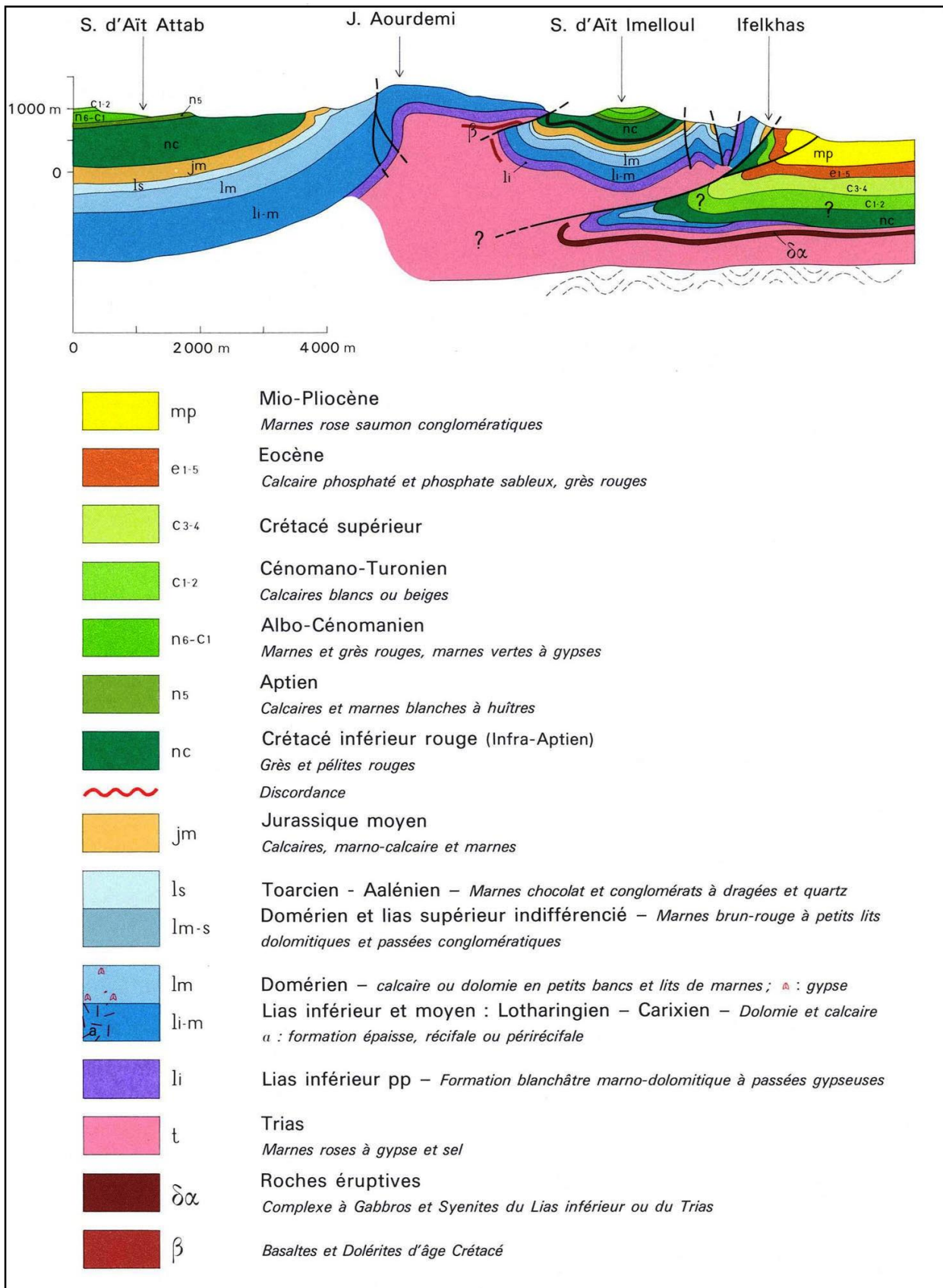


Fig.46: Coupe géologique au niveau synclinale d'Ait Attab.(carte géologique d'Afourer feuille1 /100000).

5) indice de l'altération hydrothermal (Hydrothermal composite)

Le calcul de l'indice hydrothermal (Fig.47) se fait par 3 applications band5/band4, 4/3 et 5/7

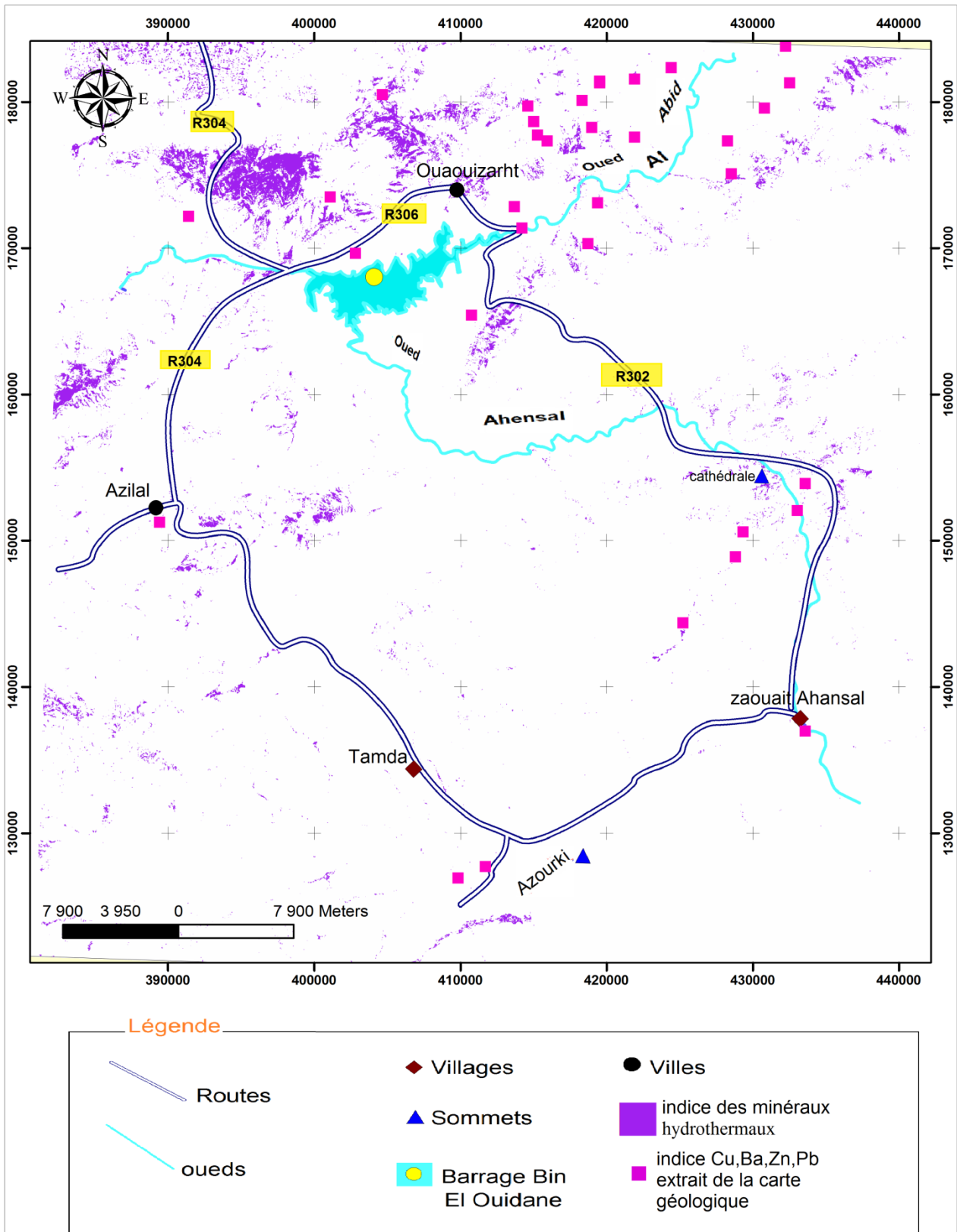


Fig.47: carte d'indice des minéraux hydrothermaux

A partir de l'analyse de la carte d'indice des minéraux hydrothermaux on constate que la partie Nord et la partie central présentent une concentration important par rapport a des autres zones les indices détecte par le satellite landsat est confirmé par des indices extrait de la carte géologique.ils sont localise sur des gisements des minéraux hydrothermaux (cu,Zn,Pb) parmi ces dernier le gisement situé sur le flanc sud de la ride anticlinale de Talmest (fig.36), dans le Haut Atlas central, la minéralisation formé par le Pb et Zn(Mouguina, 1992, 2004 ; Mouguina et al., 1999).

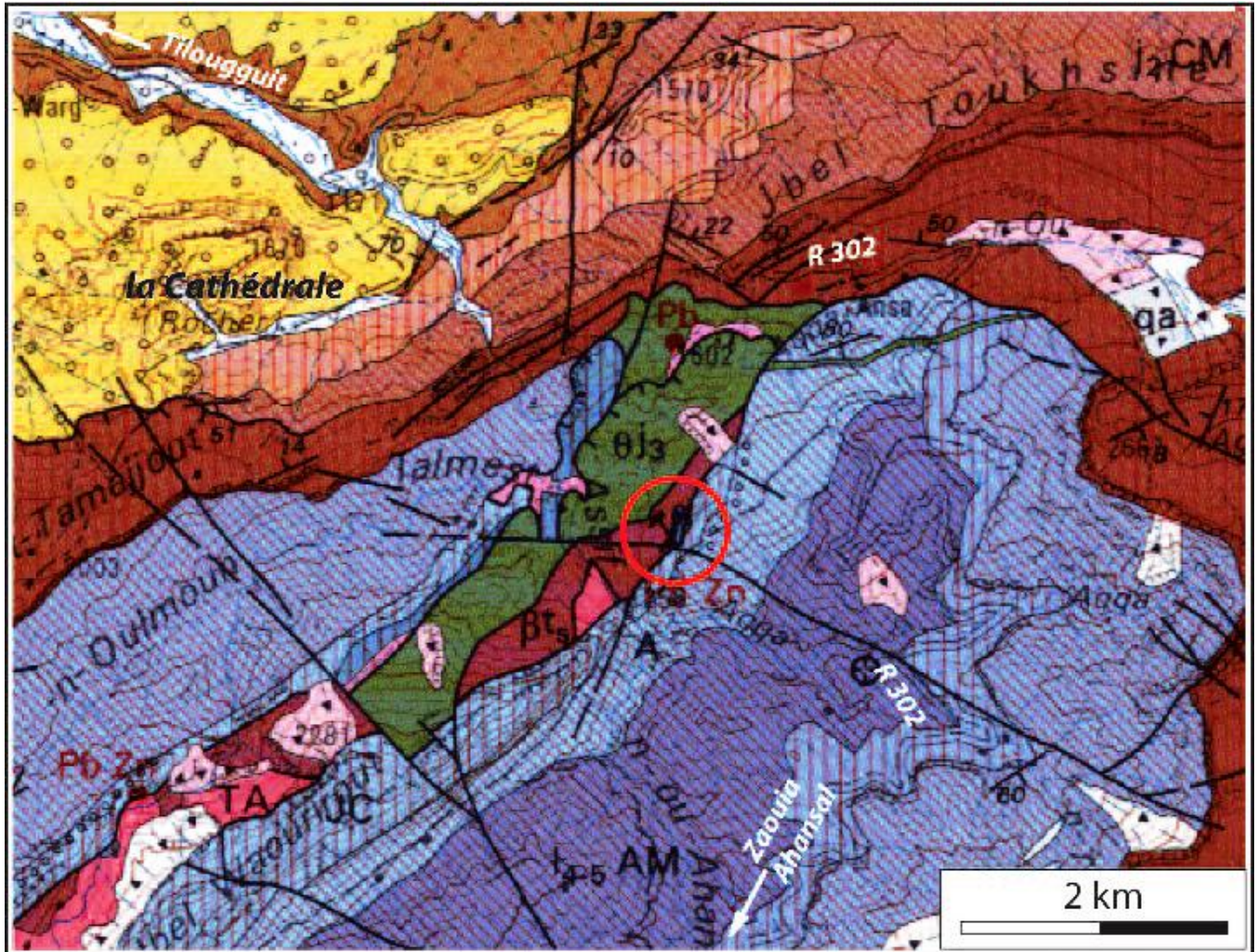


Fig.48 : Carte géologique du secteur de la mine, extrait de la carte géologique du Maroc au 1/100000, feuille de Zawyat Ahancal (Jossen, 1990).

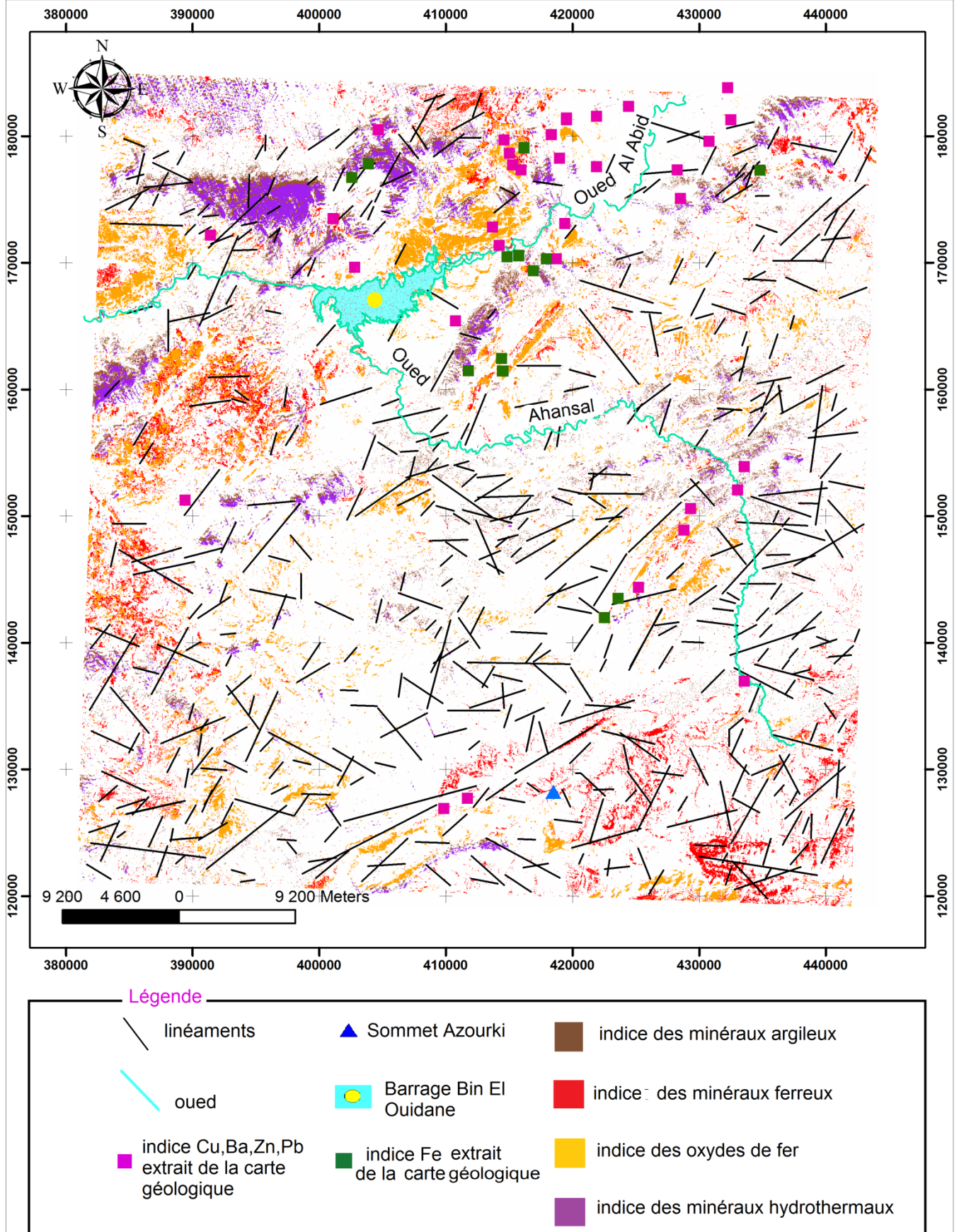


Fig .49 : carte représentatif de tous les indices avec les fracturations.

La répartition des indices sur la carte globale montres des zones de coïncidence entres eaux, ce qui concerne les indices ferreux, oxydes de fer, hydrothermaux on

peut conclure que les mêmes processus qui sont donnée ces anomalies. D'autres parts la relation entre l'indice des minéraux argileux et la végétation sont expliquées par l'importance de l'un devant l'autre.

VIII. CONCLUSION

La réalisation de la carte de fracturation de la région d'Azilal (Haut Atlas central) a été rendue possible grâce à l'application, sur les images satellitaire landsat TM, de techniques d'analyse d'images satellitaires permettant la mise en évidence des réseaux de linéaments majeures.

la carte linéamentaire, obtenue après le traitement d'image satellitaire par les filtres directionnels (rehaussement spatial), est moyennement dense et comporte 835 linéament de taille variable de 734,92 m à 14189,08 m .

Les résultats obtenus à la suite de l'analyse visuel et statistique de la carte des linéaments montre que ces linéaments sont repartis en deux familles principales de direction :

La première famille et de direction N90

La deuxième famille et de direction N35 à N45

La comparaison de la carte linéamentaire télé-analytique extraite d'image Satellitaire, et la carte géologique, montre des similitudes de point de vue directions, cependant en termes d'effectif on note une abondance des linéaments extraits de l'image satellitaire par rapport à celles de la carte géologique.

Le traitement de l'image satellitaire de la région d'Azilal (Haut Atlas Central) utilisée pour établir des cartes des indices des minéralisations outil incoutournable en télédétection dans le domaine de prospection minière. L'analyse de ces cartes montre un certain nombre d'information géologique importante :

L'indice des oxydes de fer est intimement lié aux formations rouges d'âge jurassico-crétacé localisé dans les synclinaux d'Ouaouizarht, d'Ait Attab et à la formation magmatique du cœur de la ride de jbel AL Abbadine.

Les minéraux ferreux se présentent avec des concentrations importantes sur les partie NW, SE et E du secteur d'étude. On note que ces minéraux présentent une forte concentration au nord de Ouaouizart et qui coïncide avec une zones minières déjà exploitée, la mine Tansrift. (H.IBOUH et al 2011)

La carte des minéraux hydrothermaux, montre des concentrations élevées dans la partie centrale du secteur d'étude, particulièrement au niveau de la zone du gisement de Tazoult actuellement exploité pour le Zinc (H.IBOUH et al.2011). Cette dernière coïncidence constitue une validation de la carte des minéraux hydrothermaux comme guide de prospection.

La carte des minéraux argileux montre une concentration élevée dans la partie nord du secteur d'étude, sur lequel la végétation occupe une grande superficie ceci est expliqué par la richesse des sols argile.

La superposition des cartes des indices minéraux et la carte de fracturation montre que les zones potentielle de minéralisation sont affectée par des failles de direction globalement NE-SW.

En fin la superposition des cartes des indices et celle des linéaments extraits de l'image satellitaire, avec la carte géologique de la zone d'étude nous a permis d'obtenir une carte géologique finale qui est considéré comme une base de départ pour compléter la prospection minière sur le terrain.

Liste des références

BACHIR.S.M et al(2015) : Extraction par télédétection et analyse statistique du réseau de fractures, en milieu de socle, dans le département de Sinfra (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire).*International Journal of innovation and Scientific Research ISSN 2351-8014 Vol.13 No.1 Jan. 2015.pp.225-238*

BENAMMI.M, TOTO.E & CHAKIRI.S (2001)- Les chevauchements frontaux du Haut Atlas central marocain : styles structuraux et taux de raccourcissement différentiel entre les versants nord et sud. *Earth and Planetary Sciences 333 (2001) 241–247.*

BONN.F&ROCHON .G, (1992)- Précis de télédétection. Volume 1 : principes et méthodes .AUPELF-UREF 1992. *Coll. Presses. Universitaires du Québec. Montréal.*

EL BCHARI.F, IBOUH.H, SOUHEL .A, TAJ EDDINE.K, CANEROT. J, & BOUABDELLI .M(2001) –Cadre stratigraphique et étapes de structuration de la plateforme liasique d’Ait Bou Guemmez (Haut atlas Central, Maroc).*GAIA N° 16, LISBOA/LISBON, JUNHO/JUNE 2001 ,pp.163-172(ISSN :0871-5424)*

IBOUH.H, CHAFIKI.D, BOUABDALLI.M, SOUHEL.A, EL BCHARI.F, EL HARIRI.K, CANEROT.J (2000)-Rôle de la tectonique distensive du toarcien inférieur dans l’évolution de la chaîne Haut Atlasique Centrale du Maroc. *Strata Série 1. Vol. 10 .pp.103-105,1 Fig. 2000*

IBOUH.H, EL BCHARI.F, BOUABDALI.M, SOUHEL.A &YOUBI.N.(2001)- L’Accident Tizal-Azourki Haut Atlas Central du Maroc: déformations synsédimentaires liasiques en extension et conséquences du serrage atlasique. *Estudios Geol., 57 :15-30 (2001)*

IBOUH.H, MICHARD.A, HIBTI.M & K. EL AMARI (2011)- Le cuivre des Couches Rouges de Tansrift(Atlas d’Azilal). *NOTES ET MEMOIRES DU SERVICE GEOLOGIQUE N° 564. (NOUVEAUX GUIDES GEOLOGIQUES ET MINIERS DU MAROC (VOLUME 9)).pp.281-286.*

IBOUH.H&MOUGUINA .E.M (2011)- Aguerd n’Tazoult, une mine Zn-Pb du Haut Atlas Central. *NOTES ET MEMOIRES DU SERVICE GEOLOGIQUE N° 564. (NOUVEAUX GUIDES GEOLOGIQUES ET MINIERS DU MAROC (VOLUME 9)).pp.293-296.*

JOURDA.J.P et al (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 Cote d'Ivoire).*HAL Id : halshs-00392312. pp.119-133.*

LÖWNER.R(2009) : Recherches sédimentologiques et structurales à l'articulation entre Haut et Moyen Atlas et la Haute Moulouya, Maroc. *Thèse approuvée.*

SOUHELFA.A, EL BCHARI .F, EL HARIRI .K, LAGE.B, CANÉROT.J, CHAFIKI .D, ETTACHFINI. E. M. & LOWENER.R. (2011)- Haut Atlas Central, partie nord-ouest. *NOTES ET MEMOIRES DU SERVICE GEOLOGIQUE N° 562. (NOUVEAUX GUIDES GEOLOGIQUES ET MINIERS DU MAROC (VOLUME 7)).pp.66-108.*

Liste des figures

Fig.1: Principaux domaines structuraux du Maroc. (D.Khattach.1989).

Fig 2: coupe du Col de Ghnim, avec des niveaux oncholitiques et biodétritiques, montrant une succession typique du sommet de la formation de Bin El Ouidane I. (Ralf lowner.2009).

Fig 3 : coupe, montrant une séquence stratocroissante caractéristique de la formation de Bin El Ouidane II. (Ralf lowner.2009).

Fig4 : Exemple d'une lentille du faciès gréseux dans la Formation de Guettioua. (Ralf lowner.2009).

Fig.5 : Coupe synthétique du tiers supérieur de la Formation du Jbel Sidal et détail des niveaux à microfaune (secteur d'Ioughmane), (Haddoumi, 1988, modifié).

Fig.6 : coupe synthétique et tableau montrent les différentes formations lithologiques et les grands cycles sédimentaires de secteur d'étude (Haut Atlas Central). Ralf LOWNER 2009.

Fig.7 : carte de zone d'étude extrait par Google Earth.

Fig.8 : Principe de base de la télédétection.

Fig.9 : les sept étapes de la télédétection. Site Web du Centre Canadien de Télédétection : <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>.

Fig.10: Représentation de l'onde électromagnétique. [www.nocivitedesondes.free.fr /page11.html](http://www.nocivitedesondes.free.fr/page11.html) (modifié)

Fig.11 : les différents domaines spectraux. (fr.wikiversity.org).

Fig.12: Interaction du rayonnement électromagnétique.(e-mars.geologie- lyon.fr / ?page id=63).

Fig.13 : la signature spectrale des différents types de sol.(e-cours.univ-paris1.fr).

Fig.14 : exemple d'image monospectrale.

Fig.15 : exemple de résultats d'ensemble d'image monospectrale.(ibouh.2012).

Fig.16 : les caractéristiques principales des capteurs landsat.

Fig.17 : Organigramme des différentes étapes de travail.

Fig.18 : Image satellitaire de la zone d'étude (Haut atlas central).

Fig.19 : carte géologique de la zone d'étude.

Fig. 20: la carte topographique de la zone d'étude.

Fig. 21 : Méthode de travail des filtres pour Erdas Imagine, exemple filtre 3x3.

Fig.22: Carte des linéaments du filtre 3x3 Projetés sur l'image satellite de la zone d'étude.

Fig.23 : Carte des linéaments du filtre 5x5 Projetés sur l'image satellite du secteur d'étude.

Fig. 24 : Carte des linéaments du filtre 7x7 Projetés sur l'image satellite de la zone d'étude.

Fig. 25 : exemple des linéaments à corriger à l'aide de carte topographique.

Fig. 26 : rosace pour les linéaments trouver avec filtre 3x3.

Fig. 27 : rosace pour les linéaments trouver avec filtre 5x5.

Fig. 28: rosace pour les linéaments trouver avec filtre 7x7.

Fig.29 rosace directionnelle des linéaments extraite avec tous les filtres.

Fig.30 : carte géologique du secteur d'étude.

Fig. 31 : rosace pour les linéaments extrait à partir de la carte géologique.

Fig.32 : image de Google Earth de l'un des linéaments extrait par le filtre 3x3 Right Diagonal Edge Detection. (Voir Fig.22 pour la localisation de linéament).

Fig.33 : image de Google Earth de l'un des linéaments extrait par le filtre 3x3 Right Diagonal Edge Detection. (Voir Fig.22 pour la localisation de linéament).

Fig.34 : image de Google Earth de l'un des linéaments extrait par le filtre 7 x 7 horizontal (Voir Fig.24 pour la localisation de linéament).

Fig.35: exemple de réflectance (signature spectrale) pour différentes lithologies (ibouh, 201).

Fig 36: Notion d'Analyse en Composante Principale (CCT, 2000).

Fig.37 : carte géologique du secteur d'étude.

Fig. 38: Carte de la région d'Azilal (Haut Atlas Central) en utilisant l'analyse avec la composante principale.

Fig.39 : Carte d'indice indice de végétation simple extraite de l'image landsat de Haut Atlas Central.

Fig.40: image de la végétation prise par Google Earth(voir Fig.31(Vg1) pour la localisation de l'image).

Fig.41 : image de la végétation prise par Google Earth(voir Fig.31(Vg2) pour la localisation de l'image).

Fig.42: carte d'indice des minéraux ferreux.

Fig.43: Cadre géologique de la mine de Tansrift sur un extrait de carte géologique Au 1/100 000, feuille de Beni Mellal (d'après Monbaron, 1985).

Fig.44: carte d'indice des minéraux argileux.

Fig.45: carte d'indice des oxydes de fer.

Fig.46: Coupe géologique au niveau synclinale d'Ait Attab.

Fig.47: carte d'indice des minéraux hydrothermaux.

Fig.48 : Carte géologique du secteur de la mine, extrait de la carte géologique du Maroc au 1/100000, feuille de Zawyat Ahancal (Jossen, 1990).

Fig .49 : carte représentatif de tous les indices avec les fracturations.

Liste des tableaux

Tableau 1 : résultats des mesures des linéaments trouver avec filtre 3x3 Horizontal Edge Detection. (Azimuth($^{\circ}$), Longueur (m)).

Tableau 2 : résultats de mesure des linéaments trouver avec filtre 3x3 Vertical Edge Detection. (Azimuth($^{\circ}$), Longueur (m)).

Tableau 3 : résultats de mesure des linéaments trouver avec filtre 3x3 Left Diagonal Edge Detection. (Azimuth ($^{\circ}$), Longueur (m)).

Tableau 4 : résultats de mesure des linéaments trouver avec filtre 3x3 Right Diagonal Edge Détection. (Azimuth($^{\circ}$), Longueur (m)).

Tableau 5 : résultats de mesure des linéaments trouver avec filtre 5x5 Horizontal (Azimuth, Longueur(m)).

Tableau 6 : résultats de mesure des linéaments trouver avec filtre 5x5 Edge detection (Azimuth, Longueur(m)).

Tableau 8 : résultats de mesure des linéaments trouver avec filtre 7x7 vertical (Azimuth ($^{\circ}$), Longueur(m)).

Tableau 9 : résultats de mesure des linéaments trouver avec filtre 7x7 horizontal (Azimuth, Longueur(m)).

Tableau10 : Distribution des longueurs des linéaments finals extrait par les différents filtres directionnelle.

Tableau11 : représente les mesures (Longueur(m), Azimuth ($^{\circ}$)) des linéaments extraits de la carte géologique.