

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEM

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE

LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE

ET DE L'UNIVERS

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER  
EN GEO-RESSOURCES

THEME

Exploration des filons aurifères par la combinaison des images  
multisources. Exemple de l'indice Seldrar (NW de Tamanrasset. La feuille  
Tesnou Hoggar Occidental)

Présenté par :

**MEHDI Abbas**

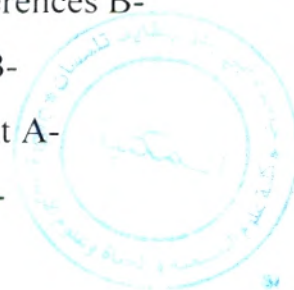
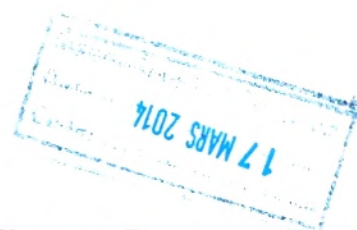
**Membres de jury :**

**Président du Jury :** Mr ADACI Mohammed - Maître de Conférences B-

**Encadreur :** Melle CHAOUICHE Ismahane - Maître assistant B-

**Examineur :** Mr BENSEFIA Kamar Eddine - Maître assistant A-

**Examineur :** Mr Ben RAMDAN Hocine - Maître assistant B-



Année universitaire 2013-2014

## **Abstract**

The analysis and use of the remote sensing data is a significant contribution to the geological mapping and mineral exploration. In our study we are uses image processing Landsat 7 ETM + imagery and ERS SAR radar imagery mapping and identification of gold-bearing quartz veins of the Seldrar region (Tesnou sheet, Western Hoggar) and the comparing treatment outcomes obtained (color composites, band ratios, principal component analysis and filter) with pre-existing data from the geological map and gitological allowed us to identify and locate new veins auriferous quartz with those already known a wide Seldrar index.

**Key words:** Remote Sensing - Mineral Exploration – Landsat 7 ETM + - ERS SAR Radar - Mapping - Veins of quartz - gold - Seldrar.

## **Résumé**

L'analyse et l'exploitation des données de la télédétection sont d'un apport considérable pour la cartographie géologique et la prospection minière. Pour notre étude on utilise les traitements de l'image Landsat 7 ETM+ et de l'image radar ERS SAR pour la cartographie et l'identification des filons de quartz aurifère de la région Seldrar (la feuille Tesnou, Hoggar occidentale). la comparaison des résultats des traitements obtenus (compositions colorées, rapports de bandes, l'Analyse en Composantes principales et les différents filtres) avec les données de la carte géologique et gitologiques pré-existantes nous a permis l'identification et la localisation de nouveaux filons de quartz aurifère avec ceux déjà connus à l'échelle de l'indice Seldrar .

**Mots Clefs :** Télédétection - prospection minière - Landsat ETM+ - Radar ERS SAR - Cartographie - Filons - quartz - aurifères – Tesnou- Seldrar.

# Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance au Melle **CHAOUCHE Ismahane**, mon encadreur, pour m'avoir proposée ce sujet, pour ses conseils et son aide tout au long de la préparation de mon mémoire de fin d'études.

Je teins particulièrement à remercier Mr **ADACI Mohammed** chargé de recherche et des coures à l'université **ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEN** qui m'a fait l'honneur de présider mon jury.

Je remercie Mr **BENSEFIA Kamar Eddine** maître assistant A, chargé des coures à l'université **ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEN**, et Mr **Ben RAMDAN Hocine** maître assistant B chargé des coures à l'université **ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEN** pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Je teins à remercier tous les enseignants de la **DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LE TERRE ET DE L'UNIVERS** qui ont contribué à ma formation.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de ce mémoire.

# TABLE DES MATIERES

<b>I. Problématique.....</b>	<b>2</b>
1. Le but de ce travail et pourquoi.....	2
2. Outils utilisés.....	2
2.1. Définition d`une image.....	2
2. 2. Image Landsat ETM+.....	3
2. 3. Image radar.....	3
<b>Chapitre I. Introduction .....</b>	<b>4</b>
1. Notions sur la télédétection.....	5
1.1. Définition de la télédétection.....	5
1.1.2. Principe de base de la télédétection.....	5
1.1.3. Les principales étapes de la télédétection.....	7
1.2. Utilité et domaines d`application de la télédétection.....	8
1.2.1. Utilité de la télédétection.....	8
1.2.2. Domaines d`application de la télédétection.....	9
1.2.2.1. Météorologie.....	9
1.2.2.2. Océanographie.....	9
1.2.2.3. La géologie.....	9
1.2.2.3.1. Télédétection et cartographie géologique.....	9
1.2.2.3.2. Télédétection et la prospection minière.....	10
2. Situation géographique de la zone d`étude.....	11
<b>Chapitre II. Géologie régionale et locale.....</b>	<b>12</b>
1. Géologie du Hoggar.....	13
2. Le terrane d`Iskel.....	16
3. La géologie du secteur d`étude.....	17
4. Description morphologique des filons de quartz aurifères (indice Seldrar).....	18

5. Tectonique.....	19
5.1. La phase tectonique cassante.....	19
5.1.1. Les failles décrochantes.....	19
5.1.2. Schistosités de fracture.....	19
5.1.3. Les diaclases.....	19
5.2. Déformation souple.....	20
5.2.1. Les plis.....	20
5.2.2. Foliation.....	20
<b>Chapitre III Traitement des images et résultats obtenues.....</b>	<b>21</b>
1. Méthodologie.....	22
2. Traitement de l'image Landsat 7 ETM+ et l'image Radar ERS SAR.....	24
2.1. La composition colorée ou affichage en fausses couleurs.....	24
2.2. L'analyse en composantes principales(ACP).....	27
2.3. Rapport de bandes (Band ratios).....	28
2.4. Filtre.....	30
2.4.1. Le filtre Sobel.....	30
2.4.2. Les filtres directionnels.....	30
3. discussion et résultats obtenues.....	33
3.1. Pour la cartographie.....	33
3.2. Pour les filons de quartz.....	33
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>34</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>36</b>

## Liste des Figures

<b>Figure. 1 :</b> Principe de base de la télédétection (Big n°3. Initiation à la télédétection).....	6
<b>Figure. 2:</b> Les sept étapes de la télédétection (Big n°3. Initiation à la télédétection).....	7
<b>Figure. 3:</b> Schéma de situation de secteur d'étude (in Chaouche, 2008).....	11
<b>Figure. 4:</b> Carte des principaux domaines structuraux du Hoggar (Caby et al., 1982).....	13
<b>Figure. 5 :</b> Carte géologique du Hoggar (Introduction à la Géologie du Hoggar.).....	14
<b>Figure. 6 :</b> Subdivision du Hoggar en 23 terranes (Liégeois et al., 2000).....	14
<b>Figure7 :</b> Coupe en 3D représentant le terrane d'Iskel (Hoggar Occidental chevauchant la LATEA (Hoggar Oriental), (Azzouni-Sekkal <i>et al.</i> , 2003).....	17
<b>Figure 8:</b> Carte géologique à 1/200000 des indices aurifères (ORGM, 1997 ; modifié par chaouche, 2008).....	18
<b>Figure 09 :</b> Organigramme de la méthodologie de travail.....	23
<b>Figure.10: (a):</b> L'image Landsat 7 ETM+ (compositions colorées 751).....	25
<b>(b) :</b> Superposition des limites géologique sur l'image Landsat 7 ETM+.....	25
<b>(c) :</b> Superposition des failles et les filons de quartz sur l'image Landsat7 ETM+.	25
<b>Figure.11: (a):</b> L'affichage de l'image radar ERS SAR en niveau de gris.....	26
<b>(b):</b> Superposition des limites géologique sur l'image radar.....	26
<b>(c):</b> Superposition des failles et les filons de quartz sur l'image radar.....	26
<b>Figure.12: (a):</b> L'image Landsat 7 ETM+ (compositions colorées "néo" bandes CP7, CP5, CP1).....	28
<b>(b):</b> Superposition des limites géologique sur l'image Landsat 7 ETM+.....	28
<b>Figure. 13: (a) :</b> L'image Landsat 7 ETM+ (CC "néo" bandes 7/4 5/3 1/2).....	29
<b>(b):</b> Superposition des limites géologique sur l'image Landsat 7 ETM+.....	29
<b>(c):</b> Superposition des failles et les filons de quartz sur l'image Landsat7 ETM+.	29

**Figure.14: (a):** L'image Landsat7 ETM+ (Filtre Sobel Back 50 à partir des bande1).....31

**(b):** Superposition des limites géologique sur l'image Landsat7 ETM+.....31

**(c):** Superposition des failles et les filons de quartz sur l'image Landsat7 ETM+..31

**Figure.15: (a):** L'image Landsat 7 ETM+ (Filtre directionnel 50° à matrice 3x3 à partir de "néo" bande CP 1).....32

**(b):** Superposition des failles et les filons de quartz sur l'image Landsat7 ETM+..32

## Liste des annexes

**Annexe 1 : (a) :** L'image Landsat7 ETM+ (compositions colorées 751).

**(b) :** L'image Landsat7ETM+ (compositions colorées CP7 CP2 CP4).

**(c) :** L'image Landsat7 ETM+ (compositions colorées 5/7 2/4 1/3).

**Annexe 2: (a) :** L'image Landsat7 ETM+ (Filtre directionnel  $00^\circ$  à partir de CP 1).

**(b) :** L'image Landsat7 ETM+ (Filtre directionnel  $90^\circ$  à partir de CP 1).

**(c) :** L'image Radar (Filtre directionnel  $00^\circ$ ).

**(d) :** L'image Radar (Filtre directionnel  $90^\circ$ ).

**Annexe 3: (a) :** L'image Landsat7 ETM+ (Filtre Sobel Back 00 à partir des bande1).

**(b) :** L'image Radar (Filtre Sobel Back 50).



# **PROBLEMATIQUE**

## I. PROBLEMATIQUE

### 1. Le but du travail

Le but de ce travail est l'analyse et la comparaison des données de la télédétection de deux capteurs optique (l'image Landsat7 ETM+) et radar (l'image radar ERS SAR) pour l'exploration des filons aurifère de l'indice Seldrar avec les données géologique et géotologiques pré-existantes de la région.

La télédétection s'avère un outil complémentaire pour la prospection minière et spécialement pour les régions désertiques à l'exemple d'une vaste région comme le Hoggar. Alors, qu'est ce que la télédétection et comment utilisée dans ce domaine?

### 2. Outils utilisés

Les outils utilisés dans ce travail sont:

- L'image Landsat7 ETM+ (source internet, 2001).
- L'image radar ERS SAR 1991 (mise à notre disposition par l'ORGM).
- Le logiciel ENVI (version ENVI 4.5.) pour les traitements des images.
- Le logiciel Photo Filtre Studio X pour la digitalisation des contours et linéaments.

#### 2.1. Définition d'une image

Une image est une représentation graphique, quels que soient la longueur d'onde ou le dispositif de télédétection qui a été utilisés pour capter et enregistrer l'énergie électromagnétique, les images peuvent être produites ou analysées selon deux formats différents, en format analogique (format papier) et en format digital (format numérique).

Le format digital ou le format numérique divise l'image en petits morceaux de taille et de forme égale, que nous appelons **pixels**

La luminosité de chaque pixel est représentée par une **valeur numérique** qui peut être lue par un ordinateur, chaque pixel a été doté d'une valeur représentant les différents niveaux de luminosité.

L'ordinateur affiche chaque valeur numérique comme un niveau de luminosité. Les capteurs enregistrent alors électroniquement l'énergie en format numérique (en rangées de chiffres) et l'image est ainsi produite (« Notions fondamentales de télédétection » du site Web du Centre canadien de télédétection).

## 2. 2. Image Landsat ETM+:

L'image Landsat ETM+ est une association et superposition du résultat de plusieurs capteur ETM, chaque capteur a un but particulier en télédétection, il peut être utilisé pour observer la végétation, pour étudier la couverture terrestre générale, pour obtenir des informations sur la géologie et pour d'autres applications.

L'image Landsat ETM+ permet d'enrichir la cartographie géologique, en effet elle permet de détecter les linéaments et les contours des différentes formations superficiels (sol, végétation) et cela grâce à la réponse spectrale de chaque objet cible par les rayonnements électromagnétique émit par le satellite.

Elle peut même nous donner des informations sur les pendages et des limites lithologiques (Polidori, 2002).

Le capteur ETM du satellite Landsat enregistre dans 8 bandes spectrales :

TM1 (Bleu)

TM2 (Vert)

TM3 (Rouge)

TM4 (proche infrarouge)

TM5 (IR de courte longueur d'onde)

TM7 (IR de courte longueur d'onde)

TM6 (IR thermique) (pas utilisé dans cette étude)

TM8 (Panchromatique (vert-rouge-IR)) (pas utilisé dans cette étude)

## 2. 3. Image radar :

L'image radar est particulièrement appréciée des géologues en raison de sa sensibilité aux changements de pente, de la pénétration des ondes qui permet dans certains cas une analyse du sous-sol, et des possibilités interférométriques qui permettent la détection et la mesure de déformations centimétriques de la croûte terrestre (Polidori, 2002).

Il est cependant possible de produire des images radar en mode RVB en combinant trois images simples correspondant à des dates différentes pour produire une image composite multi temporelle.

# **Chapitre I.**

## **Introduction**

# **Chapitre I.**

## **Introduction**

## II. INTRODUCTION

### 1. Notions sur la télédétection

#### 1.1 Définition de la télédétection

La télédétection est définie comme l'ensemble de techniques servant à l'acquisition d'images ou d'autres types de données sans contact direct avec l'objet ou la **cible** étudiée, ainsi que le traitement et l'analyse de ces données.

La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique **émis** ou **réfléchi**, à traiter et à analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information.

Pour enregistrer l'énergie réfléchie ou émise par une surface ou une cible donnée, on doit installer un **capteur** sur une **plate-forme** distante de la surface ou de la cible observée.

Ces plates-formes peuvent être situées près de la surface terrestre, comme par exemple au sol, dans un avion ou un ballon; ou à l'extérieur de l'atmosphère terrestre, comme par exemple sur un véhicule spatial ou un satellite.

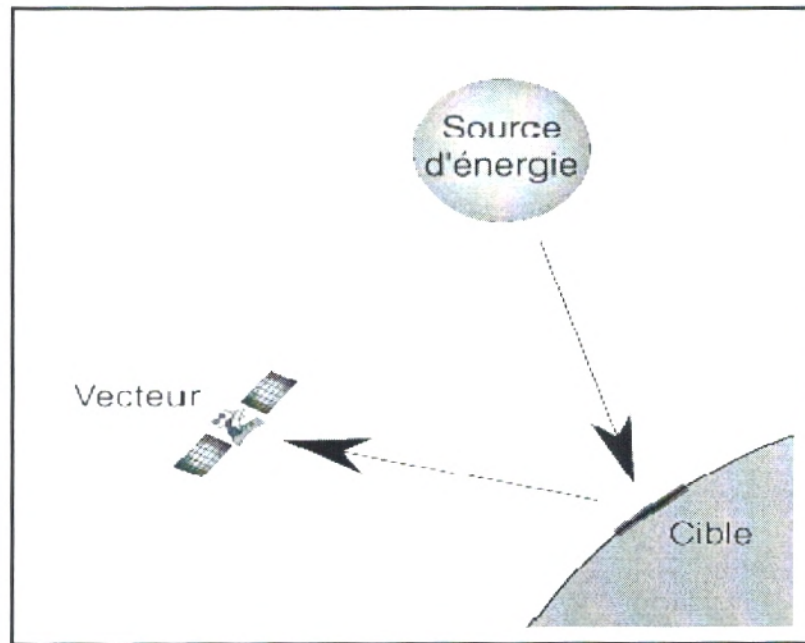
Des exemples connus de capteurs sont nos yeux (notre tout premier capteur de télédétection) et les caméras.

Nos yeux détectent et mesurent l'énergie lumineuse, La lumière que nos yeux peuvent déceler se trouve dans ce qu'on appelle le spectre visible.

Il est important de constater que le spectre visible représente une bien petite partie de l'ensemble du spectre. (« Notions fondamentales de télédétection » du site Web du Centre canadien de télédétection).

#### 1.1.1.Principe de base de la télédétection

La télédétection c'est l'interaction entre trois éléments fondamentaux : une source d'énergie, une cible et un vecteur, Ainsi l'œil est un excellent dispositif de télédétection; il joue le rôle d'un vecteur qui estime la quantité et la nature d'énergie de la lumière visible réfléchie, produite par une source externe (soleil, projecteur, ..) et en déduit des informations à propos de notre environnement (cible) (figure 1) :



**Figure. 1** : Principe de base de la télédétection (Big n°3. Initiation à la télédétection).

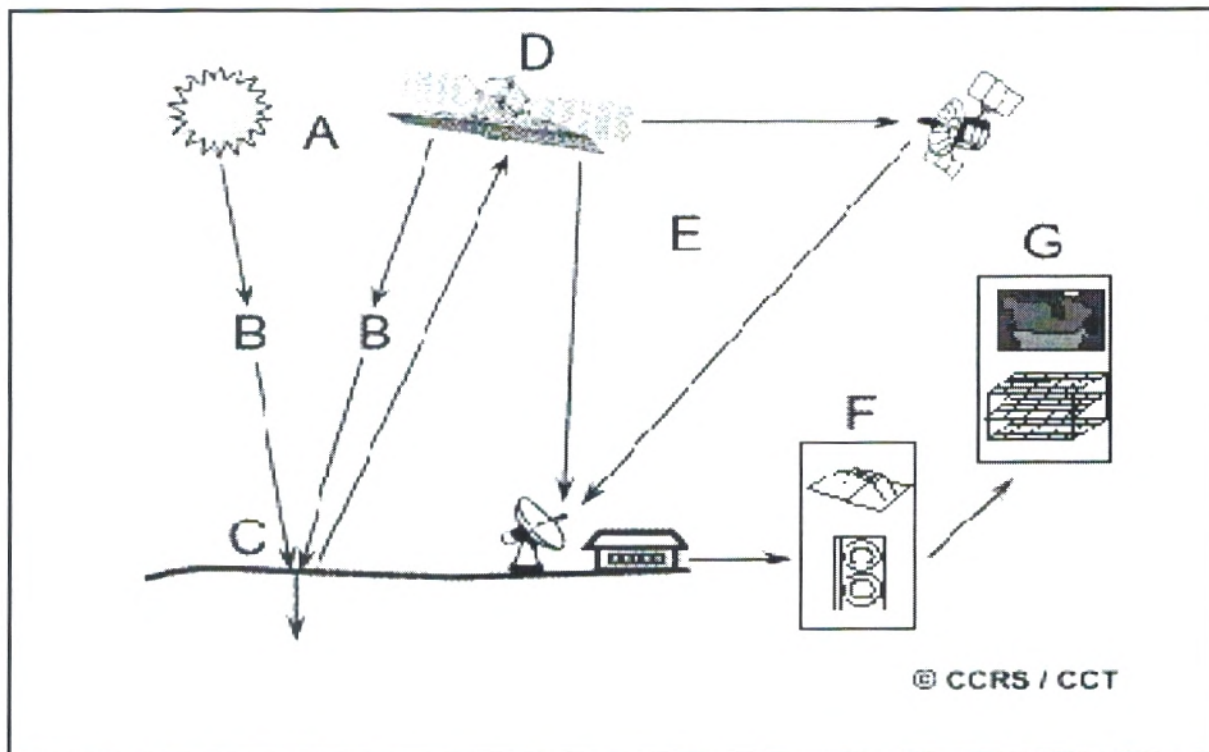
- **La cible** étant la portion de la surface terrestre observée par le satellite, et dont la taille peut varier de quelques dizaines à plusieurs milliers de kilomètres carrés.
- **La source d'énergie** : l'élément qui "éclaire" la cible d'une onde électromagnétique (flux de photons), il s'agit généralement du soleil, ou de l'énergie solaire stockée et réémise par la cible (considérée - dans ce cas- comme source d'énergie) sous forme de chaleur (infrarouge thermique), dans les deux cas, le satellite ne fait que capter le rayonnement réfléchi, on parle de télédétection passive.

Toutefois, la technologie RADAR nécessite qu'un émetteur soit embarqué sur le satellite ; ce dernier émet une onde vers la cible et en mesure l'écho, il devient lui-même source d'énergie, on parle alors de Télédétection active.

- **Le vecteur** ou plate-forme de télédétection mesure l'énergie (rayonnement électromagnétique) réfléchi par la cible, puis un émetteur renvoie l'image sur Terre vers des systèmes de collecte et analyse de données, le vecteur peut-être un satellite ou un avion, dominant la cible de quelques centaines de mètres à 36 000 kilomètres.

### 1.1.2. Les principales étapes de la télédétection

Les étapes de la télédétection combinant les trois éléments fondamentaux que sont la source d'énergie, le vecteur et la cible- sont résumés dans la figure suivante (figure2):



**Figure. 2:** Les sept étapes de la télédétection (Big n°3. Initiation à la télédétection).

**a. 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.

**b. 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.

**c. 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.



**d. 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.

**e. 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).

**f. 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.

**g. 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.

## **1.2. Utilité et domaines d'application de la télédétection**

### **1.2.1. Utilité de la télédétection**

Les images spatiales sont de plus en plus utilisées dans les professions de l'aménagement du territoire, la topographie, la géologie et en raison des différents services qu'elles sont susceptibles de rendre.

Aujourd'hui la télédétection est une technique incontournable pour les géomètres et topographes.

Cependant, le fait d'avoir accès à des données et de pouvoir les gérer sera toujours insuffisant, et les utilisateurs de la télédétection devront toujours avoir conscience des limites de ces outils et tenir compte des contraintes économiques ou sociales à partir desquelles est posée la question avant de rechercher la réponse dans les images ou dans toute autre donnée géographique (Ducrot, 2005).

En d'autres termes, l'image de télédétection n'est pas un outil d'aide à la décision. C'est, au mieux, une source d'information, un outil de communication ou une pièce à conviction (Ducrot, 2005).

## 1.2.2. Domaines d'application de la télédétection

### 1.2.2.1. Météorologie

La météorologie a été la première application civile de la télédétection spatiale. Stimulés par un important besoin de données, des programmes spatiaux ont été conçus pour cette seule application. Il s'agit principalement de satellites géostationnaires (GOES, METEOSAT) ou de satellites défilants (NOAA), dans les deux cas, les prévisions s'appuient sur des acquisitions très fréquentes dans les domaines visible et infrarouge.

Au système européen METEOSAT (satellite géostationnaire effectuant une acquisition toutes les 30 mn dans 3 canaux : panchromatique, thermique, bande de vapeur d'eau), succédera une deuxième génération (MSG) caractérisée par une résolution forte, une douzaine de canaux, et une acquisition toutes les 15 mn (Polidori, 2002).

### 1.2.2.2. Océanographie

L'océanographie s'appuie sur deux types d'observations :

- les images radar sont sensibles à l'état de la surface (rugosité, niveau moyen et instantané...) et permet donc des applications en océanographie physique (ondes internes, courants, bathymétrie, marées...);
- les images optiques, en particulier multispectrale, sont sensibles à la couleur de l'eau, donc à sa constitution (sédiments, plancton) et à la nature du fond en zone peu profonde.

Ces deux techniques sont complémentaires pour l'étude des zones côtières au large, les acquisitions SAR sont limitées par l'absence de stations de réception, mais les capteurs radar à basse résolution (altimètres, diffusiomètres) ne sont pas tributaires de cette contrainte (Polidori, 2002).

### 1.2.2.3. La géologie

#### 1.2.2.3.1. Télédétection et cartographie géologique

Une carte géologique est une représentation sur un fond topographique, des terrains qui affleurent à la surface du sol.

Une carte géologique comprend donc des informations sur les limites des couches affleurants et des formations superficielles récentes ainsi que sur la nature lithologique des couches (Gomez, 2004).

Les cartes géologiques sont des outils fondamentaux pour de multiples applications. Néanmoins, lors d'un travail de cartographie géologique, les géologues sont confrontés à différents problèmes, un accès limité aux affleurements (végétation, propriété privée et relief escarpé), une durée de mission limitée (des conditions climatiques plus ou moins favorables) engendrent une hétérogénéité et une discontinuité de l'information recueillie.

Ainsi, la cartographie géologique, qui cherche à identifier et décrire les différents types de roche dans une région donnée puis à la mise en carte des données géologiques recueillies sur le terrain, est passée de son aspect classique basé uniquement sur des missions de terrain et les photos aériennes, ce qui s'avère être un travail long et complexe ; à un nouvel aspect (images optimisées par l'application de tous les traitements numériques, fondée sur leur sélection en mode interactif, la numérisation..) facilitant la confection de telles cartes et la mise à jour des données cartographiques (Gomez, 2004).

Pour pallier à ces problèmes, l'utilisation de données de télédétection aériennes et spatiales peut constituer une source d'information considérable. En effet chaque capteur mesure une propriété physique de la surface terrestre avec des caractéristiques précises (résolution spatiale, spectrale et radiométrique, angle de prise de vue, date d'acquisition et rapport Signal sur Bruit).

L'utilisation de données de télédétection permet de disposer d'informations sous forme numérique et toutes géoréférencées dans un même système.

#### **1.2.2.3.2. Télédétection et la prospection minière**

La prospection minière, aussi appelée prospection ou exploration minérale, représente un vaste champ d'application de la géologie à la recherche et si possible à la découverte et la mise en valeur de ressources minérales qu'elles soient métallifères ou non (Hamzaoui, 2006).

Au cours des dernières années, la télédétection est devenue un outil de plus en plus utilisé dans les travaux de l'exploration minière

La télédétection joue un rôle important pour l'identification rapide des zones des ressources minérales. Des cartes de zones cibles peuvent être réalisées en se basant sur des données multispectrale telles que Landsat ou ASTER. Ces cartes constituent une aide précieuse pour l'orientation des travaux (Hamzaoui, 2006).

L'utilisation des techniques de la télédétection aérospatiale en plus des méthodes classiques de la prospection minière donnent une enduction plus précise des zones filoniennes.

L'imagerie satellitaire constitue pour le géologue un outil très important et parfois indispensable pour optimiser le temps passé sur le terrain, tout en améliorant d'une façon très sensible la précision des ressources naturelles (Souleye et al, 2002).

## 2. Situation géographique de la zone d'étude

La zone d'étude se situe à environ 160 Km au Nord Ouest de la localité d'In-Eker, elle même distante de 130 Km au NO de la ville de Tamanrasset, chef lieu de la wilaya du même nom.

L'indice Seldrar fait partie du district aurifère Tesnou-Ifetessene situé sur le territoire de la Feuille Tesnou (1/200 000) (figure 3).

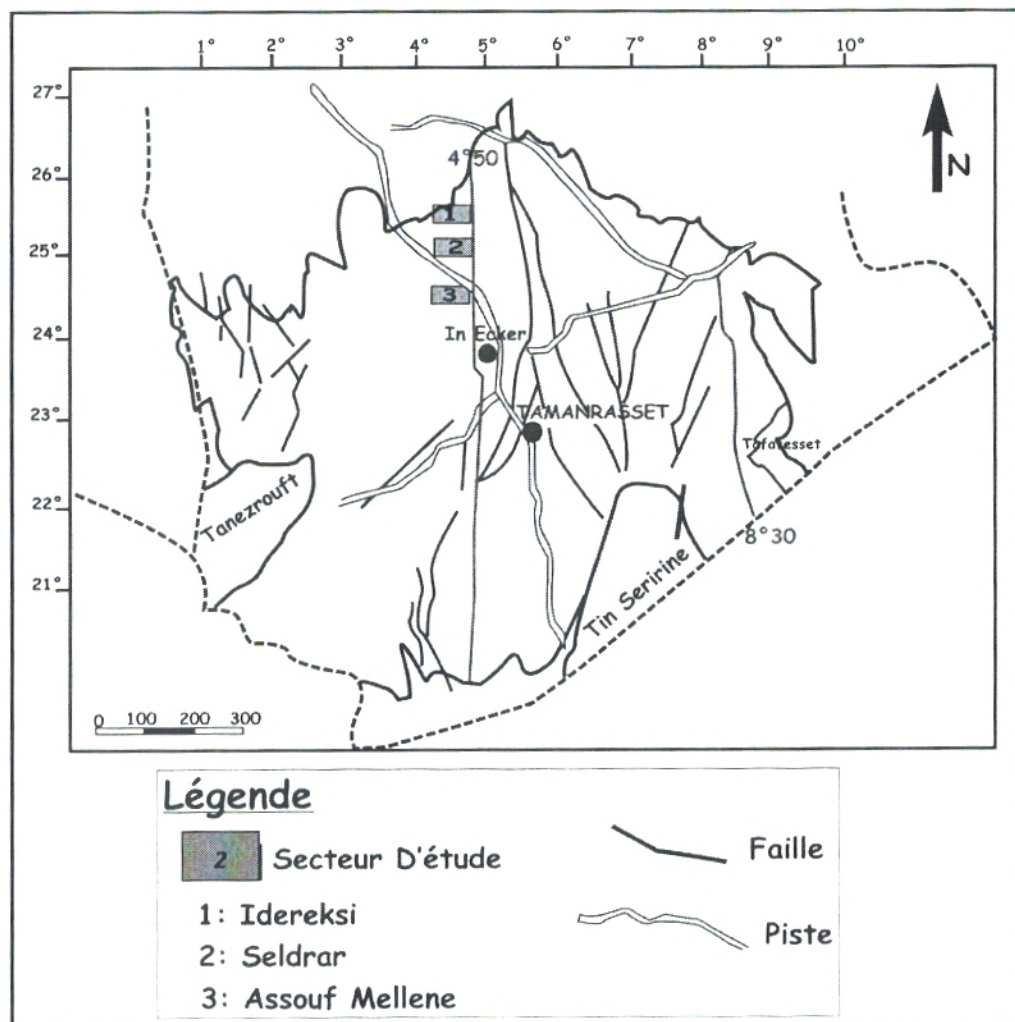


Figure. 3: Schéma de situation de secteur d'étude (in Chaouche, 2008).

# **CHAPITRE II.**

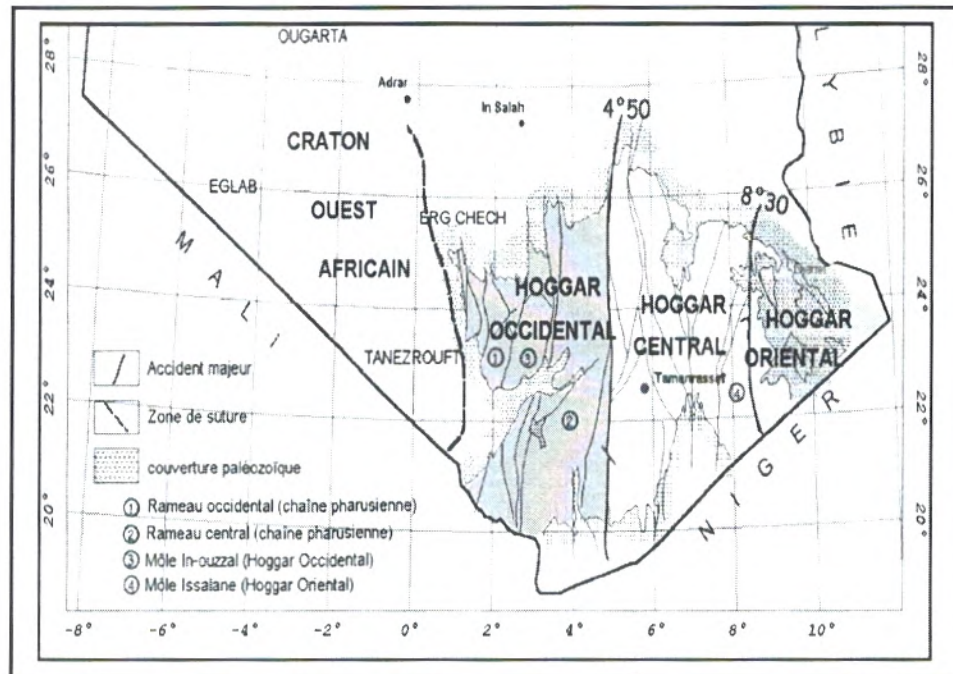
## **Géologie régionale et locale**

## 1. Géologie du Hoggar

Le Hoggar est situé en Algérie avec ces 550 000 km<sup>2</sup> de superficie, il est le plus important constituant du bouclier touareg.

Il se prolonge, au sud-ouest, au Mali, par le Massif des Iforas, et à l'Est, au Niger, par le Massif de l'Aïr.

Il est séparé en trois grands domaines qui sont de l'Ouest vers l'Est: le Hoggar occidental, le Hoggar central et le Hoggar oriental (figure 4). (Bertrand et Caby, 1978).



**Figure. 4:** Carte des principaux domaines structuraux du Hoggar (Caby et al., 1982).

Le bouclier touareg, formé durant l'orogénèse Pan-Africaine (850-550 Ma) est caractérisé par des shearzones majeures orientées Nord-Sud séparant trois blocs cristaux aux géologies contrastées.

Il peut être ainsi interprété comme une amalgamation des Terranes, pris en tenaille entre le Craton Ouest Africain et le Craton Est Saharien, au cours de l'Orogenèse Panafricaine 850 - 550 Ma (Black et al., 1994 ; Liégeois et al., 2000).

Cet événement correspond à la constitution du Gondwana central, ceci s'est réalisé par une série de collisions entre plusieurs microcontinents et l'accrétion d'arcs insulaires.

Cette orogénèse et les mouvements décrochant le long de méga-shear zones, qui ont eu lieu au cours des stades tardifs, ont provoqué une délamination de la lithosphère mantellique subcontinentale.

Ultérieurement, à partir du Crétacé, un volcanisme intra plaque a permis la surrection de l'ensemble du Bouclier Touareg. La source de ce magmatisme semble liée à la remontée de

l'asthénosphère consécutive à la délamination de la lithosphère au cours du panafricain qui a permis de fertiliser le manteau (figure 5).

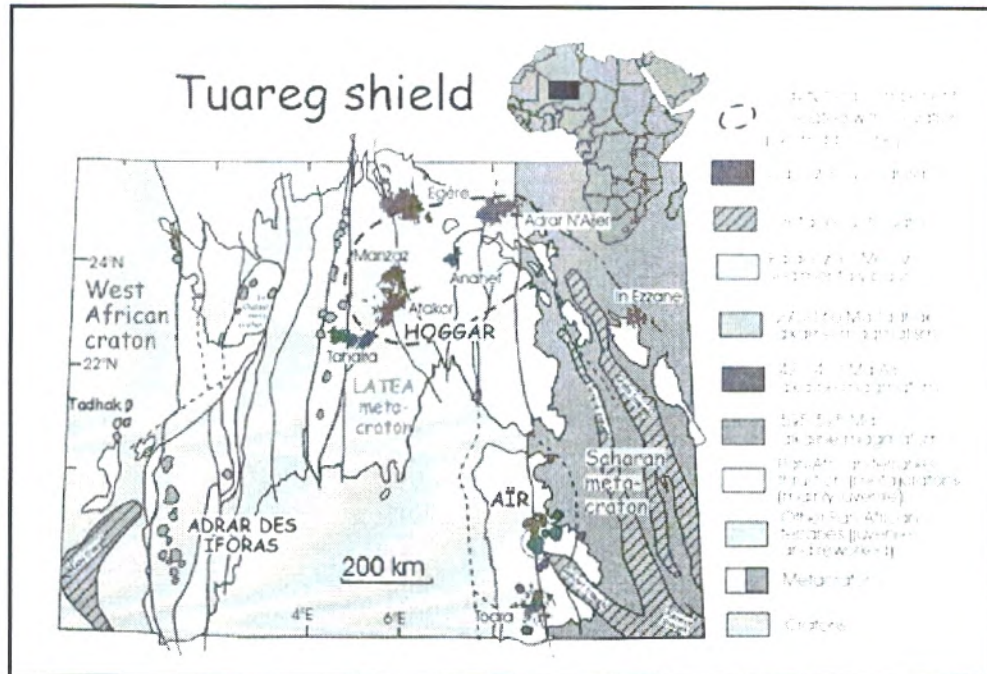


Figure.5: Carte géologique du Hoggar (Introduction à la Géologie du Hoggar).

Chacune des ses entités du Hoggar est constituées de plusieurs terranes (23 terraines dans tout le Hoggar) (figure 6).

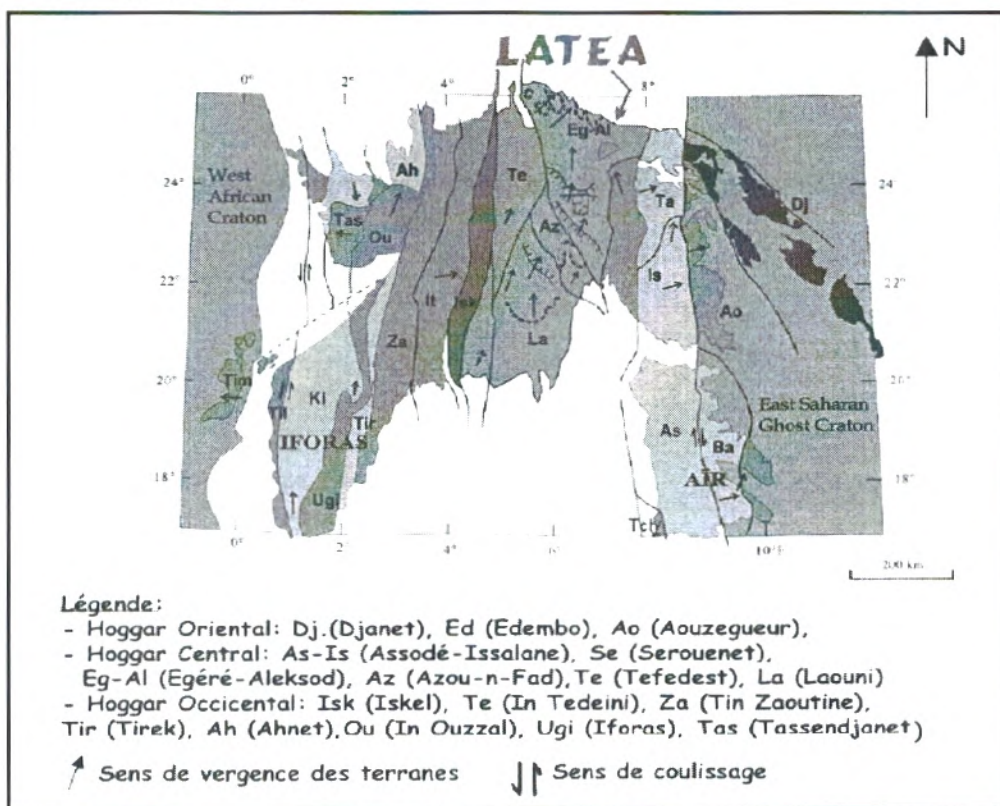


Figure. 6 : Subdivision du Hoggar en 23 terranes (Liégeois et al., 2000).

a) **Le Hoggar oriental** est constitué de trois terranes partageant comme front commun la zone de cisaillement  $8^{\circ}30'$ , ils sont accolés les uns aux autres par l'intermédiaire de failles orientées NNW-SSE (Semiani et al., 2004).

Il s'agit des terranes de : **Djanet, Edembo, et d'Aouzeggueur.**

b) **Le Hoggar central** est limité à l'Est et à l'Ouest par les cisaillements  $8^{\circ}30'$  et  $4^{\circ}50'$ . Les formations d'âge paléo protérozoïque et mésoprotérozoïque prédominent dans ce domaine.

Les premières sont formées de migmatites et gneiss rubanés de composition granodioritique à tonalitique associés à des gneiss cillés, alors que les formations mésoprotérozoïque sont caractérisées par la présence d'une alternance de marbres, d'amphibolites, de quartzites et localement de micaschistes (Semiani et al., 2004).

Le matériel volcano-sédimentaire d'âge néo protérozoïque se situe le long des zones de cisaillement en formant des ceintures étroites d'allongement subméridien.

Il regroupe quatre terranes (**Laouni, Azrou-n-Fad, Téfédést et Egéré-Aleksod**), désignée par l'acronyme **LATEA**.

Ce dernier est interprété comme un vieux micro-continent archéo-éburnéen, qui au Panafricain correspondait à une marge passive (Liégeois *et al.*, 2000 ; Latouche *et al.*, 2000).

c) **Le Hoggar occidental** est limité à l'ouest par le Craton ouest africain et à l'Est, par l'accident  $4^{\circ}50'$ , il est subdivisé en deux rameaux (oriental et occidental) séparés par le môle In-Ouzzal (terrine d'In Ouzzal) qui est formé de matériaux d'âge archéen structurés et métamorphisés à l'Eburnéen (Haddoum et al, 1994).

Il constitue un vaste domaine où affleurent essentiellement des formations volcano-sédimentaires et volcaniques d'âge néo protérozoïque oblitérées par d'immenses batholites de granitoïdes calco-alcalins (Semiani et al., 2004)..

On note également l'abondance de roches ultrabasiques serpenfinisées, parfois schistosées et qui se présentent en bandes linéaires subméridiennes parmi les formations volcano-sédimentaires (Semiani et al., 2004).

Il s'agit le terraine d'In Ouzzal forme un bloc rigide isolé d'âge archéen, structuré et métamorphisé à l'Eburnéen (Haddoum *et al.*, 1994), ce bloc sépare le domaine occidental (terrains de l'Ahnet et de Tassendjanet) du domaine oriental (terrains de Tirek, Tin Zaouaten, In Teidini et d'Iskel).



## 2. Le terraine d'Iskel

Le terraine d'Iskel est un bloc exotique au sein du bouclier "Touareg", il est limité à l'Est par l'accident submérien  $4^{\circ}50'$  qui forme la limite occidentale de la LATEA et à l'Ouest par l'accident majeur  $4^{\circ}30'$  (Black *et al.*, 1994) (figure 7).

Le terraine d'Iskel est constitué par un faciès d'ancienne plate-forme sédimentaire recoupée par des sills mafiques et ultramafiques, des granites calco-alcalins à 870Ma et des granites potassiques à 840 Ma (Lazouni *et al.*, 2008).

Les formations volcano-sédimentaires comprennent des conglomérats, greywackes, pélites et marbres de type plate-forme, des basaltes en pillows de type intraplaque et des pyroclastites interstratifiées (Lazouni *et al.*, 2008).

Elles sont associées, dans la région de Silet-Abankor, à la "paléosuture de Silet" (Lapierre *et al.*, 1987), désignant un complexe de roches basiques et ultrabasiqes (serpentinites, diabases, basaltes) issues de la différenciation d'un magma tholéitique, seul témoin d'un domaine océanique néoprotérozoïque (Caby, 2000).

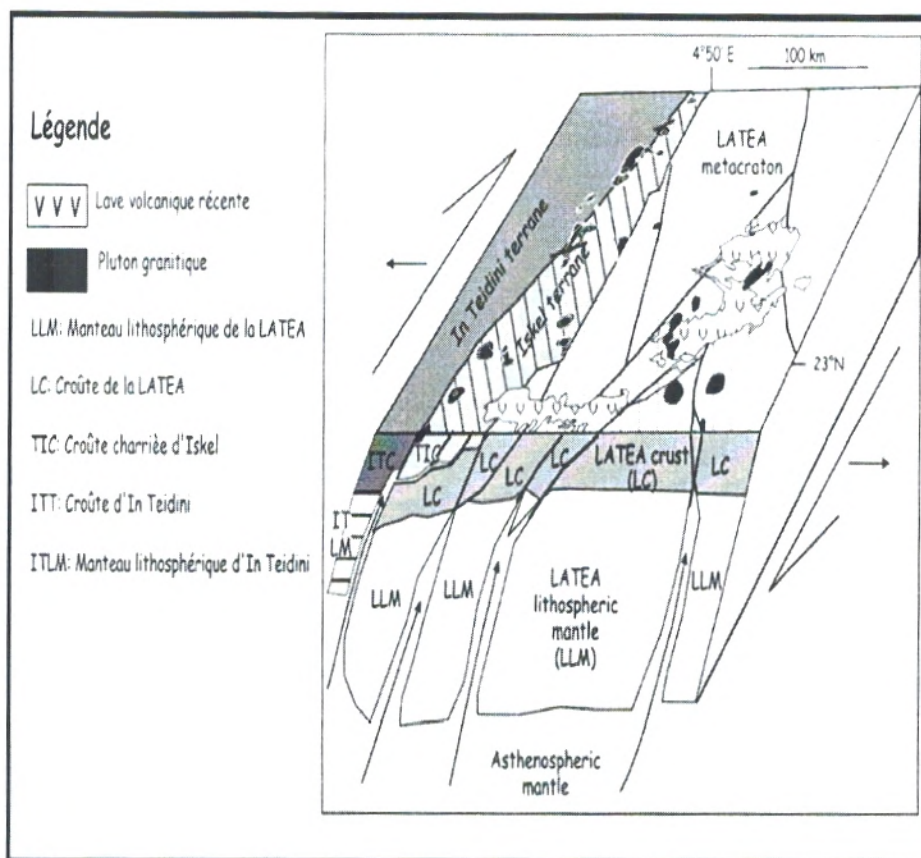
Le terrane d'Iskel qui chevauche la LATEA n'a pas son propre manteau lithosphérique.

Dans ce cas le terrane d'Iskel peut être considéré comme le vestige d'arc insulaire s'étendant sur la marge occidentale de la LATEA.

Il renferme les indices de Silts: Tekouyat, Tesnou, Seldrar, Tin Felki et Tan Chafao. Les minéralisations aurifères de type filonien jalonnent le décrochement ductile  $4^{\circ}10'$ ,  $4^{\circ}13'$  et leurs satellites (Lazouni *et al.*, 2008).

Les filons de quartz aurifères sont encaissés dans les granites et granodiorites et parfois même dans des amphibolites du Protérozoïque.

A noter que les filons sont disposés préférentiellement dans des couloirs cataclasés et mylonitisés, selon deux directions principales NE- SW, NW-SE et E-W.

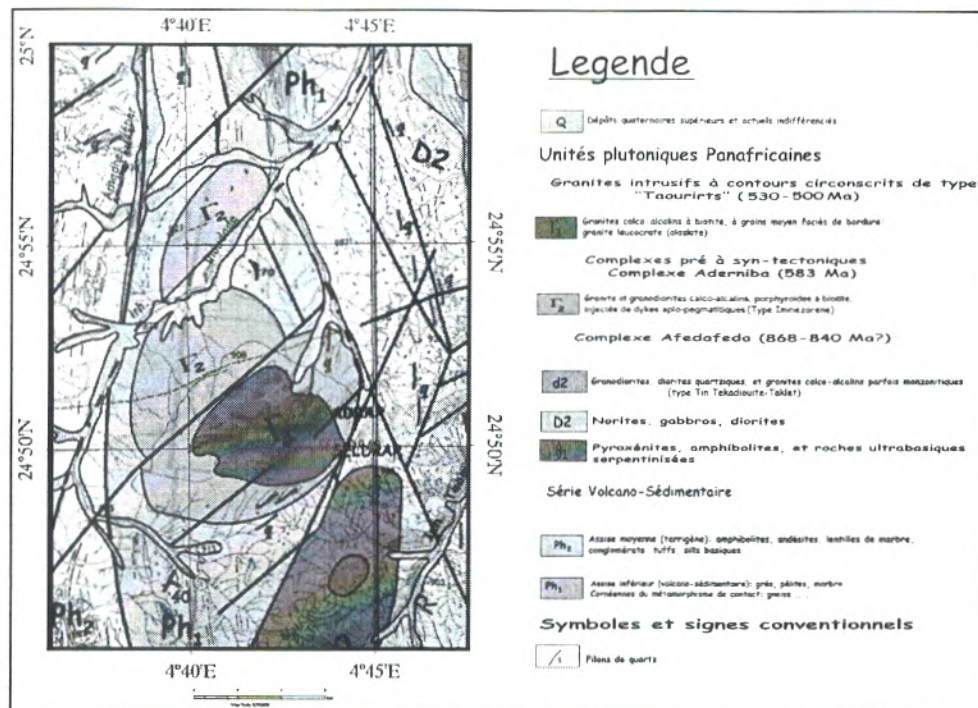


**Figure 7 :** Coupe en 3D représentant le terrain d'Iskel (Hoggar Occidental chevauchant la LATEA (Hoggar Oriental), (Azzouni-Sekkal *et al.*, 2003).

### 3. La géologie du secteur d'étude

L'indice Seldrar est situé à l'ouest du linéament 4°50' et au Nord du granite de Seldrar, il constitue le prolongement vers le Nord de l'indice Assouf Mellene et occupe une surface de 400 Km<sup>2</sup>. Quinze (15) zones filoniennes d'une étendue totale de 32.5 km ont été distinguées (ORGM, 1997).

Les formations volcano-sédimentaires n'affleurent qu'en lambeaux et sont moins développées par rapport à celles de l'indice d'Assouf Mellene (ou sud), les roches du complexe syntectonique «Aderniba» représentées par le granite type «Immezarene» occupent la plus grande partie des affleurements, ce dernier recoupe avec le granite Seldrar, à l'emporte pièce, l'ensemble des formations volcano-sédimentaires (figure 8).



**Figure 8:** Carte géologique à 1/200000 des indices aurifères (ORGM, 1997 ; modifié par chaouche, 2008).

#### 4. Description morphologique des filons de quartz aurifères (indice Seldrar)

Les filons de quartz aurifères sont sub-affleurants, encaissés dans les granodiorites intensément foliées dans la direction N-S, cependant, quelques-uns sont encaissés dans les diorites du complexe « Afedafeda ».

Ils ont une morphologie irrégulière liée essentiellement à la tectonique cassante, ils sont soit isolés, soit en nœuds, soit en essais ou groupés en zones linéaires (Blinikov, 1990).

Les filons les plus prometteurs situés dans les secteurs étudiés se présentent souvent soit en relais soit en queue de cheval. Ils dessinent parfois une forme en "Y" (Talbi, 1984).

L'extension des corps minéralisés est variable allant de quelques millimètres à plusieurs centaines de mètres. Les épaisseurs sont aussi variables, les plus importantes peuvent atteindre cinq mètres.

Le pendage des filons de quartz est en moyenne de 60°NE à 90°N et présentent deux directions principales :

- Une direction E- W
- Une direction NE - SW (N60° - N70°)

La zone d'altération se développe sur 50 cm d'épaisseur aux épontes des filons de quartz est une roche de couleur grisâtre contrastant avec les roches encaissantes plus sombres, elle est à composition de quartz, biotite, muscovite, carbonates, pyrite et rare kaolinite et albite (Chaouche, 2008).

## 5. Tectonique

Deux phases tectoniques appartenant à l'orogénèse panafricaine ont marqué la région Tesnou-Ifetessene, une phase tectonique souple et une autre phase cassante.

Elles se traduisent par de grands décrochements subméridiens, tout le long de la région, la présence de plusieurs structures tectoniques secondaires et la mise en place des grands complexes magmatiques (Chaouche, 2008).

**5.1. La phase tectonique cassante:** elle se traduit dans la région d'étude par les failles décrochements, une schistosité de fracture et les diaclases.

**5.1.1. Les failles décrochantes:** elles sont matérialisées par trois types de systèmes de failles :

a. Un système méridien (N-S) représenté par l'accident majeur  $4^{\circ}50'$ : cet accident fait environ 700 km de long et 2 à 4 Km de large. C'est une faille décrochante à composante inverse et à rejeux senestre.

Elle présente sur sa surface de dislocation un pendage fort ( $60^{\circ}$  -  $80^{\circ}$ ) vers l'Est. Des blasto-mylonites et cataclasites affleurent le long de l'accident.

b. Un système subméridien  $4^{\circ}30'$ , de direction NNE-SSW à NE-SW, de décrochement dextre.

c. Un système d'orientation NW-SE et un système d'orientation NE-SW : ce sont des failles décrochantes, à rejeu(x) dextre(s), qui décalent légèrement les grands accidents majeurs ( $4^{\circ}50'$  et  $4^{\circ}30'$ ). Les filons de quartz aurifères sont généralement liés à ces failles.

**5.1.2. Schistosités de fracture:** Elles affectent l'encaissant magmatique des filons (granodiorites et gabbros). Deux directions principales sont observées:

N-S: ( $N0^{\circ}$  -  $N10^{\circ}$ ,  $N170^{\circ}$  -  $N180^{\circ}$ )

E-W: ( $N80^{\circ}$  -  $N100^{\circ}$ )

**5.1.3. Les diaclases:** affectent toutes les formations ainsi que les filons qui recoupent la schistosité de fracture. Trois directions principales sont observées:

Une direction principale  $N50^{\circ}$ -  $N80^{\circ}$

Une direction  $N100^{\circ}$ -  $N110^{\circ}$

Une direction  $N160^{\circ}$ -  $N170^{\circ}$

**5.2. Déformation souple:**

Elle s'est traduite par un développement des structures comme les plis et les foliations.

**5.2.1. Les plis :** deux types de plis sont observés ;

1. Des plis métriques, à grands rayons de courbure, droits ou légèrement inclinés de 30°E, ils affectent essentiellement les métapélites et les aleurolites.
2. Des plis serrés isoclinaux perturbés localement par des microplis.

**5.2.2. Foliation :** elle est bien marquée dans les schistes à amphibole, suivant deux directions majeures :

1. Une direction N0°- N10° à N20°- N30° ;
2. Une direction N60°-N120°.

# **Chapitre III.**

**Traitement des images et  
résultats obtenues**

### 1. Méthodologie

Pour l'identification des linéaments, des contours des différentes formations géologiques et des filons de quartz de la région de Seldrar sur l'image Landsat7 ETM+ et l'image Radar ERS SAR on a suivi les étapes suivantes (figure 9) :

Nous avons d'abord traité l'image Landsat7 ETM+ et l'image Radar ERS SAR en utilisant le logiciel **ENVI 4.5**.

Les différents traitements utilisés sont la composition colorée (CC), l'analyse en composantes principales (ACP), Rapport de bandes (Band ratios) et le filtre Sobel.

Nous avons ensuite appliqué le filtre (le filtre Sobel et le filtre directionnel) sur les images traitées pour obtenir les cartes linéamentaires.

Ces différentes images issues des traitements sont ensuite exportées dans le logiciel **Photo Filtre Studio X** pour tracer les contours des différentes contours géologiques, les linéaments et les filons de quartz de la zone étudiée.

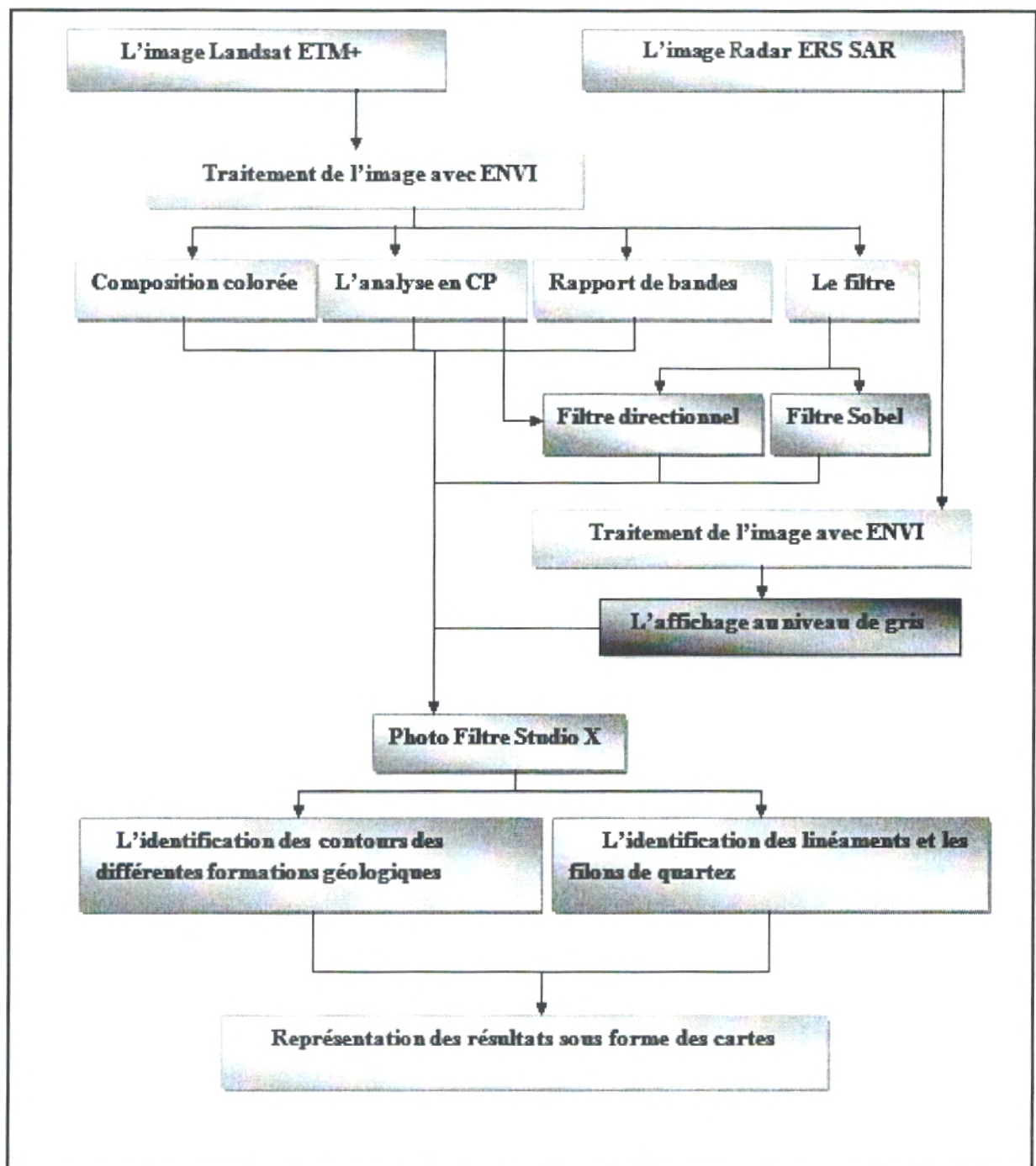


Figure 9 : Organigramme de la méthodologie de travail.



## 2. Traitement de l'image Landsat7 ETM+ et l'image Radar ERS SAR

Les différents traitements utilisés pour l'identification des linéaments, les contours des différentes formations géologiques et les filons de quartz de la région de Seldrar, c'est la composition colorée (CC), l'analyse en composantes principales (ACP), Rapport de bandes (Band ratios) et le filtre (le filtre Sobel et le filtre directionnel).

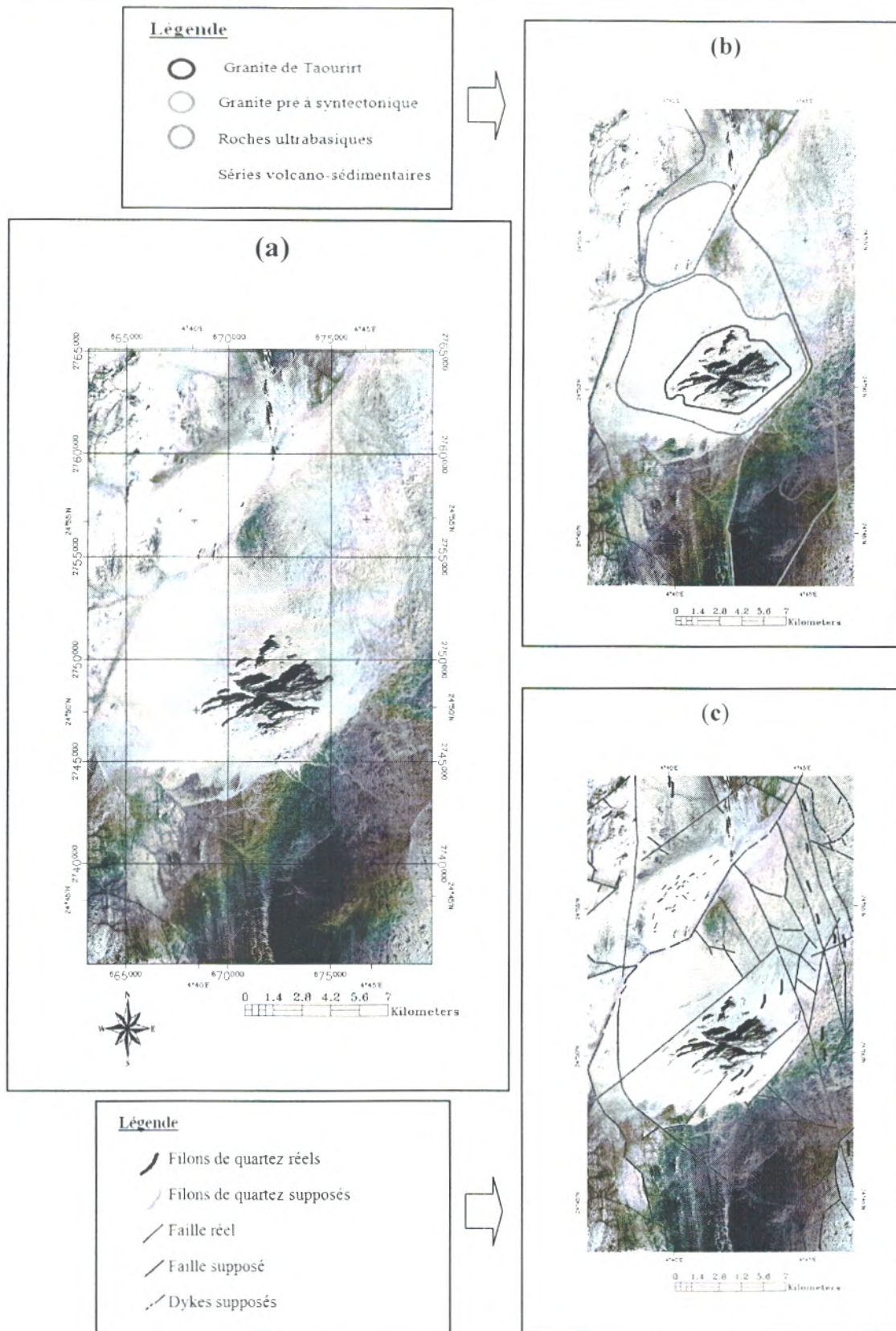
### 2.1. La composition colorée ou affichage en fausses couleurs :

En codant les six canaux de même résolution (30 m, Bandes 1, 2, 3, 4, 5 et 7) d'une image Landsat avec les trois couleurs fondamentales (rouge, vert et bleu), on est arrivé à une composition colorée plus ou moins idéale pour notre étude 751.

Une composition colorée ne peut être réalisée sur l'image radar parce que il y a une seule bande.

L'affichage de l'image Landsat7 ETM+ en composition colorée (751) nous a donné des informations importantes sur les contours des différentes formations géologiques, les failles et les filons de quartz de la région (figure 10).

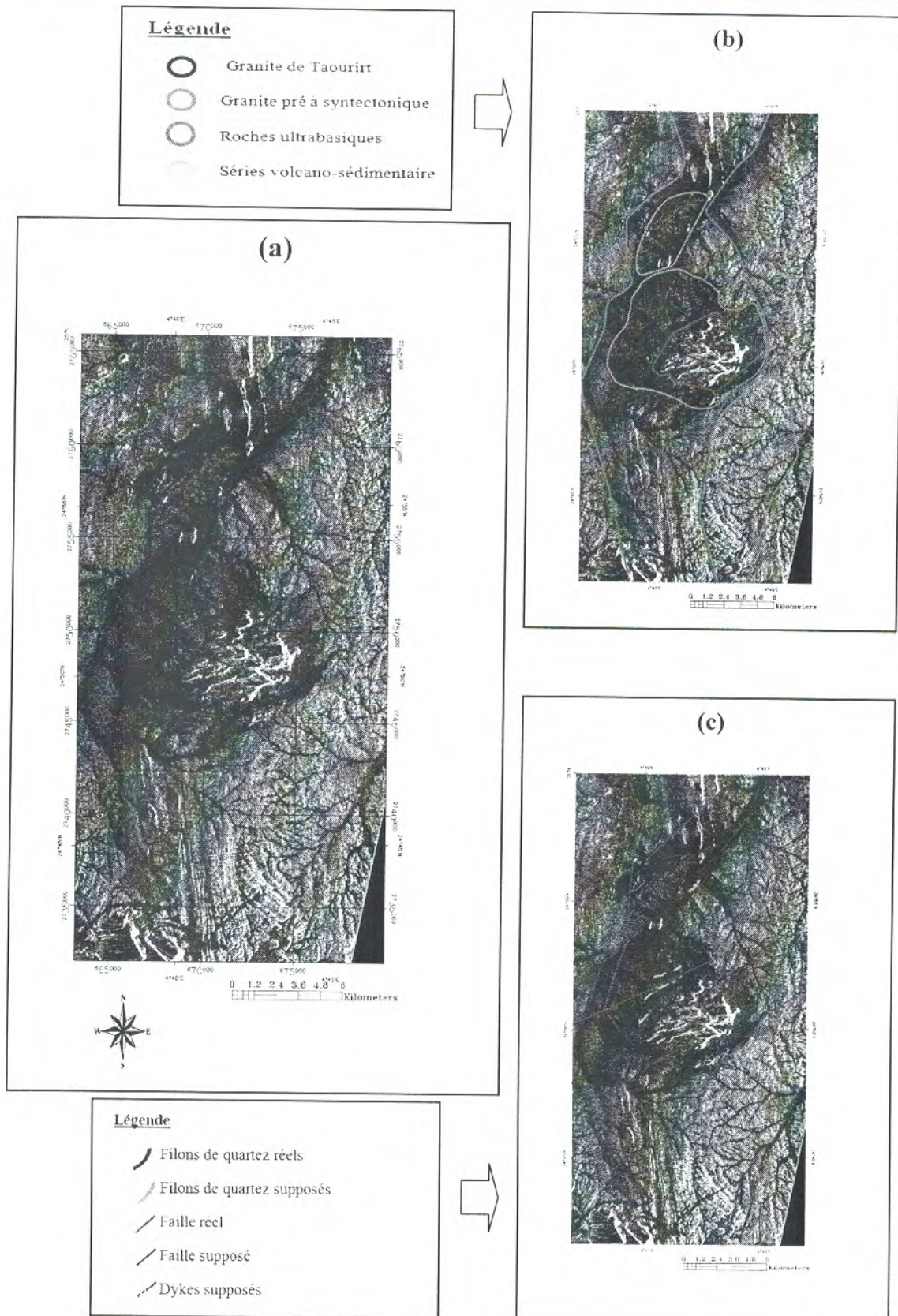
L'affichage de l'image radar au niveau de gris nous a donné des informations importantes sur les contours des différentes formations géologiques granitiques, les failles et les filons de quartz (figure 11).



**Figure.10:** (a): L'image Landsat7 ETM+ (compositions colorées 751).

(b) : Superposition des limites géologique sur l'image Landsat7 ETM+.

(c) : Superposition des failles et les filons de quartz Landsat7 ETM+.



**Figure.11: (a):** L'affichage de l'image radar ERS SAR en niveau de gris.

**(b):** Superposition des limites géologique sur l'image radar.

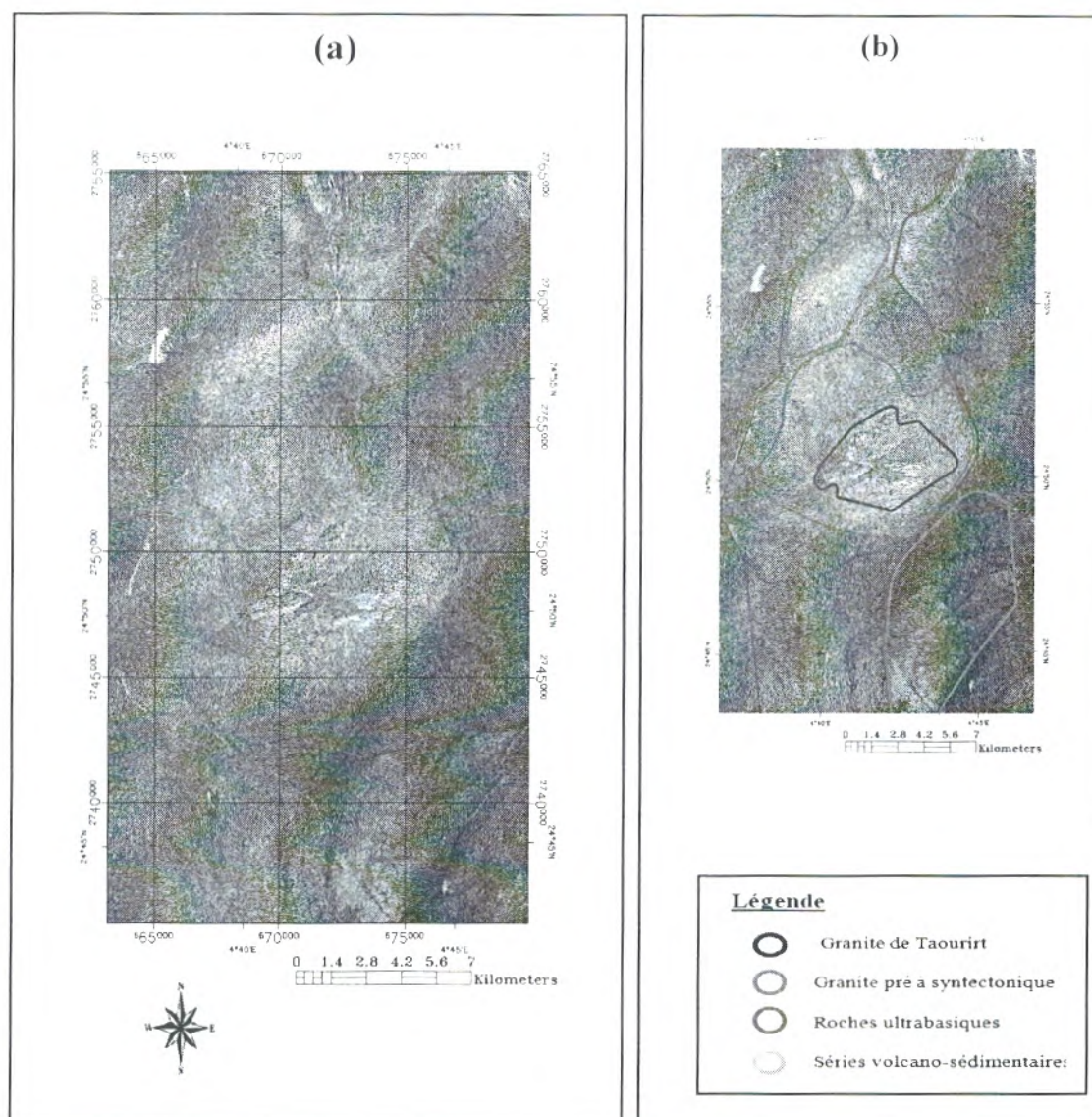
**(c):** Superposition des failles et les filons de quartz sur l'image radar.

## 2.2. L'analyse en composantes principales(ACP):

Les données multi-spectrales des différents canaux contenant souvent de l'information similaire. Les transformations d'images sont utilisées pour réduire les données similaires.

Les "néo" bandes qui en résultent sont appelées composantes et permettent une meilleure résolution et une identification plus claire de l'information comprise dans 5 ou 6 canaux en seulement trois composantes tout en conservant plus de 90% de l'information initiale.

Le traitement de l'analyse en composantes principale nous a donné des informations importantes sur les contours des différentes formations géologiques de la région étudiée (figure 12).



**Figure.12: (a):** L'image Landsat7 ETM+ (compositions colorées "néo" bandes CP7, CP5, CP1).

**(b):** Superposition des limites géologique sur l'image Landsat7 ETM+.

### 2.3. Rapport de bandes (Band ratios) :

Cette analyse se base sur la notion de réflectance elle consiste donc en la division du digital nombre ou valeur radiométrique d'un pixel(DN) dans une bande par le DN d'une autre bande).

Il s'agit d'un procédé multi-spectral très utilisé pour mettre en évidence les différences entre canaux et permet de s'affranchir des variations d'éclairage des pixels, donc de réduire les effets de la topographie et d'augmenter le contraste entre les surfaces minérales.

En pratique, trois rapports de bandes sont utilisés pour obtenir une image en RVB. Résulta de traitement du rapport des bandes (figure 13).

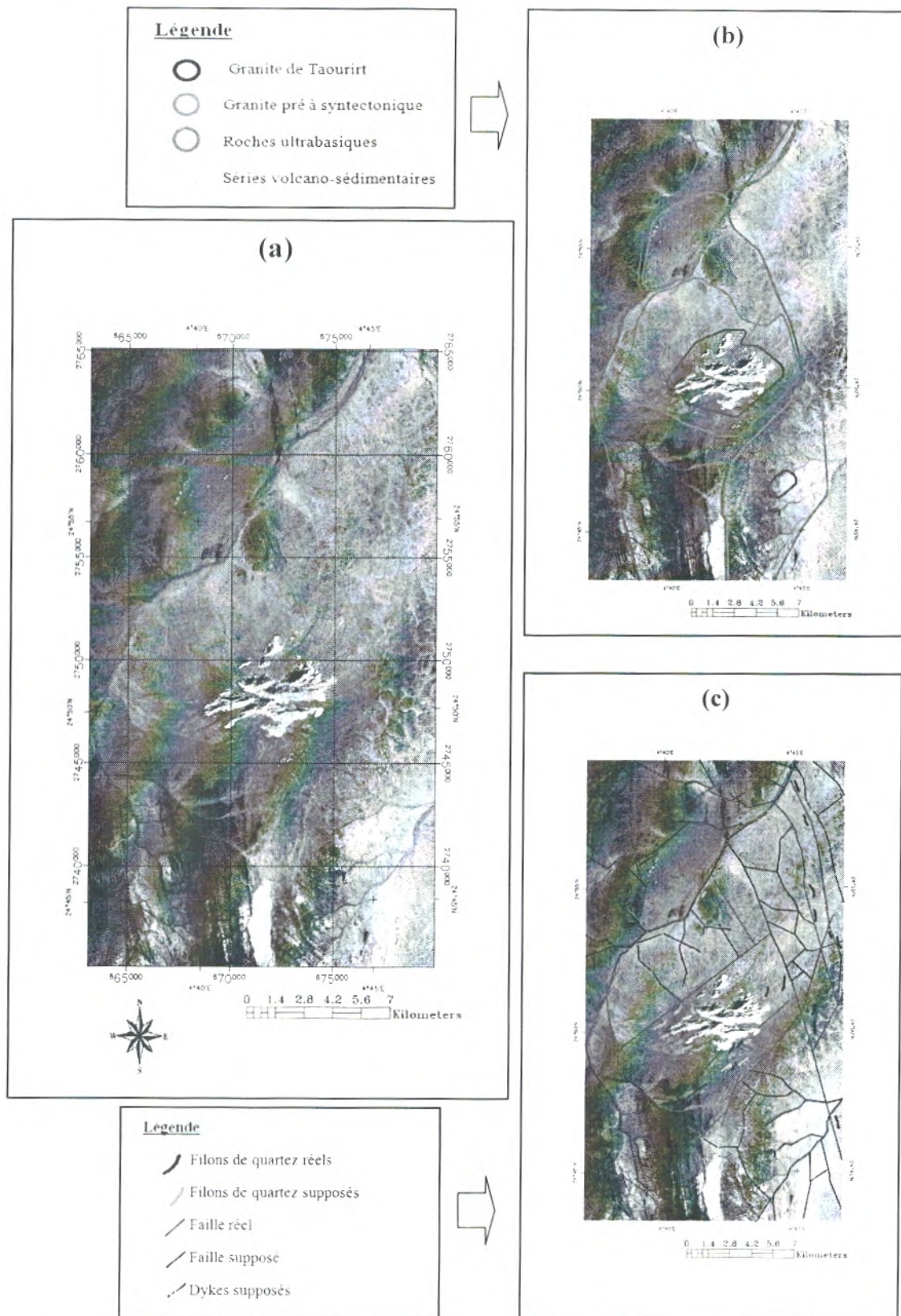


Figure. 13: (a) : L'image Landsat7 ETM+ (compositions colorées "néo" bandes 7/4 5/3 1/2).

(b): Superposition des limites géologique sur l'image Landsat7 ETM+.

(c): Superposition des failles et les filons de quartz sur l'image Landsat7 ETM+.

## 2.4. Filtre

Les différents filtres appliqués à l'image c'est lui appliquer une fonction mathématique qui modifie les valeurs du gris de l'ensemble ou d'une partie des pixels.

Si la fonction est linéaire on parle de filtrage linéaire, si elle prend en compte les valeurs du gris au voisinage de chaque pixel transformé, elle est dite fonction de convolution, les méthodes utilisées dans ce travail sont de type convolution. Il s'agit :

**2.4.1. Le filtre Sobel** : utilisé pour détecter les contours d'objets dans une image, en faisant deux balayages l'un horizontal et l'autre vertical.

Il donne souvent de bons résultats pour la détection des linéaments.

**2.4.2. Les filtres directionnels** : améliorent la perception des linéaments, correspondants à des discontinuités lithologiques ou structurales, en provoquant un effet optique d'ombre portée sur l'image.

La plupart des informations (au moins 90%) des données provenant par le satellite Landsat se retrouvent dans la première composante principale, nous avons choisi d'appliquer le filtrage à bande CP1

On applique les Filtres suivant : Le filtre Sobel de l'image Landsat7 ETM+ à partir de la bande 1 et Le Filtre directionnel de l'image Landsat7 ETM+ à partir de la "néo" bande CP1.

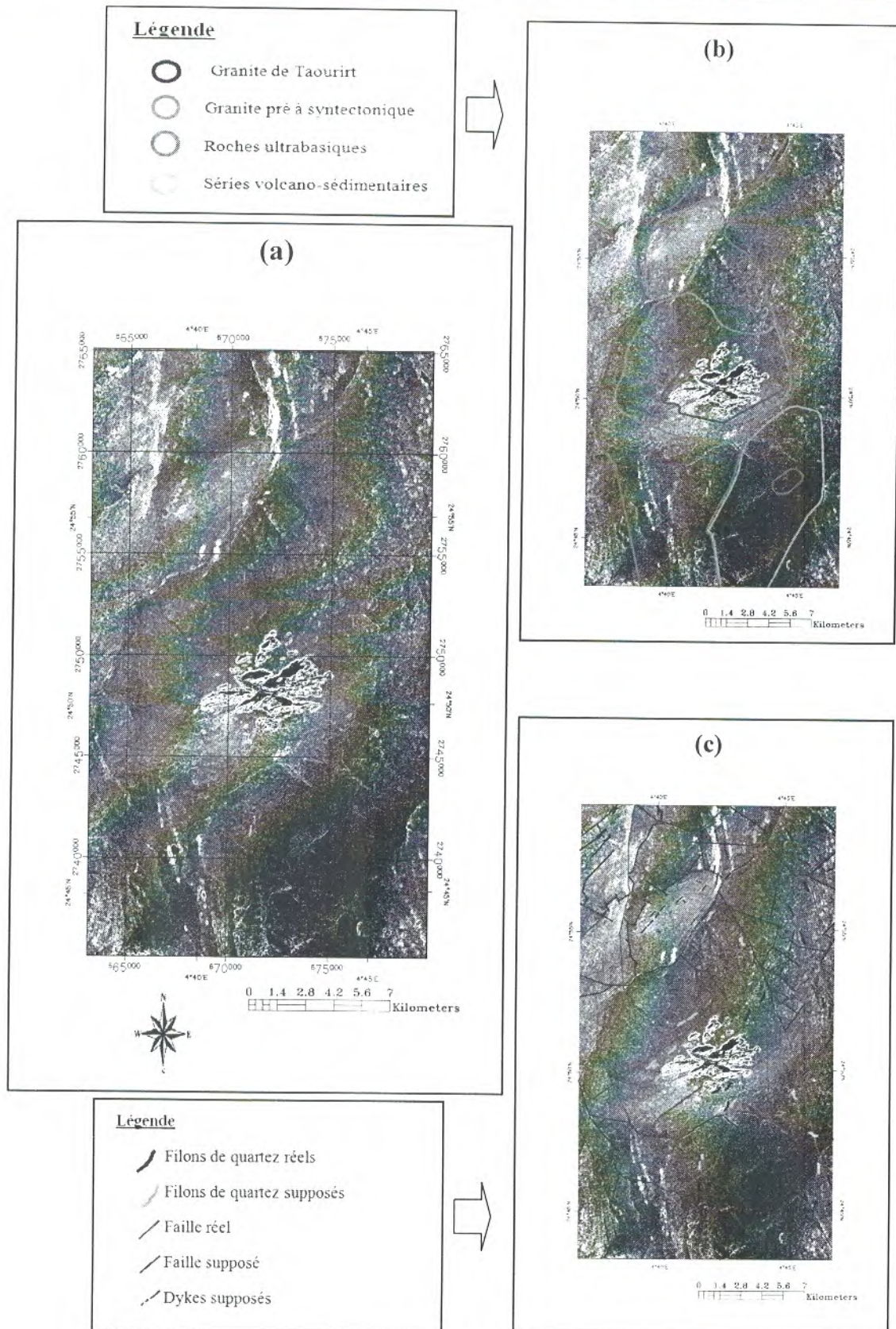
En utilise la matrice 3x3 pour conservé et voir le maximum de détails structuraux.

En a fait plusieurs directions ( $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $90^\circ$ ) mais seul  $\alpha = 50^\circ$  à été retenue à cause d'un meilleur résultat donnée sur les grands failles et les filons de quartz.

Pour le filtre Sobel en a fait plusieurs Back (00, 10, 30, 45, 50, 90) mais seul le Back 50 à été retenue à cause de leur meilleure résolution de l'image.

Le filtre Sobel est donnée une bonne perception des contours des différentes formations et des grands accidents tectoniques (figure 14).

Le Filtre directionnel est donnée une bonne perception des grands failles et les filons de quartz (figure 15).

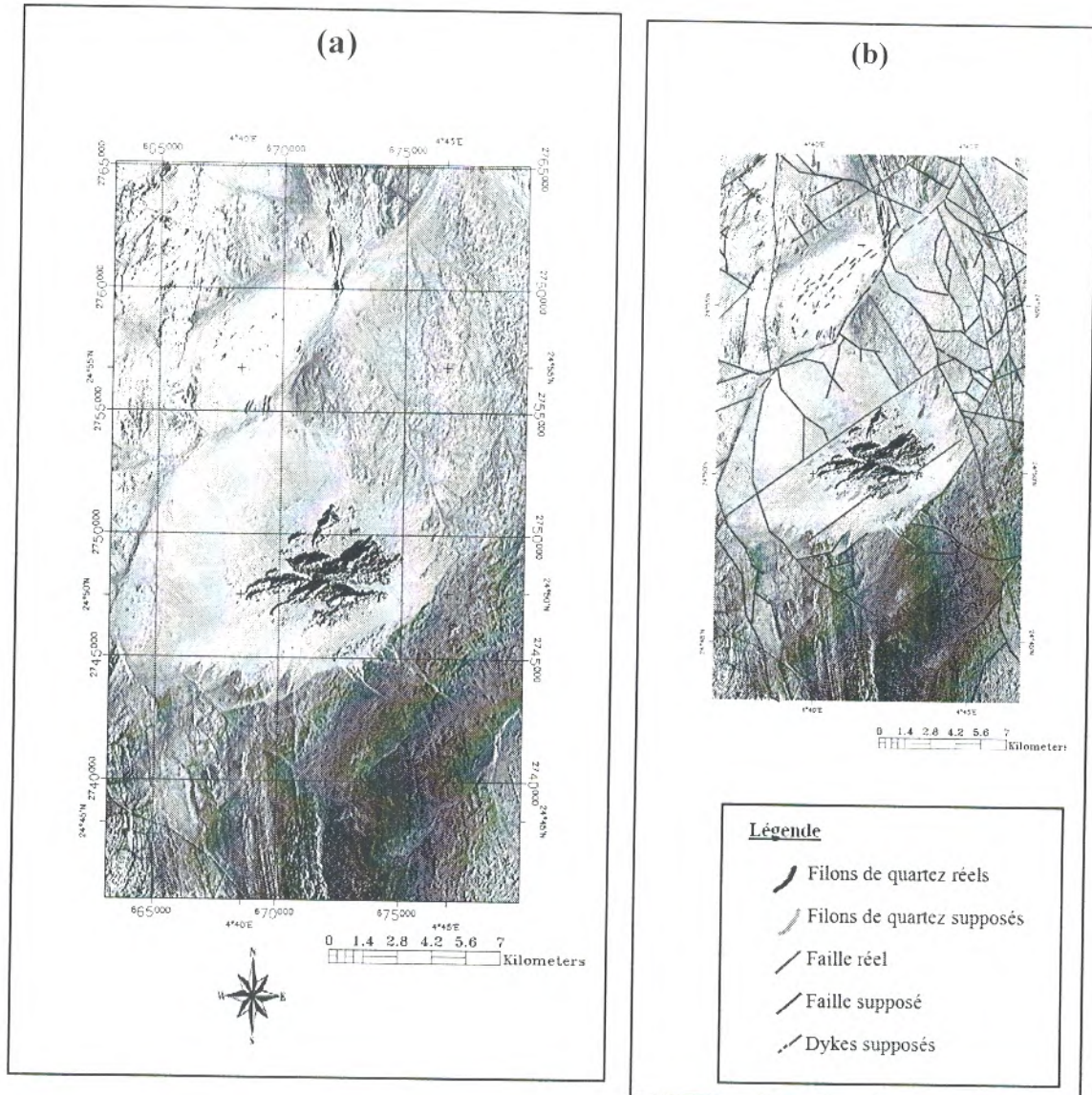


**Figure.14: (a):** L'image Landsat7 ETM+ (Filtre Sobel Back 50 à partir de bande 1).

**(b):** Superposition des limites géologique sur l'image Landsat7 ETM+.

**(c):** Superposition des failles et les filons de quartz sur l'image Landsat7 ETM+.





**Figure.15: (a):** L'image Landsat7 ETM+ (Filtre directionnel 50° à matrice 3x3 à partir de "néo" bande CP 1).

**(b):** Superposition des failles et les filons de quartz sur l'image Landsat7 ETM+.

Les résultats des autres traitements sont négatifs (ne donnent aucuns résultats) ou bien ils donnent des résultats similaires aux traitements déjà abordé dans ce travail. Certains sont donnés en annexes (annexes1, 2, 3) et les autres ont étaient ignorés.

### 3. discussion et résultats obtenues

L'étude que nous avons effectuée nous a permis de tester l'utilisation de traitements d'images Landsat7 ETM + et l'image radar ERS SAR pour la cartographie et la localisation des filons de quartz de la région de Seldrar.

Ces traitements ont été utilisés afin de voir s'ils permettent une bonne discrimination lithologique de la zone d'étude et pour la réalisation des cartes linéamentaires ainsi que des filons de quartz, les résultats obtenus ont été confrontés aux données de la carte géologique.

#### 3.1. Pour la cartographie

Les résultats de La composition colorée (751), les rapports de bandes (7/4 5/3 et 1/2), l'ACP (CP7, CP5 et CP1) et le filtre Sobel de l'image Landsat ETM+ et L'affichage de l'image radar au niveau de gris ont permis une bonne discrimination lithologique entre les formations de la région.

Par exemple, notre étude nous a permis de délimiter clairement les formations de granite de Taourirt, granite pré à syntectonique, roches ultrabasiques et séries volcano-sédimentaires de la région d'étude.

On a prit détecté les dykes dans au série du granite pré à syntectonique.

Les résultats de filtre directionnel (50°), le filtre Sobel, la composition colorée (751), les rapports de bandes (7/4 5/3 et 1/2) et L'affichage de l'image radar au niveau de gris nous a donnés plus de 170 linéaments (33 préexistant et l'autre supposé) et plus de 35 filons de quartz (19 préexistant et l'autre supposé).

Ces résultats indiquent l'existence d'un deux directions principales des linéaments et les filons de quartz est NE-SW et NW-SE.

#### 3.2. Pour les filons de quartz

Les résultats de tous les traitements nous ont donnés des informations sur les caractéristiques des filons de quartz, nous distinguons les plus importantes :

- ✓ Une dominance des filons de quartz aux alentours des granites « Taourirt » et dans le côté plus faillée (côte E).
- ✓ La direction des filons de quartz suivent généralement la direction des failles majeures ou bien se localisent à l'intersection des failles principales ou secondaires.

# **Conclusion générale**

### Conclusions

Dans le cadre de notre travail sur la région de Seldrar, la télédétection s'avère très efficace pour l'exploration des filons aurifères pour une vaste région du Hoggar.

L'utilisation des données de la télédétection de deux capteurs optique et radar (l'image Landsat7 ETM+ et l'image radar ERS SAR) constitue une étude préliminaire de l'exploration des filons aurifères (l'indice Seldrar).

Les données de l'image radar ERS SAR son très efficace pour l'étude structurale tandis que les données de l'image Landsat7 ETM+ sont utiles pour la discrimination lithologique, cependant les meilleures résultats pour la localisation des filons de quartz ont être obtenues par les filtres directionnel ( $50^\circ$ ) de l'image Landsat7 ETM+ à partir de "néo" bande CP 1.

L'amélioration de la résolution de l'image multi-sources après divers traitements a donnée un bon résultat sur l'inventaire virtuel des filons de quartz aurifères.

La visualisation du résultat du traitement a donnés une aide efficace pour l'exploration des filons aurifère de l'indice Seldrar en point de vu automatique et rapide.

La validation des résultats obtenus nécessite une mission de vérification sur le terrain.

# **BIBLIOGRAPHIE**

**BIBLIOGRAPHIE**

**Azzouni, S., Bechiri, B., Belaïdi, Z., Liégeois A., (2003).** The "Taourirt" magmatic province, a marker of the closing stage of the Pan-African orogeny in the Tuareg Shield: review of available data and Sr-Nd isotope evidence. *Journal of African Earth Sciences* 37, pp. 331-350.

**Bertrand, J., Caby, R., (1978).** Geodynamic evolution of the Pan-african orogenic belt: a new interpretation of the Hoggar shield. *Geologische Rundschau* 67, 2, pp. 357-388.

**Big n°3.** Initiation à la télédétection. Bulletin de l'Information Géographique appliquée aux activités de Recherche -Développement.

[http://www.cnes.fr/automne\\_modules\\_files/standard/public/p7774\\_9f5e71f0025c698de2ef82085d1c0e20big\\_3.pdf](http://www.cnes.fr/automne_modules_files/standard/public/p7774_9f5e71f0025c698de2ef82085d1c0e20big_3.pdf)

**Black, R., Latouche, L., Liégeois, J-P. , Caby, R., Bertrand, J-M., (1994).** Pan-African displaced terranes in the Tuareg shield (central Sahara). *Geology* 22, pp. 641-644.

**Blinikov, V., (1990).** Rapport sur les résultats des travaux de recherche systématiques et les levés géologiques à l'échelle 1/200000 sur les feuilles Tesnou et Iftessène. Rapport in edit ORGM. Boumerdès, 322 p.

**Caby, R., (2000).** Revue des séries sédimentaires protérozoïques et chronologie de l'évolution géodynamique du bouclier targui. 1er Séminaire National de Stratigraphie. Service Géologique Algérie, ORGM. Boumerdès. *Recueil des Résumés*, pp. 12-13.

**Caby, R., Bertrand, J.M.L., Black, R., (1981).** Oceanic closure and continental collision in the Hoggar-Iforas Pan-African segment In: A. Kröner, (Ed.), *Precambrian Plate Tectonics*. Elsevier, pp. 407- 434.

**Chaouche, I., (2008).** Apport de la minéralogie des tourmalines a la métallogénie de l'or. Exemples des indices du terrain d'iskel (Hoggar occidental) Thèse Magister uni ST HOUARI Boumediene. 95p.

**Chaouche, I., Talbi, M., Mokhtar, S., (2013).** Combinaison des données de télédétection aérospatiale et des mesures géophysiques dans la prospection minière : cas des indices aurifères de Seldrar et d'Assouf Mellene. (Terraine d'iskel, Hoggar occidental, Algérie). Laboratoire de Métallogénie et du Magmatisme de l'Algérie, FSTGAT, USTHB. 5p.

**Djemai, S., Bendaoud, A., Haddoum, H., Ouzegane, K., Kienast, J-R., (2009).** Apport des images Landsat 7 ETM+ pour la cartographie géologique des terrains archéens en zone aride : Exemple du terrane de l'In Ouzzal (Hoggar occidental), Algérie. Journées d'Animation Scientifique (JAS09) de l'AUF Alger Novembre 2009. 7 p.

**Ducrot, D., (2005).** Méthodes d'analyse et d'interprétation d'images de télédétection multi-sources Extraction de caractéristiques du paysage. Mémoire de recherches Habilitation à diriger des recherches, INP Toulouse. 210p.

**Gomez, C., (2004).** Potentiels des données de télédétection multi sources pour la cartographie géologiques : Application à la région de Rehoboth (Namibie). Thèse Doct. Uni CLAUDE Bernard – Lyon. 174p.

**Haddoum, H., Choukroune, P., Peucat, J. J., (1994).** Structural Evolution of the Precambrian In-Ouzzal blocks (Central Sahara, Algeria). *Precambrian Research* 65, pp. 155-166.

**Hamzaoui, A., (2006).** Télédétection multispectrale et hyper spectrale appliquée à la recherche minière. Service télédétection ONHYM, pp. 1-2.

**Introduction à la télédétection.** Activités supplémentaires et renforcement pour les élèves. Couvert au sol et utilisation des terres du Canada. PP. 15 – 35.  
<http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/eduref/tutorial/tutorf.html>

**Introduction à la Géologie du Hoggar .D'après :**

<http://coursgeologie.com/goto.php?url=http%3A%2F%2Fmembres.multimania.fr%2Ffabderbendaoud%2Fnewpage2.html.pdf>

**Lapierre, H., Bendali, M., Dupont, P.L., Gravelle, M., (1987).** Nouvelles données stratigraphiques et structurales sur le rameau oriental de la chaîne Pharusienne (région de Silet, Hoggar, Algérie). *Comptes Rendus Académie des Sciences* 303, pp. 1731-1736.

**Lazouni, A., (2008).** Les minéralisations aurifères du Hoggar (sud algérien) et leurs relations avec les zones de cisaillements lithosphériques. Bulletin du Service géologique de l'Algérie Vol. 13, v° 2, pp. 93 – 115.

**Liégeois, J.P., Latouche, L., Navez, J., Black, R., (2000).** Pan-African collision, collapse and escape tectonics in the Tuareg Shield: relations with the East Saharan Ghost Craton and the West African Craton. In: Wallbrecher, E., Loizenbauer, J., Fritz, H., Unzog, W., Mogessie, A., (Eds.), Special abstract issue, 18th Colloquium of African Geology, Graz. *Journal of African Earth Sciences* 30/4A, Elsevier, pp. 53-54

**Polidori, L., (2002).** Introduction à la télédétection spatiale. ESGT.60p.

**Semiani, A., Bellal, M., Bennouh, A., (2004).** La métallogénie de l'or liée à l'évolution de la chaîne panafricaine du massif du Hoggar (Sud de l'Algérie): Influence des socles anté - panafricains dans le processus de mise en place des minéralisations aurifères. ORGM. pp. 3-7.

**Soudani, K., (2005).** Introduction général à la télédétection. Cours en ligne Faculté des Sciences d'Orsay – Université Paris Sud XI.

[http://www.esse.u-psud.fr/bases/upresa/pages/soudani/fichiers/doc\\_cours\\_teledec.pdf](http://www.esse.u-psud.fr/bases/upresa/pages/soudani/fichiers/doc_cours_teledec.pdf)

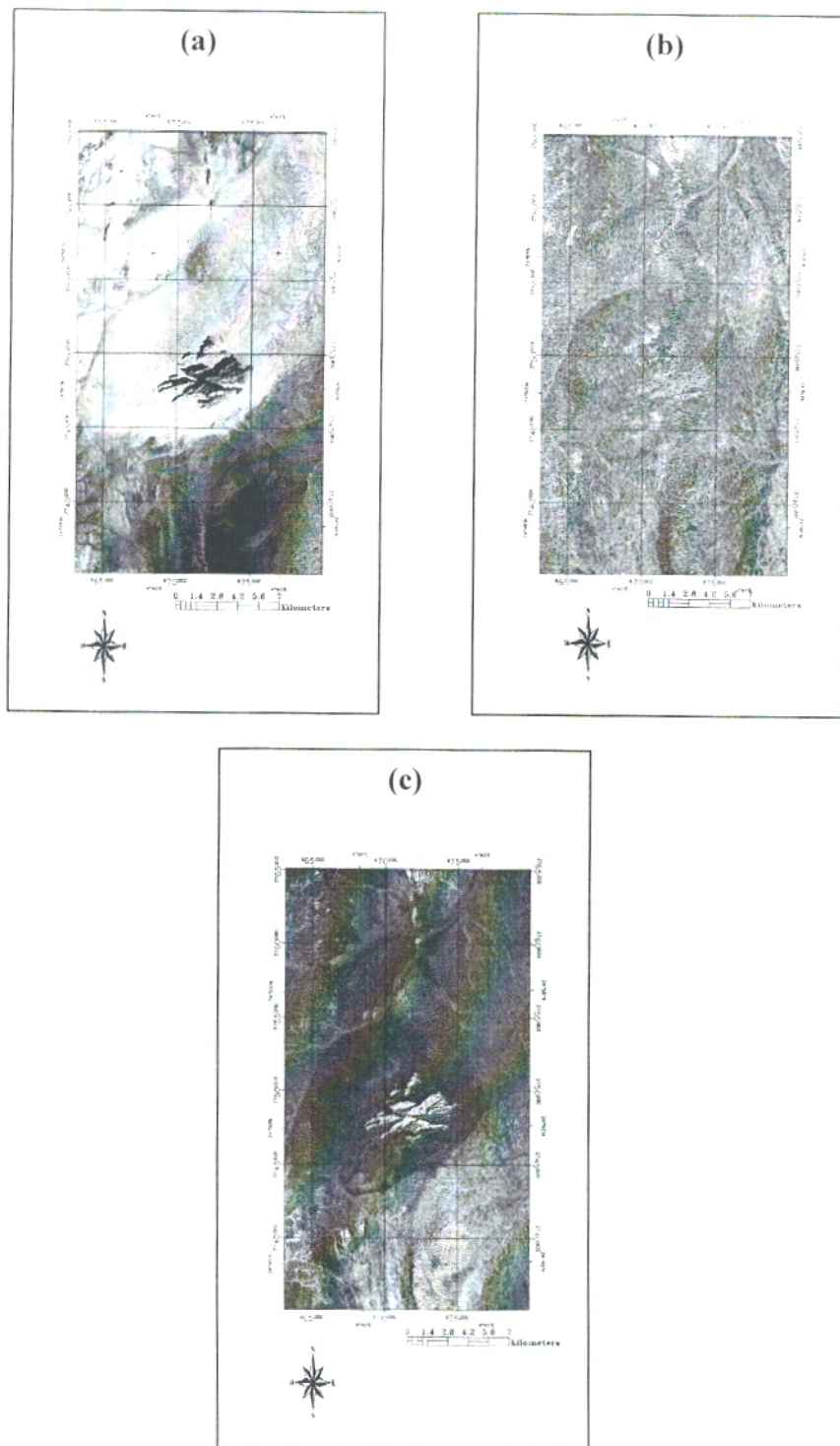
**Soudani, K., (2005).** TD Télédétection : Initiation à ENVI. Cours en ligne. Faculté des Sciences d'Orsay – Université Paris Sud XI.

[http://www.esse.u-psud.fr/bases/upresa/pages/soudani/fichiers/td1\\_teledec.pdf](http://www.esse.u-psud.fr/bases/upresa/pages/soudani/fichiers/td1_teledec.pdf)

**Talbi, M., (1984).** Contribution à l'étude du gisement aurifère de Tiririne, Hoggar oriental. Thèse doctorat 3 cycle Univ. Paris VI., 220p.



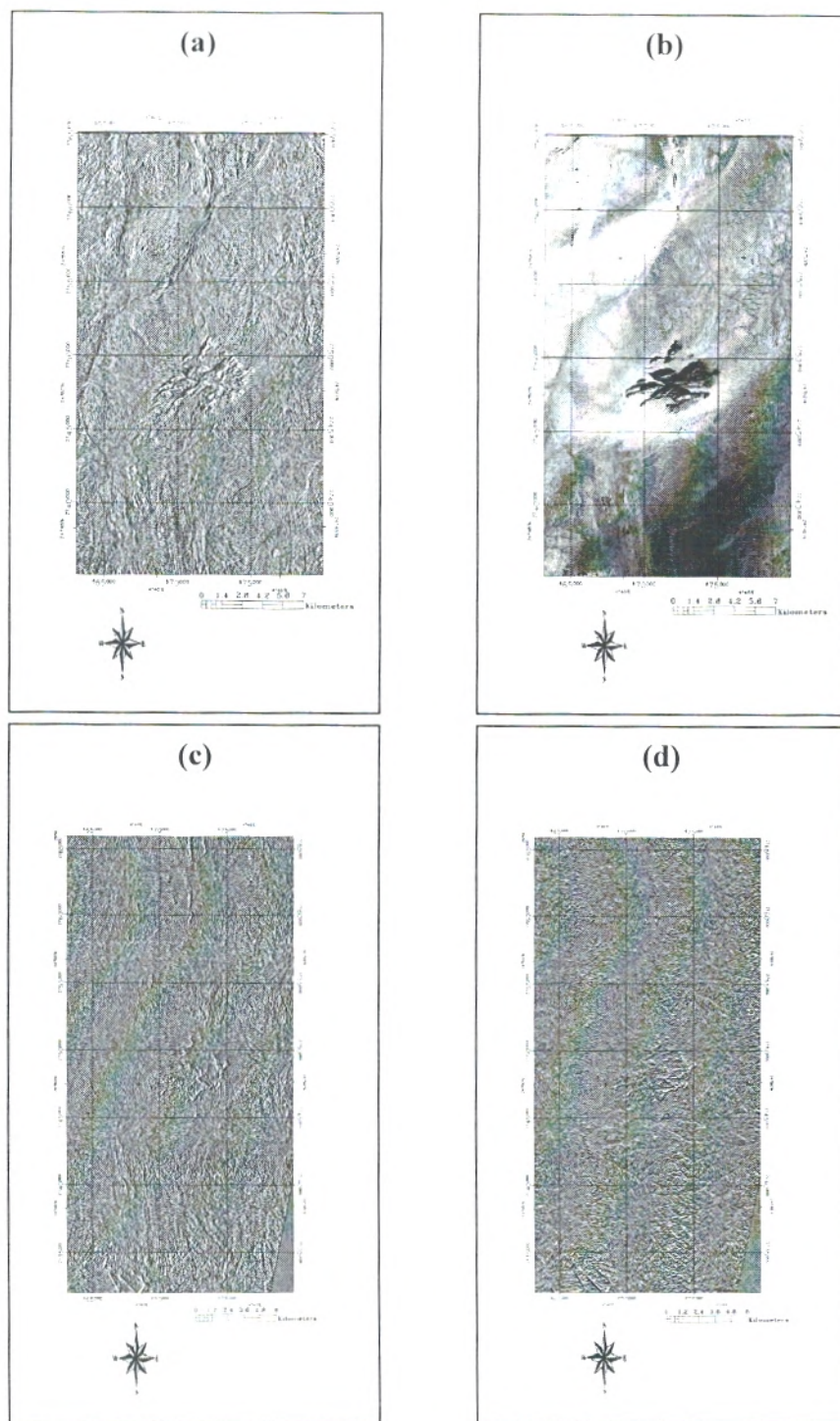
# Annexes



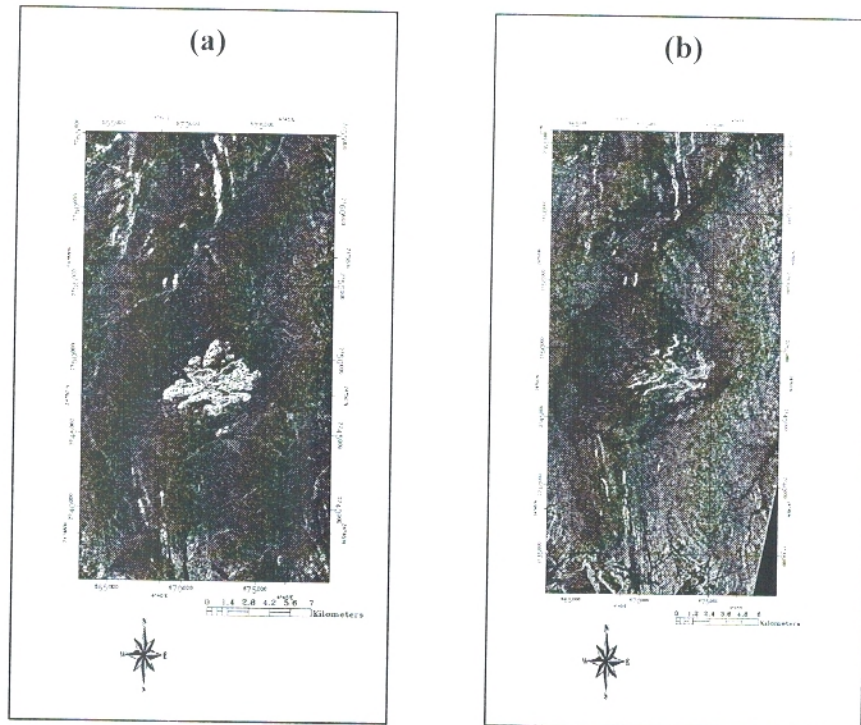
**Annexe 1 : (a) :** L'image Landsat7 ETM+ (compositions colorées 751).

**(b) :** L'image Landsat7 ETM+ (compositions colorées CP7 CP2 CP4).

**(c) :** L'image Landsat7 ETM+ (compositions colorées 5/7 2/4 1/3).



**Annexe 2:** (a) : L'image Landsat7 ETM+ (Filtre directionnel  $00^\circ$  à partir de CP 1).  
(b) : L'image Landsat7 ETM+ (Filtre directionnel  $90^\circ$  à partir de CP 1).  
(c) : L'image Radar (Filtre directionnel  $00^\circ$ ).  
(d) : L'image Radar (Filtre directionnel  $90^\circ$ ).



**Annexe 3: (a) :** L'image Landsat7 ETM+ (Filtre Sobel Back 00 à partir de bande1).  
**(b) :** L'image Radar (Filtre Sobel Back 50).