

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

N° d'ordre : /DST/11

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEM
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
ET SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE
ET DE L'UNIVERS



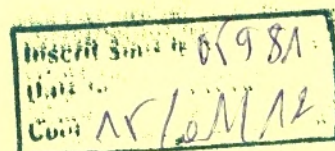
MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

Option
GEO-RESSOURCES

Présenté pour l'obtention du
Diplôme De Master

Par

Ismail BENSAFI
Rachid SIDHOUM



APPORT DE LA TELEDETECTION POUR L'EXPLORATION GEOLOGIQUE EN
ZONES ARIDES
(EXEMPLE : AXE ADRAR-REGGANE, SAHARA SUD-OCCIDENTALE).

Soutenu le 30 Octobre 2011 devant les membres du jury :

MAROK A.
BENSEFIA K.E.
BENSALLAH M.
HADJI F.

Président
Rapporteur
Examineur
Examineur

(Univ. Tlemcen)
(Univ. Tlemcen)
(Univ. Tlemcen)
(Univ. Tlemcen)

Année Universitaire 2011/2012

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

N° d'ordre : /DST/11

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEM
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
ET SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE
ET DE L'UNIVERS



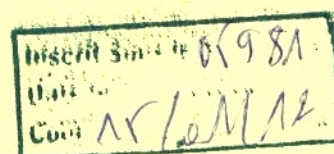
MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

Option
GEO-RESSOURCES

Présenté pour l'obtention du
Diplôme De Master

Par

Ismail BENSAFI
Rachid SIDHOUM



APPORT DE LA TELEDETECTION POUR L'EXPLORATION GEOLOGIQUE EN
ZONES ARIDES
(EXEMPLE : AXE ADRAR-REGGANE, SAHARA SUD-OCCIDENTALE).

Soutenu le 30 Octobre 2011 devant les membres du jury :

MAROK A.	Président	(Univ. Tlemcen)
BENSEFIA K.E.	Rapporteur	(Univ. Tlemcen)
BENSALLAH M.	Examineur	(Univ. Tlemcen)
HADJI F.	Examineur	(Univ. Tlemcen)

Année Universitaire 2011/2012

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents, en témoignage de l'amour, du respect et de la gratitude que je leur porte.

A mes sœurs Fawzia, Wahiba, Samira et son mari Miloud.

Et à la mémoire de ma sœur Hadjera et mon beau frère Haroun

A toute La famille Bensafi.

A tous mes ami(e)s sans exception, de loin et de près.

Et enfin à tous les étudiants de ma Promo spécialement mon binôme Rachid SIDHOUM



Ismail BENSAFI

Dédicaces

A mes parents qui ont veillés sur moi ; pour leurs soutiens et leurs sacrifices.

*A mes frères YOUNES et FAROUK qui m'ont soutenu avec toute la famille proche et lointaine sans oublier,
ma grand mère HABIBA.*

A tous ce qui ont rendu possible mes études et l'élaboration de ce mémoire.

*A mes collègues de l'université de Tlemcen en particulier ceux de ma promotion Bensafi I., Kentri T.,
Fekih N.H., Sardou B., Mebarki K., Tabahriti N., Hamouda S., Mehdid A., Taibi N., Bouragaa M. et
Mohamdi Z.*

A tous mes intimes.

Je dédie ce mémoire.

Rachid SIDHOUM

TABLE DES MATIERES

Avant-propos	1
Résumé	2

INTRODUCTION GENERALE

I. OBJECTIF	3
II. MATERIELS ET METHODES DE TRAVAIL	3
A. Matériels	3
1. Données satellitaires	3
2. Données géoscientifiques	3
B. Méthodes de travail	4

Chapitre I : NOTIONS DE BASE SUR LA TELEDETECTION

I. INTRODUCTION	5
II. PROCESSUS DE LA TÉLÉDÉTECTION	5
III. MÉTHODES DE TÉLÉDÉTECTION	6
A. Méthodes de pré-traitements	6
1. Les corrections radiométriques	6
2. Les corrections géométriques	6
3. Les corrections atmosphériques	6
B. Méthodes numériques de traitements	7
1. La composition colorée (trichromie)	7
2. Les filtres	8
3. La conversion RVB/ISV	8
4. L'Analyse en Composantes Principales (ACP)	9
5. La classification	9
C. Application de la télédétection en géologie	9

Chapitre II : CADRE GÉNÉRAL

I. GÉNÉRALITÉS GÉOGRAPHIQUES	11
A. Secteur d'El Kseibet	11
B. Secteur de Reggane	11
II. GÉNÉRALITÉS GÉOLOGIQUES	11
A. Secteur d'El Kseibet	12
1. Stratigraphie	12
a. Le Paléozoïque	13
a.1 Le Cambrien	13
a.2 L'Ordovicien	13
a.3 Le Silurien	13
a.4 Le Dévonien	13
b. Le Mésozoïque	14
➤ Le Crétacé inférieur	14
c. Le Cénozoïque	14
d. Le Quaternaire	14
d.1 Le Villafranchien	14

d.2	Le Pléistocène moyen	14
d.3	Le Pléistocène supérieur	14
d.4	L'Holocène	14
2.	Le Magmatisme	15
3.	La Tectonique	15
B.	Secteur de Reggane	15
1.	Stratigraphie	15
a.	Le Paléozoïque	15
a.1.	Le Cambrien	15
a.2.	L'Ordovicien	15
a.3.	Le Silurien	16
a.4.	Le Dévonien	16
a.5.	Le Carbonifère	17
b.	Le Mésozoïque	17
>	Le Jurassique	17
c.	Le Quaternaire	17
2.	Le magmatisme	17
3.	La tectonique	17

Chapitre III : APPLICATION

I.	INTRODUCTION	18
II.	APPLICATION AU SECTEUR D'EL KSEIBET	19
A.	Traitements	19
1.	La composition colorée	19
2.	L'analyse en Composantes Principales (ACP) et le RVB-ITS	21
3.	Les filtres	24
B.	Résultats	26
III.	ÉTUDE MINÉRALOGIQUE	29
A.	Traitements spécifiques des schlichs	30
B.	Résultats	32
IV.	APPLICATION AU SECTEUR DE REGGANE	37
A.	Traitements	37
1.	Composition colorée	37
2.	Analyse en Composante Principale	38
3.	La conversion RVB/ITS	40
4.	Les filtres	42
5.	La classification	46
B.	Résultats	47
	CONCLUSION GENERALE	49
	PERSPECTIVES	50
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	51
	LISTE DES FIGURES	54
	LISTE DES TABLEAUX	54



AVANT-PROPOS

Au terme de cette année d'étude, achevée par la rédaction de ce mémoire, nous tenons à remercier les personnes qui nous ont soutenus et qui ont contribué à sa réalisation.

Nos remerciements s'adressent à :

*Monsieur **Kamar eddine BENSEFIA**, Maître-assistant –A-, qui nous a proposé ce sujet, et assuré la tâche de rapporteur.*

*Monsieur **Abbas MAROK**, Maître de Conférences –A-, qui nous a toujours soutenus et qui a bien voulu accepter de présider ce jury.*

*Monsieur **Mustapha BENSALAH**, Professeur, qui nous a bien aidé et qui a bien voulu accepter d'examiner ce travail.*

*Madame **Fatiha HADJI**, Maître-assistant –A-, qui nous a encouragés durant notre cursus universitaire et qui a bien voulu examiner ce travail.*

On remercie aussi :

*Monsieurs **Ali KACEMI, Abdelkader BELMOUHOU, Toufik KHEDIM, Mustapha BENTCHOUK, Mustapha BENADLA, Choukri SOULIMANE et ADDOUM**, pour leur soutien moral et leur bienveillance.*

Nous tenant à remercier aussi l'ensemble des enseignants et le personnel du laboratoire du département des Sciences pour leur précieuse aide.

RÉSUMÉ

La position géo-structurale assez caractéristique des secteurs d'El Kseibat et de Reggane, entre le craton Ouest Africain et le bouclier Targui, a fait l'objet de plusieurs études géologiques de cartographie et de structurale. Ainsi la présente étude consiste à décrire les unités litho-structurales, morpho-structurales et la distribution spatiale des paléochenaux par l'exploitation des images Landsat 7 ETM+.

Dans cette optique, des traitements numériques tels que la composition colorée, les transformations (ACP et RVB-ITS), les convolutions et les classifications sont appliqués sur les images. D'autre part, une étude minéralogique sur des échantillons est effectuée.

En effet, les différents résultats de ces traitements permettent de déterminer les limites entre les différentes formations géologiques et d'établir une carte linéamentaire (NS, NNE-SSW et NE-SW) dans la région de Reggan. Par contre dans la région d'El Kseibat, l'étude minéralogique et les traitements donne un grain de pyrope, une carte de distribution des paléochenaux de directions NW-SE et une autre morpho-structurale.

Mots clés : El Kseibat, Reggane, Paléochenaux, Landsat 7 ETM+, Traitements numériques, Formations géologiques, Carte linéamentaire, Pyrope, Morpho-structurale.

Introduction Générale

I. OBJECTIF

L'intérêt de la télédétection pour l'exploration géologique dans les zones arides est devenu primordiale. Pour réaliser ce travail, des méthodes numériques de télédétection ont été réalisées sur des images satellites de type Landsat 7 ETM+.

Le but de ce travail de mémoire est de proposer d'une part, des méthodes permettant d'extraire des données géomorphologiques et géologiques de manière manuelle et automatique, à partir d'images de télédétection géoréférencées, visant ainsi à réduire le coût de la main d'œuvre de fabrication des cartes morphostructurales et lithostructurales en automatisant de manière de plus en plus conséquente cette tâche de numérisation de l'information.

En effet, ces traitements permettent de réaliser d'une part un essai de cartographie géologique dans la région de Reggane et une cartographie morpho-structurale et des paléochenaux dans la région d'El-Kseibet. D'autre part, ce travail est complété par une étude minéralogique (détermination des minéraux dans la région d'El kseibet).

II. MATERIELS ET METHODES DE TRAVAIL

A. Matériels

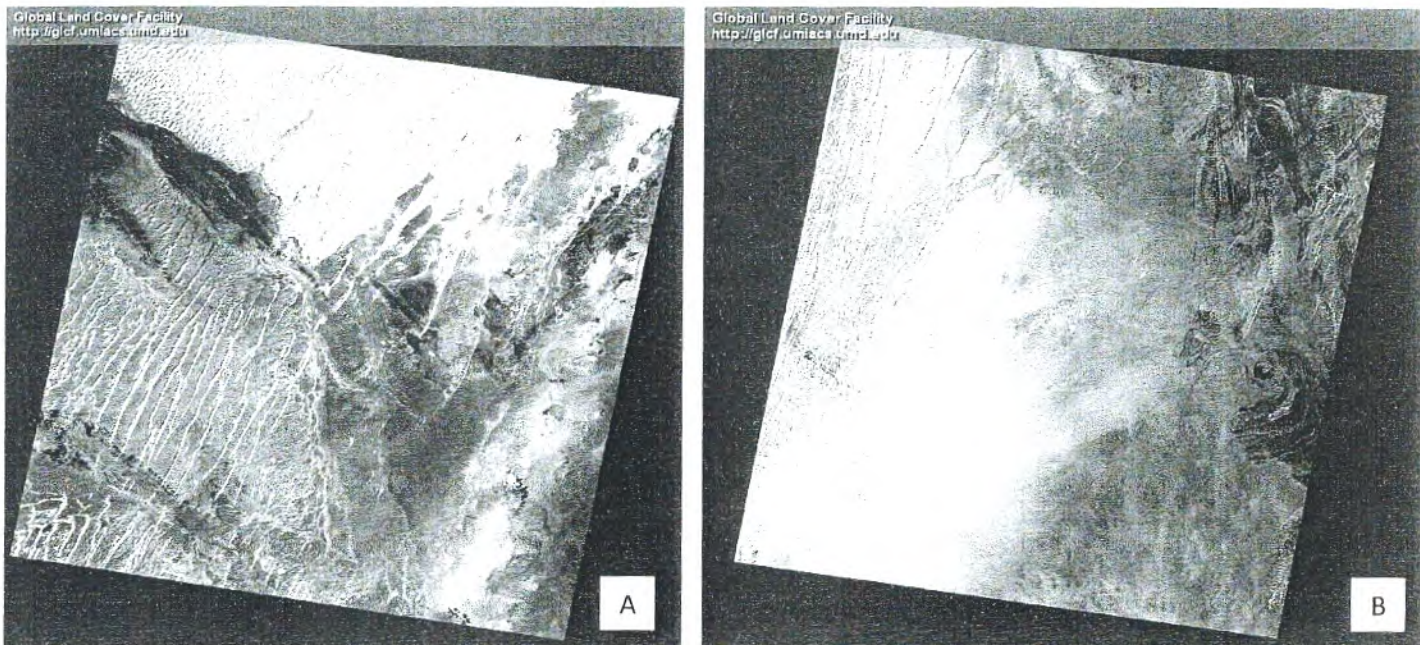
1. Données satellitaires

Les images Landsat 7 ETM+ utilisées sont des portions extraites des scènes 197-40 et 196-42 acquises le 02 avril 2005 de la région d'El Kseibet et de Reggane respectivement. Elles sont constituées par sept bandes multispectrales et une bande panchromatique, les bandes ETM1, 2, 3, 4, 5 et ETM7 offrent des images à 30m de résolution spatiale (au 1/100000ème), la bande ETM8 est à 15 m (1/50000ème) et enfin la bande ETM6 (infrarouge thermique) est à 120m. (Fig. 1).

2. Données géoscientifiques

Les données cartographiques utilisées dans cette étude est la carte topographique d'El Kseibet au 1/200.000ème sous forme numérique. Cette carte fut utile à la cartographie géologique par le recensement et la cartographie des paléochenaux. La carte géologique au 1/200.000ème de Reggane fut utile à la validation des résultats à caractères géologiques et structuraux.

Les travaux de télédétection ont été réalisés à l'aide du logiciel Envi 3.5, TNTmips et Mapinfo qui présentent des fonctionnalités multiples relatives au traitement des images; à la cartographie thématique et à l'extraction de l'information souhaitée.



A : Secteur d'El Kseibet

B : Secteur de Reggane

Figure 1 : Scènes Landsat 7 ETM+

B. Méthodes de travail

La méthodologie employée dans cette étude comprend deux sections : pré-traitement et traitements numériques des images Landsat 7 ETM+, et une étude minéralogique (région d'El Kseibet) (Fig. 2). Par la suite, les différents produits résultants de ces deux sections ont été utilisés pour la cartographie des paléochenaux, la détermination des minéraux dans la Hammada Chammar et enfin, un essai de cartographie géologique, dans la région de Reggane.

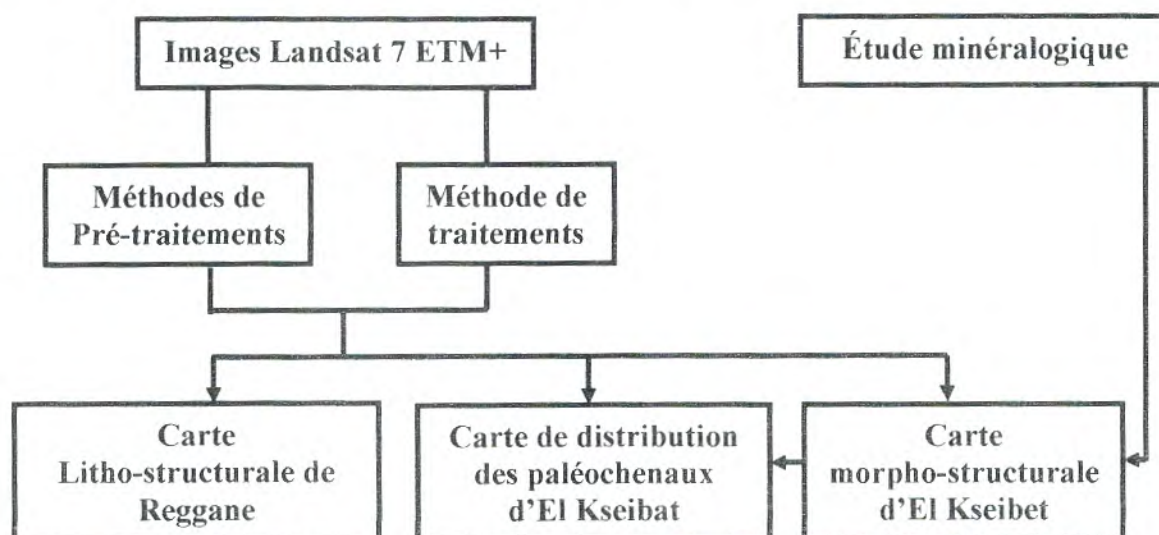


Figure 2 : Méthodes de travail.

Chapitre I

Notions de base sur la Télédétection

I. INTRODUCTION

La télédétection est l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci. *Télé* signifie "à distance" et *détection* veut dire "découvrir" ou "détecter" (d'après BONN F. et ROCHON G., 1992).

II. PROCESSUS DE LA TÉLÉDÉTECTION

Dans l'ensemble le processus comporte sept étapes (Fig. 3). Elles sont énumérées de la manière suivante :

1. Source d'énergie ou d'illumination (**A**) : à l'origine de tout processus de la télédétection se trouve nécessairement une source d'énergie pour illuminer la cible.
2. Rayonnement et atmosphère (**B**) : durant son parcours entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère. Une seconde interaction se produit lors du trajet 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 les propriétés de la surface.
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) pour être enregistrée.
5. Transmission, réception et traitement (**E**) : l'énergie enregistrée par le capteur est transmise souvent par des moyens électroniques à une station de réception. L'information est transformée en images (numériques ou photographiques).
6. Interprétation et analyse (**F**) : interprétation visuelle ou numérique de l'image traitée est nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible.
7. Application (**G**) : cette dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible (découvrir des nouveaux aspects ou résoudre un problème particulier).

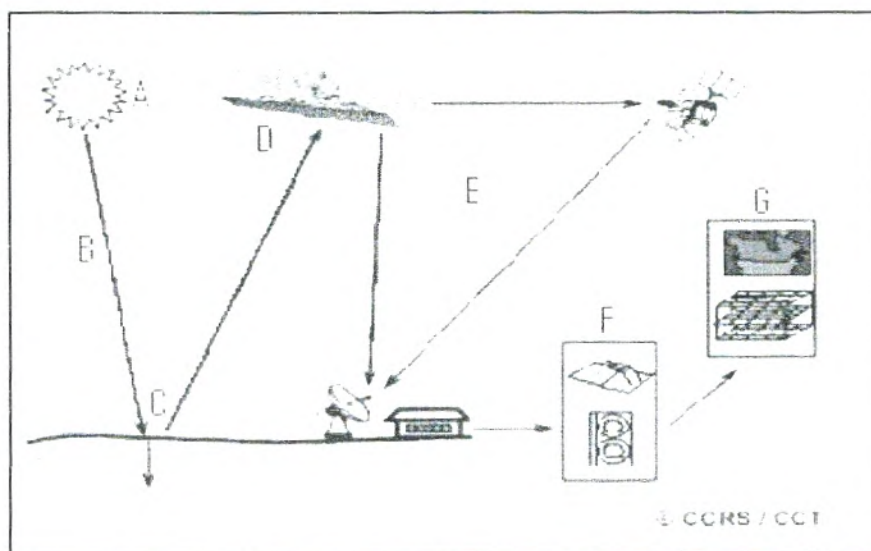


Figure 3 : Les Différentes étapes de la télédétection.

III. MÉTHODES DE TÉLÉDÉTECTION

A. Méthodes de pré-traitements

Les méthodes de prétraitements sont des opérations effectuées sur les images à la base de tous traitements de façon à les corriger ou les améliorer géométriquement et thématiquement. Il existe trois types de prétraitements :

1. Les corrections radiométriques

Les corrections radiométriques sont appliquées sur les images afin de réaffecter à chaque pixel une valeur radiométrique, plus proche que possible de celle mesurée sur le terrain (d'après BONN F. et ROCHON G., 2000).

2. Les corrections géométriques

Les corrections géométriques sont appliquées sur les images pour réduire les déformations géométriques intervenues lors de l'enregistrement de la scène :

- Les distorsions causées par l'environnement (courbure de la terre, variation d'altitude au sol, réfraction atmosphérique...).
- Les distorsions dues aux erreurs des systèmes de mesure.
- Les distorsions provenant des mouvements de la plate-forme.

Les corrections géométriques sont également utilisées pour projeter et géoréférencer les images.

3. Les corrections atmosphériques

Le signal lumineux mesuré par les capteurs d'un satellite traverse deux fois l'atmosphère terrestre, la première fois lors du trajet soleil-cible et la seconde lors du trajet cible-capteurs (Fig. 4).

Les corrections atmosphériques sont utilisées pour corriger les transformations que subit le rayonnement électromagnétique et sont dues aux propriétés physico-chimiques des deux composants majeurs de l'atmosphère terrestre : les gaz (oxygène, ozone, vapeur d'eau...) et les aérosols (poussières, pollens...) et cela lors des traversées de l'atmosphère (d'après GIRARD M.C. et GIRARD C.M., 1999).

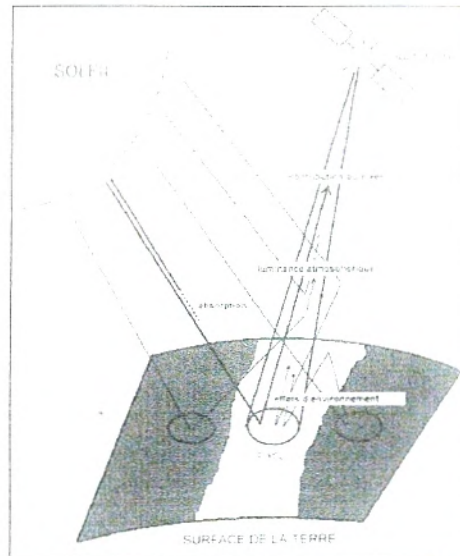


Figure 4 : Les effets de l'atmosphère sur le REM mesurés par les capteurs.

B. Méthodes numériques de traitements

1. La composition colorée (trichromie)

Toutes les couleurs sont formées par l'addition de la lumière des trois couleurs primaires additives : rouge, vert et bleu. En partant du noir, c'est-à-dire de l'absence de lumière on va afficher une couleur précise en ajoutant des quantités variables des lumières rouge, verte et bleue, chaque couleur est donc une combinaison singulière des trois couleurs primaires. L'addition des trois couleurs primaires à intensité maximale donne la couleur blanche. Ce procédé est appelé synthèse tri-chromique additive (Fig. 5).

La synthèse tri-chromique soustractive est le procédé inverse. Toutes les couleurs sont créées par la soustraction de la lumière des trois couleurs soustractives : cyan, magenta et jaune. En partant du blanc, c'est-à-dire de la lumière la plus intense, on va soustraire des quantités variables de lumières rouge, verte et bleue pour afficher une couleur précise (d'après MARION A., 1987).

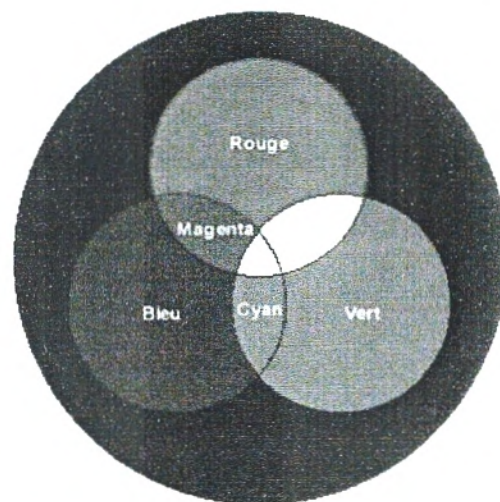


Figure 5 : La synthèse tri-chromatique additive.

La scène LANDSAT ETM+ est composée de 7 canaux inclus en tant qu'images à niveau de gris en simple bande. Ces bandes peuvent être combinées et affichées en utilisant trois canaux ; les couleurs se combineront en proportions différentes pour produire des couleurs distinctes.

La composition colorée s'obtient en affectant un canal à chacune des couleurs qui constitue l'image c'est-à-dire le rouge, le vert et le bleu. Si les canaux attribués correspondent à la vraie longueur d'onde de la couleur, l'image obtenue sera une image en couleur réelle.

2. Les filtres

Les filtres sont des analyses uni-variées c'est-à-dire des traitements ne portant que sur un seul canal. Ainsi, des filtres ou convolutions sont appliqués sur les images afin d'homogénéiser les images ou au contraire d'en rehausser les contrastes.

Le filtre passe-bas ou lissage consiste à éliminer les pixels « aberrants » qui forment le bruit de l'image ou les irrégularités locales. Ce traitement génère un effet de flou plus ou moins accentué en fonction des réglages. Il est par exemple possible de lisser une image en affectant à chaque pixel la valeur radiométrique moyenne de la somme de ses voisins.

Le filtre passe-haut utilisé pour produire l'effet inverse, c'est-à-dire rehausser les détails de l'image. Il est notamment utilisé pour accentuer les arêtes et ainsi mieux identifier les objets linéaires (réseau hydrographique, failles, filons...).

Le filtre directionnel permet de détecter les linéaments dans toutes les directions possibles. Les dimensions des filtres varient selon les longueurs des structures linéiques recherchées.

Le filtrage de SOBEL est un filtrage unidirectionnel, il détecte une seule direction car il est programmé sur les valeurs nulles qui correspondent à la direction des linéaments (Tab. 1), donc il montre juste les failles qui sont de même direction ; contrairement au filtrage LAPLACIEN qui permet de rehausser les contours dans toutes les directions à la fois (d'après MARION A., 1987).

Classes de direction											
NW-SE			N-S			NE-SW			E-W		
0	-1	-2	1	0	-1	2	1	0	1	2	1
1	0	-1	2	0	-2	1	0	-1	0	0	0
2	1	0	1	0	-1	0	-1	-2	-1	-2	-1

Tableau 1 : Différents filtres directionnels de SOBEL.

3. La conversion RVB/ISV

Elle correspond à la transformation d'une composition colorée (en RVB) en une composition colorée à partir des trois paramètres : **Intensité**, **Saturation** et **Valeur (ISV)** ou **HSV (Hue, Saturation, Value)**.

4. L'Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'Analyse en composantes Principales (ACP) est une opération effectuée sur plusieurs canaux dans le but d'améliorer la qualité des images, de supprimer les redondances d'informations et de compiler les données. Cette opération repose sur l'algorithme de la transformée de Karhunen-Loève, adaptée pour les images satellitaires par la transformée de Hotelling. L'objectif est de générer des axes ou composantes principales expliquant la position des individus au sein du groupe. Le résultat prend la forme de plusieurs nouveaux canaux, présentant un intérêt explicatif décroissant.

Pour les images multi-spectrales à plus de trois canaux, comme les données de la série LANDSAT (7 canaux) ou les données SPOT4 (4 canaux), l'intérêt est de pouvoir afficher l'ensemble de l'image. L'ACP permet de réduire le nombre des canaux à 3 de façon à les superposer grâce à la synthèse tri-chromique (d'après COULIBALY L., 1996).

5. La classification

La classification d'une image de télédétection consiste en une reconnaissance automatique des réflectances. L'algorithme utilisé pour classer l'image va effectuer des regroupements de pixels en fonction de leurs similitudes. Il est ainsi possible d'identifier automatiquement les différents thèmes d'une image (d'après DRURY S.A., 1986).

Les classifications sont divisées en deux catégories : les classifications non supervisées, c'est à dire complètement automatisées et les classifications supervisées où l'utilisateur définit un certain nombre de paramètres d'ordre spatiaux ou thématiques en entrée.

C. Application de la télédétection en géologie

Avant d'utiliser l'information que fournit la télédétection, le géologue doit tenir compte de plusieurs considérations (d'après MANSOUR M. et AIT BRAHIM L., 2005, ROCHERY M., 2005, BAGHDADI N., et *al.* 2005 et GOMEZ C., 2004) :

- La définition de l'application : Elle est indispensable pour le choix des données, des processus et des traitements utiles à l'application.
- La résolution et l'échelle requise : Selon l'information géologique demandée, une résolution minimale doit être requise (Marceau et *al.*, 1993). Une résolution de 30 ou 15m permet de limiter ou de différencier des ensembles lithologiques distincts mais ne permet pas la distinction entre des calcites et des dolomites dans un terrain carbonaté. Une résolution de moins de 5m est nécessaire pour une telle application.
- La couverture spectrale : Les différentes techniques de télédétection offrent des degrés différents d'information spectrale (Panchromatique : 1 bande, Multi-spectrale : 3 à 7 bandes et Hyper-spectrale plus de 224 bandes spectrales). Certaines données ne peuvent être accessibles avec les images panchromatiques et Multi-spectrales (la distinction entre deux niveaux minéralogiquement très semblables). Le Tableau 2 résume la longueur et la spécificité de chacune des bandes Multi-spectrales Landsat 7 ETM+.



L'interprétation des données de la télédétection consiste à (d'après GIRARD M.C. et GIRARD C.M., 1977, RIOPEL S. et *al.*, 2000, ROWAN L. et MARS J.C., 2003, ROY R. et *al.*, 2007) :

- Limiter et différencier certains ensembles lithologiques,
- Déterminer certains traits de la tectonique et la surveillance des failles actives,
- Mettre en évidence certaines anomalies (impacts météoritiques, cratère volcanique),
- Limiter et calculer la superficie des formations géologiques,
- Faciliter la cartographie géologique,
- Localisation de certains types des structures (filon, dyke, dune, structure circulaire),
- Vérification du dépôt de la surface (la subsidence, taux de sédimentation),
- Surveillance des risques géologiques,
- Gérer les exploitations minière et pétrolière.

Bande spectrale n°	Long. d'onde (µm)	Spécificité et objectif
1	0.45 - 0.52	Pénétration dans l'eau, matériaux en suspension, différenciation sol végétation ;
2	0.52 - 0.60	Vigueur de la végétation, révélateur secondaire de forte teneur en métal
3	0.63 - 0.69	Analyse structurale
4	0.76 - 0.90	Stress de la végétation induit par des phénomènes géologiques, détection des oxydes de fer
5	1.55 - 1.75	Indication de la teneur en eau des sols, cartographie des argiles, indicateur secondaire des altérations hydrothermales
6	10.40 - 12.50	Discrimination de certaines roches silicatées et non silicatées, contenu en eau des sols, analyse des stress de la végétation
7	2.08 - 2.35	Discrimination de certains minéraux tels que les argiles et les micas dans des niveaux silicatés, la kaolinite et la montmorillonite dans les sols

Tableau 2 : Caractérisation des différentes bandes spectrales des Images Landsat 7 ETM+ (d'après GUYOT G., 1984).

Chapitre II

Cadre Général

I. GÉNÉRALITÉS GÉOGRAPHIQUES

A. Secteur d'El Kseibet

Le secteur d'El Kseibet se trouve dans la partie du Sud-Ouest Algérien, sur le territoire de la wilaya d'Adrar, connue sous le nom de Gourara. Il est limité au Nord par le Grand Erg Occidentale, au Sud par la région de Touat, à l'Est par le plateau de Tadmaït et à l'Ouest par l'Erg Chech (Fig. 6).

B. Secteur de Reggane

Le secteur de Reggane se trouve aussi dans le territoire de la wilaya d'Adrar (Fig. 6), Il est limité au Nord par la région d'ouled Meriem, au Sud par la région de Tanezrouft, à l'Est par Aoualef El Arab et à l'Ouest par la région de Timadanine (Fig. 6).

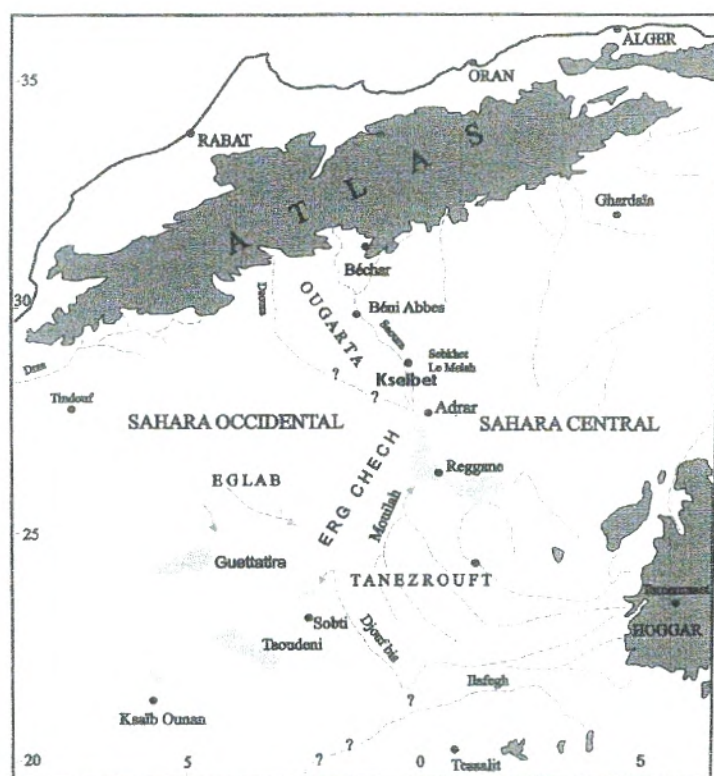


Figure 6 : Situation géographique des régions d'étude (d'après Chorowicz J. et Fabre J., 1996).

II. GÉNÉRALITÉS GÉOLOGIQUES

Les deux secteurs d'études sont situés sur la partie occidentale de la plateforme africaine. Ils sont compris entre deux zones différentes, à l'Est le bouclier Targui stabilisé au cours de l'orogénèse panafricaine, et qui fait partie des zones mobiles. A l'Ouest, le domaine stable depuis 2000 Ma (Bouclier Reguibat), qui fait partie du craton Ouest Africain (Fig. 7), stable depuis l'orogénèse Eburnéenne.

Ces deux domaines sont séparés par une zone d'accidents majeurs qui s'étend de l'Anti-Atlas, passe par la bordure Est de Tanezrouft, et se prolonge vers le Sud pour constituer la

zone de suture Panafricaine, entre le craton Ouest Africain à l'Ouest, et le bouclier Targui et la plateforme saharienne à l'Est. Ils présentent une structure de plateforme située sur une zone de suture entre le craton Ouest Africain et la plateforme.

La couverture sédimentaire est représentée par un soubassement antécambrien métamorphisé, des terrains paléozoïques plus ou moins plissés, et une couverture subhorizontale de dépôts du secondaire et du tertiaire, auxquels se superposent de vastes dépôts quaternaires. La plateforme est représentée par trois ensembles structuraux, infracambrien, paléozoïque et méso-cénozoïque.

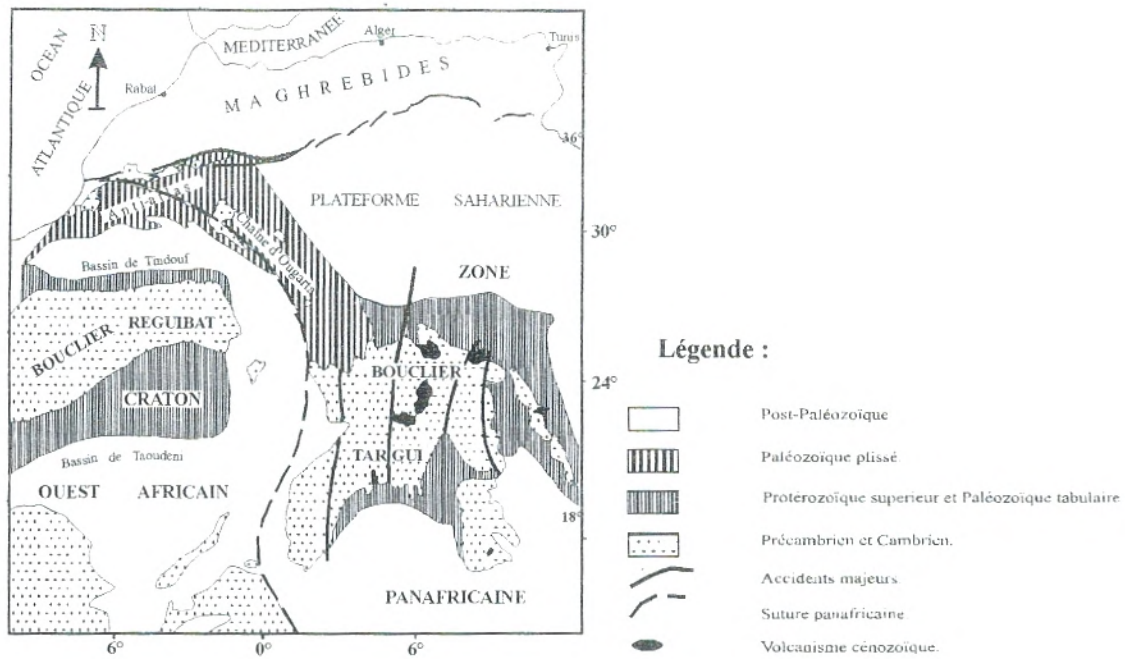


Figure 7 : Les grands ensembles géologiques du Sahara (d'après Fabre J., 1976).

A. Secteur d'El Kseibet

La géologie d'El-Kseibet est subdivisée en deux parties :

- La partie Nord, à prédominance d'affleurements du Paléozoïques qui constituent la terminaison des monts de la chaîne d'Ougarta,
- La partie Sud, caractérisée par des terrains méso-cénozoïques.

1. Stratigraphie

Les formations géologiques du secteur d'étude débutent par le Paléozoïque (Cambrien) et se terminent par le Quaternaire.

a. Le Paléozoïque

a.1. Le Cambrien

La base est déterminée par une discordance angulaire sur le Précambrien. La limite supérieure est marquée par une dalle à lingule absente dans le secteur d'El-Kseibet.

➤ Formation d'Aïn Néchéa inférieur

Les dépôts de cette formation, sont attribués au cambrien moyen, et sont représentés essentiellement par des grès mal classés, grossiers, à conglomératiques, présentant des stratifications obliques.

Dans le secteur d'El-Kseibet, l'épaisseur de la coupe croît du Sud-Est (120 à 130m) au Nord-Ouest (320 à 350m).

➤ Formation d'Aïn Néchéa supérieur

Elle est attribuée au Cambrien supérieur, et composée de grès quartziques à grains fins et moyens à tigillites, intercalés de minces lits de microconglomérats d'épaisseur centimétrique, et qui varie de 110 à 150m.

a.2. L'Ordovicien

Il repose en discordance stratigraphique sur le Cambrien moyen. Les formations ordoviciennes affleurent sur le flanc ouest de l'anticlinal de Djebel Heche, sur une longueur de 12km.

Les formations de l'Ordovicien, commencent par une couche de conglomérats monogéniques d'environ 10cm d'épaisseur, surmontés par les sédiments argilo-silteux de la formation de Foum-Tinéslem et par des grès de Kheneg-El-Aatène.

a.3. Le Silurien

Il affleure sur le flanc Ouest de l'anticlinal de Djebel - Heche ainsi qu'au Sud-Est de cette structure, entre l'Erg-El-Aatchane et l'Erg Moulay-Mohammed.

Le Silurien se caractérise par des argiles à graptolites transgressives sur l'Ordovicien, il est représenté de schistes noirs et des dépôts argilo-carbonatés.

a.4. Le Dévonien

Les formations de cet âge forment de grands affleurements dans la partie Nord de la région d'El-Kseibet. Elles sont de nature argileuse, argilo-gréseuse et argilo-silteuse dans les régions de Saheb-El-Djir, Zemlet, Merhouma. Autres affleurements isolés de moindre importance, apparaissent au centre du secteur.

b. Le Mésozoïque

➤ Le Crétacé inférieur

Le Crétacé inférieur porte le nom du Continental Intercalaire. Ses dépôts sont détritiques, et composés de conglomérats, de grès, d'argiles de couleur rouge à blanc rose et à stratification entrecroisée. Ces derniers reposent en discordance sur les dépôts du Carbonifère et des Jurassiques et recouvert par les dépôts du Cénozoïque sous forme de petits affleurements isolés dans la partie orientale et méridionale.

c. Le Cénozoïque

Les dépôts cénozoïques sont largement répandus dans le secteur d'étude, Ils sont prédominants dans la partie occidentale et centrale (Oued Messaoud), tandis qu'au Nord, ils ne forment que des terrains assez restreints.

Le Tertiaire est tabulaire sur tous les terrains précédents. Il forme, soit d'immenses hamadas, ou des buttes témoins. Ils se rencontrent dans la partie centrale et Sud-Est.

Les formations néogènes se composent de dépôts fluvio-lacustres, Le Néogène forme les couches les moins épaisses dans la Hammada Chammar.

d. Le Quaternaire

Le Quaternaire a fait l'objet de plusieurs études.

Conrad G. en 1969, a subdivisé le Quaternaire en quatre termes litho-stratigraphiques :

d.1. Le villafranchien

Il affleure dans la partie Ouest et Sud-Ouest d'El-Kseibet, sur la bordure occidentale de l'Oued El-Tseibat (à l'Ouest de l'Oued Messaoud).

Les dépôts du Villafranchien reposent en discordance sur les terrains d'âge précédent. Ils sont représentés par des dépôts fluviaux, des grès et conglomérats de 2 à 5m d'épaisseur, intercalés de calcaires gréseux et de marnes dont l'épaisseur ne dépasse pas les 10m.

d.2. Le Pléistocène moyen

Il caractérise la partie centrale et Sud-Est du secteur, Il est composé par des dépôts alluvionnaires, congloméro-gréseux de terrasses de l'Oued Messaoud.

d.3. Le Pléistocène supérieur

Le Pléistocène supérieur est composé d'une série de dépôts alluviaux sableux en terrasses, sur les bordures de l'Oued Messaoud et les dépôts évaporitiques des sebkhas.

d.4. L'Holocène

Il est représenté par des sables éoliens formant les cordons dunaires, recouvrant les parties Ouest, Nord-Est et centrale d'El-Kseibet.

2. Le Magmatisme

Les roches magmatiques dans la région d'El-Kseibet, sont faiblement répandues; des affleurements d'andésite à Foum El-Kheneg, des dykes basiques d'andésito-basaltes et gabro-diorites, de direction ougartienne, sont encaissées dans les formations du Cambrien. Ainsi qu'une présence de monzonites qui se sont exprimées en dykes de direction N 140°.

Plusieurs corps magmatiques basiques ont été décelés à l'aide des levés magnétiques dans trois endroits à une profondeur de moins de 220m (Gara Roumbo, Djebel-Heche et la vallée de la Saoura) (TOUAHRI *et al.*, 1996).

3. La Tectonique

Des travaux géophysiques dans la région d'étude ont montré le passage et la continuité des failles profondes de directions NW-SE.

Deux types de tectonique subsistent, une plicative affectent les séries volcano-sédimentaires du Protérozoïque affleurant à Sebkhet El Mellah et formant une structure anticlinale orientée NW-SE (le seul affleurement dans la région), et une autre cassante caractérisée par des failles formant un système perpendiculaire (NW-SE et SW-NE), et des failles très abondantes dans les zones de charnières d'anticlinaux et qui sont recouvertes par des dépôts récents. Les failles visibles, ont des directions N-S et E-W. Leur rejet varie de un à quelques dizaines de mètres.

B. Secteur de Reggane (Fig. 8)

1. Stratigraphie

a. Le Paléozoïque

a.1. Le Cambrien

Les formations de cet âge sont discordantes sur le socle antécambrien. Elles sont formées d'une puissante assise de roches terrigènes et carbonatées.

Les dépôts du Cambrien sont largement répandus dans les parties marginales de la dépression de Reggane. A la hauteur de Bled El Mass, le Cambrien débute par des grès grossièrement grenus, à petits galets qui évoluent vers des grès rubéfiés, ferruginisés, des quartzites et des schistes grès-argileux.

Son épaisseur atteint 300m, et diminue vers le Sud du bassin de Reggane pour atteindre 70 m (d'après les forages pétroliers).

a.2. L'Ordovicien

Dans le bassin de Reggane, les dépôts ordoviciens sont représentés par un ensemble grès-argileux. Ce dernier présente une épaisseur maximale de 550m au centre du bassin et diminue progressivement en allant vers le Sud.

a.3. Le Silurien

Ces dépôts sont largement développés dans la région. Ils sont composés de deux séries lithologiques différentes, une série inférieure grès-argileuse et l'autre supérieure argileuse.

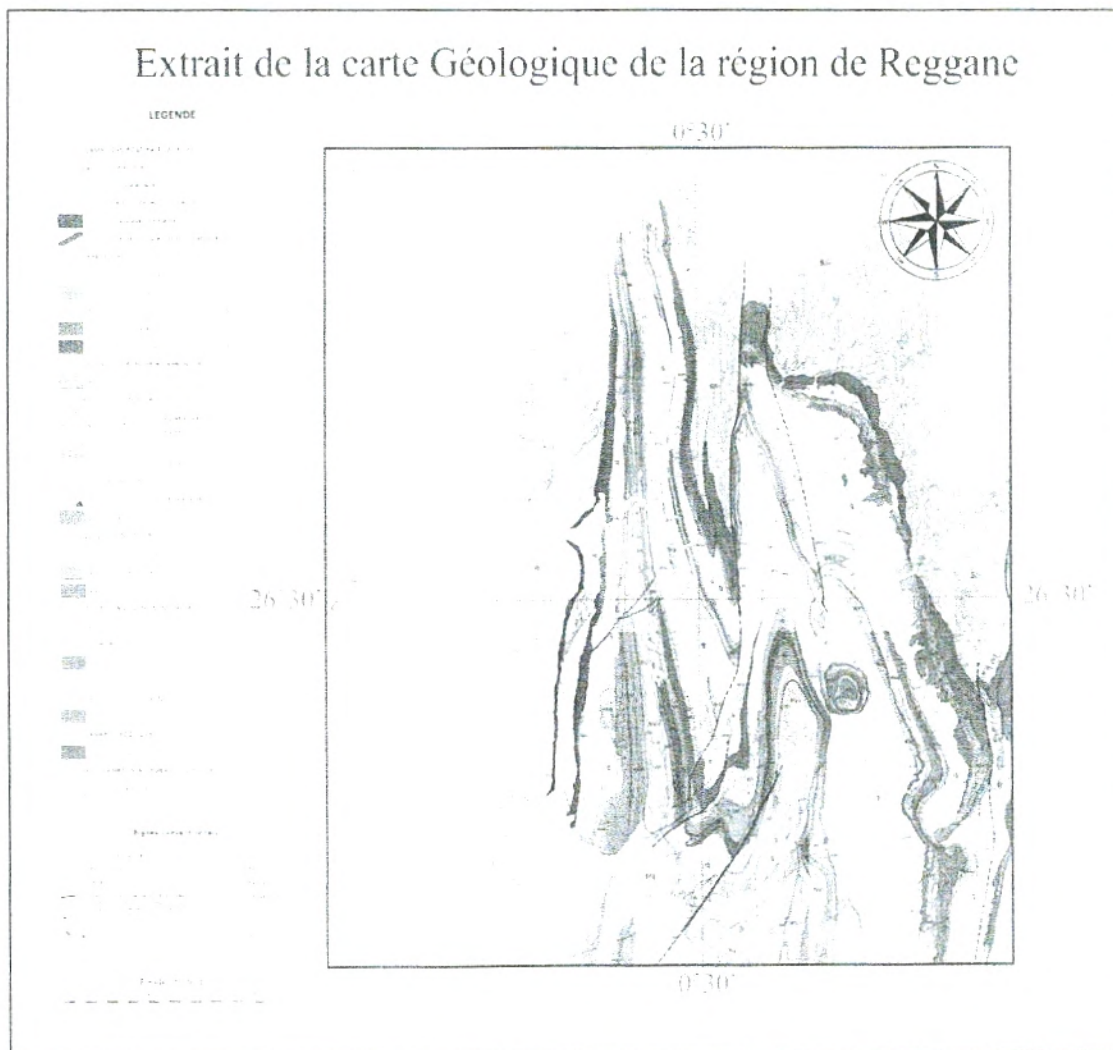
a.4. Le Dévonien

Dans la région de Reggane. Les dépôts de cet âge se divisent en trois étages (inférieur, moyen et supérieur) qui ont été mis à jour par les sondages,

Le Dévonien inférieur est constitué d'argilite à rares intercalations gréseuses, silteuses et calcareuses.

Le Dévonien moyen se caractérise par une prédominance de terrains argileux intercalés de grès et de calcaires.

Le Dévonien supérieur est représenté par des argilites bariolées, avec de rares interlits de calcaires biogènes et de minces intrusions interstratifiées de nature doléritique.



Échelle 1/200 000^{ème}
Figure 8 : Extrait de la carte Géologique de Reggane.

a.5. Le Carbonifère

Il est très répandu dans le secteur de Reggane. Le Tournaisien et le Viséen sont caractérisés par un faciès marin, alors qu'à partir du Namurien, la sédimentation est typiquement lagunaire, et continentale. Le Tournaisien est représenté par un ensemble grès-argileux intercalé de couches gréseuses recoupées par des intrusions doléritiques interstratifiées. On note la présence de Gastéropodes dans les interlits de grès calcaireux.

b. Le Mésozoïque

➤ Le Jurassique

Il est représenté par le Lias, le Dogger et le Malm. Le Lias est évaporitique, son épaisseur variable peut atteindre 200m. Le Dogger affleurant dans presque toute la zone septentrionale, est représenté par des argilites, aleurolites, sables et grès. Son épaisseur est de 300m, au Nord de Reggane, et se biseaute progressivement au sud. Le Malm est constitué d'une alternance d'aleurolites et d'argiles, avec des intercalations de faciès à graviers, galets et grès.

c. Le Quaternaire

Les formations de cet âge sont répandues dans la région, où elles occupent les cuvettes de déflation siluriennes orientales, centrales et occidentales.

Le quaternaire repose sur les terrains infracambriens, paléozoïques et crétacés.

Il est représenté essentiellement par des schistes argileux fortement altérés, des galets, des graviers, des sables de couleur grisâtre, par endroits rougeâtre (oxydé) et des argiles marron. Son épaisseur ne dépasse pas les dix mètres.

2. b. Le magmatisme

Dans le secteur de Reggane, les dolérites affleurantes, intrudent les formations paléozoïques et plongent sous ceux du Jurassique. Les sills et les dykes doléritiques sont représentés par des dykes et filons peu épais associés aux failles disjonctives orientées Nord Est.

3. c. La tectonique

Dans le secteur d'étude, les roches du socle et de couverture sont affectées par une série de failles subméridiennes et sublatitudinales.

Chapitre III

Application

I. INTRODUCTION

L'application de la télédétection dans les secteurs d'El Kseibet et de Reggane est réalisée par les méthodes numériques de télédétection les plus représentatives. Ces derniers seront complétés par une étude minéralogique dans le secteur d'El Kseibet (Fig. 9).

Dans le secteur d'El Kseibet plusieurs minéraux accompagnateurs de diamant ont été identifiés (d'après ALLEK K., 2005 et BENSEFIA K.E., 2005).

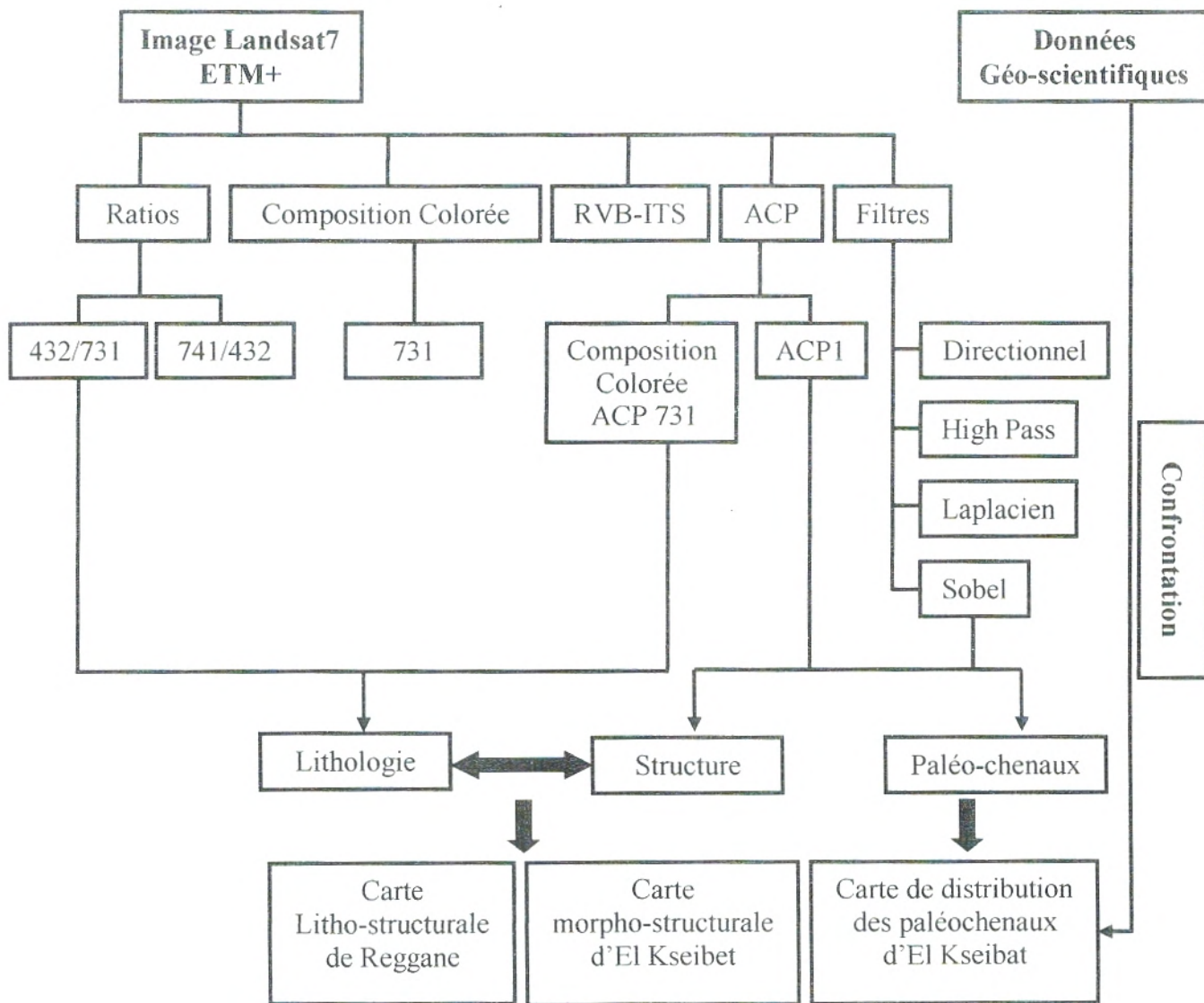


Figure 9 : Étapes de Traitements des images Landsat 7 ETM+.



II. APPLICATION AU SECTEUR D'EL KSEIBET

A. Traitements

1. La composition colorée

La composition colorée en fausse couleur (ETM 7, ETM 3 et ETM 1 respectivement dans les canaux : Rouge, Vert et bleu) est une méthode très utilisée pour le tracé des paléochenaux et la cartographie des principales unités morphologiques et structurales (d'après CERVELLE B. *et al.*, 1977).

En effet, les paléochenaux apparaissent en couleur noire et bistre dans la Hammada Chammar et bleu claire à l'Est de Djebel Héche. D'autre part, le développement de l'Erg Chech à l'Ouest a rendu le tracé des paléochenaux difficile (Fig. 10).

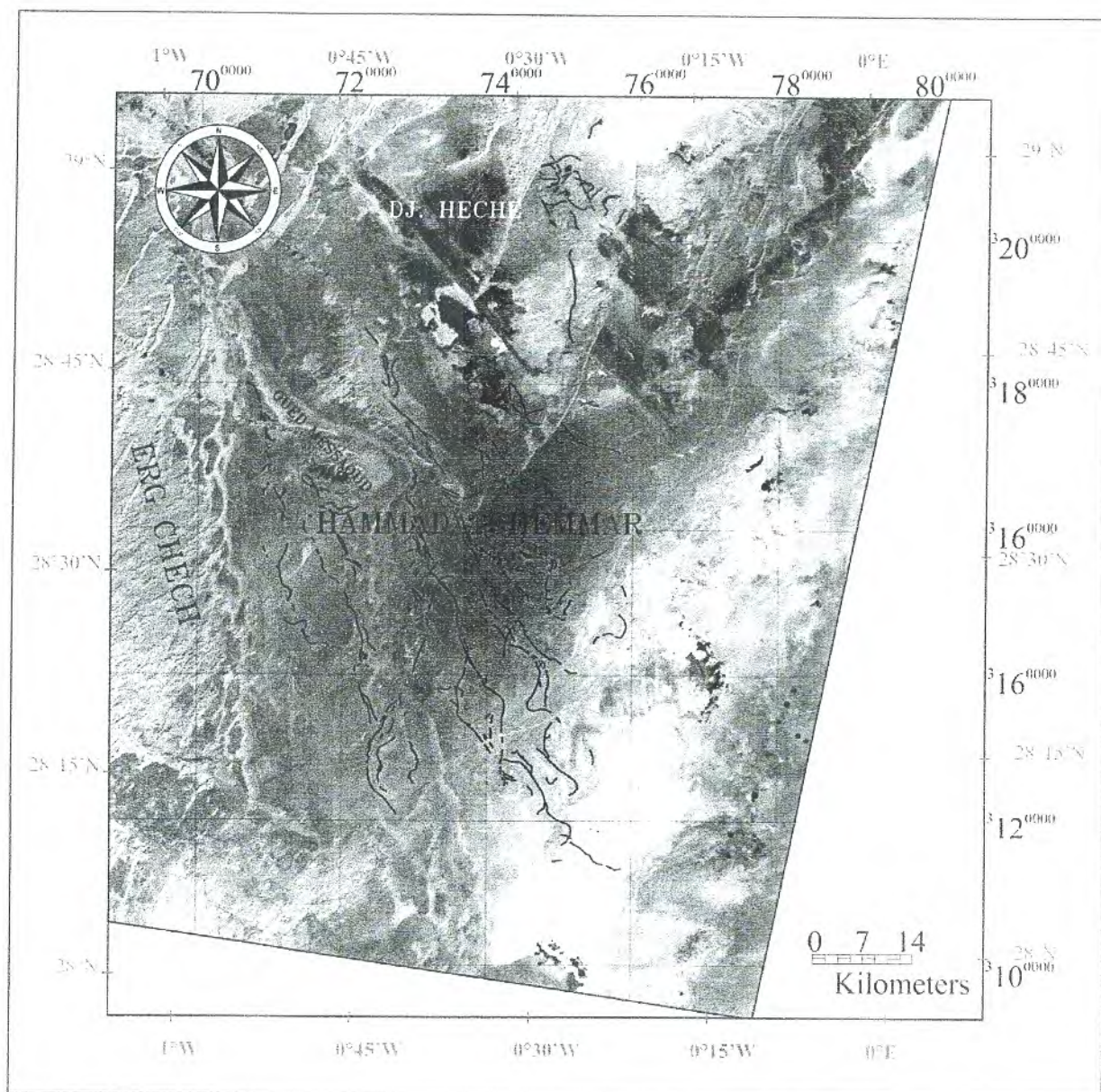


Figure 10 : Distribution des paléochenaux dans le secteur d'El Kseibet par composition colorée (731).

Au nord du secteur d'étude, nous pouvons déceler d'une part, plusieurs axes morpho-structuraux (axe anticlinaux et synclinaux). D'autre part, nous pouvons aussi identifiés des limites des faciès tracées sur la base des discontinuités images dans les terrains Paléozoïques et des contacts anormaux entre le paléozoïque du Djebel Héche et les terrains Plio-Quaternaire (Fig. 11).

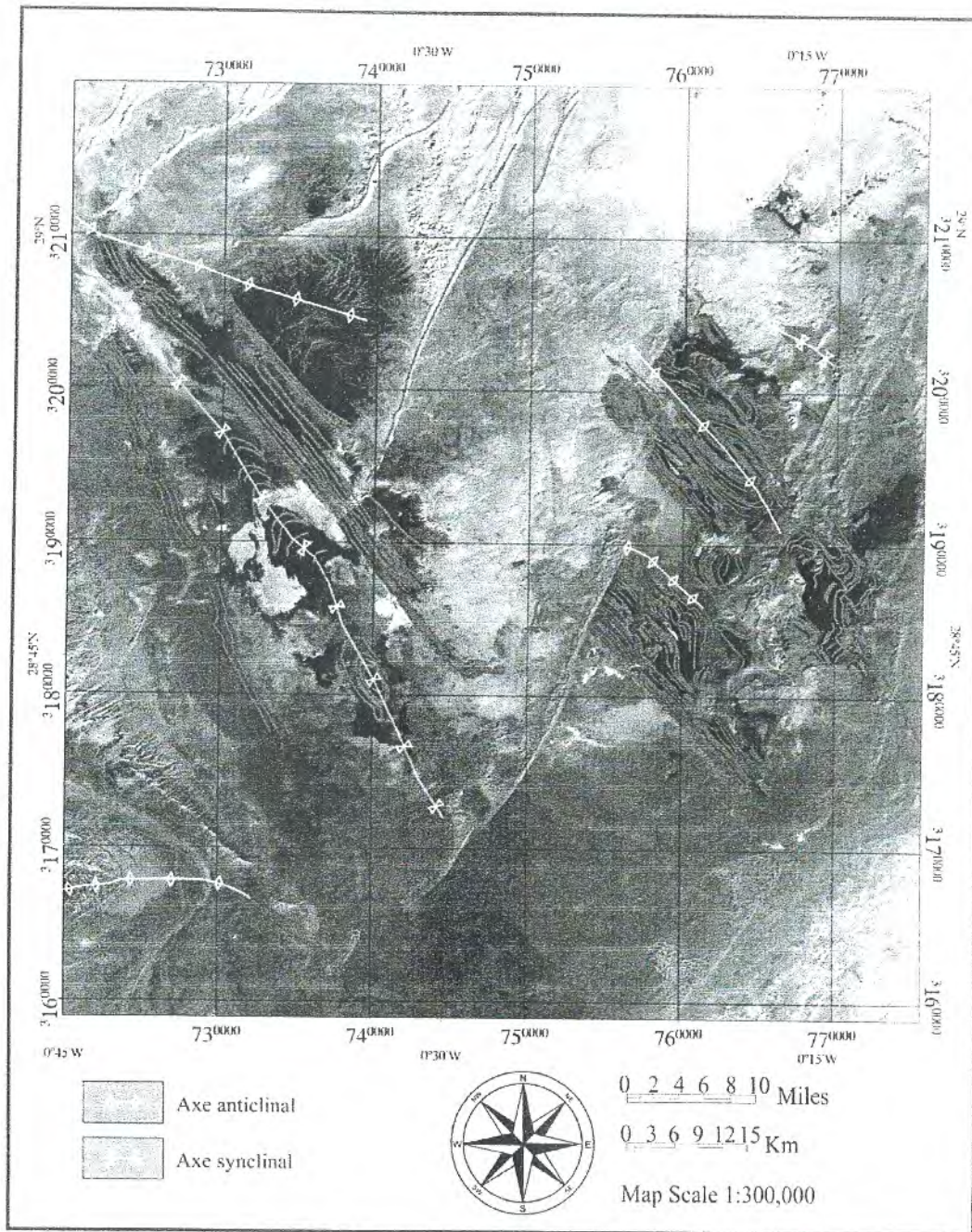


Figure 11 : Carte morpho-structurale de Djebel Hache par composition colorée(731).



2. L'analyse en Composantes Principales (ACP) et le RVB-ITS

L'analyse en composante principale (ACP) permet de réduire l'information contenue dans plusieurs bandes, hautement corrélées en un nombre restreint de composantes (d'après Coulibaly L., 1996). Parfois l'information comprise dans 5 ou 6 bandes est réduite par cette analyse en seulement 3 composantes (Fig. 12 et 13).

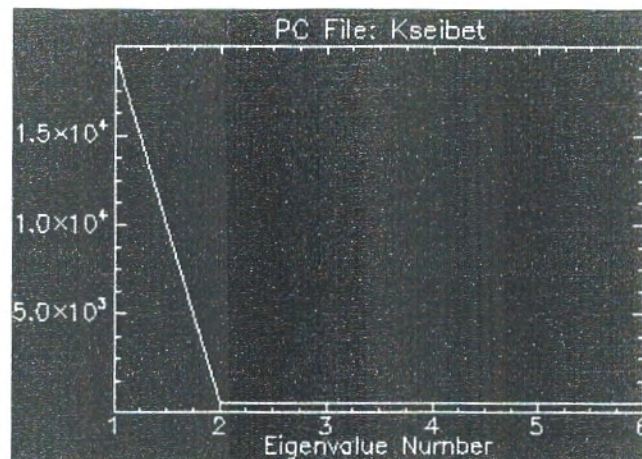


Figure 12 : Analyse en composante principale des six bandes Landsat ETM+ Du secteur d'El Kseibet.

En effet, les canaux permettent de créer des compositions colorées qui constituent un excellent produit d'interprétation visuelle, augmentant ainsi le contraste entre les divers objets au sol. Vu leur bonne qualité, nous avons décidé d'utiliser les trois premières Composantes (CP1, CP2, CP3).

En ce qui concerne la conversion RVB-ITS, trois paramètres ont été combinés dans la composition colorée en fausses couleurs (731) avec l'intensité, la teinte et la saturation. Le choix des compositions colorées est très important pour réaliser cette conversion.

Les paléochenaux affleurent dans la Hammada Chemmar et à l'Est de Djebel Héche avec des couleurs foncés par rapport à la lithologie, bleu foncé pour la Hammada Chemmar et Marron à jaune à l'Est de Djebel Héche. Ces méthodes s'avèrent très utile et confirme les résultats de la composition colorée (Fig. 14 et 15)

En ce qui concerne la cartographie morpho-structurale, l'ACP et le RVB-ITS permettent une bonne discrimination des faciès du Paléozoïque (Djebel Héche) et la cartographie des axes anticlinaux et synclinaux dans le secteur par rapport a la méthode précédente.

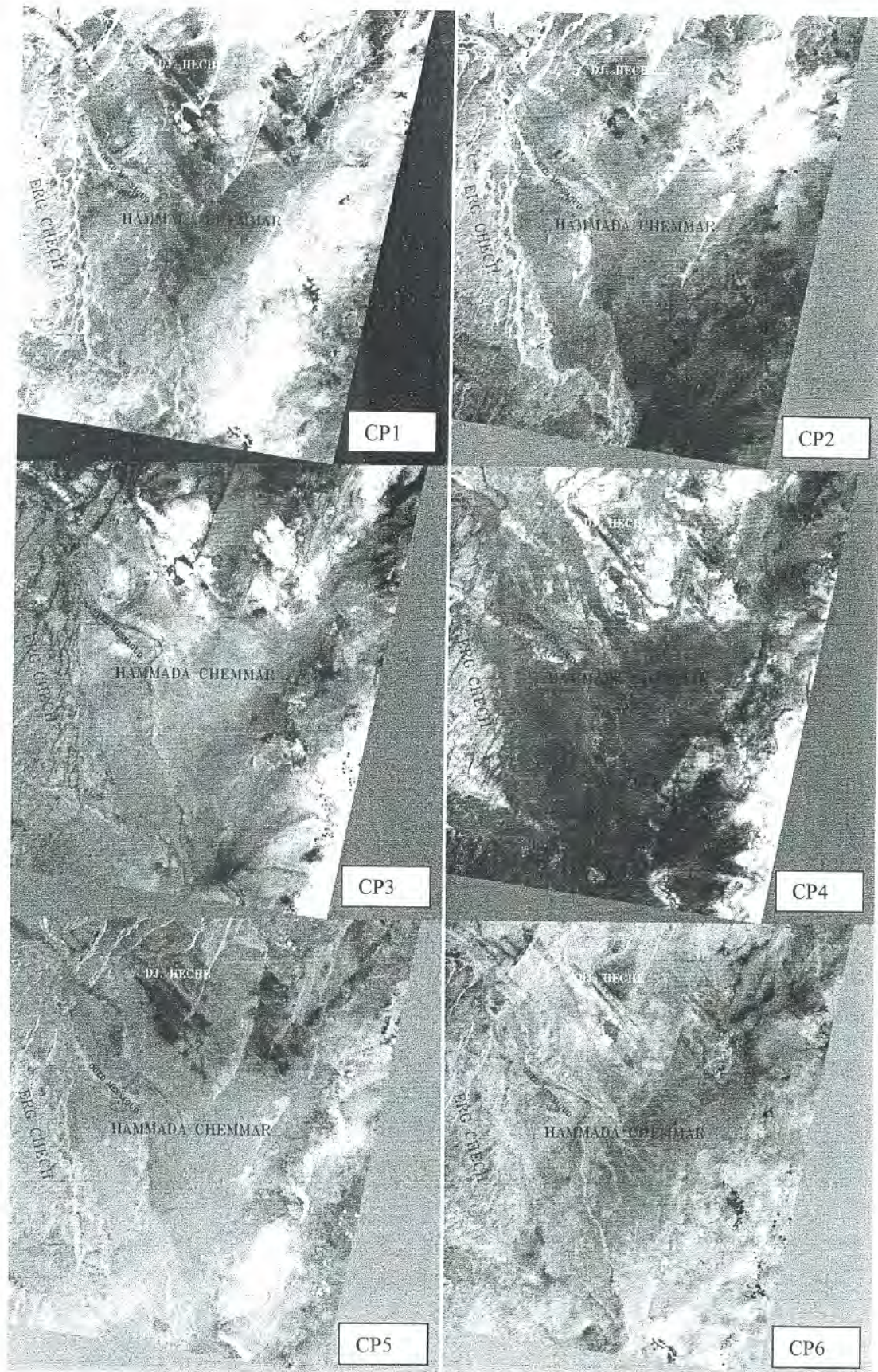


Figure 13 : Images des six bandes d'ACP Landsat ETM+ dans le secteur d'El Kseibet.

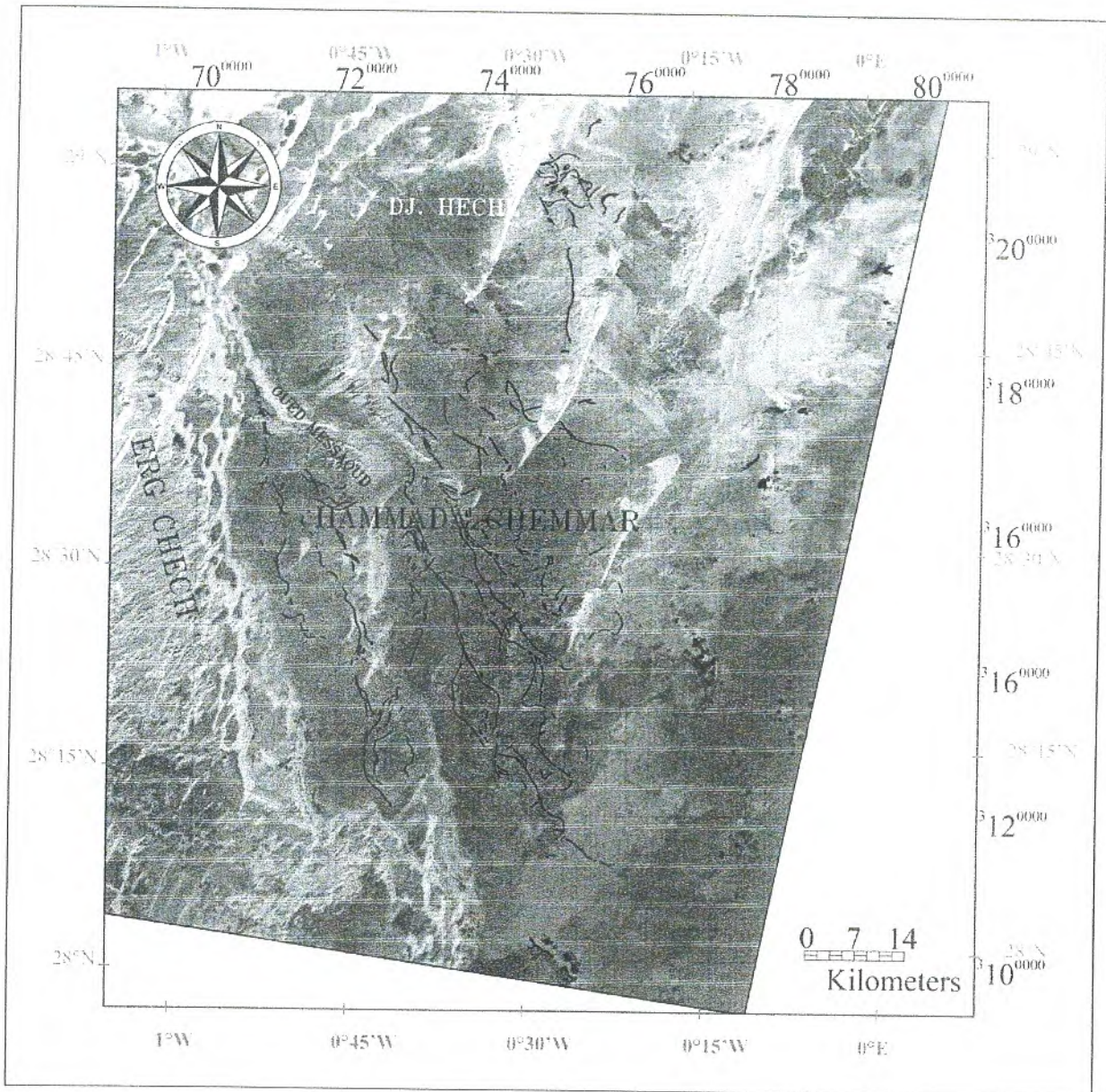


Figure 14 : Composition colorée des Bandes CP1, CP2 et CP3.

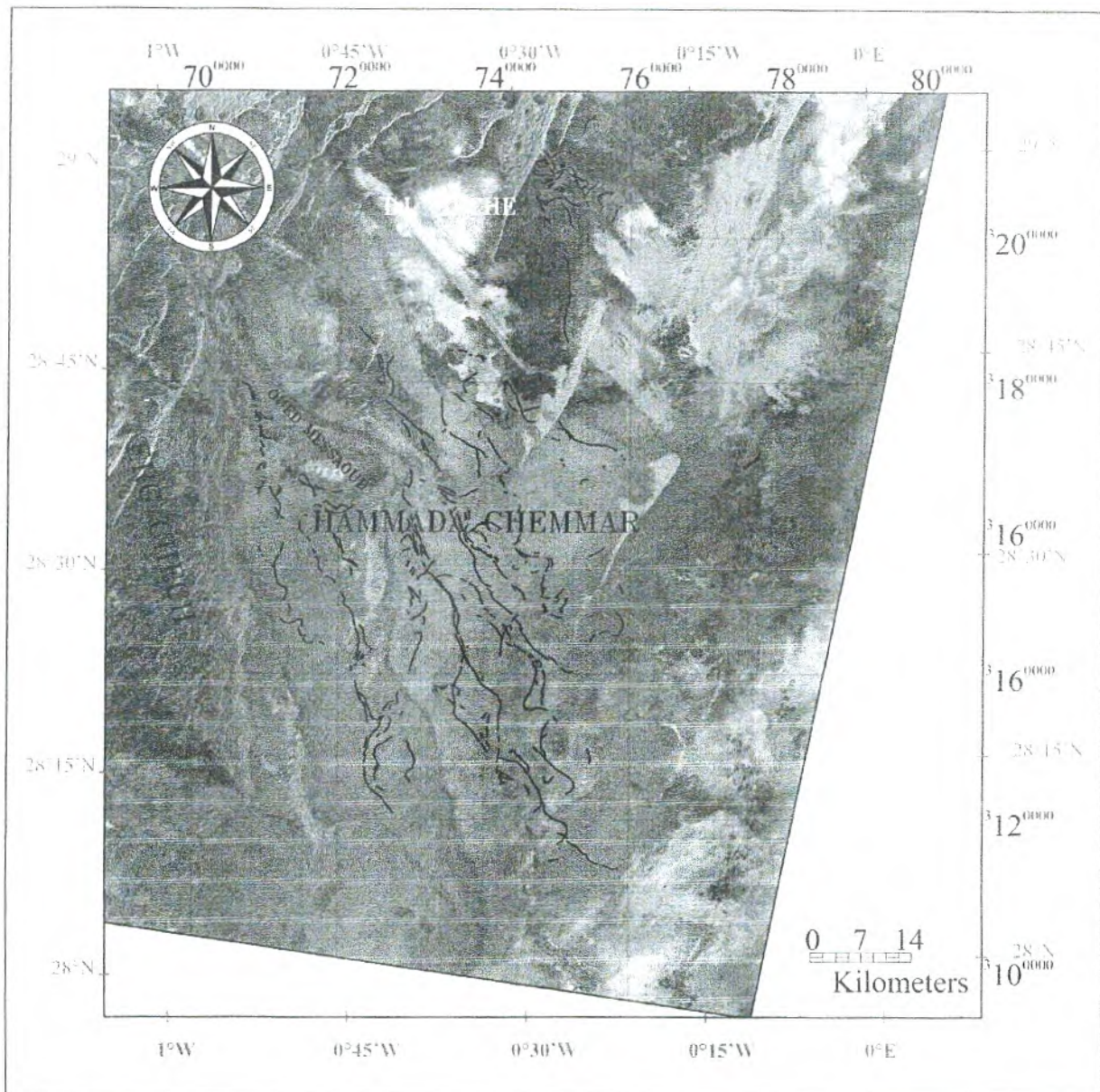


Figure 15 : Images satellite RVB /ITS des bandes (4, 3, 2).

3. Les filtres

L'application des filtres dans l'image du secteur d'El Kseibet sert d'une part à identifier les paléochenaux dans la Hammada Chemmar et à l'Est de Djebel Heche, et d'autre part, tracer les axes anticlinaux et synclinaux sur les unités morphologiques qui affleurent au Nord du secteur.

L'extraction de ces éléments structuraux est effectuée par l'application de plusieurs filtres (quatre filtres directionnels et des filtres High Pass, Laplacien et Sobel). Seuls les filtres jugés utiles seront présentés.

Les filtres directionnels seront appliqués sur l'image avec une matrice de convolution (3x3). Cette dernière, prend en considération des directions de 0°, 45°, 90° et 135° représentant respectivement les directions N-S, NE-SW, E-W et enfin NW-SE pour détecter les structures géologiques et géomorphologiques dans toutes les directions possibles (Fig. 16).

En effet, l'application des filtres directionnels et sobel (Fig. 16 et 17) a permis une très bonne identification des paléochenaux dans le secteur d'El Kseibet. Cependant, l'application des filtres Pass haut (7x7) et Laplacien (7x7) s'avère difficile dans ce genre de cartographie.

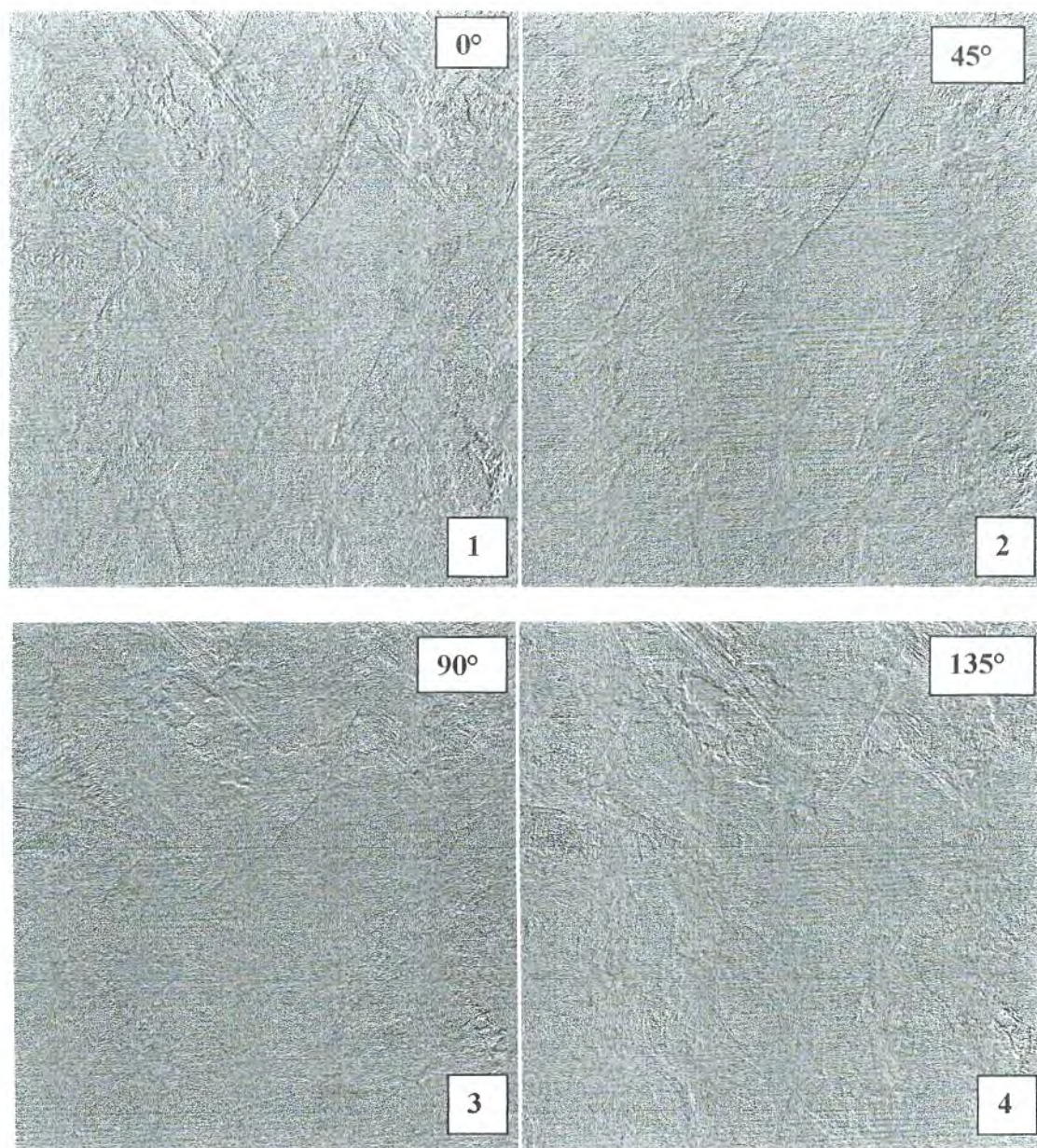


Figure 16 : Filtres Directionnels.



Figure 17 : Filtre Sobel

B. Résultats

La cartographie des paléochenaux dans la Hammada Chemmar par télédétection a permis d'une part, de déterminer deux directions différentes dans le secteur, l'une NW-SE dans la Hammada Chemmar et l'autre NE-SW à l'Est de Djebel Héche. D'autre part, la distribution spatiale de ces paléochenaux est très importantes dans la Hammada Chemmar et qui représente plus de 90% des paléochenaux du secteur (Fig. 18).

Par contre, la cartographie morphostructurale au Nord du secteur d'étude a mis en évidence après réalisation d'une modélisation en 3D (Fig. 19) :

- Cinq axes anticlinaux dont le plus important est de l'ordre de 14km à Djebel Héche, les autres sont situées à l'Est et au SW de ce dernier.
- Un axe synclinale d'environ 40km à Sebkhath Feguaguira de direction NW-SE.
- Des discontinuités images dans les terrains Paléozoïques et un contact anormal à Gara Rombo, long de plus de 80km entre le Paléozoïque du Djebel Héche et les terrains plio-quadernaire (Fig. 20).
- Une disharmonie à l'Est de Djebel Héche, ces plis affectent le Siluro-Dévonien (d'après HERVOUET Y. et DUEE G., 1996).

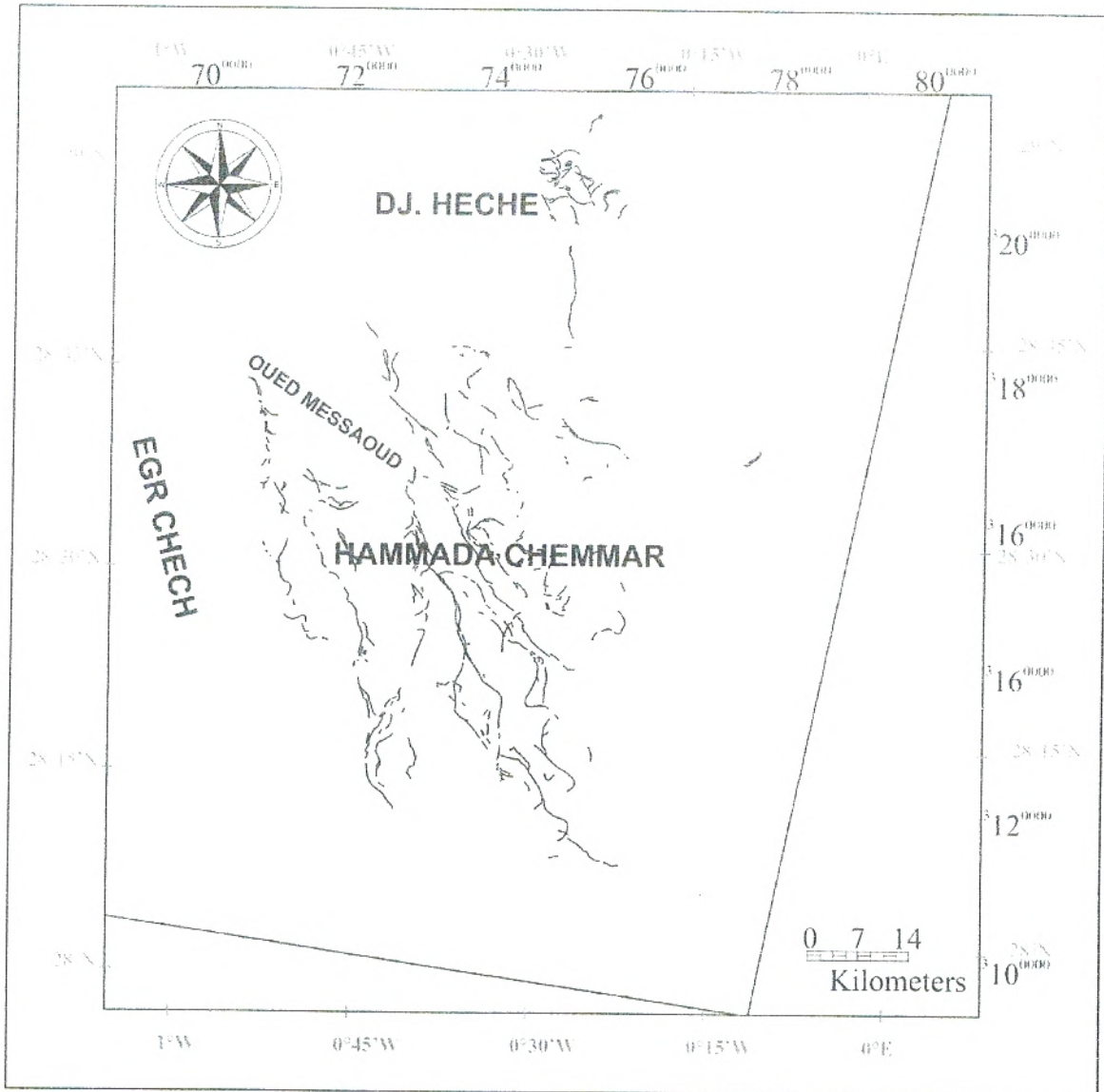


Figure 18 : Cartographie des paléochenaux dans le secteur d'étude.

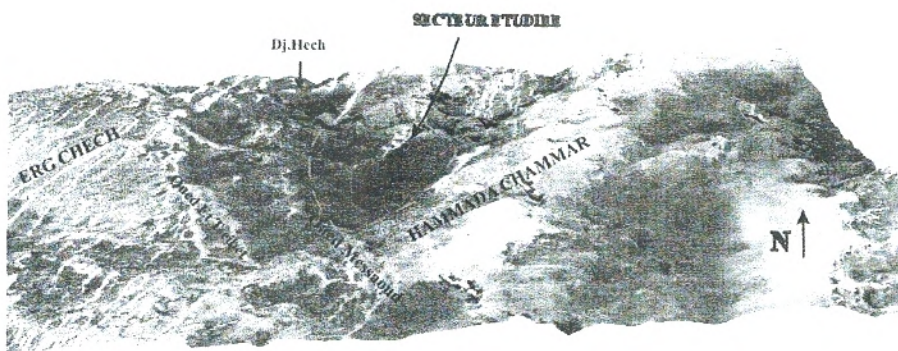


Figure 19 : Image Landsat ETM+ en 3D du secteur d'étude

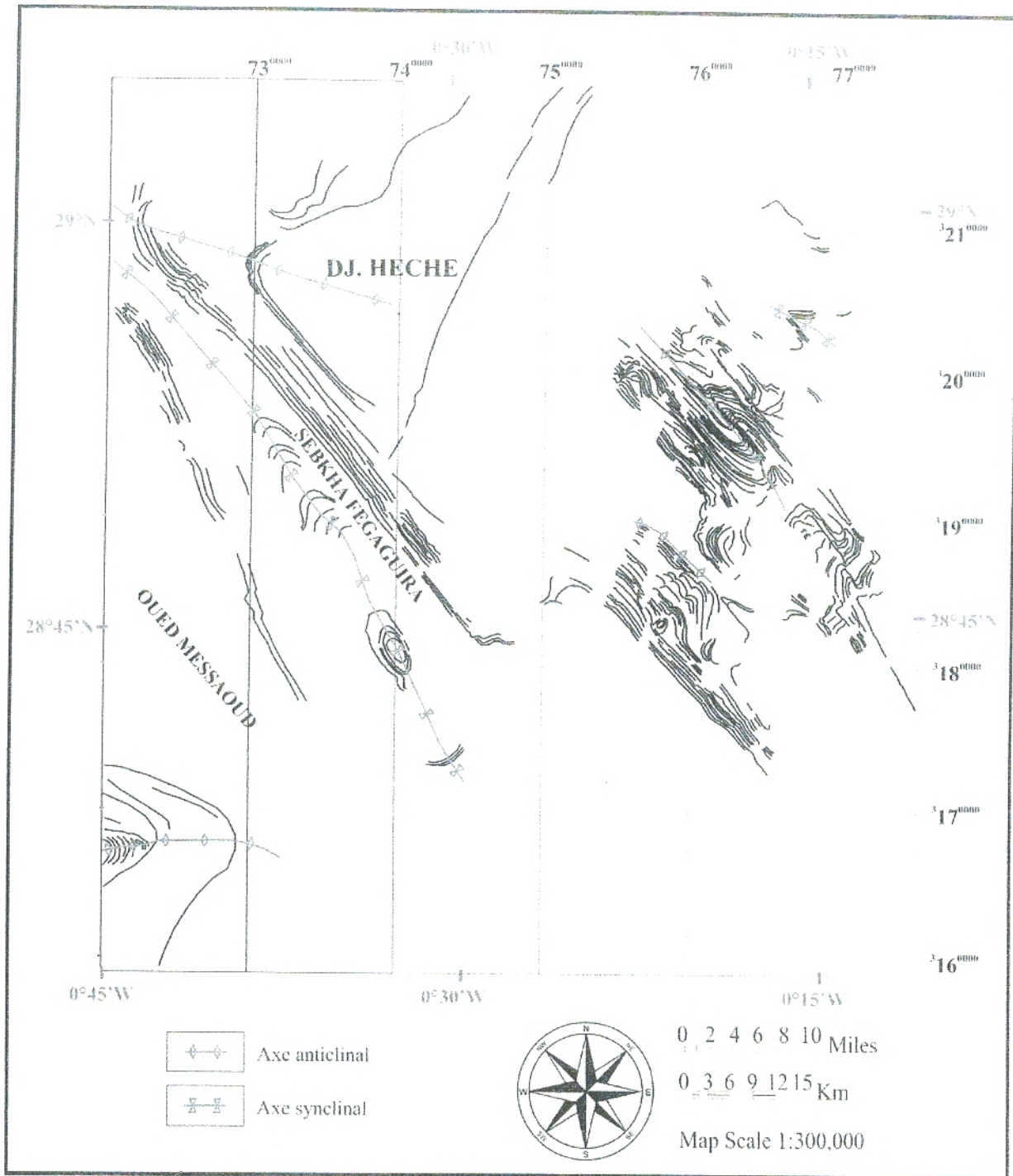


Figure 20 : Tracé des principales unités morphologique de la région d'étude.

III. ÉTUDE MINÉRALOGIQUE

La cartographie des paléochenaux a montré une répartition spatiale significative dans la Hammada Chemmar où plusieurs minéraux accompagnateurs de diamants ont été identifiés. Afin de compléter nos résultats de télédétection, une étude minéralogique basée surtout sur un traitement des schlichs sera présentée.

L'étude minéralogique des échantillons (VBF : Volume de Batée de Fouille) a permis l'identification du cortège minérale dans la région d'El Kseibet. Ces échantillons (schlichs), ont déjà subi un traitement spécifique (lavage, tamisage et concentration gravimétrique).

Le prélèvement des échantillons à la batée est effectué dans des sédiments du Quaternaire et du Plio-Quaternaire développés le long de l'Oued Messaoud dans des paléochenaux et des cuvettes dans la Hammada Chammar.

Les coordonnées géographiques des échantillons du profil A-A1 et B-B1 (Fig. 24), sont données dans le tableau 3 :

Échantillons	Coordonnées Géographiques
VBF1	N 28° 20' 58" W 00° 35' 20"
VBF2	N 28° 21' 5" W 00° 35' 4"
VBF3	N 28° 21' 11,5" W 00° 34' 45"
VBF4	N 28° 21' 17" W 00° 34' 28"
VBF5	N 28° 21' 23" W 00° 34' 28"
VBF6	N 28° 21' 27" W 00° 33' 53"
VBF8	N 28° 24' 50" W 00° 31' 26"
VBF9	N 28° 24' 51" W 00° 31' 11"
VBF10	N 28° 24' 53" W 00° 30' 59"

Tableau 3 : Coordonnées géographiques des échantillons.

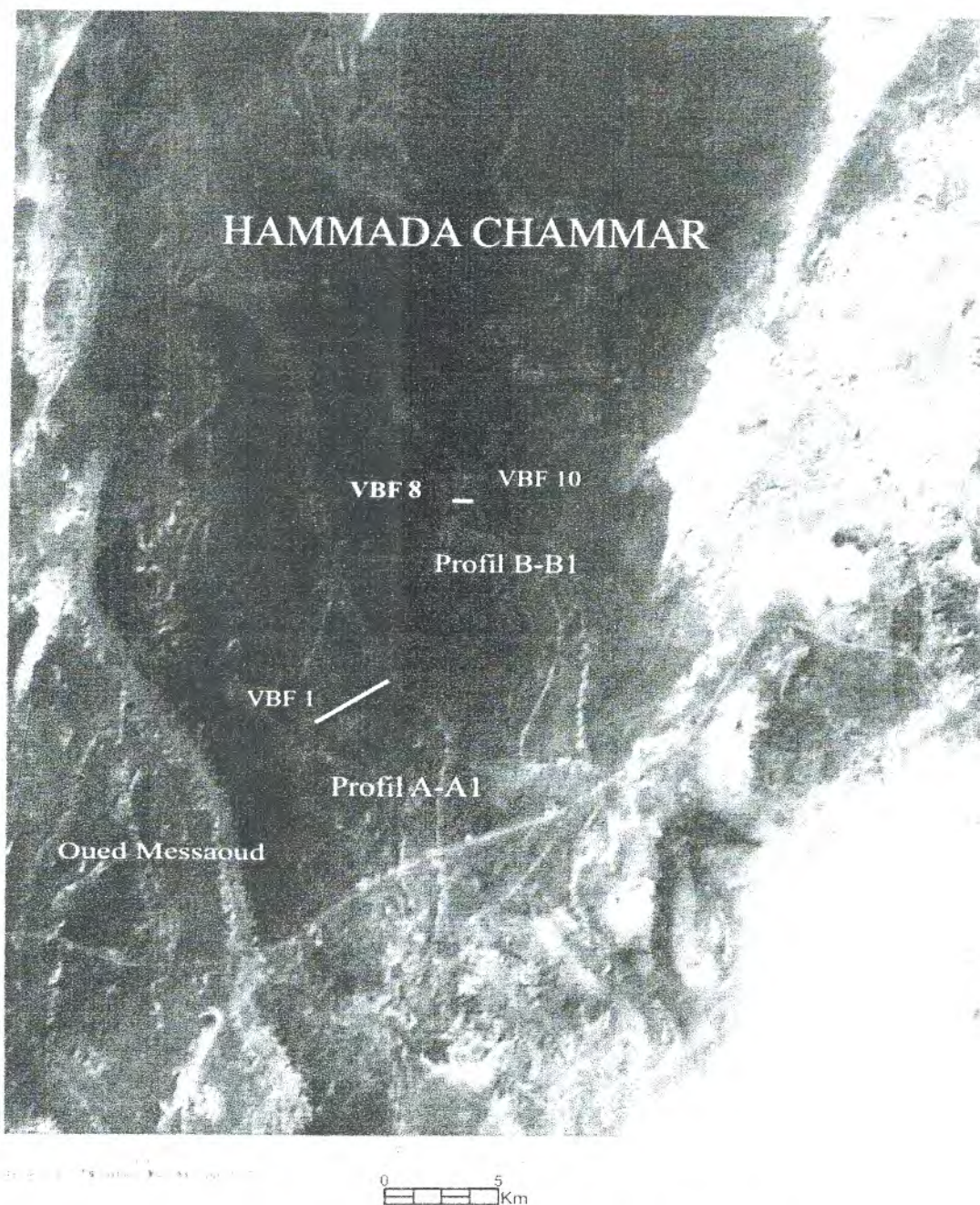


Figure 21 : Localisation des profils A-A1 et B-B1 dans l'image Landsat 7 ETM+ (d'après BENSEFIA K.E., 2005)

A. Traitements spécifiques des schlichs :

L'organigramme suivant montre la méthodologie de traitements des schlichs. Ce sont des méthodes de tamisage, séparation densimétrique, séparation magnétique, séparation électromagnétique et enfin la détermination des minéraux (d'après BENSEFIA K.E., 2005) (Fig. 22).

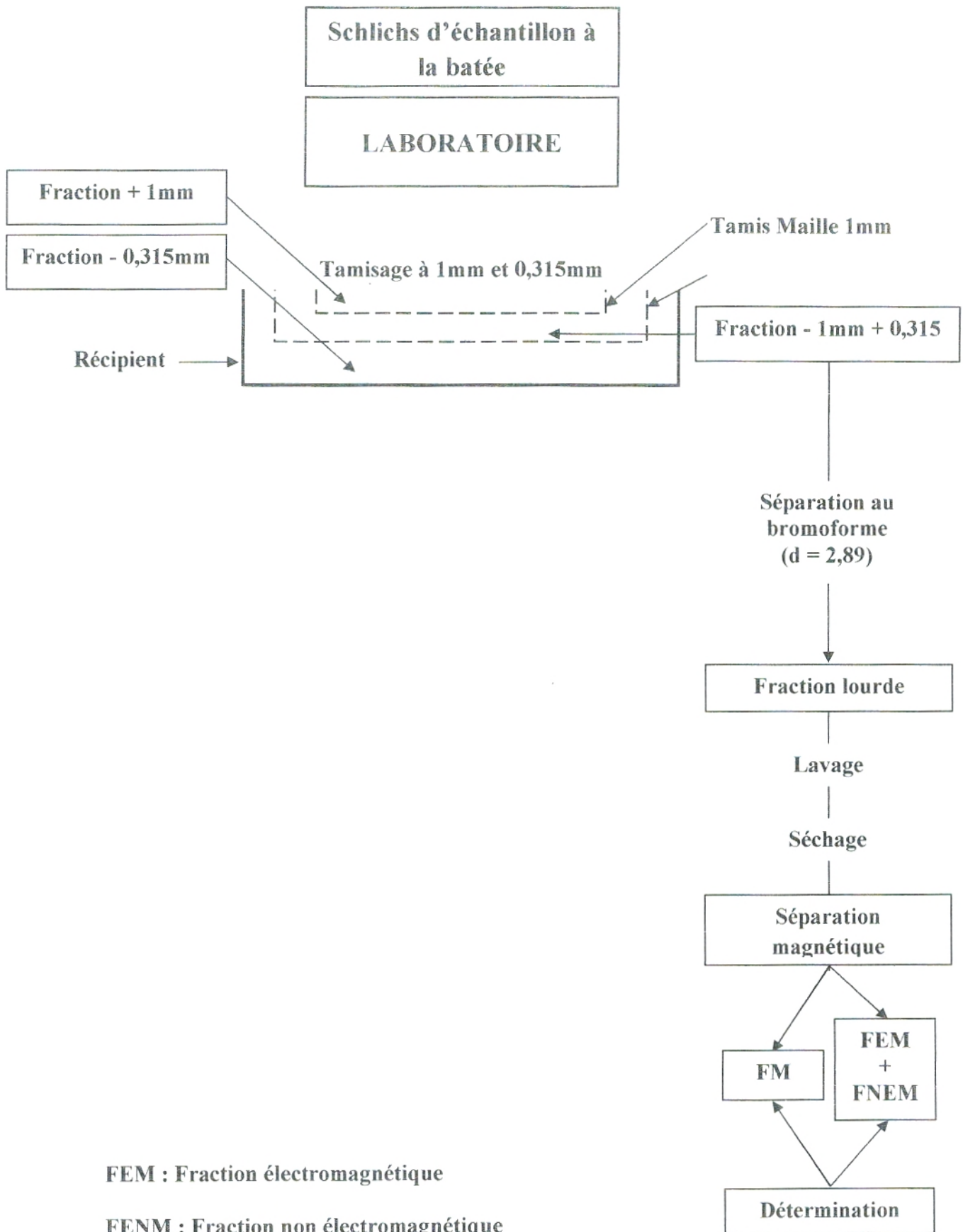


Figure 22 : Méthodologie de traitements et étude des schlichs.

La limite des dolérite est très nette. Elle apparaît en noir. Par contre, celle du Carbonifère est à tendance miel-jaune claire. Le jurassique peut présent dans la région apparait avec une couleur vert très clair et difficile a détecter (Fig. 30).

Par les variations et la dégradation des couleurs, cette image peut être un argument de la fiabilité des données pour la distinction des unités lithologiques. Le zonage du rouge au gris foncé-gris clair, observé dans la région de Bled el Mas, semble être en accord avec les différents faciès décrits dans la carte géologique.

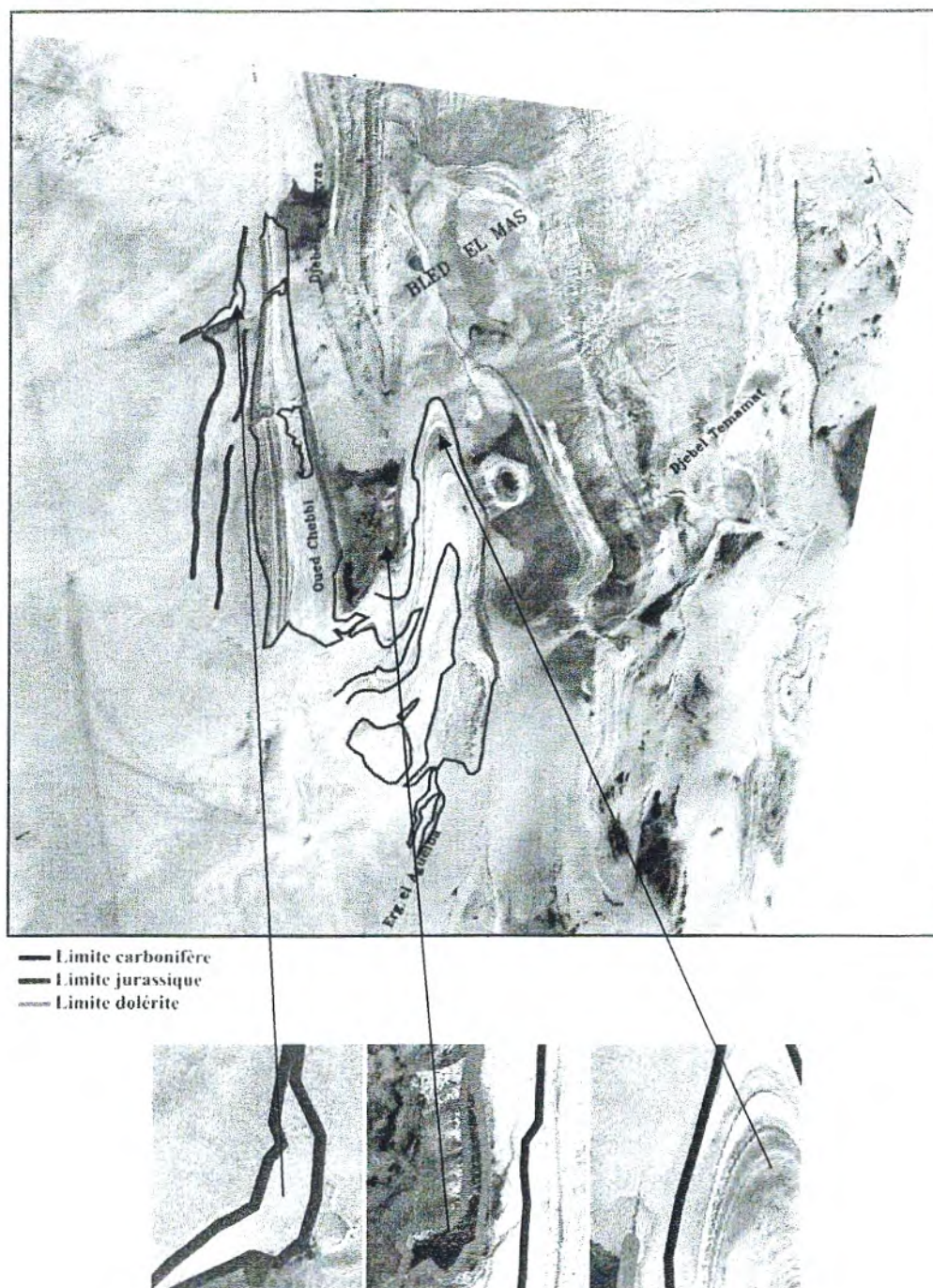


Figure 30 : Images satellite RVB /ITS des bandes (4, 3, 2).

4. Les filtres

L'extraction des éléments texturaux (d'après CHANUSSOT J. et al., 1999, ROY R. et al., 2007, CÉANSIET GRONAYES C. et al., 2003, MARCEAU D.J. et al., 1993) a été faite grâce à l'application des filtres directionnels, Pass haut, Laplacien et Sobel sur les bandes ETM+. Le choix des bandes pour l'application de ces filtres a été porté sur la bande ETM+8 (panchromatique) qui présente une résolution spatiale de 15m.

Ainsi, quatre filtres directionnels ont été appliqués (Fig. 31 et Fig 32) :

- Un filtre directionnel $N0^\circ$ avec une matrice 3×3 pour déceler les grands linéaments (Fig. 31 -1-).
- Un filtre de direction $N45^\circ$ avec une matrice 5×5 pour les petites structures NE-SW (Fig. 31 -2-).
- Un filtre de direction $N90^\circ$ avec une matrice 3×3 pour déceler les linéaments E-O (Fig. 31 -3-).
- Enfin, un filtre de direction $N135^\circ$ avec une matrice 3×3 pour déceler les linéaments SE-NO (Fig. 31 -4-).

En ce qui concerne les filtres non directionnels Sobel, (High Pass et Laplacien 7×7) ils sont appliqués pour détecter les linéaments et vérifier les limites de faciès (Fig. 32).

Les différentes images issues de l'application de ces filtres font ressortir des linéaments rectilignes et curvilignes séparés en une direction majeure et mineure :

- Méridiennes NS à NNE-SSW.
- NE-SW.

La confrontation de ces directions avec les données préexistantes disponibles (carte géologique de Reggane), a permis de dresser une carte linéamentaire du secteur de Reggane et qui montre bien l'importation des directions NS à NNE-SSW.

L'application des filtres directionnels a fait ressortir les directions majeures qui affectent le secteur en général, à savoir les directions méridiennes à NS et NNE SSW. Notons que plusieurs fractures mineures de directions NE-SW ont été identifiées (Fig. 33).

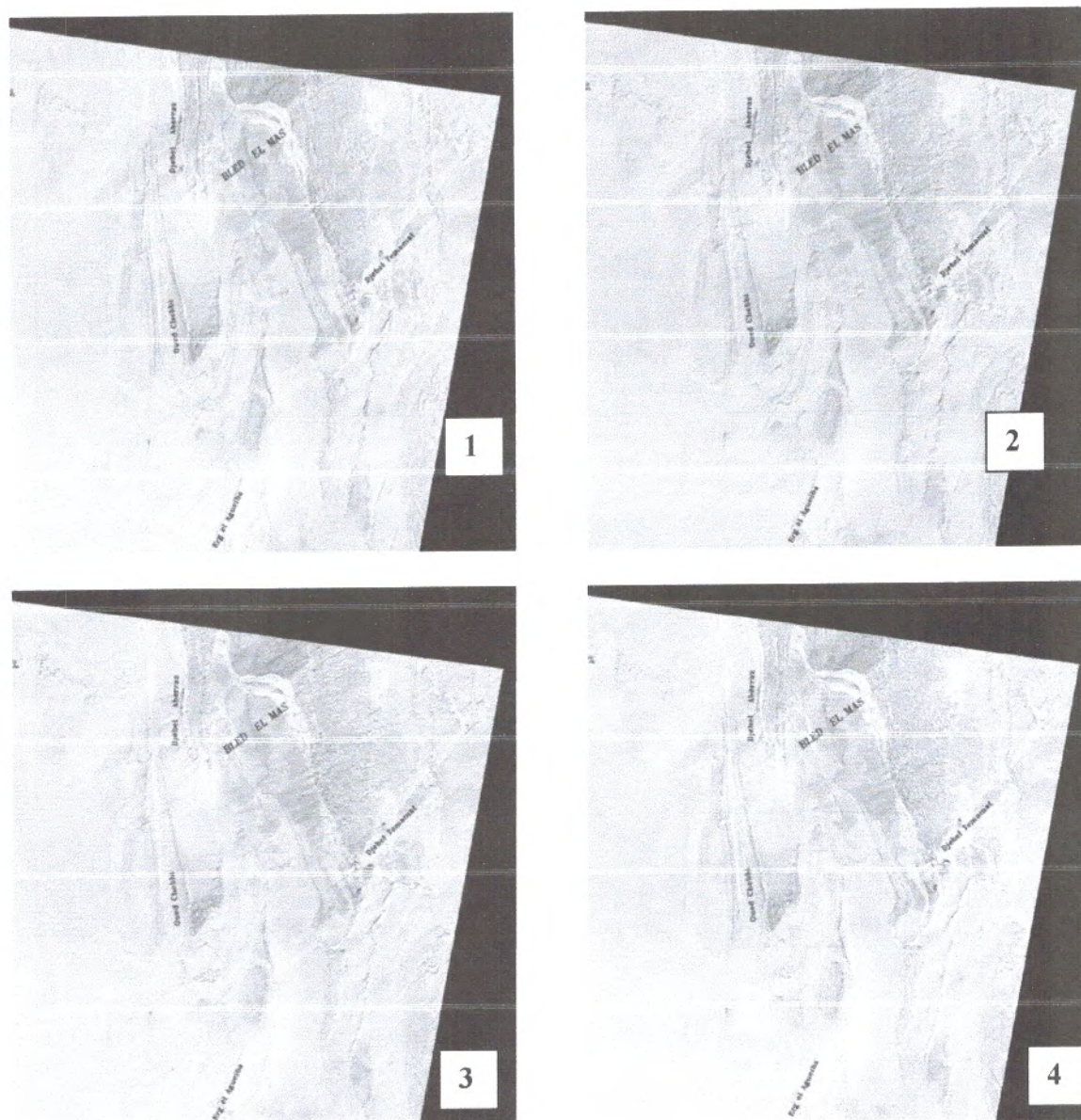


Figure 31 : Filtres directionnels appliqués au secteur de Reggane.



- Failles
- Failles suposée

Figure 33 : Interprétation du filtre directionnel 0°.

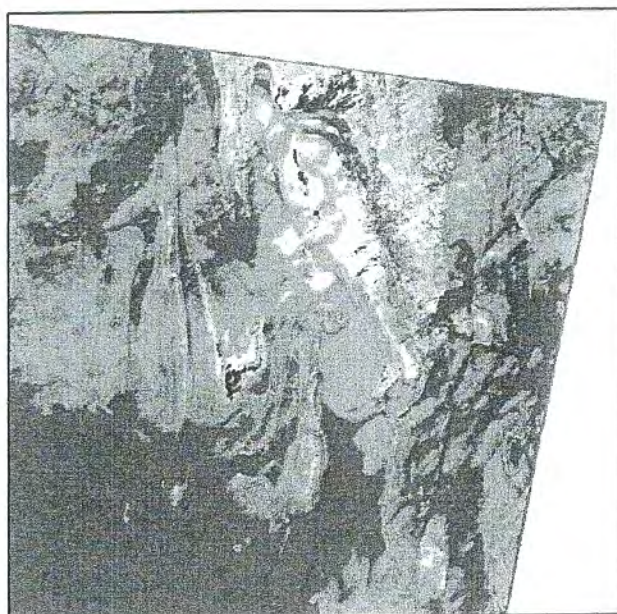


5. La classification

L'application des méthodes de classifications sert à transformer les zonages de niveaux de gris en plages de couleurs sur l'image. L'image résultante présente des couleurs représentatives de classes avec des valeurs spectrales similaires des pixels de l'image.

En effet, nous avons réalisé deux techniques de classification, l'une non supervisée ou non assistée par l'utilisateur et l'autre supervisée ou assistée. Dans la classification non supervisée, deux algorithmes seront appliqués (K-Means et Iso-Data), Ils ont l'avantage d'être très rapides mais, ils ne représentent pas toujours la réalité du terrain. Par contre, dans la classification supervisée l'utilisateur peut choisir des zones sur l'image à identifier.

Les images issues du traitement par classification non supervisée par les deux algorithmes n'a pas donné de très bons résultats, avec un maximum de cinq classes qui ne représentent pas la réalité du terrain (Fig. 34).



K-Means



Iso-Data

Figure 34 : Classification non supervisée.

Cependant, la technique de classification assistée (Maximum de vraisemblance) a permis après le choix de plusieurs classes (zones) en fonction de la lithologie, d'interpréter des images traduit par des plages de couleurs montrant ainsi les variations entre les différents affleurements.

Cette image (Fig. 35) permet de distinguer facilement entre les formations à lithologies distinctes. Elle ressort également les variations à l'intérieur même du socle (de l'extérieur vers l'intérieur on observe le zonage de couleurs rouge, cyan, vert, bleu et jaune). Par contre, le Plio-quatenaire est représenté par les couleurs : bleu, rouge et marron, jusque là observées seulement sur les images issues de la composition colorée (CP1, CP2, CP3). Les autres formations peuvent être cartographiées facilement, avec une particularité pour les dolérites qui apparaît avec netteté sur l'image.



Figure 35 : Classification supervisée par maximum de vraisemblance.

B. Résultats

La carte géologique au 1/ 500 000^{ème} représentée en figure 36 a été établie à partir de l'assemblage des différents résultats des analyses lithologique et structurale. Elle est une contribution à la connaissance de la géologie de cette partie de l'axe Adrar-Reggane. Elle apporte des nouvelles informations différentes par rapport à la structure (cartographie de structures mineures) et confirme la lithologie du terrain à celle déjà connues. Une vérification sur le terrain s'avère nécessaire et utile.

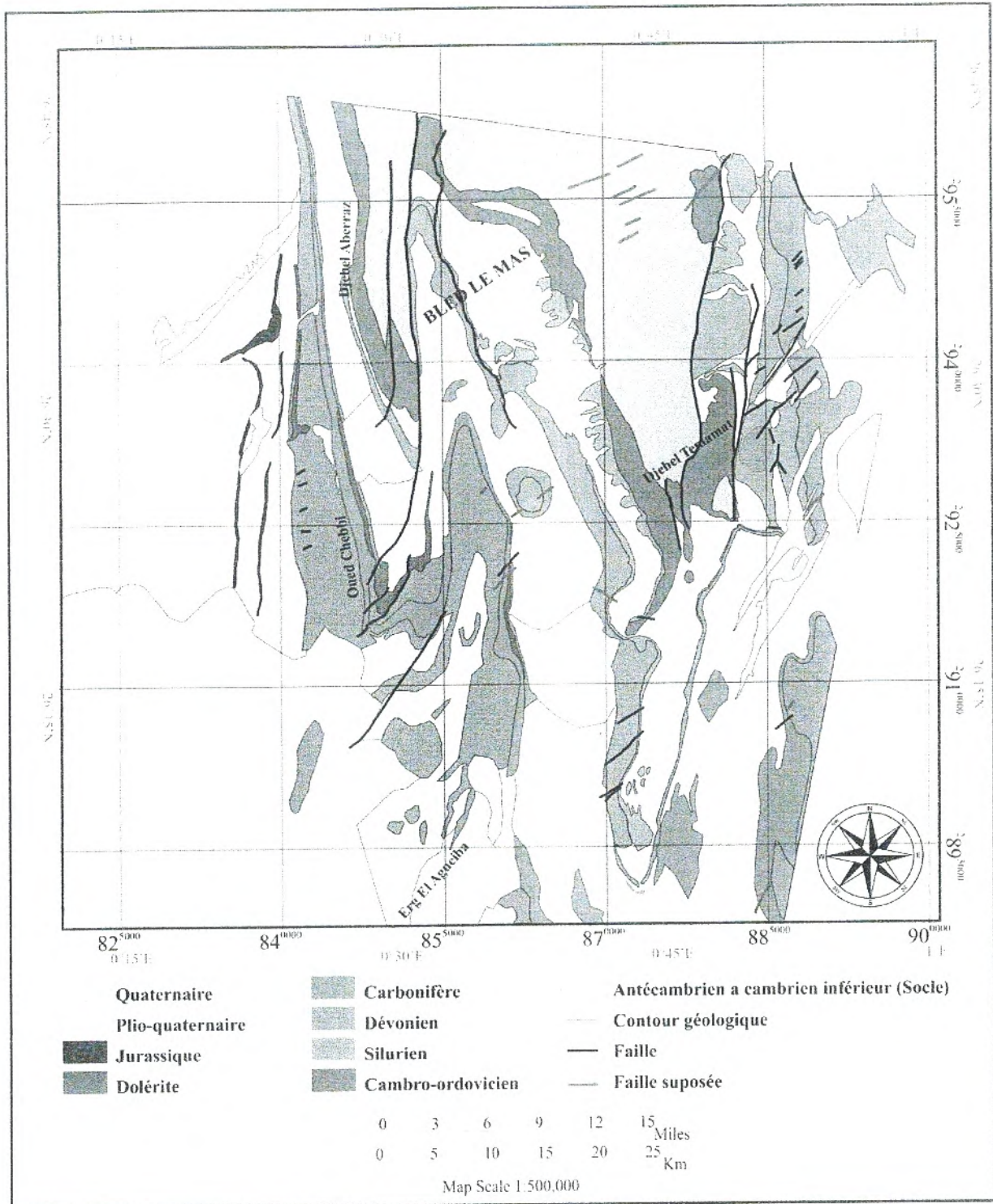


Figure 36 : Carte géologique de synthèse au 1/500.000 issue du traitement des images Landsat 7 ETM+.

**Conclusion
Générale
Et
Perspectives**

CONCLUSION GENERALE

L'exploration géologique dans l'axe Adrar-Reggane par les méthodes de télédétection appliquées sur des images optiques Landsat 7 ETM+ a donné les résultats suivants :

- La carte de distribution spatiale des paléochenaux dans le secteur d'El Kseibet montre deux directions, l'une NW-SE dans la Hammada Chemmar et l'autre NE-SW à l'Est de Djebel Héche.
- La carte morpho-structurale et l'image en 3D d'El Kseibet, permettent la discrimination de plusieurs axes anticlinaux, un axe synclinal, un contact anormal, des discontinuités images dans les terrains pléozoïques et enfin un pli de type disharmonie.
- L'étude minéralogique a permis de déterminer un pyrope et des oxydes représentées par des magnétites, des hématites et quelques fragments de zircons. En effet, le grain de pyrope déterminé est le minéral satellite du diamant le plus fréquent dans la région.
- Une carte géologique de synthèse au 1/500.000^{ème} issue du traitement des images Landsat 7 ETM+ a été établie.

PERSPECTIVES

La situation exceptionnelle de la région d'étude, ainsi que les différents travaux géologiques réalisés, ont donnés plusieurs arguments qui permettent de lancer des programmes de recherches spécifiques pouvant proposer des modèles de découverte d'indice minéralisé, ce qui, éventuellement, pourrait engendrer des retombées économiques significatives liées à l'exploration minière.

En effet, le développement de programme de recherche par télédétection géologique ainsi que l'instauration de système d'information géologique et géominière est indispensable pour bien exploiter cette région.

Dans cette optique, les résultats obtenus par ce travail ainsi que la découverte depuis des dizaines d'année d'un placer diamantifère à Bled el Mas montre que cette région nécessite une nouvelle vision de recherche géologique et minière. D'autre part, les analyses à la microsonde réalisée sur les minéraux indicateurs (pyrope G9 et G10) décelés par l'ORGM (1998 à 2000), se sont avérées encourageantes et ont permis de dégager de nouvelles perspectives :

➤ La triple combinaison entre la cartographie géologique classique, la cartographie par télédétection (images optiques, radars et hyperspectrales) et la réalisation des MNT, le long de la suture panafricaine sur les intersections des linéaments majeurs et mineurs est indispensable. Elle doit être complété par des levés aéromagnétiques et gravimétriques.

➤ L'analyse, la quantification et l'interprétation des réseaux hydrographiques actuels et subactuels avec les structures géologiques associées est primordiale pour guidé les programmes d'exploration. D'autre part, le développement d'algorithme permettant l'extraction automatique des réseaux rectilignes et curvilignes est nécessaire pour la caractérisation des structures majeures et mineures.

➤ des études minéralogiques, cristallographiques et cristallochimiques comparative des diamants de Bled el Mas avec ceux de la Mauritanie et la Côte d'Ivoire s'avèrent importantes pour le développement des modèles mathématiques pour la découverte de sources primaires. (BENSEFIA, 2005).

Références Bibliographique

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ALLEK K. (2005) - Traitement et interprétation des données aéromagnétiques acquises au dessus des blocs de Tindouf et Eglab (Sud Ouest algérien) : impact sur l'exploration du diamant. *Thèse de magister de l'USTHB, Alger*, 175 p.

BAGHDADI N., GRANDJEAN G., LAHONDERE D., PAILLOU P. et LASNE Y. (2005) - Apport de l'imagerie satellitaire radar pour l'exploration géologique en zones arides. *Ed. C.R. Geoscience*, pp. 719 - 728. -

BENSEFIA K.E. (2005) - Contribution à l'étude des apports sédimentaires d'une zone clés des bassins tertiaire quaternaire de l'axe Adrar-Reggane (exemple : la région d'el Kseibet) *Thèse magistère, Univ. Tlemcen*, 124 p. 58 fig. 17tabl.

BITAM L. et FABRE J. (1996) - Géodynamique du craton ouest africain central et oriental : Héritage et évolution post-panafricain. *Bulletin du service géologique de l'Algérie .n° 8 Boumerdès*. 311 p., 135 fig., 16 pl.

BONN F. et ROCHON G. (1992) - Précis de télédétection, Vol. 1 : Principes et méthodes. *Presses de l'Université du Québec, Sillery*, 484 p.

BONN F. et ROCHON G. (2000) - Précis de télédétection, Vol.1 : Principes et méthodes *UREF, AGMV Marquis 2eme édition, Canada*, 479 p.

CÉANSIET GRONAYES C., KOFFI BLÉ P., KOFFI KOUAMÉ F. et KOUAKOU BROUA B. (2003) - Identification de couloirs de cisaillement à partir de l'imagerie TM de Landsat : application à l'archéen de Bloléquin (Ouest de la Côte D'ivoire). *Ed. Télédétection, vol. 3, n° 2-3-4*, pp. 217 – 226.

CERVELLE B., MALEZIEUX J.M. et CAYE R. (1977) - Expression quantitative de la couleur, liée au spectre de réflectance diffuse, de quelques roches et minéraux. *Bulletin de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie*, pp.185 - 191.

CHANUSSOT J., LAMBERT P., VIDAL G. et TROUVE E. (1999) - détection de failles géologiques par traitement morphologique multi-spectral. *Dix-septième colloque GRETSI, Vannes*, pp. 379 – 382.

CHOROWICZ J. et FABRE J. (1996) - Mise en évidence par l'imagerie spatiale des réseaux de drainage dans le Tanezfrout (Sahara occidental). Implication sur les déformations intracratoniques récentes. *In. Bitam L. et Fabre J. (eds) Géodynamique du craton ouest africain central et oriental : Héritage et évolution post-panafricain. Mémoire du Service Géologique n° 8 Boumerdès*. pp. 273-293., 2 fig. 1 tabl, .3 pl.

CONRAD G. (1969) - Evolution Continentale Post-Hercynienne Du Sahara Algerien (Saoura, Erg Chech-Tanezrouft, Ahet-Mouydir). *Volume 10 de Centre National De La Recherche Scientifique Centre De Recherche Sur Les Zones Arides Serie: Geologie*, 200 p.

COULIBALY L. (1996) - Interprétation structurale des linéaments par traitement d'image satellitaire : cas des sous-provinces d'Abitibi et d'Opatica (Quebec). *Mémoire de Maîtrise des Sciences en télédétection, Dépt. Géo. Tel., Université de Sherbrooks*, 106 p.

DRURY S.A. (1986) - Image Interpretation in Geology. *Ed. Allen & Unwin, London*, 243 p.

DUD'A R. et REJIL L. (1986) - La grande encyclopédie des minéraux. *Ed. GRÜND. Paris*, 520 p., 602 fig. 15 tabl.

FABRE J. (1976) - Introduction à la géologie du Sahara Algérien et des régions voisines .I : La couverture Phanérozoïque. *S.N.E.D, Alger*. 422 p.

GIRARD M.C. et GIRARD C.M. (1977) - Télédétection de la surface des sols. *Colloque de pédologie et télédétection, Rome*, pp. 55 – 63.

GIRARD M.C. et GIRARD C.M. (1999) - Traitement des données de télédétection. *Ed. DUNOD*, 529 p.

GOMEZ C. (2004) - Potentiels des données de télédétection multisources pour la cartographie géologique : Application à la région de Rehoboth (Namibie). *Thèse de Doctorat de l'Université Claude Bernard, Lyon 1*, 174 p.

GUYOT G. (1984) - Propriétés spectrales des sols et de la végétation : Application à la télédétection ; dans la télédétection spatiale : Aspects physiques et modélisation. *Ed. CNES, Août 1988, Toulouse*, pp. 637 – 728.

HERVOUET Y. et DUEE G. (1996) - Analyse morphostructure par imagerie satellitaire et occupes structure modélisée des monts d'Ougarta (Sahara occidental, Algérie) : Une chaîne hercynienne chevauchante a plis passifs. *In*. Bitam L. et Fabre J. (eds) Géodynamique du craton ouest africain central et oriental : Héritage et évolution post-panafricain. *Mémoire du Service Géologique n° 8 Boumerdès*. pp.117-125., 60 fig.

KADIO H.N., MAHAMAN B.S., BROU E.N. et ADAMA O. (2008) - Contribution à l'interprétation des linéaments par l'exploitation des pseudos images, de l'hydrographie en région tropicale humide : Cas de N'Zi-Comoe (Centre de la Côte D'ivoire). *Euro Journals publishing, vol. 24 n°1*, pp. 74 – 93.

MANSOUR M. et AIT BRAHIM L. (2005) - Apport de la télédétection radar et du MNT à l'analyse de la fracturation et la dynamique des versants dans la région de Bab-Taza, Rif, Maroc. *Ed. Télédétection, Vol. 5, n°1-2-3*, pp. 95 - 103.

MARCEAU D.J., HOWARTH P.J. et GRATTON D.J. (1993) - Le problème de l'échelle et de l'agrégation spatiale en télédétection. *In* : Télédétection appliquée à la cartographie thématique et topographique. *Eds. (J. M. M. Dubois, F. Cavayas et P. La France), Les Presses de l'Université du Québec*, pp. 321 - 334.

MARION A. (1987) - Introduction aux techniques de traitement d'image. *Ed. Eyrolles, Paris*, 278 p.



RIOPEL S., DESROCHERS A., D'IORIO M., BUDKEWITSCH P. et BEAUCHAMP B. (2000) - Cartographie géologique à l'aide du capteur RSO de RADARSAT-1 : Cas de l'île Axel Heiberg, Arctique Canadien. *Ed. Télédétection, 2001, Vol. 2, n° 2, pp. 103 - 117.*

ROCHERY M. (2005) - Contour actif d'ordre supérieur et leur application à la détection de linéiques dans des images de télédétection. *Thèse de doctorat; Univ. Nice - Sophia Antipolis, 150 p.*

ROWAN L. et MARS J.C. (2003) - Lithologic mapping in the Mountain Pass, California area using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data, *Remote Sensing of Environment, vol. 84, pp. 350 - 366.*

ROY R., LAUNEAU P., CARRERE V., GIRARDEAU J., PINET P., CEULENEER G. et DAYDOU Y. (2007) - Cartographie d'une séquence ophiolitique (Oman) par télédétection hyperspectrale visible-infrarouge de ses produits d'altération. *Atelier PNTS Hyperspectral Nantes, 25 p.*

TOUAHRI B., FABRE J., PIBOULE M. et KADDOUR M. (1996) - Les diamants de bled El Mass (Touat) : Contexte géologique. *In. Bitam L. et Fabre J. (eds) Géodynamique du craton ouest africain central et oriental : Héritage et évolution post-panafricain. Mémoire du Service Géologique n° 8 Boumerdès. pp. 259-272.*

**Liste
des Figures
et des Tableaux**

LISTE DES FIGURES

Fig. 1 : Scènes Landsat7 ETM+	4
Fig. 2 : Méthodes de travail	4
Fig. 3 : Les Différentes étapes de la télédétection	5
Fig. 4 : Les effets de l'atmosphère sur le REM mesurés par les capteurs	7
Fig. 5 : La synthèse tri-chromique additive	7
Fig. 6 : Situation géographique des régions d'étude (d'après Chorowicz J. et Fabre J., 1996)	11
Fig. 7 : Les grands ensembles géologiques du Sahara (d'après Fabre J., 1976)	12
Fig. 8 : Extrait de la carte Géologique de Reggane	16
Fig. 9 : Étapes de Traitements des images Landsat7 ETM+	18
Fig. 10 : Distribution des paléochenaux dans le secteur d'El Kseibet par composition colorée (731)	19
Fig. 11 : Carte morpho-structurale de Djebel Hache par composition colorée (731)	20
Fig. 12 : Analyse en composante principale des six bandes Landsat ETM+ Du secteur d'El Kseibet	21
Fig. 13 : Images des six bandes d'ACP Landsat ETM+ dans le secteur d'El Kseibet	22
Fig. 14 : Composition colorée des Bandes CP1, CP2 et CP3	23
Fig. 15 : Images satellite RVB /ITS des bandes (4, 3, 2)	24
Fig. 16 : Filtrés Directionnels	25
Fig. 17 : Filtre Sobel	26
Fig. 18 : Cartographie des paléochenaux dans le secteur d'étude	27
Fig. 19 : Image Landsat ETM+ en 3D du secteur d'étude	27
Fig. 20 : Tracé des principales unités morphologique de la région d'étude	28
Fig. 21 : Localisation des profils A-A1 et B-B1 dans l'image Landsat 7 ETM+ (d'après BENSEFIA K.E., 2005)	30
Fig. 22 : Méthodologie de traitements et étude des schlichs	31
Fig. 23 : Pourcentages des groupes de minéraux observés	33
Fig. 24 : Diagramme illustrant les pourcentages des minéraux	35
Fig. 25 : Répartition spatiale des minéraux	36
Fig. 26 : Limites de faciès à partir de la composition colorée ETM+ (731)	37
Fig. 27 : Analyse en composante principale de la région de Reggane	38
Fig. 28 : Images des ACP des six bandes Landsat ETM+	39
Fig. 29 : Composition colorée des CP (123)	40
Fig. 30 : Images satellite RVB /ITS des bandes (4, 3, 2)	41
Fig. 31 : Filtrés directionnels appliqués au secteur de Reggane	43
Fig. 32 : Filtrés Pass haut (1), Laplacien (2) et Sobel (3) appliqués au secteur de Reggane	44
Fig. 33 : Interprétation du filtre directionnel 0°	45
Fig. 34 : Classification non supervisée	46
Fig. 35 : Classification supervisée par maximum de vraisemblance	47
Fig. 36 : Carte géologique de synthèse au 1/500.000 issue du traitement des images Landsat7 ETM+	48

LISTE DES TABLEAUX

Tab. 1 : Différents filtres directionnels de SOBEL	8
Tab. 2 : Caractérisation des différentes bandes spectrales des Images Landsat 7 ETM+ (d'après GUYOT G., 1984)	10
Tab. 3 : Coordonnées géographiques des échantillons	29
Tab. 4 : Pourcentage des minéraux dans les échantillons	32
Tab. 5 : Propriétés des minéraux dans le secteur d'El Kseibet	34

Année universitaire : 2010-2011

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

Présenté pour l'obtention du

Diplôme De Master

Option

GEO-RESSOURCES

Titre de l'ouvrage



**APPORT DE LA TELEDETECTION POUR L'EXPLORATION
GEOLOGIQUE EN ZONES ARIDES
(EXEMPLE : AXE ADRAR-REGGANE, SAHARA SUD-OCCIDENTALE).**

Noms des auteurs : **Ismail BENSAFI & Rachid SIDHOUM**

Etablissement : **Université Abou Bekr Belkaïd - Tlemcen**

RÉSUMÉ

La position géo-structurale assez caractéristique des secteurs d'El Kseibat et de Reggane, entre le craton Ouest Africain et le bouclier Targui, a fait l'objet de plusieurs études géologiques de cartographie et de structurale. Ainsi la présente étude consiste à décrire les unités litho-structurales, morpho-structurales et la distribution spatiale des paléochenaux par l'exploitation des images Landsat 7 ETM+.

Dans cette optique, des traitements numériques tels que la composition colorée, les transformations (ACP et RVB-ITS), les convolutions et les classifications

sont appliqués sur les images. D'autre part, une étude minéralogique sur des échantillons est effectuée.

En effet, les différents résultats de ces traitements permettent de déterminer les limites entre les différentes formations géologiques et d'établir une carte linéamentaire (NS, NNE-SSW et NE-SW) dans la région de Reggan. Par contre dans la région d'El Kseibet, l'étude minéralogique et les traitements donne un grain de pyrope, une carte de distribution des paléochenaux de directions NW-SE et une autre morpho-structurale.

Mots clés : El Kseibat, Reggane, Paléochenaux, Landsat 7 ETM+, Traitements numériques, Formations géologiques, Carte linéamentaire, Pyrope, Morpho-structurale.