

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

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI OUZOU
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES
AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DES SCIENCES GEOLOGIQUES.



Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de Master en sciences de la
Terre et de l'Univers.

Option: Ressources Minérales Géomatériaux et Environnement.

Thème :

**Cartographie Géologique par Télédétection et SIG dans la Région
des Eglabs : Application aux Feuilles au 1/200 000 de Chegga (NG-
30-VII) et Eglab Salem (NG-30-XII)**

Encadré par :

Dr. ZEGHOUANE. Hocine

Réalisé par :

- ZIANE Karim

Soutenu le : 19/09 /2023 Devant le jury composé de :

Mme. IZRI Dahbia	MAA	(UMMTO)	Présidente
Mr. HAMIS Ahmed	Maitre de conférences	(UMMTO)	Examineur
Mr. ZEGHOUANE. Hocine	Maitre de conférences	(UMMTO)	Rapporteur

Promotion : 2022/2023

Remerciements

Avant tout propos, Je remercie tout d'abord "Allah" d'avoir donné le courage, la patience et la santé pour achever ce modeste travail.

*Je désire adresser, mes remerciements à mon promoteur Monsieur **ZEGHOUANE.H**, Qui m'a aidé à reprendre mes études, pour toute l'aide, le soutien et le savoir qu'il m'a prodigué au cours de ma formation. Et plus spécialement pour sa grande patience avec moi pour la réalisation de ce mémoire.*

*Je voudrais exprimer toutes mes reconnaissances à **Mm. IZRI.D**, pour l'honneur qu'elle m'a fait en acceptant de présider le jury de ma soutenance.*

*Un grand remerciement à **Mr HAMIS.A** Maître de conférences, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant, d'examiner et de juger mon travail.*

Je tiens à remercier tous le corps enseignant au sein de notre département pour tout le travail et tout leur précieux enseignements.

Enfin, je présente toute ma gratitude à tous ceux ou celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Dédicaces

 *Je dédie ce travail à ...* 

❖ *A la mémoire de mon père (que le dieu l'accueille dans son vaste paradis).*

❖ *Ma très chère mère*

"Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur."

❖ *Mes frères (et leur épouses) et mes sœurs.*

❖ *A toute ma grande famille sans exception.*

❖ *Tous les enseignants du département des séances géologiques, surtout mon promoteur Mr « ZAGHOULANE Hocine » qui m'a aidé à reprendre mes études.*

❖ *A tous mes amis de la promo 2022/2023, particulièrement Imarounene Zahra, Oukhouia Lila et Kecili Saïd.*

❖ *A tous ceux qui ont participé de près ou de loin pour réaliser ce travail.*

Chapitre I : Introduction générale

1- But et objectif du projet	01
2- Présentation de la région d'étude	02
a. Situation géographique	02
b. Le climat	03
c. Le vent	03
d. La faune et la flore	03
3- Historique des travaux dans le massif des Eglabs	03

Chapitre II : Géologie régionale

1. Introduction	07
2. Présentation du craton ouest africain	08
3. Présentation du massif Eglab-Yetti	09
3.1. Cadre géographique	09
3.2. Contexte géologique régionale	10
3.3. Litho-stratigraphie	11
3.4. Magmatisme	12
3.5. Tectonique	15
3.6. Minéralisation	16
4. Conclusion	18

Chapitre III : Géologie de la région d'étude

1. Introduction	20
2. Litho-stratigraphie et magmatisme associé	21

COUVERTURE

2.1. Formations récentes (Quaternaire- Villafranchien)	21
2.1.1. Formations alluvionnaires et éboulis (Q)	21
2.1.2. Formations dunaires (D)	21
2.1.3. Regs et Sebkhas	21
2.2. Formation du type Hamada (Tertiaire)	21
2.3. Formation intrusives tardives	21

2.4. Formations paléozoïques (dévonien et pré-dévonien)	22
SERIES INTERMEDIAIRES	
2.5. Formations du Hank, Protérozoïque supérieur ou Infratillitique supérieure)	22
2.5.1. Ensemble supérieur volcano-sédimentaire (CG1- CG10)	22
2.5.2. Ensemble calcaire (C1- C9):	23
2.5.3. Ensemble gréseux (G1- G3)	23
SOCLE	
2.6. Formations du socle (Protérozoïque moyen et inférieur ou Infratillitique Inférieure)	23
2.6.1. Série du Guelb el Hadid	24
2.6.2. Volcanisme et plutonisme Aftout- Eglab	24
2.6.3. Formation Pré-Aftout supérieur	25
2.6.4. Formation Pré-Aftout inférieur (série métamorphique)	26
3. Tectonique	27
4. Minéralisations	29

Chapitre IV : Télédétection

A- RAPPELS THEORIQUES	31
1. Généralités	31
1.1. Introduction	31
1.2. Définition de la télédétection	31
1.3. La télédétection et la géologie	31
1.4. Principales applications de la télédétection pour la géologie	32
1.5. Principe de base de la télédétection	32
1.6. Les différentes étapes de la télédétection	33
1.6.1. Le rayonnement électromagnétique	34
1.6.2. Le spectre électromagnétique	34
2. Les types des satellites	35
2.1. Satellite Géostationnaire (GSS)	35
2.2. Satellites Héliosynchrone	36
2.3. Satellites A Orbite Circulaire Quelconque	36

3. Les données imagées du satellite "Landsat"	37
3.1. Historique et caractéristiques succinctes du satellite Landsat.....	37
3.2. Les principales générations de satellite Landsat	37
4. Logiciel ENVI	39
<u>B- APPLICATION A LA REGION D'ETUDE</u>	
1. Acquisition	40
2. Préparations des images sous l'ENVI	42
2.1. Ouverture et affichage de l'image Landsat sous ENVI.....	42
2.2. Empilement des bandes ou couches (Layer Stacking).....	43
2.3. Le Mosaïquage	45
2.4. Découpage d'une image (Extraction de la zone d'étude)	46
3. Les Traitements d'images	48
3.1. Composition colorée d'une image	48
3.2. Analyse en composantes principales (ACP).....	49
3.3. La classification non supervisée (K-Means)	51
3.4. La fraction de bruit minimale (MNF)	52
3.5. Décorrélacion stretch	53
3.6. Traitement Convolution et Morphologie.....	54
4. Conclusion.....	54

Chapitre V : System d'Information Géographique

A. RAPPELS THEORIQUES

1. Introduction	55
2. Les composants d'un SIG	55
2.1. Matériel	55
2.2. Utilisateurs	56
2.3. Méthodes	56
2.4. Données	56
2.4.1. Données géographiques	56
2.4.2. Données attributaires	56
2.4.3. Métadonnées	56

2.5. Logiciels	56
3. Représentation des données dans un SIG	57
3.1. Mode Raster	57
3.2. Mode vecteur	58
3.3. Comparaison des modes vecteurs et rasters	58
4. Le SIG et la Géologie	60
5. Les domaines d'application du SIG	60
6. Avantage d'un SIG	60
7. SIG sous ArcGIS : (Présentation du logiciel ArcGIS 10.5)	61
B. APPLICATION A LA REGION D'ETUDE	
1. Géoréférencement	64
1.1. Connexion au dossier	64
1.2. Attribution de la référence spatiale	65
1.3. Ajout des points de contrôle à la carte	67
1.4. Rectifications de la carte	68
2. La vectorisation des différentes formations géologiques	69
3. Résultats final	71
4. Conclusion	72

Liste des figures

- Fig.1 : Situation géographique des Eglabs et de la région d'étude.	01
- Fig.2 : Esquisse Structural d'ensemble de l'Afrique (Liégeois et al. 2002).	07
- Fig.3 : Schéma géologique du craton ouest africain avec la dorsale Réguibat et jointure Yetti-Eglab (Peucat et al. 2005).	08
- Fig.4: Situation géographique de la dorsale Réguibat (Sabaté et Lomax, 1975).	09
- Fig.5 : Subdivisions géologiques de la dorsale Réguibat.	10
- Fig.6 : Schéma structurale de la jointure Yetti-Eglab, englobant Chegga et Eglab Salem (Kahoui et al.2008).	16
- Fig.7 : principales zones potentielles métallifères du domaine Eglab, (EREM. 1983).	17
- Fig. 8 : Litho-stratigraphie des formations de la dorsale Réguibat (Sabaté et Lomax, 1975) modifié par Peucat et al. 2005).	19
- Fig. 9 : Cadre géologique des Eglabs (Extrait de la carte géologique du massif des Eglab).	20
- Fig.10. Schéma structural du massif des Eglab incluant la région d'étude (Peucat et al 2005).	28
- Fig. 13 : Schéma de principe de base de la télédétection.	32
- Fig.14 : Les sept étapes de la télédétection (centre canadien de télédétection).	33
- Fig.15 : Rayonnement électromagnétique (Badel, 2008, modifiée) (Koussa, 2020).	34
- Fig.16 : Spectre de rayonnement électromagnétique.	35
- Fig.17 : domaine du visible (principe de l'arc-en-ciel)	35
- Fig. 18 : Un satellite géostationnaire.	36
- Fig.19 : Exemple de satellite héliosynchrone.	36
- Fig. 20 : Chronologie du programme Landsat tel que défini avant le lancement de Landsat 9 en 2021.	37
- Fig.21:Ouverture d'un compte utilisateur dans le site USGS.	40
- Fig. 22 : Etapes à suivre pour le téléchargement sur le site web de l'USGS.	40
- Fig.23 : Affichage des trois images qui englobent la zone d'étude près pour le téléchargement.	40
- Fig. 24 : Interface du logiciel ENVI.	41

- Fig.25 : Dossier contenant les images téléchargées.....	42
- Fig.26 : affichage les trois images sur l'interface de l'ENVI.....	42
- Fig.27: Opération « layer Stacking ».....	43
- Fig.28. Etapes à suivre pour le layer staking.....	44
- Fig.29 : Résultats de layer Stacking pour les trois images dans l'interface de l'ENVI.....	44
- Fig.30 : L'image Satellite de la zone d'étude.....	47
- Fig.31 : Résultats d'application des combinaisons utilisées.....	48
- Fig. 32 : Le tracé des valeurs propres du PC.....	50
- Fig. 33 : Composition colorée après le traitement ACP.....	50
- Fig.34 : Résultat de traitement K-Means Classification Landsat-8.....	51
- Fig.35 : Le résultat de traitement MNF Landsat-8 (Band : 5-3-1 / 5-3-8 / 8-7-6 par ordre).	52
- Fig.36 : Résultat de traitement Decorrelation Stretch (Band : 1-2-3 / 3-2-1 / 7-2-5 par ordre).	53
- Fig.37 : Résultat de traitement Convolutions et Morphologie.....	54
- Fig.38: Base des données géographiques.....	55
- Fig.39: Les composants d'un Système d'Information Géographique (SIG).....	57
- Fig. 40: Exemple de donnée raster.....	57
- Fig. 41 : Exemples de données vectorielles.....	58
- Fig. 42 : les mondes de représentation de l'information géographique dans le SIG.....	59
- Fig. 43: Architecture générale de l'ArcGIS.....	61
- Fig.44: l'interface d'ArcMap « 1. Barre de menus, 2. Barre d'outils, 3. Fenêtre principale.....	62
- Fig.45 : Interface ArcCatalog « 1. Barre de menus, 2. Barre d'outils, 3. Fenêtre de visualisation 3.onglets: (Contents, Preview, Description ou les métadonnées),4.Fenêtre d'exploitation ».....	63
- Fig.46 : ArcToolbox et ses outils.....	63
- Fig.47 : présentation de l'interface d'ArcCatalog montrant la connexion à un dossier.....	65

- Fig.48 : Propriété de la référence spatiale dans ArcCatalog.....	66
- Fig.49 : Résultat de Géoréférencement de la carte « Eglab Salem ».....	67
- Fig.50 : Carte d'Eglab Salem géoréférenciée et rectifiée.....	68
- Fig. 51 : montrant la vectorisation en combinant l'image traitée et la minute géologique.....	69
- Fig.52 : montrant le processus de mise en page.....	69
- Fig.53 : vectorisation de la formation (A1_Dunes_D) sur une carte ancienne.....	70
- Fig.54 : vectorisation de la formation (A1_Dunes_D) sur un traitement de l'ENVI.....	70
- Fig.55 : montrant le processus de mise en page.....	71
- Fig.56 : Carte Géologiques d'Eglab Salem avec Minéralisations.....	71
- Fig.57 : Carte Géologiques de Chegga avec Minéralisations.....	72
- Fig.58 : Carte Géologiques de Chegga avec.....	73
- Fig.59 : Carte Géologiques de Chegga.....	73

Liste des figures

- Tableau 1: Les bandes spectrales de l'instrument OLI.....	38
- Tableau 2: Bandes spectrales de l'instrument TIRS.....	39
- Tableau 3: Avantages et inconvénients des deux modes raster et vecteur.....	59

Chapitre I :

Généralités

1- But et objectif du projet :

La cartographie géologique est d'une importance extrême pour le géologue, il est donc indispensable de maîtriser toutes méthodologies et techniques modernes de confection de cartes géologiques. Ces dernières années, la cartographie assistée par ordinateur, notamment la télédétection et le traitement d'images satellites via les systèmes d'informations géographiques (SIG) se sont imposés comme outils de cartographie géologique les plus rapides, les plus précis et les plus fiables qui s'offrent aux géologues, et ce, particulièrement lorsqu'il s'agit de cartographie géologique en zones arides et désertiques (Ex : Eglab) où les affleurements sont souvent inaccessibles et complètement arasés, compliquant ainsi le travail cartographique classique.

L'objectif principal de ce travail est l'application des connaissances théoriques et pratiques acquises au cours de notre cursus universitaire, sur les Sciences de la Terre en générale et la télédétection et SIG en particulier, afin de réaliser des cartes géologiques SIG qui sont très proches de la réalité et ce, en utilisant les différents traitements d'images satellites, appliquées aux formations géologiques, tectoniques et géologiques.

Le but de ce travail étant de contribuer à la connaissance et à l'enrichissement de l'information géologique dans la région des Eglabs par l'évaluation de l'apport de la télédétection multi-spectrale et particulièrement l'utilisation des images Landsat pour la discrimination des formations lithologiques et linéament aires au 1/200.000 dans la région par rapport aux résultats des études classiques (carte de Buffière et al., 1965 et Niec et al., 1984) qui nous ont servi de référence pour ce travail, et la mise en place d'une base de données sous système d'information géographique (SIG) permettant d'individualiser et de croiser des informations géologiques multiples et variées.

Méthodes et outils :

Le présent travail concerne une étude par télédétection en utilisant l'imagerie Landsat dans la région des Eglabs, appliquée à la cartographie géologique des feuilles au 1/200.000 de Chegga (NG-30.VII) et Eglab Salem (NG-30-XIII).

La télédétection par traitement d'image satellite et la cartographie SIG sont les méthodes qu'on a utilisé pour la réalisation des cartes géologiques, quant aux outils utilisés sont :

- L'outil informatique.
- Les logiciels ArcGIS pour les SIG et l'ENVI pour la télédétection.
- Les images Landsat-8.
- Les cartes géologiques et fond documentaire.

Notons qu'il ne nous a pas été possible de télécharger les images sentinelles – 2 au complet.

2- Présentation de la région d'étude :

a. Situation géographique :

La région des Eglab est une vaste zone cristalline et cristallophyllienne de direction générale Sud-ouest /Nord-est. Le massif Eglab est délimité au Nord par le bassin de Tindouf, à l'Est par la zone mobile panafricaine et L'Erg Chech et à l'Ouest par la chaîne des Mauritanie des et le bassin de Taoudéni (**Fig. 1**).

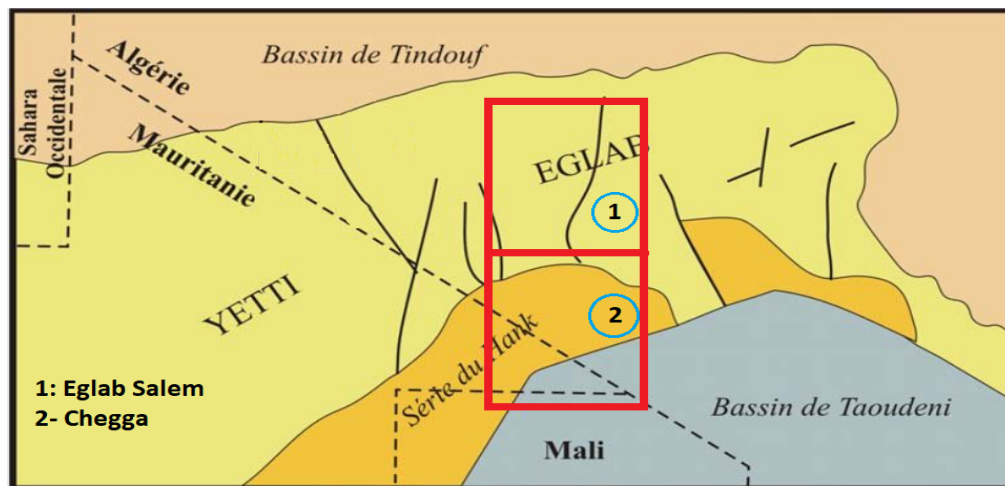


Fig.1 : Situation géographique des Eglabs et de la région d'étude

Dans le Sud-Ouest algérien, près de la frontière Algéro-mauritanienne, s'étend le massif Yetti-Eglab. Il est limité au Nord et au Sud par les parallèles 25° et 27° 30'N, à l'Est et à l'Ouest par les méridiens 3° et 8° W. Il est bordé au Nord et à l'Est par les vastes formations dunaires de l'Erg Chech et l'Erg Iguidi qui l'isolent du reste du Sahara algérien. Au Sud s'étend les falaises du Hank et à l'Ouest, le massif continue en territoire Mauritanien. A l'Est de ce massif, s'étend le domaine Eglab.

Notre région d'étude (Fig1) fait partie de ce grand territoire fortement désertique. Elle est représentée par deux feuilles à l'échelle 1/200.000 qui sont la feuille de Chegga (NG-30.VII) et Eglab Salem (NG-30-XIII) dont les coordonnées géographiques respectives sont les suivantes :

Régions	Longitude	Latitude
Eglab Salem	5°-6° Ouest	26°-27° Nord
Chegga	5°-6° Ouest	25°-26° Nord

b. Le climat :

Le climat de la région est typiquement continental saharien, caractérisé par de faibles valeurs de précipitation atmosphériques et de fortes variations thermiques.

Les moyennes mensuelles des précipitations enregistrées aux cours des dix dernières années montrent l'extrême aridité du climat de la région. En effet, les valeurs mensuelles sont très faibles et oscillent entre **0 mm** (enregistrées en juillet et août) et **5,5 mm** (valeurs enregistrées en janvier).

En revanche, le régime thermique enregistre de fortes variations mensuelles et même journalières. Les moyennes mensuelles varient de **12,4°C** (janvier) à **34,7°C** (juillet et août), la moyenne des minimales absolues est de **9,2°C** et celles des maximales est de **37,3°C**, ce qui fait un écart thermique de **28,1°C**. Au cours des mois les plus frais (décembre-mars), les températures enregistrent des écarts journaliers allant de **17°C** le jour à **0°C** la nuit, engendrant ainsi des gelées le soir.

c. Le vent :

À l'instar des autres régions sahariennes, la région des Eglab est soumise à des vents fréquents durant toute l'année. Leur vitesse dépasse assez souvent les 5m/s provoquant ainsi des tempêtes de sable surtout pendant les périodes de mars et septembre. Les vents les plus dominants au cours ces périodes sont de secteur Nord-Est et Nord ; en juillet et août, ils deviennent Est et Nord-Est.

d. La faune et la flore :

Certaines régions des Eglab sont complètement dépourvues de faune et flore, mais d'autres régions sont relativement vivantes.

La faune est représentée en générale par des mammifères tels que le blair, le chacal, le renard, l'antilope, mohor, les gazelles (la rinn et svouin), le mouflon à manchettes, le guépard, le fennec, les innombrables rats, les gerboises, le lièvre isabelle. Concernant les oiseaux, on a l'autruche, l'outarde, les aigles, ganga, la caille, les lézards, les arachnides, et on a aussi quelques insectes.

La flore est représentée essentiellement par trois espèces d'arbres : Palmiers, dattiers, le talha et l'ethel.

3- Historique des travaux dans le massif des Eglabs :

Les premières recherches et explorations géologiques ont été entreprises dans le massif des Eglabs par **N. Menchikoff**, **P.Lapadu Hargues** et **P.Gevin** dans les années vingt. Elles n'ont été menées que le long d'itinéraires isolés en utilisant principalement les chameaux comme moyen de transport.

Menchikoff (1923) fut parmi les premiers géologues à s'intéresser à l'étude de la dorsale Réguibat en le définissant comme étant l'un des « plus vieux pays cristallins » du

continent africain. Il propose, en **1944**, l'appellation de « pays cristallin Réguiabat ». La nature de l'axe cristallin Yetti-Eglab a été précisée par **Monod** en **1935**.

Jacket (1937) s'est intéressé à la dorsale occidentale.

Gevin (1941) a entrepris des études sur les formations précambriennes et leurs bordures sédimentaires. En 1951, il définit pour la première fois les séries métamorphiques de Chegga, du Yetti et de Guelb El Hadid.

Parallèlement à cela, de nombreux autres géologues ont entamé des travaux dans la partie occidentale du bouclier Réguiabat (en Mauritanie) où **Sougy (1951-1952)** a reconnu les formations suivantes : Séries de Ghallaman, d'Aguelt Nebkha, de Aïoun Abdelmalek et la série d'Imourène.

En **(1953)**, **Blanchot** met en évidence deux séries, celles de l'Amsaga et d'Akjout.

En **(1958)**, **Durozoy** réalise plusieurs coupes dans l' infracambrien de la série du Hank.

Jusqu'en **(1960)**, des prospections préliminaires, à l'échelle de 1/200000^{ème}, des terrains situés entre les méridiens (5° et 8° W) et les parallèles (26° et 27° N) (feuilles : Djebilet, Aouinet Lagraa, Eglab Salem, Chegga et Zmila) auront lieu.

En **(1960)**, **Sougy** est à l'origine d'une première corrélation stratigraphique entre les séries précambriennes précitées. Il désigne sous le nom de série d'Aguelt Lekhneig les formations similaires à celles de la série d'Imourène qu'elles prolongent au Sud.

En **(1962)**, **Bonhomme** obtient les premiers résultats sur les premières datations géochronologiques effectuées sur l'ensemble du territoire mauritanien. Ces dernières annoncent des âges compris entre 1990 Ma et 1818 Ma, témoins donc de l'orogénèse éburnéenne.

Entre **(1963)** et **(1965)**, la S.E.R.M.I. fournira de nouvelles données suite aux travaux réalisés par le B.I.A sur les feuilles de Chegga, Boubout, Eglab-Dersa, Mokrid, Tilesmas, Kahal-Morrat, Oued Chenachane, Erg Chech de Bou-Bernous et Grizim. Ces études aboutiront à la réalisation d'une carte géologique au 1/500000^{ème} du Yetti et des Eglabs qui sera publiée en **(1965)** avec sa notice explicative.

En **(1964)**, **Buffière et al.** Étudient la tectonique de la partie orientale de la dorsale Réguiabat et en **(1965)**, cet auteur et ses collaborateurs auront à leur actif plusieurs travaux dont : i : la mise en évidence de la discordance des volcanites du massif des Eglab sur les granites Aftout et la série plissée de l'Oued Souss, ii : la cartographie géologique des séries du Hank, de Guelb-El-Hadid et de leur discordance, et iii : la description des groupes «Chenachane-Erg Chech », à l'Est et au SE des Eglabs, comme étant les équivalents de la série de Chegga.

En **(1966)**, **Buffière, Fahy et Petey** définissent pour la première fois les formations de la série de l'Oued Sousse comme un ensemble de formations volcaniques et volcano-sédimentaires discordantes sur le système de base « Réguiabat ».

En (1967), **Barrère** entreprend une étude assez détaillée des phases tectoniques ayant affecté le socle précambrien de la partie occidentale de la dorsale « Réguibat ». Il y établie, entre autres, une échelle stratigraphique du « Précambrien D ». En cette même année, **Lameyre** et **Lasserre** situent le massif annulaire de Hassi-El-Fogra dans la période éburnéenne, et ce, grâce à des datations radiométriques établies sur des syénites néphéliniques (roches totales et minéraux), et qui ont donné un âge de 2021 ± 48 Ma.

En (1970), on assiste aux travaux de **Caron** et *al* où ils préciseront l'appartenance des migmatites du Sud de Erg Iguidi aux séries de Ghallaman et Chegga et non à celles d'Aïoun Abd El Malek. Il sera également question des travaux de **Lasserre** et **Lameyre** où ils admettront l'existence d'un ensemble sus-jacent à la série d'Aguelte Nebkha (série d'El Naam).

En cette même année, **Sabaté** entreprendra une étude structurale et pétrographique assez poussée de la jointure « Yetti-Eglab ». Quant à **Lasserre** et *al*, ils dateront l'intrusion des granites Aftout de 1869 ± 50 Ma, en ayant recours à la méthode Rb/Sr sur roches totales et minéraux.

En (1971), **Sougy** et *al*. Et **Marchand**, associés au CNRS, entreprennent une étude détaillée de la zone mauritanienne de la dorsale Réguibat centrale.

En (1972) **Azzouni-Sekkal** ébauchait une étude comparative de quelques granitoïdes de ladorsale Réguibat (partie algérienne).

Vachette et *al*. (1973) effectuent une étude géochronologique des séries métamorphiques et des granites précambriens de la partie Nord et Nord-Est de la dorsale Réguibat. Les âges obtenus sont compris entre 2000Ma et 1700Ma.

Presque en même temps, **Sabaté** (1972) a entrepris des travaux de précision de la structure de Yetti et en 1973, il définit la série d'Akilet Deïlel et a déterminé les relations tectoniques de la jointure Yetti-Eglab.

Sabaté et **Lomax** (1975) notent la postériorité de la série de l'Oued Souss par rapport aux niveaux de base de la série d'Akilet Deïlel.

En 1976, **Azzouni-Sekkal** présente une étude pétrologique des stocks plutoniques de la jointure Yetti-Eglab et démontre leur affinité calco-alkaline. Une année plus tard, Bessolés publie une étude sur le craton ouest africain alors que **Sabaté** et *al*. (1977) datent l'intrusion du pluton Aftout à 1925Ma.

SONAREM (**Niec et al.**, 1981-1983), a effectué des travaux de recherche systématiques sur l'axe Yetti-Eglab dans le but d'inventorier et d'évaluer les potentialités minières de la région.

Kahoui (1988) a étudié le massif annulaire alcalin de Djebel Drissa dans le massif précambrien des Eglab.

Depuis la création de l'**ORGM** (1992), plusieurs missions ont été effectuées dans le but de mieux connaître la géologie de la région Yetti-Eglab. Lors de ces missions, **Pipoul** et

al. (1992) se sont intéressés à la géochimie et au comportement des éléments du groupe des platines (EGP) du massif protérozoïque ancien du Teggueur (partie algérienne).

En 1993, **Baudin**, dans le cadre d'une mission pour l'ORGM, met en évidence les principaux traits structuraux du domaine Yetti-Eglab. Il a démontré l'inexistence d'un chevauchement entre les séries d'Akilet Deïlél et de Yetti en se basant sur l'absence de klippes de charriages.

En 1994, **Lefort** et *al* proposent une modélisation magnétique du subméri dien de l'ensemble Yetti-Eglab. Deux ans plus tard, **Bitamet Fabre**, réalisent une étude géodynamique du craton ouest africain central et oriental.

Kahoui et al (1996) rattachent le stock plutonique du sud Tinguicht (malignites et syénites mésocrates associées) aux complexes annulaires post-orogéniques tels que ceux de Djebel Drissa et de Hassi El Fogra.

En 2001 une importante mission d'exploration du diamant fut organisée par l'ORGM, Bechar dont le but est de rechercher des sources primaires potentielles de diamant dans le massif des Eglab.

En 2002, **Mahjoub** et *al* proposent une évolution du domaine Eglab en trois stades datés respectivement à 2.2Ga, 2.1Ga et 2.08Ga.

En 2005, **Peucat** et *al* définissent le massif des Eglab comme un segment original de l'orogène éburnéen.

En 2007, **Benramdane** a contribué à l'étude géologique et gîtologique des minéralisations aurifères de la zone de jointure Yetti-Eglab.

En 2008, **M. Tabetiouna et al**, étudia la structure annulaire du sud de Gara Djebilet en montrant le caractère tholéitique du magma mis en place dans un cadre distensif post ou *anorogénique*.

En 2008, **Kahoui et al** mettent en évidence la présence possible de sources primaires de diamant dans la zone de jointure Yetti-Eglab.

En 2009, **Tabetiouna** soutenu sa thèse de doctorat sur la pétrologie et la géochimie des roches magmatique de la structure annulaire de Bled M'Dena.

Des enseignants-chercheurs de plusieurs université Oran (**Tabetiouna, Lagraa**) USTHB (**Kahoui, Hamdidouche, Allek**) et autre travaillent présentement dans la région des Eglab.

Chapitre II :

Géologie Régionale

1. Introduction

La région d'étude fait partie du massif des Eglab qui représente un des plus vieux orogènes du craton ouest africain situé dans la partie nord-ouest du continent africain. Ce dernier a été le théâtre de nombreux et différents épisodes orogéniques qui ont conduits à sa cratonisation progressive, marquant ainsi son évolution depuis le noyau primitif jusqu'à sa structure actuelle (Clifford, 1970).

G.Roccien 1964 et 1965 a donné un schéma de la structure d'ensemble de l'Afrique qui paraît coordonner de la meilleure façon les faits géologiques constatés par les observations de terrain et les travaux de laboratoire (In Bessoles, 1977). Aux cratons du Congo et du Kalahari dont la présence a été démontrée par **L. Cohen (1961, 1963)**, il rajoute le craton Ouest africain, et suggère l'existence de l'hypothétique craton nilotique. Il faut attendre plusieurs années plus tard pour qu'enfin la nature géologique de ce dernier soit précisée et **J.P Liégeois et al** en 2002 parlera du terme « Metacraton Saharien » (Fig. 2).

Cependant les études structurales et géochronologiques entreprises dans cette région ont permis d'établir les grandes étapes de la formation du continent africain. Les principaux événements de cette histoire de l'Afrique ont été schématisés comme suit par **T.N. Clifford** en 1970 (In Bessoles, 1977).

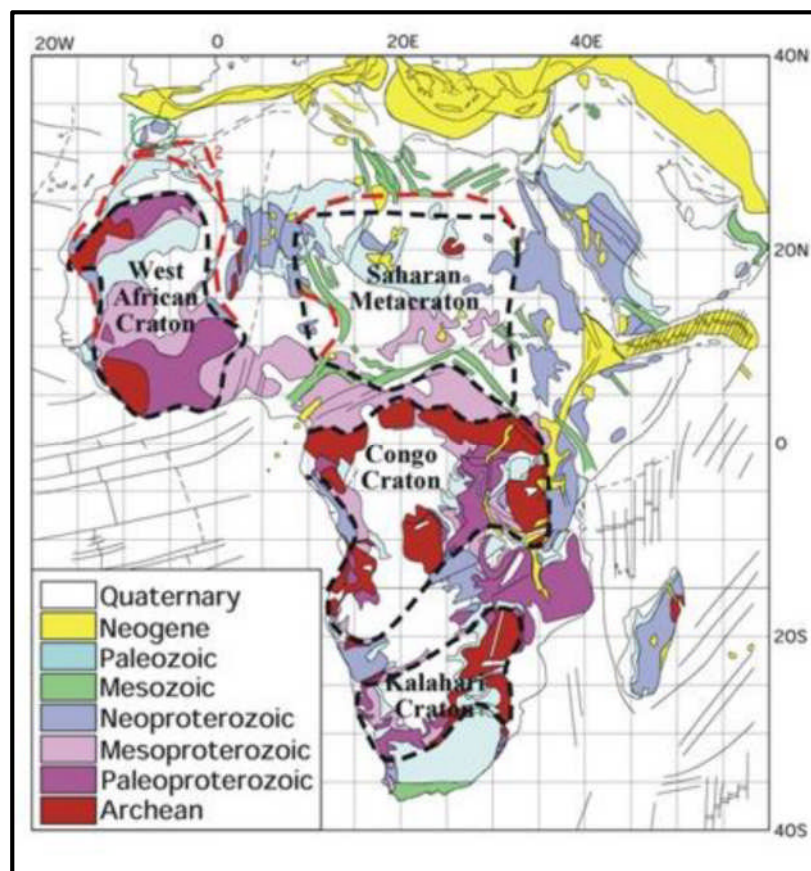


Fig.2 : Esquisse Structural d'ensemble de l'Afrique (Liégeois et al. 2002).

2. Présentation du craton ouest africain

Limité au Nord par l'Anti-Atlas, à l'Est par la zone mobile centre africaine et à l'Ouest par la zone mobile d'Afrique de l'Ouest (**Fig.3**), le craton ouest africain est recouvert sur une grande partie de sa surface par les formations sédimentaires d'âge protérozoïque supérieur et paléozoïque des bassins de Tindouf au Nord et de Taoudeni dans sa partie centrale.

Les zones d'affleurements du craton ouest africain sont fractionnées en trois parties d'inégale étendue par les formations sédimentaires impliquées ou non dans l'Orogène panafricain. Les parties Nord (Dorsale Réguibat) et sud (dorsale de Man) ont une grande extension, la partie médiane (Fenêtre de Kayes et de Kéniéba) est de faible étendue mais constitue un jalon important entre les autres zones d'affleurement.

En dépit des différences qui existent entre la partie septentrionale et celle méridionale, le craton ouest africain semble néanmoins afficher une certaine uniformité. En effet, les similitudes d'ordre lithologique et géochronologiques dues aux orogénies qui se sont succédées depuis 3000 Ma, sont telles, que les témoins du cycle libérien (Archéen), ont occupé la partie occidentale du craton Ouest africain (Réguibat occidentale, domaine Kéniéba-Man), alors que ceux témoignant du cycle éburnéen (birimien) font partie de la partie orientale de ce domaine (Réguibat orientale, domaine Baoulé Mossi). Seules quelques parties du socle libérien antérieur y restent plus ou moins visibles.

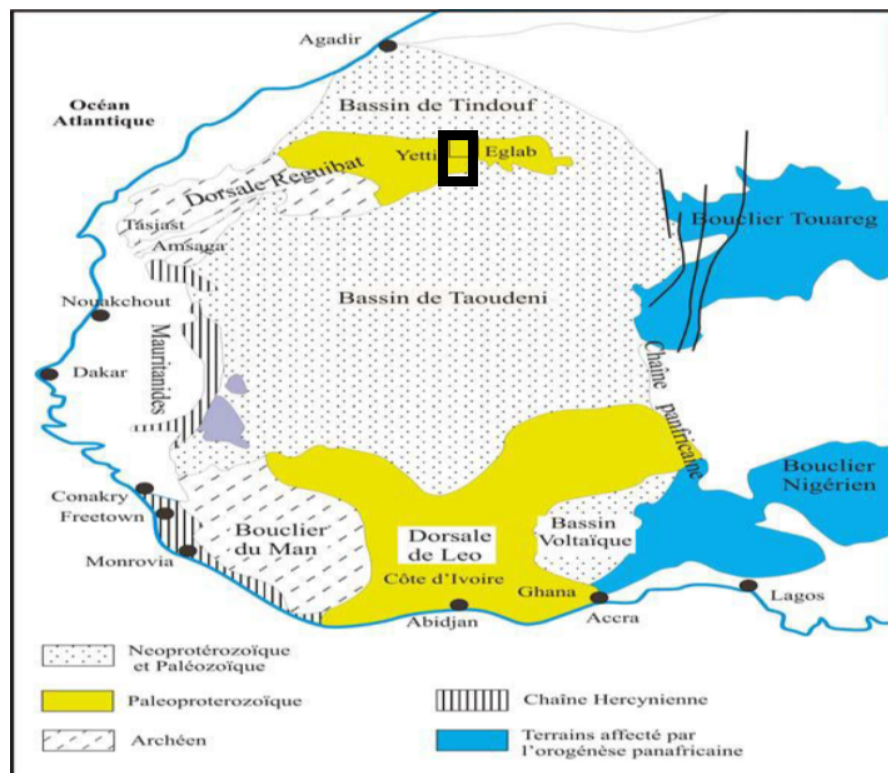


Fig.3 : Schéma géologique du craton ouest africain avec la dorsale Reguibat et jointure Yetti-Eglab (Peucat et al. 2005)

3. Présentation du massif Eglab-Yetti :

3.1. Cadre géographique :

Le massif Eglab - Yetti, appelé aussi dorsale Réguibat, situé dans le Sud-ouest algérien, appartient au « pays Réguibat » qui s'étend selon une direction NE-SW, sur plus de 1500 km de l'Atlantique à l'Ouest jusqu'à l'Erg Chech dans le Tanezrouft à l'Est, occupant le SW algérien, la république sahraouie et les régions septentrionales de la Mauritanie et du Mali (Fig.4).

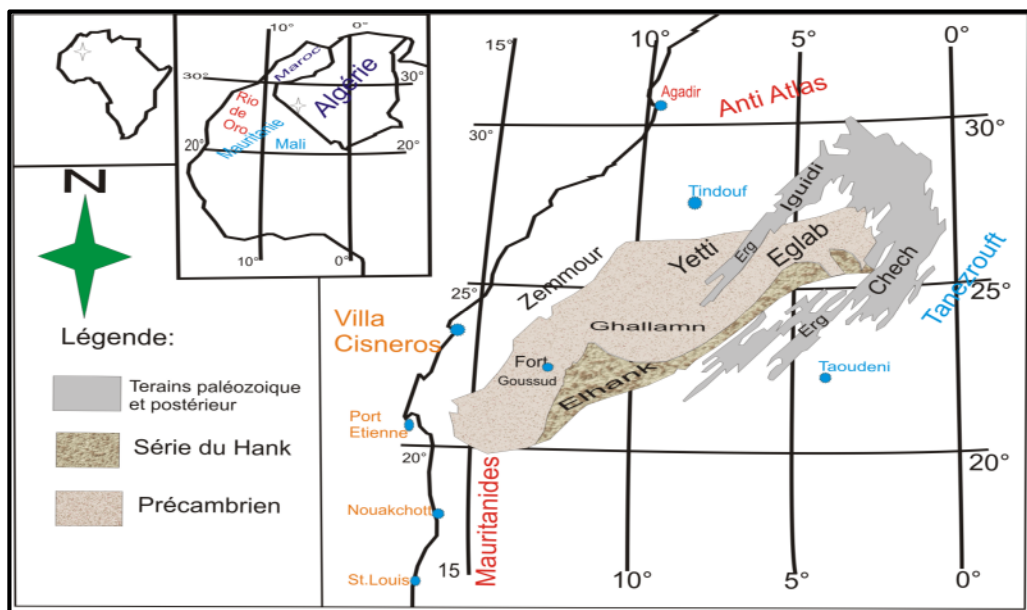


Fig.4 : Situation géographique de la dorsale Réguibat (Sabaté et Lomax, 1975)

Deux régions naturelles forment la partie orientale du pays Réguibat, la limite passe près de l'Erg Igoudi ; il s'agit de :

-**Le Yetti**, région à l'ouest du méridien 6° W, sans relief, marquée par des étendues noirâtres et par de vastes pénéplaines « Reg » blanchâtres ; cette absence de relief est à l'origine du nom Yetti.

-**Les Eglabs**, région à l'est du méridien 6° W, relativement à relief, marquée par des Reg granitiques poussiéreux rouges à roses et intrudée par des massifs volcaniques élevés dominants appelés « Guelb », d'où le nom Eglab.

Au Nord, le massif est limité par le «pays des côtes» avec les premières falaises allongées E-W, appartenant au bassin de Tindouf ; à l'Est, par le plateau du Tanezrouft et le bassin de Reggane ; vers le Sud, les falaises du Hank amorcent le bassin de Taoudenni et enfin à l'ouest par le Zemmour et la partie centrale du pays Réguibat.

Le Hamada désigne de vastes plateaux entaillés développés sur les bassins limitrophes ou en bandes allongées et petites buttes isolées çà et là sur le massif.

Deux grands Ergs sont connus dans la région, l'Erg Chech ceinture le massif au Nord et à l'Est, sa branche occidentale appelée Erg Iguidi, orientée NE-SW, coupe le massif au centre ; ces ergs sont formés de plusieurs cordons appelés "Draa" haut de 100 à 150 m.

3.2. Contexte géologique régionale :

Le pays cristallin Réguibat (**Menchikoff, 1949**) ou « dorsale Réguibat » constitue la branche septentrionale du Craton Ouest Africain.

Une subdivision structurale de la dorsale Réguibat en trois parties est admise (**Bessoles, 1977**) : (i) partie nord orientale (Eglab et Yetti), (ii) partie centrale (El Ouassat, Zemmour et Ghallaman-Karet) et (iii) partie occidentale (Tassiast, Tijirit-Amsaga et Tins).

La zone nord orientale qui nous intéresse (**Fig.5**), se trouve en grande partie en territoire algérien. Elle a été étudiée par **Sougy (1960)** pour la partie mauritanienne et par **Gevin (1951 et 1958)** pour la partie algérienne. Elle est subdivisée en deux domaines : le domaine du Yetti à l'Ouest et le domaine des Eglab à l'Est, séparé par une zone de jointure orientée SSE-NNW et dite « jointure Yetti-Eglab » (**Sabaté, 1973**).

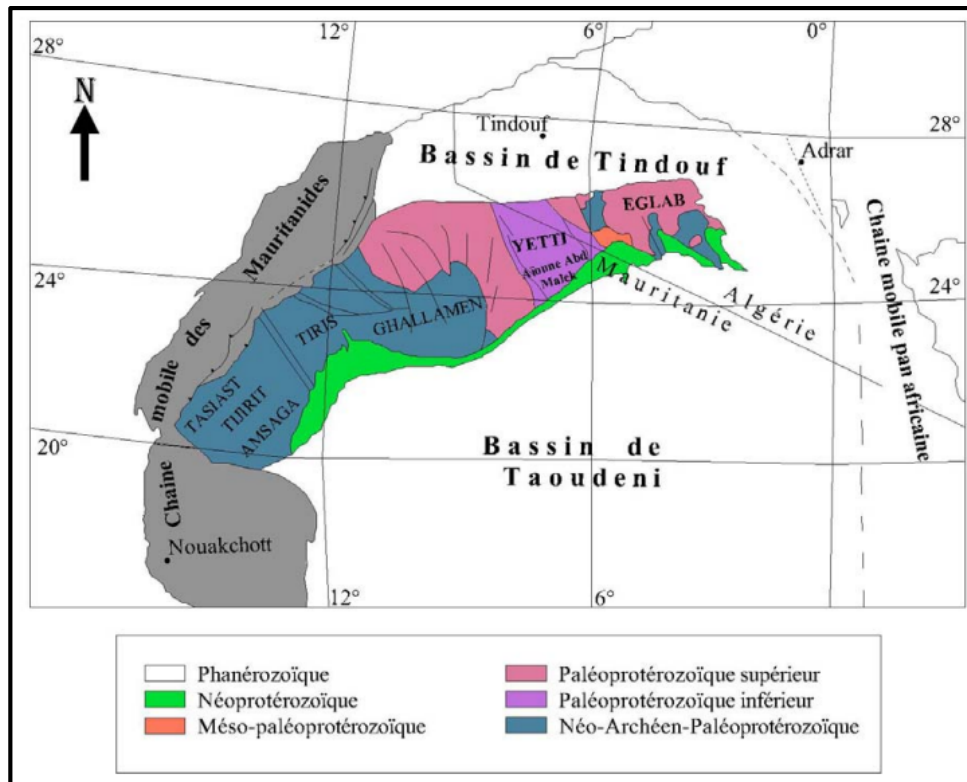


Fig.5 : Subdivisions géologiques de la dorsale Réguibat (Bessoles, 1977) (Redessinée).

- **Domaine Eglab** : reconnu entre les méridiens 2° 30' W et 6° 30' W, il est organisé à son tour, entre les parallèles 26° et 27° N, en trois zones structurales séparées par des accidents majeurs orientés N-S à NW-SE :
 - **Zone Est** ou (**Chenachene-Erg Chech**), à l'Est avec des reliques du substratum ancien granito-gneissique affleurant au sein des roches du pluton Aftout ;
 - **Zone Centrale** ou (**Aftout-Eglab**), au Centre avec essentiellement des granites et volcanites du pluton Aftout qui prédominent sur les séries volcano-sédimentaires birimiennes
 - **Zone ouest** ou (**Chegga-Iguidi**), à l'Ouest, où de larges panneaux du substratum ancien sont rehaussés et juxtaposés aux séries birimiennes et roches de l'Aftout.
- **Domaine Yetti** : reconnu à l'Ouest du méridien 6°30'W, avec deux zones structurales séparées par une zone de fracture médiane orientée NNW-SSE passant près du méridien 7°30'W.
 - **Zone Est**, à quartzite, complexe rhyodacitique et granitoïdes ;
 - **Zone Ouest**, à schistes cristallins, migmatites et granites porphyroïdes.

Trois systèmes de fractures sont recensés :

- **Système Eglab** : accidents orientés NE-SW à NNW-SSE, décrochements et subduction Yetti sous Eglab, rattaché à l'événement Eglab ;
- **Système méridien** : accidents méridiens (mylonite de Chegga) et fentes d'extensions à remplissage acide alcalin et basique doléritique et intrusions circulaires ;
- **Système Hank** : chevauchement du Hank et rejoue de failles du système Eglab.

Le massif Yetti-Eglab a une structure en mosaïque caractérisée par des failles et des roches intrusives et effusives mises en place à différentes "époques". Son appartenance au craton ouest africain incite à chercher les événements orogéniques reconnus lors du Précambrien (Léonien, Libérien, Eburnéen et kibarien).

La structuration de cette partie NE de la dorsale s'est effectuée lors des orogénèses éburnéenne et panafricaine, visible à l'extrême Est de la dorsale.

3.3. Litho-stratigraphie :

Le schéma géologique montre un **substratum ancien** granito-gneissique, à cachet anté-birimien supportant une **couverture birimienne** volcano-sédimentaire intrudée par le pluton Aftout et affectée par l'orogénèse éburnéenne.

La **couverture néoprotérozoïque « leHank »** de nature à dominance sédimentaire, est reconnue uniquement sur la bordure sud de la dorsale, très peu affectée par l'orogénèse panafricaine.

- **Couverture cénozoïque :**

Sur le massif Eglab-Yetti et les bassins limitrophes, seule la Hamada supérieure est représentée par de vastes plateaux tabulaires (1-2 Km et plus), peu élevés (plateau de Tinguicht) et buttes isolées çà et là. Dans le Centre-Eglab, des bandes allongées formées sur des zones de failles dans le sens des vallées soit N-S ou NW-SE (près de Chenachane et Teggueur) ainsi que des témoins entre les cordons de l'Erg Chech et au Sud de Grizim.

- **Dépôts quaternaires :**

Pour **Buffière et al. (1965)** le Quaternaire englobe l'ensemble des dépôts postérieurs à la croûte calcaro-dolomitique silicifiée de la Hamada et antérieurs aux Sebkha (Holocène) et aux dunes de sables et regs autochtones

3.4. Magmatisme :

• **Domaine Yetti**

- **Granites du Yetti :** Plusieurs types pétrographiques de granite, associés aux gneiss et migmatites type Yetti sont inventoriés :

(i) granite à biotite à texture parfois orientée, à biotite, muscovite ; certains massifs se rapprochent du type granodioritique ;

(ii) granite à amphibole, riche en quartz et plagioclase sub à automorphe ; au sein desquels se développe des aplites, des pegmatites à tourmalines et micas.

Seul le massif intrusif de M'denakahla, considéré comme granite de jointure Yetti-Eglab, est daté à 1880 ± 12 Ma par la méthode Rb/Sr (**Sabaté et al.1977**).

Des affleurements de roches basiques et ultrabasiques (pyroxénites, gabbros et gabbro diorites) affleurent généralement au sein des granites.

• **Zone de jointure Yetti-Eglab :**

- **Les granitoïdes de jointure**

Des massifs granitiques sont localisés exclusivement le long de la jointure. De forme circonscrite recoupant les structures chevauchantes et antérieures au pluton Aftout.

L'un à biotite (massif de Bab Laouina), l'autre à amphibole (massif de Tinguicht) à amphibole, montrent deux faciès l'un mésocrate, porphyroïde, à tendance potassique ;

L'autre, leucocrate fin, aplitique, recoupé par des filons, à tendance subalcaline ; et à deux micas (massif de Sebkhataoutid) leucocrate, subalcalin à plagioclase basique.

Certains de ces massifs sont considérés comme granites type Yetti (granite à biotite de Bab Laouina, granite à amphibole de Tinguicht) par **Buffière et al. (1965)**.

- **Les stocks basiques**

Plusieurs petits massifs plutoniques basiques de forme irrégulière et de dimension variable sont reconnus dans la zone de jointure Yetti-Eglab, aussi bien dans le domaine Yetti, qu'en domaine Eglab.

Deux groupes pétrographiques sont distingués : l'un, dioritique (diorite quartzique, tonalite et granodiorite) marqué par du métamorphisme et des phénomènes pneumatolytiques (tourmaline); l'autre, gabbroïque, à hornblende riche en Ti, amphibole, plagioclase, néphéline (exprimée et normative) et opaques abondants (pyrite).

L'étude géochimique montre une lignée calco-alcaline pour ces massifs avec une légère tendance vers le tholéitique pour les gabbros (**Azzouni-Sekkal, 1976**). Certains massifs sont intrusifs dans la série du Yetti, d'autres au sein des migmatites et granites Yetti.

• **Domaine Eglab :**

L'essentiel des roches magmatiques est représenté par les granitoïdes et volcanites du pluton Aftout. D'autres roches magmatiques plus anciennes rattachées au substratum ancien, affleurent, très localement, en forme d'écaillés, reliques et enclaves au sein des faciès granito gneissiques et migmatites de la série de Chegga (sens large), notamment dans l'Est-Eglab (Teggueur, Guelb Dahmane et Tilemsi).

Ces roches présentent une structure grenue, à grains moyens, à amphibole, pyroxène et plagioclase alcalin. Elles sont peu transformées et bien différenciées.

- **Granites, migmatites et orthogneiss du substratum ancien :**

Les géologues (**Buffière et al., 1965**) regroupent les orthogneiss et les granites cataclasiques de Teggueur, les migmatites leptynitiques et granites migmatitiques de Tilemsi de l'Est-Eglab ainsi que les migmatites et granite de Chegga, de l'Ouest-Eglab ; mêlés aux faciès cristallins du substratum.

Souvent ces migmatites et granites sont recoupés par des filons de quartz, de syénites, de pegmatites, de lamprophyres et autres.

Dans l'ouest-Eglab, les migmatites et granites Chegga sont leucocrates, gris claires, à biotite, amphibole et à structure granoporphYROBLASTIQUE.

- **Pluton Aftout :**

Selon **Buffière et al (1965)**, le pluton Aftout, englobe des roches intrusives représentées par des roches basiques, des porphyres (microgranites) et principalement des granitoïdes. Ces derniers (granitoïdes) sont encadrés par deux épisodes volcaniques acides l'un, antérieur aux granites "volcanites Aftout" ; l'autre, postérieur "volcanites Eglab" (**Buffière et al., 1967**).

- **Les roches basiques :**

Ces roches vertes sont rares représentées par des gabbros et des diorites. Elles se présentent en massifs ou sillons en forme de boules écaillées en pelures d'oignons ou en plaques, ainsi qu'en enclaves dans les granites Aftout. Ils présentent des faciès multiples allant du Sud vers le Nord, des termes profonds potassiques aux termes corticaux à greisens et zones albitisées, de tendance calco-alkaline à hyperalkaline en fonction du degré d'érosion (**Benramdane., 2001**). Ils sont répartis comme suit :

- **Ouest-Iguidiet Nord KahalMorrat** : c'est la zone corticale du batholite où affleurent les faciès de bordures, les granites roses et rouges avec les termes filoniens.

- **Chenachene- Erg Chech** : c'est la zone profonde du batholite avec les granites porphyroïdes à enclaves et granite à amphiboles.

Selon **Lasserre et al. 1970**, plusieurs isochrones (roches et minéraux) sont tracés pour ce pluton Aftout indiquant :

- 1850 ± 75 Ma, sur biotite d'un granite Aftout de type rose, près de KahalMorrat ;
- 1997 ± 80 Ma, biotite sur le même type de granite près de Mokrid ;
- 1860 ± 40 Ma, (roches totales) des granitoïdes, à structure annulaire déficitaire en silice.

Récemment, une mesure à 2081 ± 13 Ma (Pb/Pb sur mono-zircons) est interprétée comme âge de cristallisation du complexe de Djebel Drissa (**Kahoui et al., 1996**).

- Les volcanites Aftout-Eglab :

Les volcanites dominent aux Eglab, certaines sont discordantes, recouvrant à la fois les formations plissées volcano-sédimentaires et les intrusions Aftout. **Buffière et al., (1967)** distinguent deux phases volcaniques encadrant les granites Aftout. Elles montrent les mêmes caractères pétrologiques et structuraux. Plusieurs termes sont reconnus andésites, dacites et rhyolites.

Les données radiométriques obtenues sur les volcanites Eglab dessinent une isochrone qui indique un âge 1995 ± 30 Ma (**Sabaté, 1979**).

- Les dykes basiques doléritiques :

La région est sillonnée par de nombreux sills et dykes de roches basiques, doléritiques et la prophyriques recoupant les formations aussi bien anciennes (Paléoprotérozoïque) que récentes (néoprotérozoïque à paléozoïques). Ces dykes se répartissent en trois larges bandes, dans l'Est-Eglab et dans la zone de jointure Yetti-Eglab. Certains dykes plongent vers l'Est limitant des blocs basculés (**Lefort et al., 1994**).

Les dykes de la zone de jointure constituent un réseau de dykes rectilignes Ils sont rapportés à un épisode magmatique largement étalé dans le temps ; ceux intrudant la série du Yetti sont rattachés à une phase magmatique proche des intrusions basiques Aftout (**Sabaté et al., 1975**).

Les dykes doléritiques, recoupant les formations paléozoïques du bassin de Tindouf, sont rattachés à un volcanisme fissural fini-paléozoïque de type basalte tholéiitique continental (**Guerrak, 1988**).

3.5. Tectonique

Les premiers schémas structuraux proposés (SERMI, 1965 et EREM,1983) sont très peu argumentés (*fig. II.3 et fig. II.4*).

- **Les phases tectoniques** Les ultimes épisodes magmatiques de la phase Yetti et Aftout-Eglab ne permettent de faire une lecture précise des phases tectoniques. Une chronologie des événements tectoniques a été proposée (Buffière et al., 1965 et EREM,1983). De nouveaux éléments ont permis de préciser l'évolution structurale de cette région (Mahdjoub, 1994, 2002, 2005 ; Tokarski, 1991, 1994). Nous résumons ces événements comme suit:

- la phase Réguibat dont les éléments sont peu visibles, est représentée par des accidents orientés NE-SW à NNW-SSE, des zones mylonitiques N-S et des structures plissées sub-latitudinales et submérienne probablement éburnéenne précoce.

- la phase Yetti responsable du collage Yetti-Eglab, de la mise en place des intrusions dans le domaine Yetti, des accidents submériens mylonitiques (SSE-NNW) et des plissements des séries Yetti, akil et Deilel et Oued Souss.

- les mouvements panafricains : Ils représentent les contrecoups de l'orogénèse panafricaine, ayant modelé le Hoggar, sur la bordure orientale de la dorsale Réguibat (régions de Tilemsi et de Draa el Guerb) ; ils se traduisent par des basculements des séries néoproterozoïques et rejeux d'anciens accidents éburnéennes N-S, NW-SE, ENE-WSW et SSENNW;
- Les phases tectoniques phanérozoïques sont lisibles uniquement sur l'ceinture sédimentaire paléozoïque.
- La phase cadomienne a pour témoin, la discordance du Cambro-Ordovicien sur l'Infracambrien dans le bassin de Taoudenni.
- La phase calédonienne affecte les directions anciennes (NNWSSE) et serait à l'origine de l'ascension des môles de Laroussi et Aouinet Legraa (bassin de Tindouf).
- La phase hercynienne phase majeure est responsable des plissements des roches du Paléozoïque (synclinaux dissymétriques de Tindouf et Taoudenni) et rejeu d'accidents orientés N20°.
- La phase post-trias est responsable de la mise en place des dykes doléritiques, répandus dans la ceinture paléozoïque.

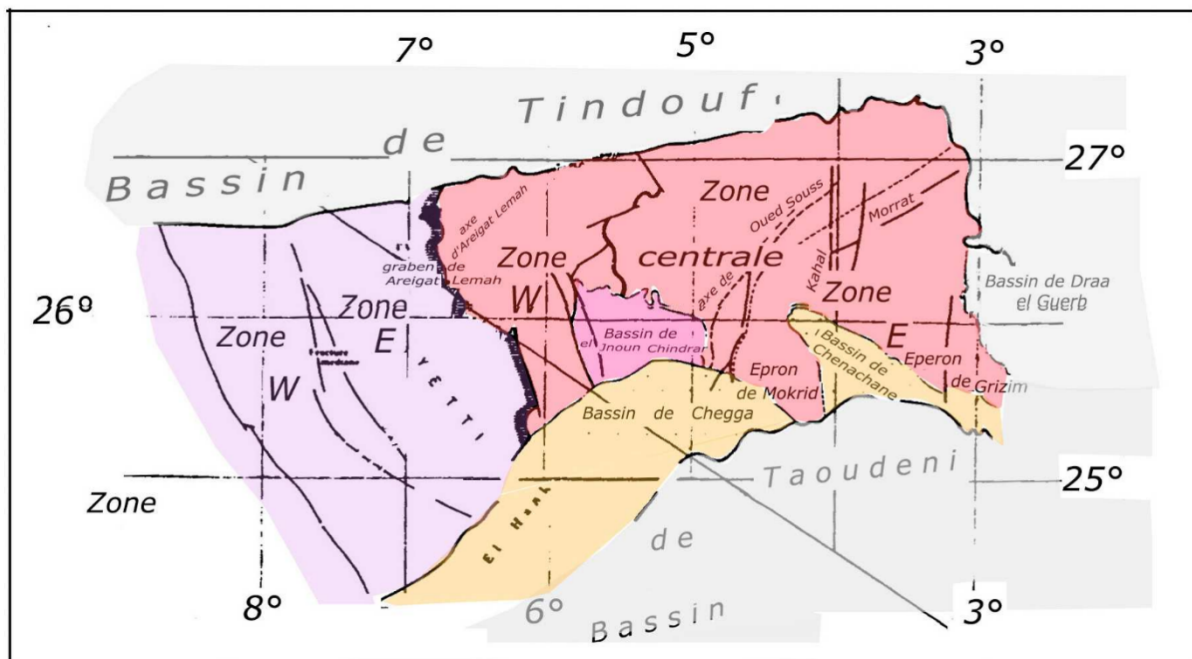


Fig.6 : Schéma structurale de la jointure Yetti-Eglab, englobant Chegga et Eglab Salem (Kahoui et al.2008)

3.6. Minéralisation :

Concernant la partie nord-orientale (massif Yetti- Eglab), Le potentiel minier de cette région est loin d'être connu, on note qu'à l'issue de chaque campagne de prospection, de nouvelles occurrences minérales sont mises en évidence (Fig.7).

Les premières occurrences minérales dans le massif Yetti-Eglab sont de nature aurifère et fut découvertes par le BIA (1960); il s'agit de l'indice d'or « Caroline » situé près de Chegga. Il montre des teneurs assez intéressantes (11,7 g/t Au et 9 g/t Ag) (BIA, 1960).

D'autres occurrences (indices et points minéralisés) et d'autres nouvelles substances (Ag, W, Ti, Hg, Zr, TR, Nb et Y) ont été mis en évidence dans le Centre et l'Est-Eglab au cours des différentes campagnes menées par l'EREM dans les années 80.

Ces occurrences restent cependant peu ou pas étudiées pour pouvoir les classer et établir une typologie des gîtes d'or pour ce massif. Elles se présentent sous forme de remplissage de microfissures selon une répartition irrégulière dans la caisse filonienne et de dissémination dans la masse quartzreuse.

Le minerai est caractérisé par une gangue à quartz blanc laiteux massif recoupé par de fines veinules à hydroxydes de fer et de cuivre, avec imprégnations de minéraux métalliques et grains d'or de taille millimétrique, parfois visibles à l'œil nu lorsqu'ils remplissent les cavités ou tapissent les fissures.

L'association minéralogique comprend : or natif, chalcopryrite, pyrite, galène, cuivre gris, mispickel et chalcocite accompagnés d'hydroxydes de fer et de cuivre.

Récemment, une campagne (1999–2000) menée par l'ORGM sur la recherche de l'or type paléo-placer dans la série de Guelb el Hadid dans le Centre-Eglab, fut moins satisfaisante (ORGM, 2002) et une carte de prévision diamantifère a été dressée (Allek 2006).

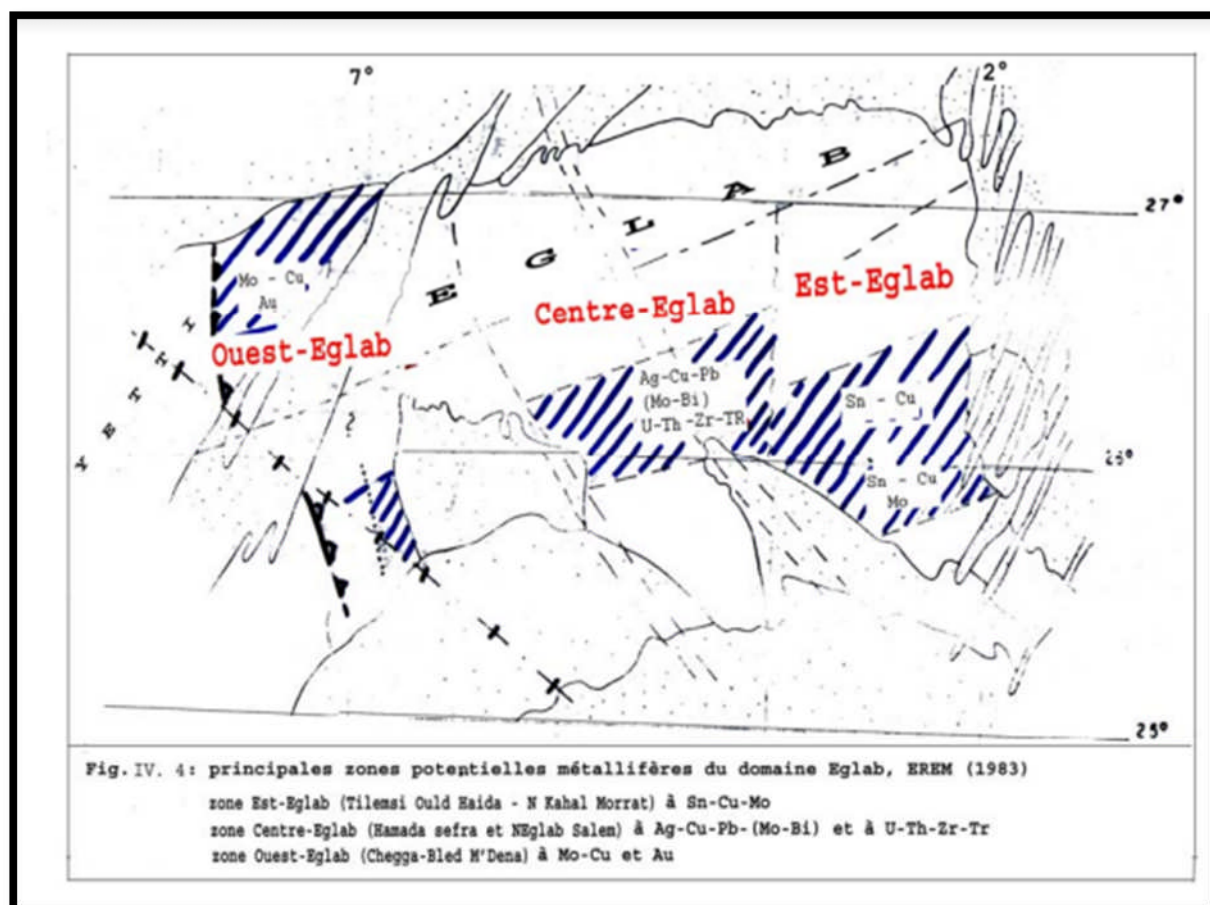


Fig.7 : principales zones potentielles métallifères du domaine Eglab, (EREM. 1983)

4. Conclusion

Du point de vue litho-stratigraphique, les deux domaines Eglabs et Yetti sont constitués essentiellement par des plutons de granitoïdes, des ceintures de roches vertes et de sédiments birimiens avec quelques reliques granito-gneissiques plus anciennes. Les séries lithologiques paléoprotérozoïques reconnues sont rapportées à trois stades majeurs de croissance crustale (Mahdjoub et al. 2005).

Du point de vue magmatique, la région englobe :

i : un ensemble cristallin granito-gneissique (2,21-2,18 Ga) avec des reliques métamorphiques Néoarchéennes (2,73 Ga) (Mahdjoub et al. 1994), appelé série de Chenachene Erg-Chech et série de Chegga.

ii : Un ensemble de granitoïdes syntectoniques de type TTG (appelé granite de Chegga daté à 2,09 Ga par la méthode U-Pb sur zircon (Peucat et al, 2005) et de séries volcano-sédimentaires de Yetti (Gevin, 1951 et Sabaté, 1972), d'Akilet Deilel et d'Oued Souss, (Buffière et al, 1965 ; Sabaté, 1973 ; Sabaté et al, 1977).

iii : Et un ensemble de complexes magmatiques post-orogéniques dits « Aftout-Eglab » et « Yetti » daté à 2074-2065 Ma, représenté par des granitoïdes, des roches basiques associées et des épanchements volcaniques. Cet ensemble est scellé par des dépôts sédimentaires tardif à post-orogéniques ; il est connu sous le nom de série de Guelb el Hadid. Au Sud, les formations paléoprotérozoïques sont recouvertes par une série sédimentaire néoprotérozoïque de nature argilo-gréseuse à carbonatée appelée Série du Hank (Buffière et al. 1965 ; Moussine-Pouchkine et Bertrand Safarti, 1997).

Et enfin, une frange de série paléozoïque apparaît au nord et au sud du massif ancien. La couverture plio-quaternaire (correspondant aux bassins de Tindouf et de Taoudenni) est représentée essentiellement par une carapace de Calcrête silicifiée appelée « Hamada », datée du Pliocène supérieur et par les cordons de sable des « Ergs », des « regs », des daïas, des dépôts de piémont et de sebkha du Quaternaire

Du point de vue tectonique, **Peucat et al (2005)** ont reconnus quatre phases principales d'évolution géodynamique dans le massif des Eglabs :

- La première phase étant archéenne est rapportée au fait qu'il existe des reliques métamorphiques de la croûte océanique dater de 2.73Ga laissant supposer que cette dernière fut obductée rapidement après s'être placée sur un arc insulaire archéen.

- Une phase d'activité orogénique est enregistrée entre 2.21 et 2.18Ga, dont le principal fait marquant est la mise en place d'un batholite correspondant à la partie profonde de l'ossature d'un arc insulaire.

La plus jeune phase orogénique a eu lieu à 2.08Ga comme le montre les séries volcano sédimentaire (Oued Souss) accumulées durant l'avancement de la marge active.

Et enfin, tout l'ensemble de ces terrains était déformé durant la collision des unités tectonique du Yetti-Eglab. Cette collision a provoqué le soulèvement du manteau asthénosphérique chaud ce qui a produit la fusion partielle de plusieurs sources dans les terrains Yetti- Eglab produisant un grand volume des magmas post orogénique (Unités Aftout-Eglab) durant une longue phase de rifting à 2.07Ga.

Ainsi, l'évolution géodynamique du domaine Yetti-Eglab est l'une des bonnes raisons qui fait que le massif des Eglab soit potentiellement riches en ressources métallifères vue que les zones de subduction, les arcs insulaires avec au sans bassin marginal ou d'arrière arcs, peuvent être des provinces métallogéniques favorable à la formation de porphyres cuprifères et à molybdène, or, tungstène-étain ; ou des sulfures massifs à Cu-Zn-Pb et même des gîtes d'Au-Ag épithermale (**Beaudoin, 2006**).

Les différentes subdivisions géochronologiques des trois domaines formant le bouclier Réguibat sont résumées sur la figure 8.

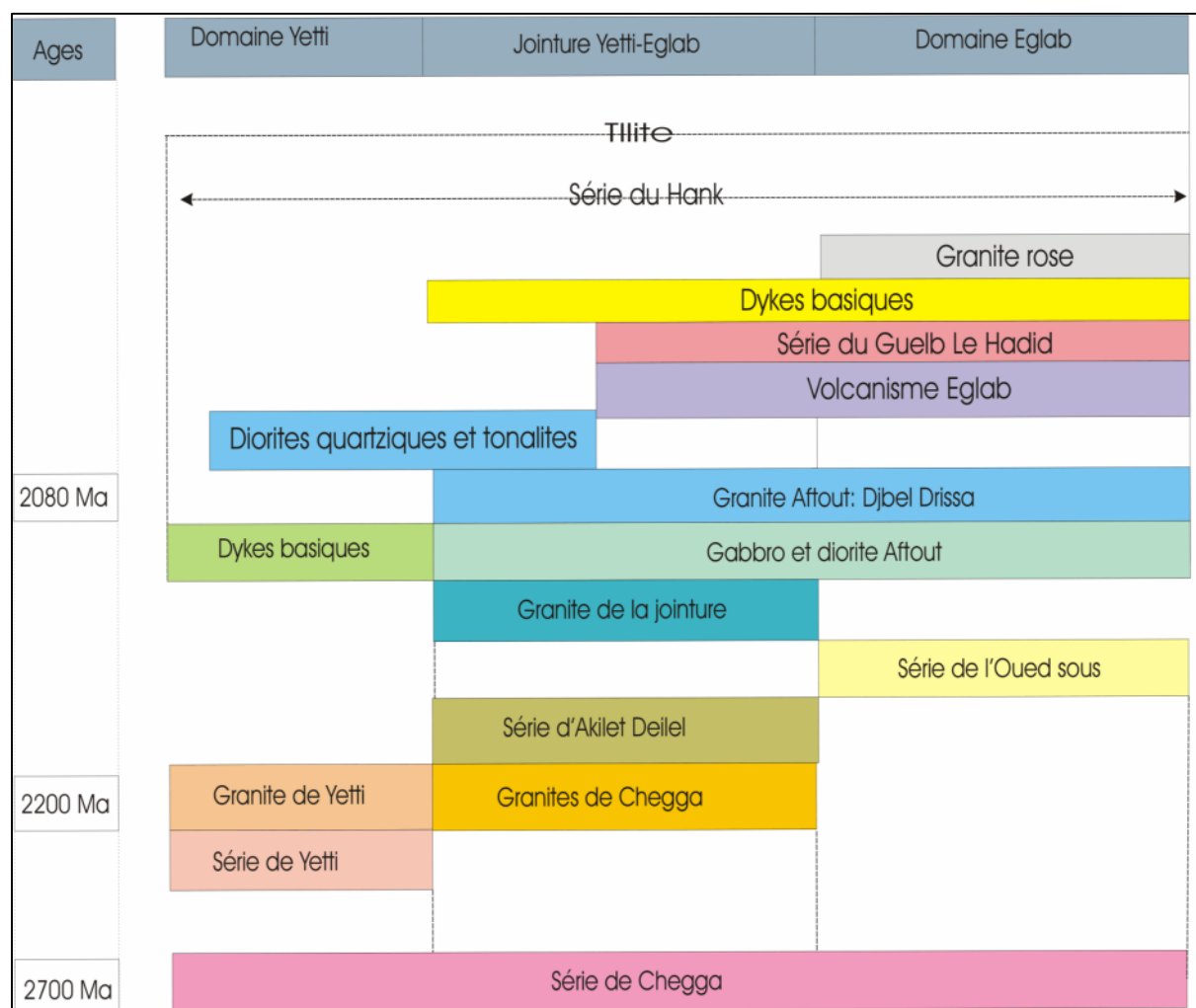


Fig. 8 : Litho-stratigraphie des formations de la dorsale Réguibat (Sabaté et Lomax, 1975) modifié par Peucat et al. 2005).

Chapitre III :
Géologie de la Région
d'Etude

1. Introduction :

La synthèse des données lithologiques, stratigraphiques magmatiques tectoniques et géologique ainsi que les principales subdivisions litho-stratigraphiques et magmatiques des formations du massif des Eglab ont été établis sur la base des travaux de P.Grévin (1958), de J.Buffière, J.Fahy et J.Potey (notices explicatives des cartes géologique au 1/500 000 des eglabs 1965), sur la base des rapport de la SERMI (1965), des travaux de P.Sabatéet K.Lomax (1975) et enfin sur la base des travaux géologiques pionniers de A.Niec, synthétisés dans le rapport de L'EREM (1983)

Cette synthèse nous a permis de mieux organiser les différentes données géologiques de notre région d'étude. La description géologique sera effectuée dans l'ordre suivant : i : *Litho-stratigraphie et magmatisme associé*, ii : *Tectonique*, iii : *Minéralisations*.

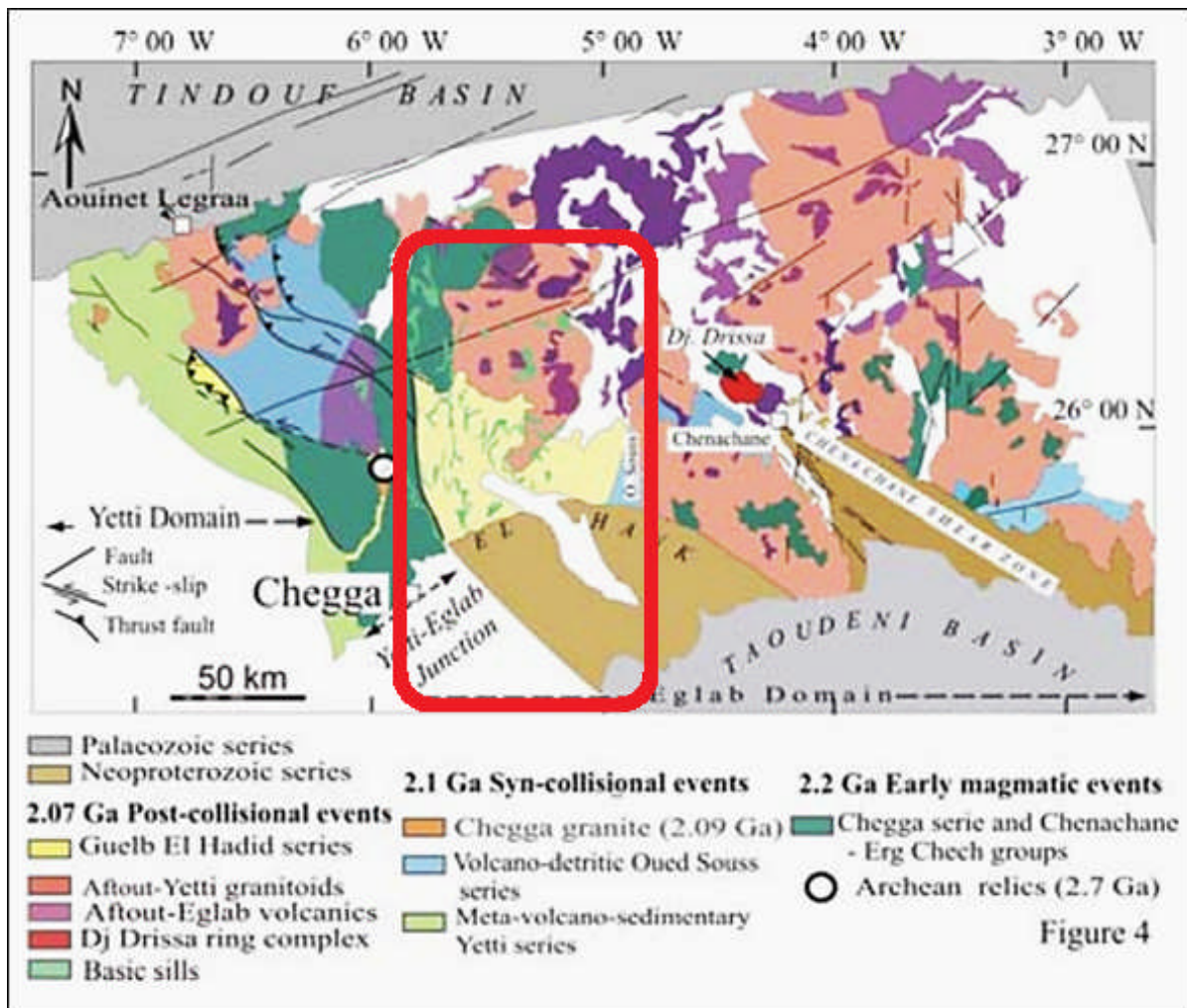


Fig. 9 : Cadre géologique des Eglabs (Extrait de la carte géologique du massif des Eglab) (SONAREM, Peucat et al 2005, BENRAMDANE, 2007, Aissa.2019 ; 2022)

2. Litho-stratigraphie et magmatisme associé

Ces formations détritiques représentent les formations les plus récentes de notre région d'étude. Elles ont été subdivisées selon leur âge croissant (du plus récent au plus ancien) ainsi que selon leur composition lithologique.

COUVERTURE

2.1. Formations récentes (Quaternaire- Villafranchien) :

Ce sont principalement les formations les plus récentes d'âge quaternaire et mio-pliocènes constituant les plateaux de type Hamada.

2.1.1. Formations alluvionnaires et éboulis (Q) :

Ces formations représentent les différentes alluvions anciennes et récentes qui se rencontrent le long du réseau hydrographique.

2.1.2. Formations dunaires (D) :

Ce sont des formations sableuses issues de l'activité éolienne et qui se manifestent sous formes de dunes isolées et par des cordons dunaires ou barkhanes (séries de dunes allongées) de direction préférence NNE.

2.1.3. Regs et Sebkhass :

Pour les premiers ce sont des formations détritiques issues de l'altération des roches Anciennes et déposées sur place. Les sebkhass sont des formations issues des dépôts évaporitiques

2.2. Formation du type Hamada (Tertiaire) :

Ce sont des formations stratifiées issues de l'activité marine lacustre ou lagunaire qui s'est manifestée sous forme de transgression au cours du Pliocène. Ils forment des plateaux et des butes. Son épaisseur est assez souvent très réduite (quelques mètres). La croûte silicifiée lui est caractéristique (*Lavocat. ; 1954 et Jodot. ;1955*)

2.3. Formation intrusives tardives :

Ce sont des formations géologiques d'âge inconnues mais qui sont nettement intrusives dans l'ensemble des formations antérieures y compris les formations de couverture d'âge paléozoïque. Elles sont représentées essentiellement par des dykes basiques de composition doléritique et désignés sur la légende par : **Dolérites (Pc)**.

2.4. Formations paléozoïques (dévoniennes et pré-dévoniennes) :

Ce sont des formations détritiques stratifiées issues de l'activité transgressive de la mer au cours du Paléozoïque. Elles sont représentées de haut en bas par des calcaires, des grès ferrugineux et des argiles d'âge dévonien qui reposent sur les formations grés-argileuses du silurien qui reposent à leur tour les formations essentiellement gréseuses cambro-ordoviciennes. La base de cet ensemble débute des formations tillitiques d'âge Eo-cambrien.

Sur les cartes géologiques de SERMI elles sont subdivisées en trois formations dont la dénomination est souvent attribuée à la région où elles sont dominantes et bien individualisées. Ces trois formations sont :

- Grès et quartzites du bassin de Tindouf (**Pi**) :
- Grès en lit de vin du Bassin de Taoudenni (**Pi'**)
- Tillite (**Ec**) :

SERIES INTERMEDIAIRES

2.5. Formations du Hank, Protérozoïque supérieur ou Infratillitique supérieure) :

Ces formations d'âge Néoprotérozoïque (ou Protérozoïque supérieur), appelées aussi séries du Hank, sont déposées juste avant les formations tillitiques éo-cambriennes. Elles sont regroupées en trois ensembles bien distincts : un **ensemble inférieur** à dominance volcano-détritique surmonté par un *ensemble carbonaté*, le tout est coiffé par un *ensemble gréseux*

2.5.1. Ensemble supérieur volcano-sédimentaire (CG1- CG10):

Cet ensemble est représenté par des formations détritiques à dominance de grès et de quartzites avec des niveaux volcanogènes. Ces roches attribuées au Néoprotérozoïque constituent une dizaine de formations détritiques qui s'étalement du haut vers le bas comme suit :

- Grès et quartzites supérieurs (CG10) :
- Grès ferrugineux supérieurs (CG9)
- Quartzites roux (CG8) :
- Grès en plaquettes supérieurs (CG7) :
- Grès à kerboub 5 (CG6) :
- Grès en plaquettes inférieurs (CG5) :

- Grés à kerboub 4 (CG4) :
- Grés roses et verts, et calcaires spathiques (CG3) :
- Lentilles calcaires dans les grés à kerboub 3 (CG2) :
- Grés à kerboub 3 (CG1) :

2.5.2. Ensemble calcaire (C1- C9):

C'est un ensemble à dominance de calcaire de différentes compositions et structures avec des niveaux assez fréquents de grés également de différentes compositions. Stratigraphiquement, ils sont déposés dans l'ordre suivant :

- Calcschistes rubans (C9) :
- Calcaire bleus supérieurs (C8) :
- Grés ferrugineux moyens (C7) :
- Calcaires bleus inférieurs à Conophyton et à Collenia (C2-6) à facies suivants :
- Grés glauconieux (C5) :
- Calcaires à colonie inférieurs (C3)
- Grés de Beni Arous (C2b) :
- Calcaire bleus inférieurs (C2) :
- Grés ferrugineux inférieurs et calcaires de base (C1) :

2.5.3. Ensemble gréseux (G1- G3):

Contrairement à l'ensemble sus-jacent, cet ensemble est essentiellement gréseux mais avec également de fréquents niveaux de calcaires qui se succèdent comme suit :

- Calcaires à silex (G3) :
- Grés à kerboub 2 (G2) :
- Grés et calcaires de base (G1) :

SOCLE

2.6. Formations du socle (Protérozoïque moyen et inférieur ou Infratillitique Inférieure) :

Il s'agit d'une entité lithologique représentée par trois formations litho-stratigraphiques bien distinctes l'une à dominance volcano-détritique et quartzitique occupant la base de ce groupe surmontée par la série de Guelb El Hadid à dominance détritique. Ce sont :

- Guelb el Hadid supérieur arkoses à galets (AK) et Quartzites roses (Q)

- Guelb el Hadid inférieur :
- Formations volcaniques et détritiques interstratifiées

2.6.1. Série du Guelb el Hadid :

Il s'agit d'une série épicontinentale tardi-birimienne (*Gevin, 1951*) qui affleure sous forme de bassin restreints et composée de deux séquences (*Buffière et al 1965*) :

- Une *séquence supérieure* dénommée parfois la série supérieure de Guelb El Hadid composée essentiellement de grès quartzeux et de grés arkosiques associés à des quartzites et des poudingues à galets de quartz.
- Une *séquence inférieure* (Série Inférieure de Guelb el Hadid) à dominance volcano-détritique recoupée par des filons de granites de type Aftout et coiffée par des niveaux conglomératiques. L'âge de cette série n'est pas encore bien fixé mais établi approximativement entre 2.07 Ga (âge du granite d'Aftout qui intrude la séquence inférieure) et 1Ga (base de la couverture néoprotérozoïque).
- Formations volcaniques et détritiques interstratifiées

2.6.2. Volcanisme et plutonisme Aftout- Eglab :

➤ Volcanisme Aftout- Eglab

Les roches volcaniques du domaine Eglab se présentent sous forme d'intercalations ou en appareils volcaniques bien distincts ; Elles sont composées de plusieurs épisodes rangés en deux groupes (*Buffière 1965, 1967, Caby 1965, Sabaté 1976, 1978, 1979 et Benramdane 2003*).

- *Volcanisme acide* :
- *Volcanisme basique* :

Les dykes NS sont les plus dominants. Des formations similaires recoupent la couverture néoprotérozoïque et paléozoïque (*Le fort et al 1994*).

➤ Plutonisme Aftout- Eglab (précambrien terminal)

Le plutonisme Aftout-Eglab est largement dominant (Plus de 60%). Il est caractérisé par de larges batholites de granites et roches basiques associées et par de rares volcanites. Cet ultime épisode montre trois phases distinctes :

- Une Phase précoce de type Aftout avec des manifestations à *dominance basique*
- Une phase *calco-alcaline* majeure
- Une phase *peralcaline* tardive

Chapitre III : Géologie de la Région d'Etude

Les Plutons de type Aftout sont des petits batholites constitués de divers faciès magmatiques qui forment parfois des massifs différenciés de référence :

- Granite de Tilsmas
- Faciès microgrenu porphyroïde
- Microgranite Aftout
- Granite fins, faciès de bordure Aftout
- Granite rouge des Eglab
- Granite rose des Eglab
- Granit porphyroïde à enclaves mésocrates
- Faciès de bordure
- Granite amphibole

Les roches vertes basique Aftout : Ces roches sont représentées par deux faciès :

- Diorites, diorite quartziques, gabbros :
- Zones à panneaux de roches vertes dans les granites :

Les porphyrites Aftout : Ces porphyrites sont formées de :

- Microgranites et plusieurs faciès associés :
- Porphyres dacitiques

Les volcanismes Aftout : Les roches volcaniques de type Aftout

- Volcanisme non structuré acide :
- Un volcanisme Basique :
- Un volcanisme recristallisé :

2.6.3. Formation Pré-Aftout supérieur :

Il est représenté par les Granite d'Haida et des diorites associées ainsi que par la série de l'Oued Sous

➤ *Série volcano-sédimentaire de l'Oued Souss* :

Elle est de composition volcano-sédimentaire, argile, grauwackes, tufs et grés et conglomérat à minéralisations aurifères de type paléo placers. La série est injectée par les granites d'Aftout associés à des minéralisations porphyriques de Mo-Cu, Au. Elle est composée par quatre formations plus ou moins distinctes :

- Formation détritique
- Formation conglomératique
- Formation volcanique :
- Formation volcano-sédimentaire recristallisée :

2.6.4. Formation Pré-Aftout inférieur (série métamorphique) :

➤ *Domaine Chenachene-Erg Chech :*

Dans cette partie des Eglab, ce domaine est représenté par la série d'Erg Chech composée principalement de trois groupes : le groupe du Dra El Guerb, le groupe de Tilemsi et le groupe de Tegueur.

Des travaux plus récents (*Peucat 2005*) montrent que cette série est traversé par un complexe magmatique TTG de type arc insulaire formé entre 2.21 et 2.18Ga.

La série d'Erg Chech affleure le long de blocs tectoniques soulevés représentant des témoins réduits et isolés au sein des roches magmatiques plus récentes. Elle est constituée de roches métamorphiques de facies amphibolites, de métavolcanites associées à des granitoïdes (Buffière et al., 1965 & Caby, 1965).

La série est plissée et localement rétomorphosée dans le facies épizonal. La série est composée de deux groupes litho-stratigraphiques (SERMI, 1965) : le groupe de Tegueur et le groupe de Tilemsi constitués les deux par :

- Des gneiss gris, le ptynites et schistes cristallins associés à des plutonites basiques à intermédiaires (gabbros, diorites quartziques à cumulas à plagioclases) supposées les plus anciens du Paléoprotérozoïque.

- Des granitoïdes orthogneissifiés et migmatites à caractère de TTG.

Les roches volcaniques à volcano-détritiques localisées près de Draa el Guerb font partie intégrale de ces deux groupes. Ces roches sont composées de tufs, de quartzites et de volcanites acides à foliation subverticale à intercalations de sills basiques doléritiques (Caby 1965).

Les principaux faciès de la série d'Erg Chech forment une suite de type arc magmatique mise en place entre 2,21 et 2,18 Ga (Peucat et al.2005). La série est représentée en gros par trois groupes : Groupe du Dra El Guerb, le Groupe de Tilemsi et le Groupe de Tegueur.

○ *Groupe du Dra El Guerb* représenté par des tufs, des quartzites et volcanites acides à foliation subverticale avec des intercalations de sills doléritique (*Caby 1965*)

○ *Groupe de Tilemsi* : Il est composé essentiellement d'Ectinites de migmatites hétérogènes de gneiss anatexique ainsi que de Granites migmatitiques et de Granites

Chapitre III : Géologie de la Région d'Etude

○ *Groupe de Tegueur* : Il est formé essentiellement Orthogneiss et roches plutoniques composées de Granite de Tegueur avec des Faciès de bordure caractéristiques ainsi que d'anciennes Gabbrodiorites

➤ *Domaine Chegga-Iguidi*

Série de Chegga : La série cristallophylliens Chegga fut décrite pour la première fois en Mauritanie près de Hassi Chegga (Gevin, 1951) elle est formée de plusieurs faciès, à foliation subverticale et intrudée tardivement par des granites syntectoniques (BIA, 1960 ; SERMI, 1965) : Elle comprend trois termes :

- Des termes inférieurs à dominance de schisteux amphiboliques, de gneiss gris à amphibole - grenat, leptynites et quartzites. Ce sont les termes les plus anciens du substratum (Buffière et al., 1965). Ces faciès correspondent à des plagiogranites gneissiques à intercalations d'amphibolites témoins d'une croûte océanique superficielle.

- Des faciès intermédiaires de compositions gneissique et anatexique (ptygmatites), d'aplites et de pegmatites. Leur nature montre un caractère de TTG à tendance sodique calco-alcaline (Mahdjoub et al., 1994).

- Des termes supérieurs à faciès laminés rouges ou sombres à texture litée et orientée, observés sur le couloir mylonitique de Chegga (pseudotachylitique ?).

Cette série est associée à des granites intrusif dits Granite de Chegga :

3. Tectonique

La synthèse des travaux antérieurs (SERMI 1965, EREM 1983, Tokarski 1991-1994 et Mahdjoub 1991-2005) montre que les différentes phases tectoniques ayant marquées notre région d'étude peuvent être résumées comme suit :

○ La phase Réguibat est représentée par des accidents cassants d'orientation NE et NNO ainsi que par des zones mylonitiques orientées NS. Les structures plissées sont soit d'orientation Est-Ouest ou Nord-Sud. Cette phase semble être éburnéenne précoce.

○ La phase Yetti : Cette phase serait responsable du collage Yetti-Eglab et de la mise en place des accidents mylonitiques NNW ainsi que le plissement des séries du Yetti, Akilet Deillel, d'Oued Sous.

○ Les mouvements liés à la phase panafricaine : Ils représentent le contre-coup de l'orogénèse panafricaine qui a effleurée la bordure Est de la dorsale Réguibat. Ils se traduisent par des basculements de la série du Hank ainsi que du jeu des anciennes fractures (NS, NW, NNE et NNW)

Les phases tectoniques liées au Phanérozoïque sont visibles sur les formations de couverture paléozoïques. Elles se traduisent par

Chapitre III : Géologie de la Région d'Etude

- La phase cadomienne qui met en relief la discordance de du cambro-ordovicien sur l' infracambrien.
- La phase calédonienne qui reprend les traces des directions anciennes (NNW) et qui serait à l'origine de la mise en place des moles de Aouinet Legraa, Laroussi ...etc.)
- La phase hercynienne responsable des plissements de la couverture paléozoïque et rejeux des accidents N20
- La phase post-trias responsable de la mise en place des dykes doléritiques NS répanus dans les formations paléozoïques.

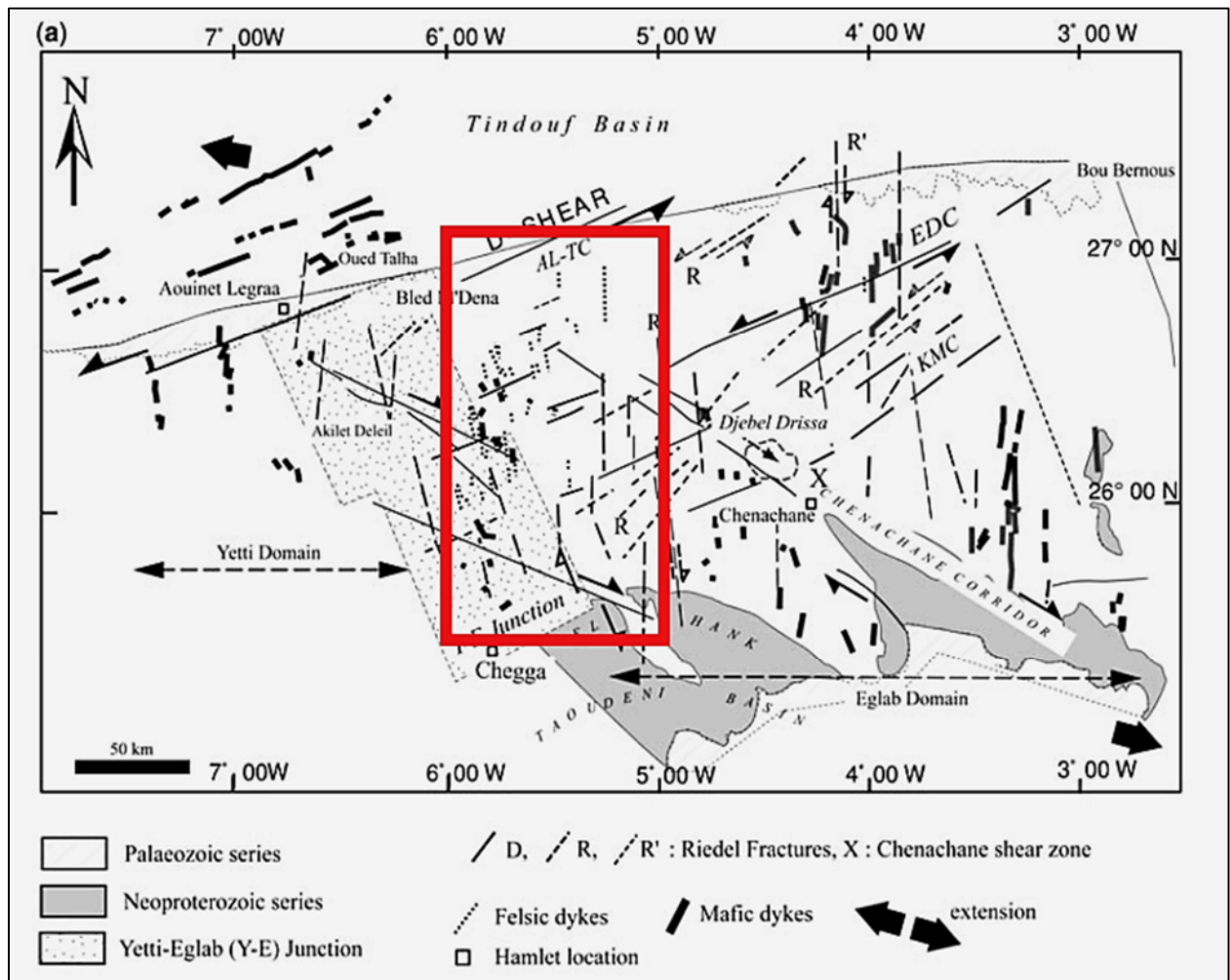


Fig.10. Schéma structural du massif des Eglab incluant la région d'étude (Peucat et al 2005)

4. Minéralisations

La région d'étude est caractérisée par la manifestation de plusieurs occurrences minérales qui sont soit des anomalies géochimiques, des points de minéralisations et rarement des indices.

L'analyse de toutes occurrences minérales synthétisées dans le rapport Niec (ORGM 1983) fait ressortir la présence 51 minéralisations réparties dans le tableau suivant:

Eléments Chimique	Cu	Nb-Tr	Fe	W	Au	Pb	U	Mo-Au	W-Mo
Nombre	18	06	01	15	02	05	01	02	01

Les cartes des occurrences minérales de Chegga et d'Eglab Salem tirée du rapport cité ont été géoréférenciées avec le logiciel ArcGIS avec lequel deux shape files minéralisation ont été créé. De cette manière la gestion de ces occurrences minérales serait facil et malléable. Les cartes de minéralisations obtenues sont montrées sur les figures 11 et 12.

Chapitre IV :

Téledétection

A- RAPPELS THEORIQUES

1. Généralités

1.1. Introduction :

La télédétection est née de la fusion de deux inventions anciennes : la montgolfière (première plate-forme d'observation aérienne) et la photographie. En réalité, la télédétection moderne est née de la photographie aérienne, qui a connu un essor considérable au cours du XX^e siècle, surtout au cours de la seconde guerre mondiale.

L'année qui symbolise l'entrée de la télédétection dans l'ère moderne est l'année 1957 avec le lancement de Spoutnik, premier satellite artificiel à être placé en orbite autour de la terre. Depuis, de nombreux pays dont les USA, le Canada, la France, l'ex-URSS puis la Russie, la Chine, le Japon ou encore l'Inde ont développé leurs propres programmes de télédétection. Aujourd'hui, des milliers de satellites d'observation de la Terre sont en orbite et fournissent en permanence d'innombrables images pour des applications militaires et civiles.

1.2. Définition de la télédétection :

La télédétection est définie comme « l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets au sol par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci » (*Commission interministérielle de terminologie de la télédétection aérospatiale, France, 1988 dans le site <https://www.institut-numerique.org>*).

Ainsi selon *le centre canadien de la télédétection* : « La télédétection est la technique qui, par l'acquisition d'images, permet d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre sans contact direct avec celle-ci. 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 ».

1.3. La télédétection et la géologie :

En géologie, la télédétection est utilisée pour étudier la composition et la structure de la surface de la Terre. Elle représente un outil permettant d'extraire des informations sur la structure ou la composition de la surface de la Terre. Souvent combinée avec d'autres sources de données pour des mesures complémentaires. En termes de réflectance spectrale, les données multispectrales peuvent fournir des informations sur la composition pétrologique des roches.

Le radar fournit des informations sur la rugosité et la forme de la surface, ce qui est très utile, en particulier lorsqu'il est combiné avec des données provenant d'autres sources pour créer une représentation détaillée du terrain.

La télédétection ne se limite pas aux applications géologiques directes ; elle est également utilisée dans la planification et la logistique, comme la planification des passages miniers, la surveillance des projets de remise en état et la création de cartes de base sur lesquelles les données géologiques peuvent être superposées.

1.4. Principales applications de la télédétection pour la géologie :

- La cartographie des dépôts de surface.
- La cartographie lithologique.
- La cartographie structurale.
- L'exploration et exploitation des agrégats (sable et gravier).
- L'exploration minière.
- L'exploration pétrolière.
- La géologie environnementale.
- La géobotanique.
- L'infrastructure de base.
- La cartographie et surveillance des taux de sédimentation.
- La cartographie et surveillance des phénomènes naturels.
- La cartographie des risques géologiques.
- La cartographie planétaire.

1.5. Principe de base de la télédétection :

Son principe de base est le même que celui de la vision humaine. La télédétection résulte d'Interaction entre trois composants principaux (Fig.13) :

❖ La taille de la cible est généralement de l'ordre de dizaines à milliers de kilomètres carrés, soit une partie de la surface terrestre observée par les satellites.

❖ Les sources d'énergie sont des composants qui "éclairent" une cible en émettant des ondes électromagnétiques (flux de photons). Dans la grande majorité des cas, la source d'énergie est l'énergie solaire. Cependant, la technologie radar nécessite que l'émetteur soit transporté à bord du satellite, qui dans ce cas, est la source d'énergie elle-même.

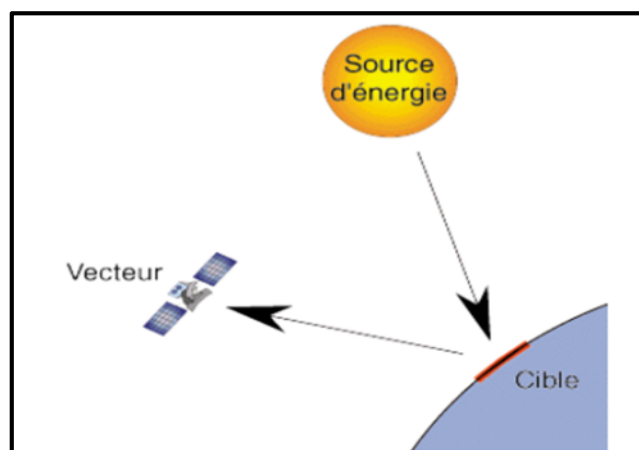


Fig.13 : Schéma de principe de base de la télédétection

❖ **Le vecteur** (ou plate-forme de télédétection) sert à capter et mesurer l'énergie solaire (rayonnement électromagnétique) réfléchi par la cible. Il peut être un satellite ou un avion, distant de la cible de quelques centaines de mètres à 36 000 kilomètres.

1.6. Les différentes étapes de la télédétection :

Dans la majorité des cas, la télédétection est l'interaction entre l'énergie incidente et les cibles. Le processus de la télédétection au moyen de systèmes imageurs comporte les sept étapes que nous élaborons ci-après (Fig.14). Notons cependant que la télédétection peut également impliquer l'énergie émise et utilisée par les capteurs non-imageurs.

$$C(m\ s^{-1}) = \lambda\ (m)\ v\ (Hz)$$

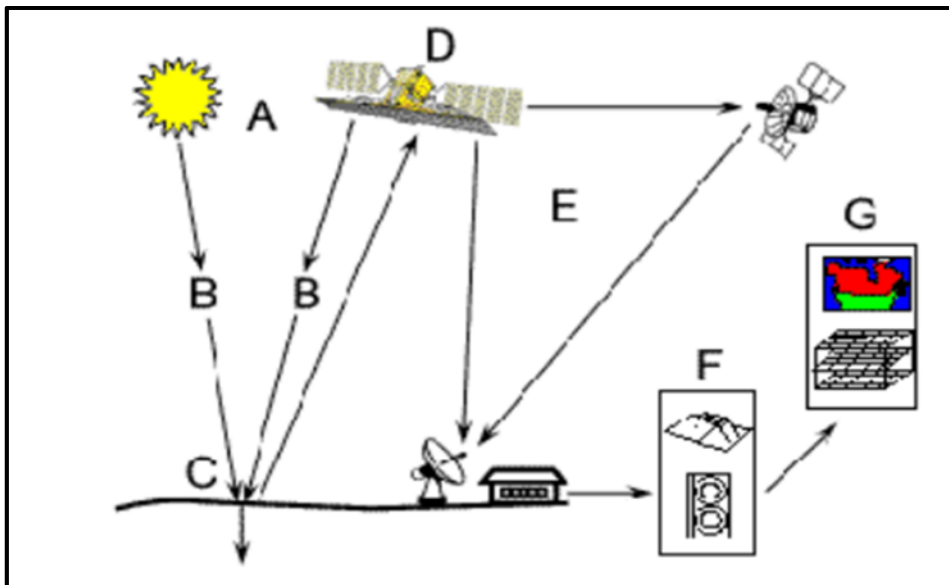


Fig.14: Les sept étapes de la télédétection (centre canadien de télédétection).

A : Source d'énergie ; B : Rayonnement et atmosphère ; C : Interaction avec la cible ; D : Enregistrement de l'énergie par le capteur ; E : Transmission, réception et traitement ; F : Interprétation et analyse ; G : Application

- **Source d'énergie (A)** : Qui est à l'origine du mécanisme de la télédétection, son rôle est d'illuminer la cible.

- **Rayonnement et atmosphère (B)** : Au cours de son trajet 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.

- **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.

- **Interaction avec la cible (D)** : 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.

• **Transmission, réception et traitement (E)** : L'énergie enregistrée par le capteur est transmise, souvent par des moyens électroniques, à une station de réception où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques).

• **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.

• **Application (G)** : La dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible, pour nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier.

1.6.1. Le rayonnement électromagnétique :

Premièrement, il doit y avoir de l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique pour illuminer la cible, à moins que la cible elle-même ne génère cette énergie.

Selon la théorie particulaire de la lumière, le rayonnement électromagnétique est un flux de photons. Selon la théorie des ondes, le rayonnement électromagnétique est produit simultanément par un champ électrique (E) et magnétique (M) perpendiculaire se propageant dans le vide à une vitesse de la lumière égale à $c = 3 \cdot 10^8$ ms⁻¹ (fig.15). La direction du champ électrique E est perpendiculaire à la direction du rayonnement électromagnétique.

Le rayonnement électromagnétique est caractérisé par ses deux propriétés à savoir :

Sa longueur d'onde est notée λ , qui correspond à la distance entre deux pics consécutifs, et sa fréquence est notée (ν), qui est le nombre de répétitions par unité de temps.

Ces deux propriétés inversement proportionnelles sont liées par l'équation suivante :

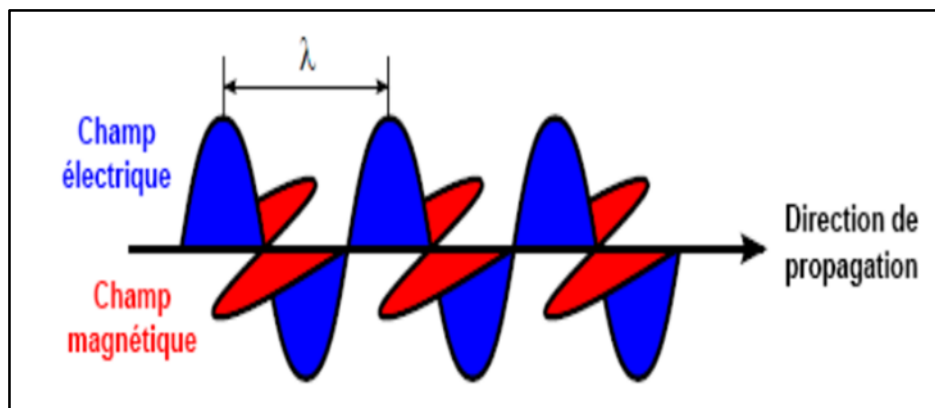


Fig.15 : Rayonnement électromagnétique (Badel, 2008, modifiée) (Koussa, 2020)

1.6.2. Le spectre électromagnétique :

Il est le résultat de la décomposition du rayonnement électromagnétique en plusieurs fréquences (ou longueurs d'ondes). Il s'étend des ondes courtes (rayons γ , rayons X) jusqu'aux micro-ondes et les ondes radio. La télédétection utilise plusieurs régions (ou morceaux) de ce spectre électromagnétique : Domaine visible et L'infrarouge (Fig.16).

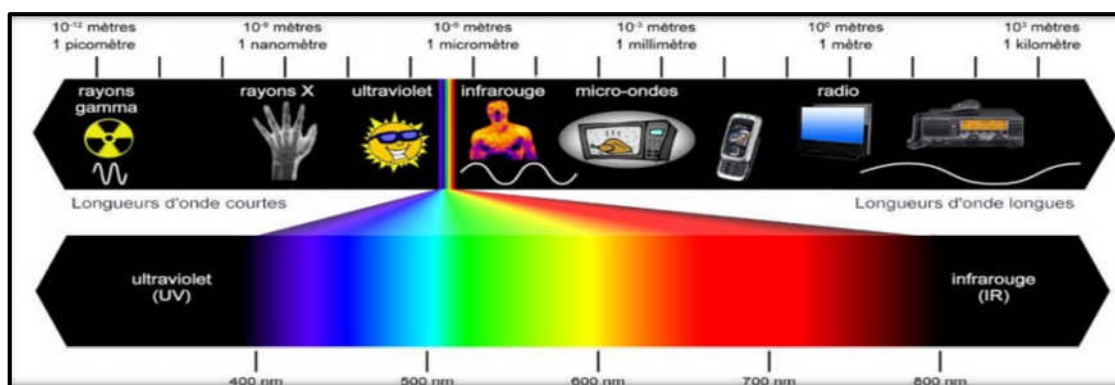


Fig.16 : Spectre de rayonnement électromagnétique

Domaine du visible : lorsque la lumière passe à travers un prisme, elle se décompose en plusieurs couleurs selon le principe de l'arc-en-ciel (Fig17).

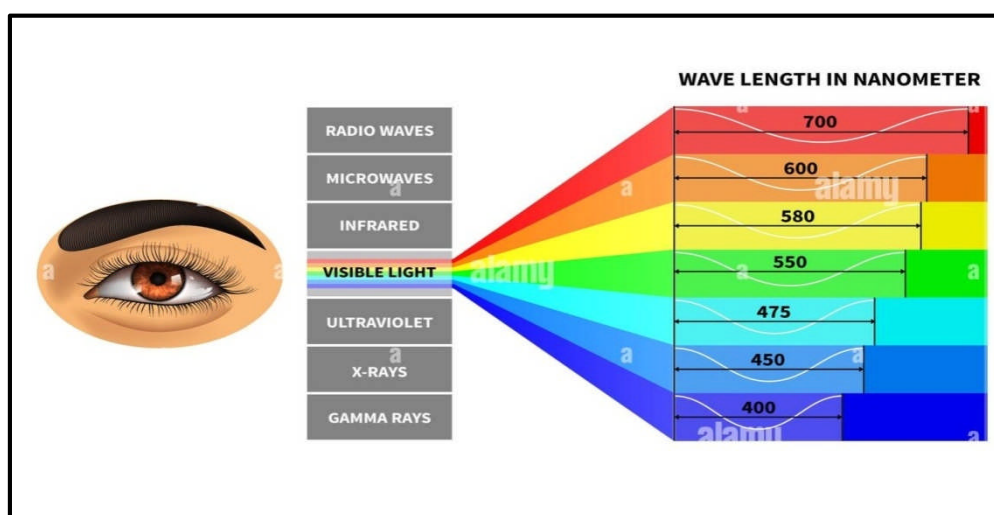


Fig.17 : domaine du visible (principe de l'arc-en-ciel)

L'infrarouge : il s'étend de 0,7-100mm (100 fois plus large que le spectre du visible) et se divise en deux bandes : l'IR réfléchi (0,7-3mm) utilisé surtout pour l'étude de la végétation et l'IR émis ou thermique (3-100mm) pour capter la chaleur terrestre.

2. Les types des satellites

2.1. Satellite Géostationnaire (GSS) :

Ils sont mis en orbite dite « géostationnaire » ou « géosynchrone » (Fig.18), il s'agit d'une orbite équatoriale et circulaire située à une altitude de 35786Km. Le satellite se déplace donc à la même vitesse angulaire et dans le même sens que le globe terrestre assurant ainsi une observation permanente et continue d'une même région du globe. C'est le cas des satellites de télécommunication et d'observations météorologiques. Pour un satellite géostationnaire effectuant une révolution en 24h (86164s) avec le rayon de l'orbite = 42 164 (altitude= 35 786km), sa vitesse est de 3073 m/s.

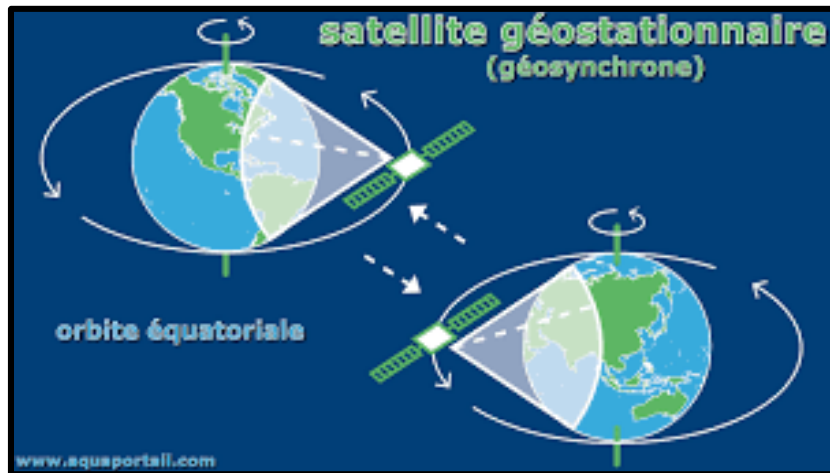


Figure 18 : Un satellite géostationnaire

2.2. Satellites Héliosynchrone :

Ils sont placés en orbite circulaire passant par les pôles. Leur plan est déterminé de manière à observer régulièrement un point particulier à des mêmes heures locales solaires. Leur période est comprise entre 90 et 120mn. Le nombre de révolutions en une journée est compris entre 12 et 16 : C'est le cas des satellites de satellites LANDSAT, NIMBUS.

L'altitude relativement basse de ces satellites (200 à 6500km), permet une bonne résolution spatiale. La vitesse minimale du satellite est de 7,77km/s et sa périodicité est de 1h30, mais la durée de vie du satellite est de quelques mois.

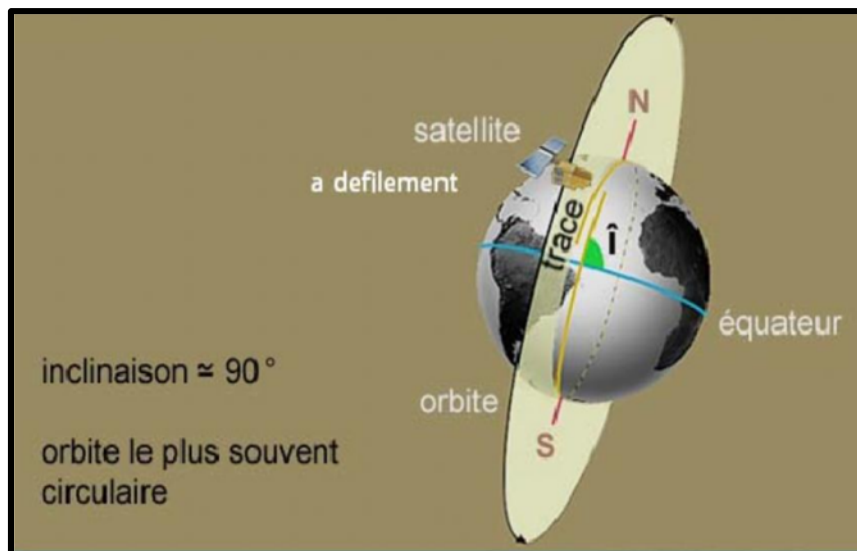


Fig.19 : Exemple de satellite héliosynchrone

2.3. Satellites A Orbite Circulaire Quelconque :

Ils offrent un grand avantage ; celui de passer à la même altitude au-dessus d'un point de la Terre mais à des heures différentes. Orbite circulaire : ellipse à excentricité nulle. Exemple : Les satellites **TIROS**, **NOAA** et **ERS-1**

3. Les données imagées du satellite "Landsat"

3.1. Historique et caractéristiques succinctes du satellite Landsat.

Ce satellite a été lancé pour la première fois en 1972 par NASA (National Astronomic Space Agency) en coopération avec l'USGS (United States Geological Survey). Il avait comme slogan "Science for changing the world".

Landsat est un satellite polaire de type héliosynchrone qui tourne en orbite fixe appelée « Sun Synchronous Orbit » (orbite synchronisée du soleil). Il fait un tour de la Terre chaque 99 minutes avec une vitesse linéaire de 27350km/h soit 14 rotations par jour (14 bandes par jour). Il parcourt donc une distance de 643000km/jour. En 16 jours ce satellite aurait couvert toute la Terre. Il aurait fait 244 rotations et parcouru 8.776.000 km.

Les données imagées de Landsat ont été utilisées dans divers domaines notamment dans le domaine de l'exploration du gaz, pétrole et minérale et en cartographie géologique.

3.2. Les principales générations de satellite Landsat

Le satellite Landsat a permis de nous doter d'une couverture imagée continue depuis 1972. Jusqu'à présent 9 générations ont été lancées. Chaque génération est caractérisée par une avancée technologique liée à la qualité de ses capteurs. Elles sont regroupés en trois grands types : Les multispectral scanner (MSS), les Thématique mapper (TM et ETM) et les opérationnel Land imager (OLI).

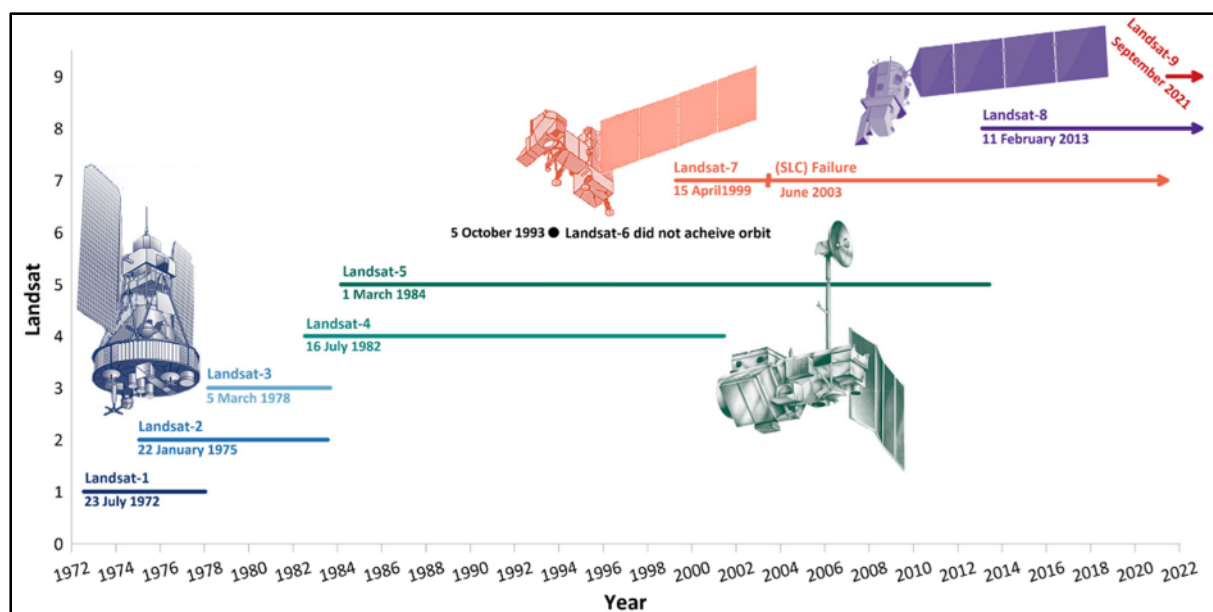


Fig. 20 : Chronologie du programme Landsat tel que défini avant le lancement de Landsat 9 en 2021.

➤ **Landsat 1** : Il représente la première génération, lancé en 1972 a permis de fournir des images à 4 bandes spectrales avec une résolution spatiale de 80m (Taille du pixel). Il a été baptisé le MSS (Multi Spectral Scanner).

➤ **Landsat 4** : 1982 : appelé aussi Landsat ETM 7 bandes spectrales de 30m de pixel. Thermalinfrared visible et reflectedinfrared.

Chapitre IV : Télédétection

➤ **Landsat 5:**(1984), Landsat 6: mort-né, ses images n'ont servi que pendant très peu de temps.

➤ **Landsat 7** ou Landsat ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper*) (9 canaux) : Ce satellite lancé en 2003 continue à fournir jusqu'aujourd'hui ce type d'image. Il est doté de 9 capteurs spectraux qui permettent d'avoir l'image *Landsat ETM+* qui contient 9 bandes spectrales.

➤ **Landsat 8** : Le satellite Landsat-8/LDCM (Landsat Data Continuity Mission), qui a été lancé le 11 février 2013 par une fusée Atlas V 401, est entièrement différent de la génération précédente. Sa masse au lancement est de 2 623 kg et il emporte 386 kg d'hydrazine. La capacité d'enregistrement des données de LANDSAT-8 est insuffisante pour permettre au satellite d'observer toutes les terres émergées à chaque passage. Il fournit des images OLI (*Opérationnel Land Imager*) avec 11 bandes spectrales.

Les images satellite LANDSAT sont libres de droits et distribuées par l'United States Geological Survey (USGS). Dans notre travail, nous utilisons comme exemple des images acquises par le satellite LANDSAT 8 en opération depuis le 11 février 2013.

Lors du téléchargement de l'imagerie correspondant à la zone sélectionnée, le nombre de fichiers obtenus est de 12, correspondant aux 11 bandes spectrales acquises par les capteurs satellitaires et la bande dite « QA » visant la qualité des données synthétiques. Les bandes spectrales disponibles sont décrites ci-dessous.

✓ Les bandes spectrales de l'instrument OLI :

OLI (Opérationnel Land Imager) est l'instrument principal. Ce radiomètre multi-spectral acquiert des images dans neuf bandes spectrales allant du visible au moyen infrarouge. Sept (7) de ces bandes spectrales étaient déjà présentes sur l'instrument ETM+ de Landsat-7, Deux canaux supplémentaires ont été ajoutés, destinés principalement à la correction atmosphérique (canal bleu à 440 nm) et à la détection des nuages (1380 nm).

Tableau 1: Les bandes spectrales de l'instrument OLI

Bande spectrale	Longueur d'onde	Résolution
Bande 1 - Aérosols	0,433 – 0,453 μm	30 m
Bande 2 - Bleu	0,450 – 0,515 μm	30 m
Bande 3 – vert	0,525 – 0,600 μm	30 m
Bande 4 – rouge	0,630 – 0,680 μm	30 m
Bande 5– infrarouge proche	0,845 – 0885 μm	30 m
Bande 6 –infrarouge moyen 1	1,560 – 1,660 μm	30 m
Bande 7 – infrarouge moyen 2	2,100 – 2,300 μm	30 m
Bande 8 - panchromatique	0,500 – 0,680 μm	15 m
Bande 9 - cirrus	1,360 – 1,390 μm	30

Chapitre IV : Télédétection

✓ Bandes spectrales de l'instrument TIRS (Thermal Infrared Sensor) :

TIRS (Thermal Infrared Sensor) est un radiomètre multispectral infrarouge à deux canaux qui fournit des données dans des longueurs d'onde observées par les anciens satellites Landsat mais non repris dans l'instrument OLI.

Tableau 2: Bandes spectrales de l'instrument TIRS.

Bande spectral	Longueur d'onde	Résolution
Bande 10 - Infrarouge moyen	0,30 - 11,30 μm	100 m
Bande 11 - Infrarouge moyen	11,50 - 12,50 μm	100 m

4. Logiciel ENVI :

Définition : ENVI (The Environment for Visualizing Images) est un système nouveau et performant de traitement d'images qui répond aux besoins des utilisateurs d'images satellites ou aéroportées. L'ENVI permet de traiter, de visualiser les données de manière compréhensible et de les analyser à partir d'images de taille et de type variés.

L'ENVI a l'avantage d'être développé par des scientifiques qui sont eux-mêmes des chercheurs en matière de télédétection. C'est pourquoi les améliorations apportées à ce logiciel sont novatrices et en développement constant. Il utilise des techniques de bases associant les fichiers et les bandes à l'aide de fonctions interactives.

- L'ENVI permet aussi d'utiliser des outils interactifs pour visualiser et analyser des attributs SIG et des couches vectorielles et associe toutes les fonctions de traitements basiques à une interface graphique utilisateur (transformation de données, filtrage, classification, corrections géométriques, analyse spectrale, outils radar, etc.),

APPLICATION A LA REGION D'ETUDE

Pour l'application de la télédétection dans notre région d'étude il nous a été nécessaire de suivre les étapes suivantes :

1. Acquisition :

Cette étape consiste à créer un compte d'utilisateur (Fig.21) sur la plateforme (USGS. Earth Explorer), ensuite se connecter avec le nom d'utilisateur et le mot de passe après la confirmation du compte par le lien reçu à la boîte email.



Fig.21:Ouverture d'un compte utilisateur dans le site USGS

Ensuite on aura à télécharger des images satellites désirées du site. Dans notre travail, nous avons utilisé l'Imagerie du satellite LANDSAT 8, où Libre de droits. Avant de télécharger ces images, vous devez choisir la meilleure période de l'année. Généralement, nous choisissons le mois de mai et juin, nous avons choisi une période où les nuages sont nets. On choisit un niveau de traitement de ces images et aussi le chemin (path) et la ligne (Row).

Sur le site web de l'USGS : On clique sur : **critères de recherche** puis On choisit : **téléchargement KML/fichier de forme**. →>**Polygone** : on délimite notre zone d'études sur la carte. Plage de date : on choisit le mois de l'année qui nous intéresse.

On clique sur : **ensembles de données** pour choisie le satellite qui nous intéresse (Fig.22). **Landsat**.→**Landsat collection 2**→**Niveau 2**. Pui on sélectionne : **Landsat 8-9 OLI/TIRS C2L2**

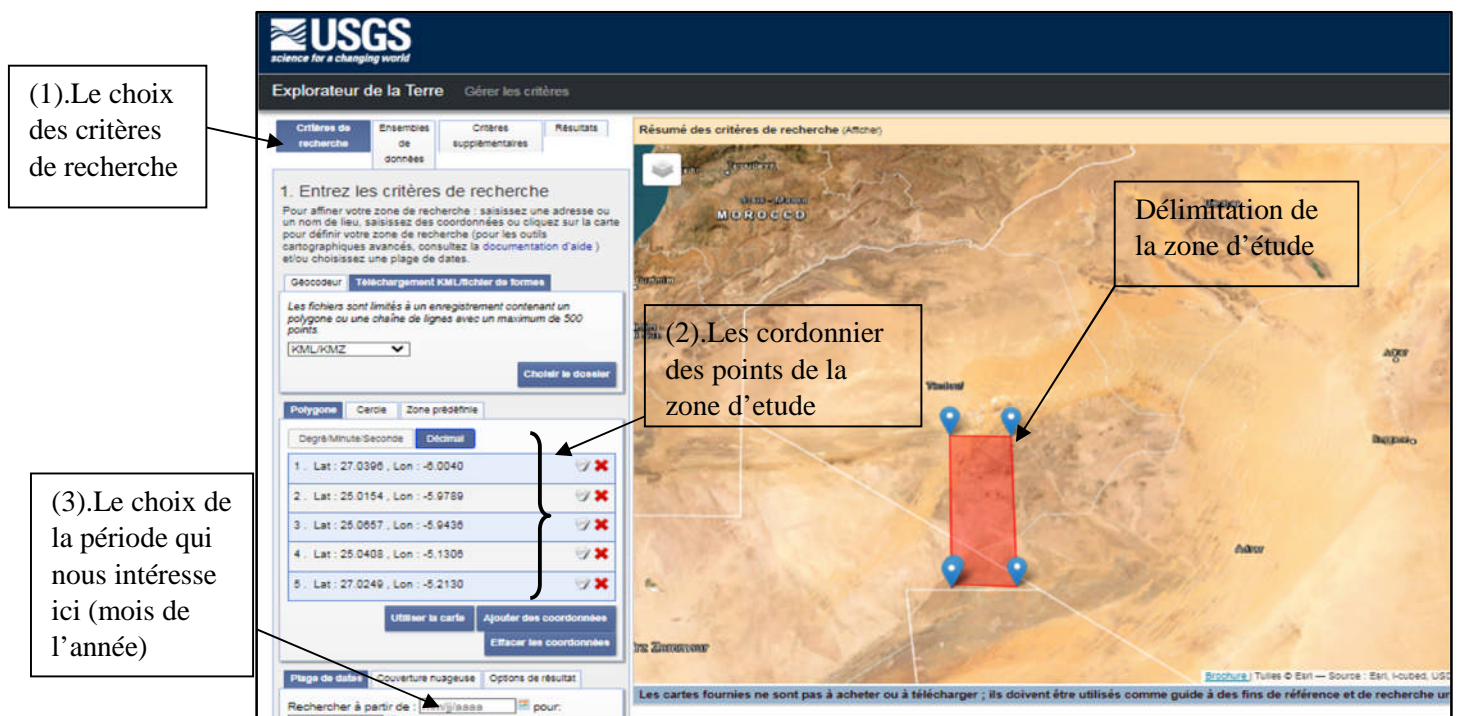


Fig. 22 : Etapes à suivre pour le téléchargement sur le site web de l'USGS.

Chapitre IV : Télédétection

A la fin on clique sur *résultats* : pour avoir le polygone dessiné sur la carte qui délimite notre zone d'étude selon les cordonniers qui nous avons inséré. L'interface du site on voit s'afficher automatiquement les images satellitaires de notre région d'étude (Fig.23).

Il est nécessaire également de filtrer les images pour obtenir celle qui nous convient (fig.24), on clique sur « télécharger » pour acquérir les images.

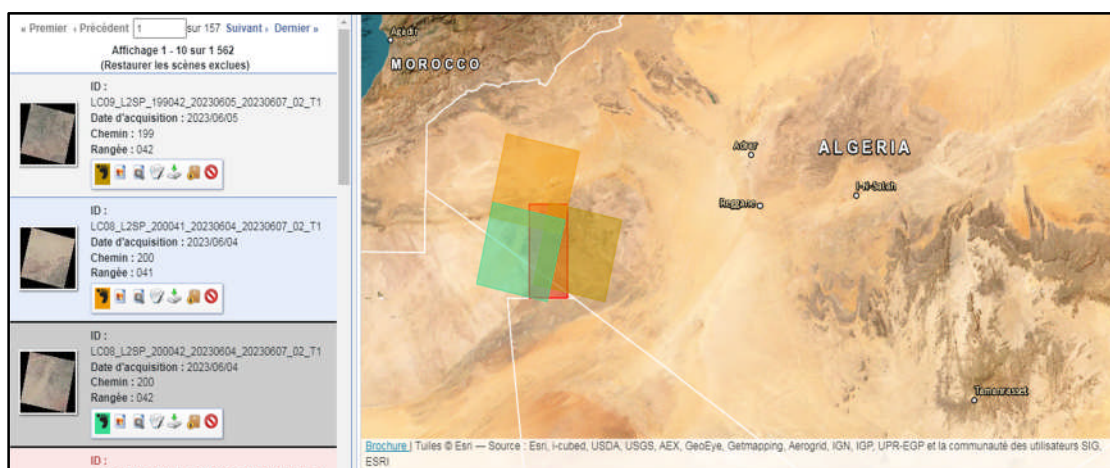



Fig.23 : Affichage des trois images qui englobent la zone d'étude près pour le téléchargement

2. Préparations des images sous l'ENVI :

2.1.Ouverture et affichage de l'image Landsat sous ENVI :

- Premièrement on ouvre le logiciel ENVI après l'installation sur l'ordinateur.
- On clique dans la barre d'outils sur open 

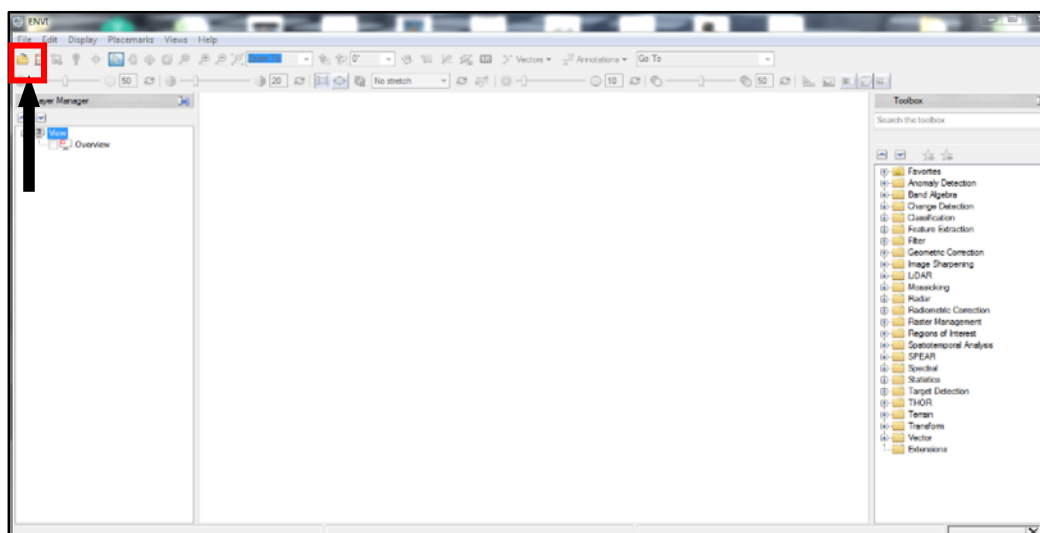


Fig. 24 : Interface du logiciel ENVI

- On sélection les images satellite (B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7 et B10) contenues dans le dossier téléchargé (Fig.23)

On refaire de même manière pour les trois images qui couvre notre zone d'étude qu'on a déjà téléchargé.

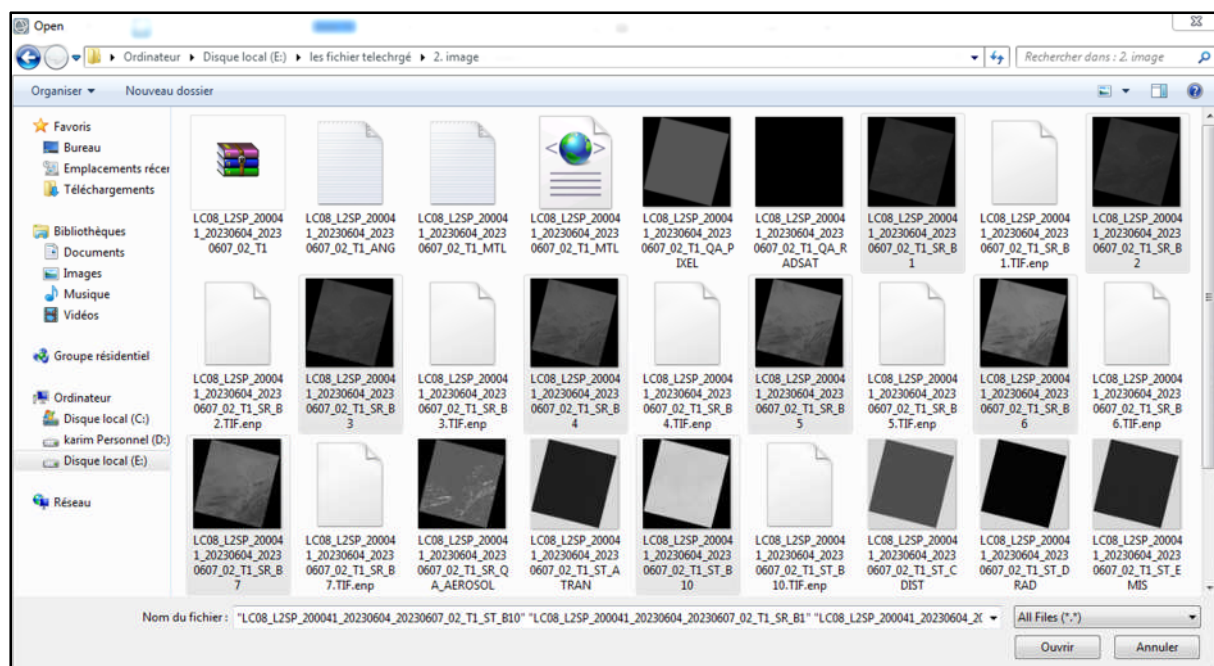


Fig.25 : Dossier contenant les images téléchargées

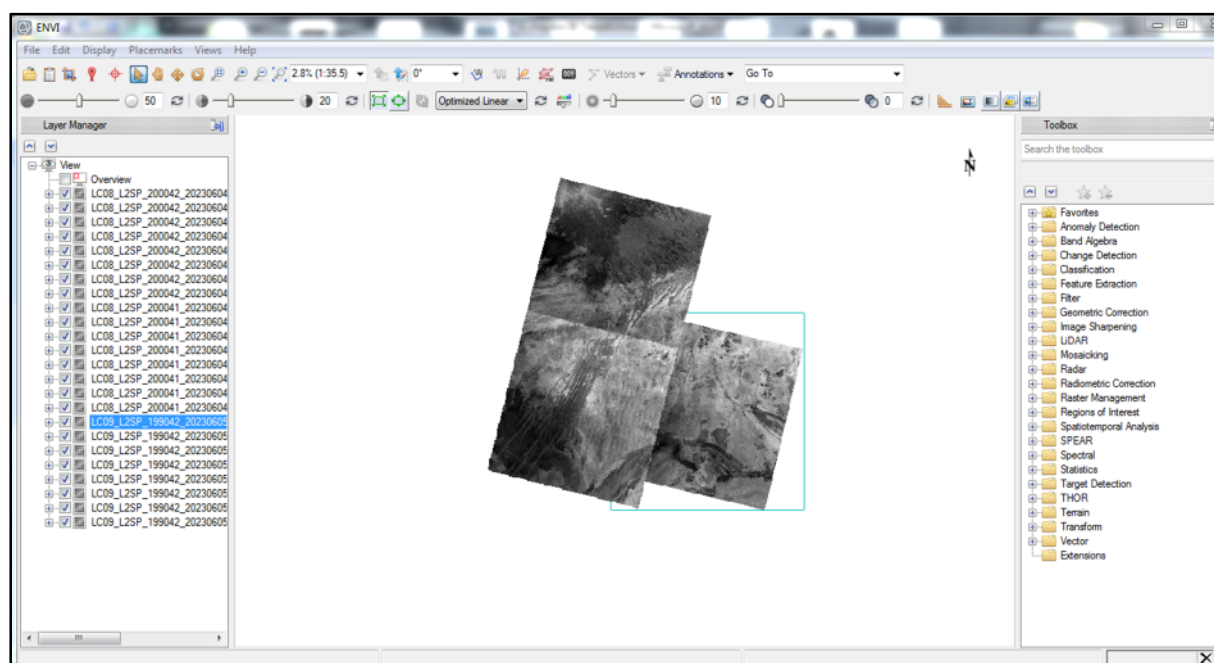


Fig.26 : affichage les trois images sur l'interface de l'ENVI.

2.2. Empilement des bandes ou couches (Layer Stacking) :

Utiliser l'empilement de couche pour construire un nouveau fichier multibandes à partir d'images géoréférencées. Les bandes d'entrée seront rééchantillonnées et réprojetées à une projection de sortie et taille de pixel commune. Le fichier de sortie aura une étendue géographique que soit englobe tous les fichiers d'entrée étendues ou englobe seulement l'étendue de données où tous les fichiers se chevauchent. Le regroupement des bandes importées dans un même fichier ou le « Stacking » est utilisé pour construire une nouvelle image multibandes et/ou multidates à partir des images géoréférencées (Fig.27).

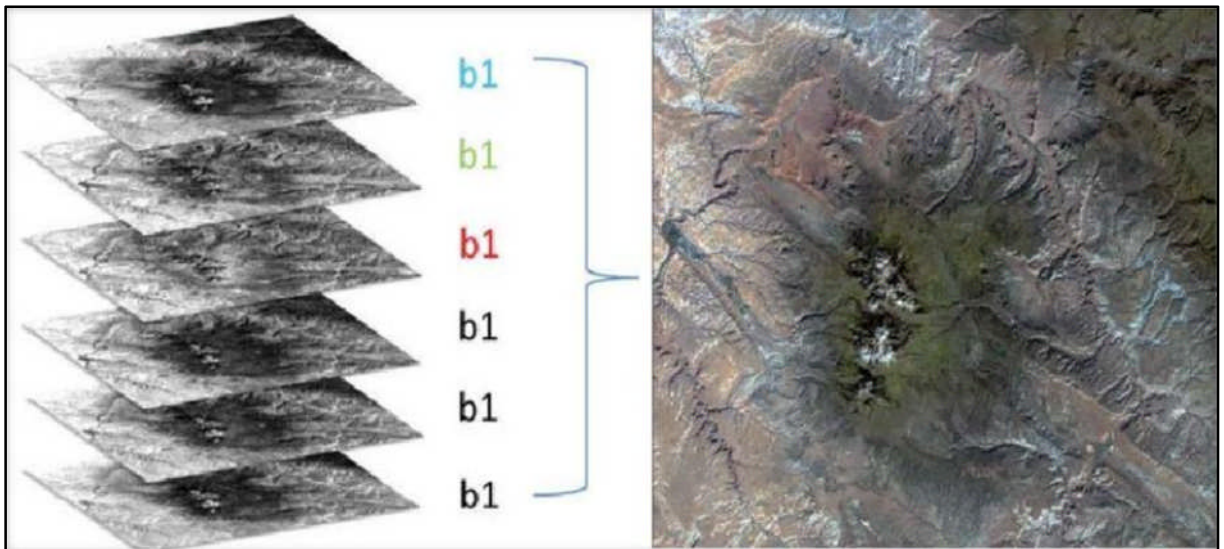
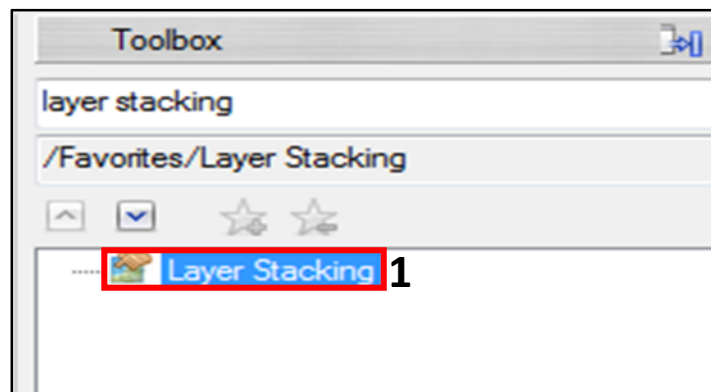


Fig.27 : Opération « layer Stacking ».

Les étapes à suivre :

Dans « Toolbox » de l'ENVI, cherchez et choisissez « Layer Stacking ».



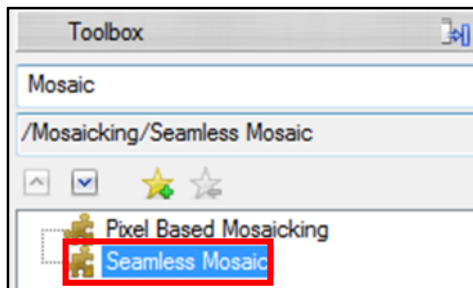
- On clique sur layer Stacking.
- On suite on clique sur Import File, on sélectionne les inputs files, on clique sur OK.
- Dans la même fenêtre on clique sur « choose », on choisit le dossier où on veut sauvegarder le fichier, on donne un nom, puis on clique sur OK (Fig.28).


Chapitre IV : Télédétection

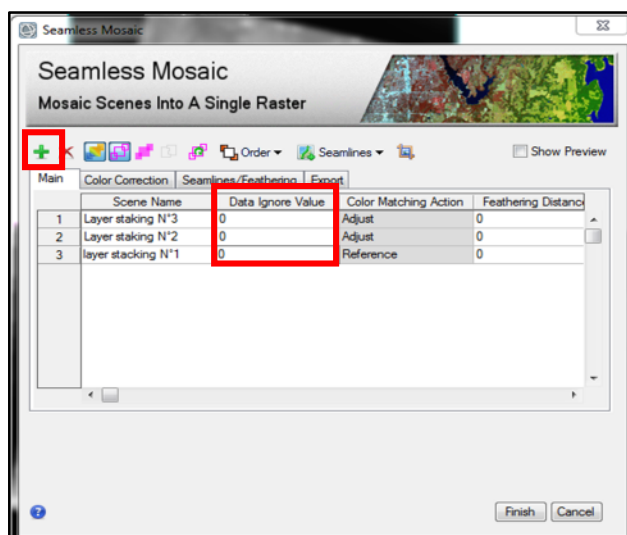
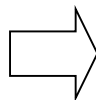
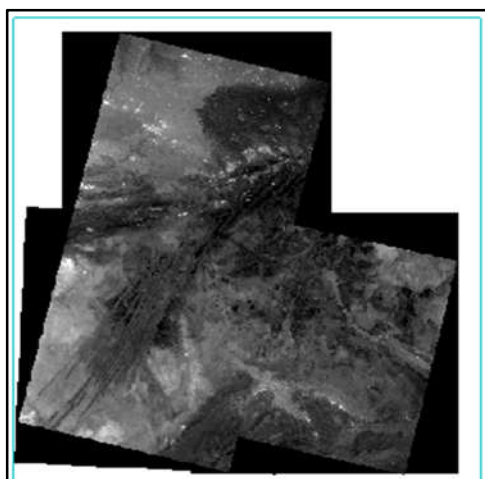
2.3. Le Mosaïquage :

Est utilisée pour combiner les 8 Images satellites nécessaire dans notre travail dans une seule image.

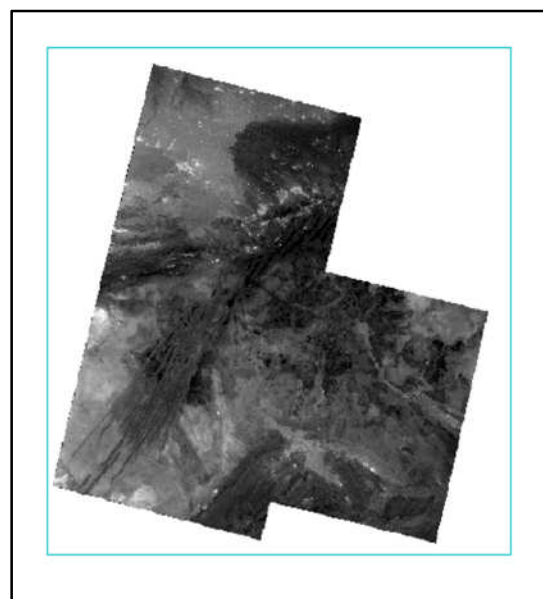
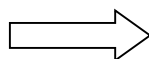
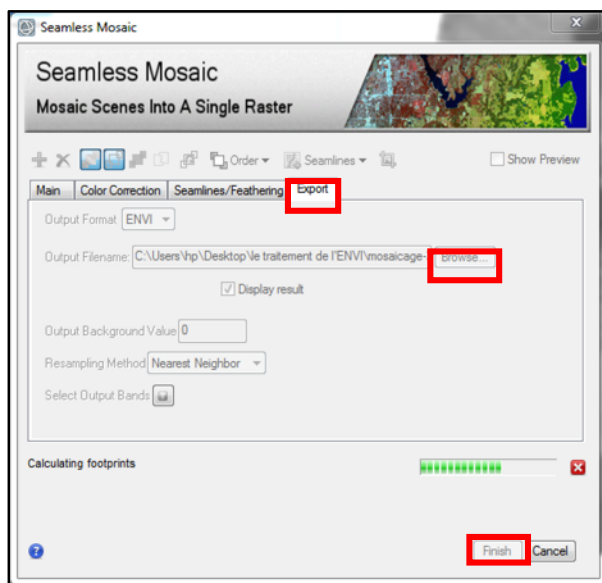
- Dans « **Toolbox** » Cherchez et Choisissez « **seamless Mosaic** ».



- Un double clic « Seamless Mosaic », puis on clique sur  puis sélectionnez les 03 Layers Stacking qu'on a déjà fait et mettre « 0 » dans le « Data Ignore Value » pour éliminer la partie noire qui entoure les Images Satellites.



- Cliquez sur « **Export** » tapez le nom et l'emplacement de fichier et mettez « 0 » dans **Output Background Value** puis **Finish**.

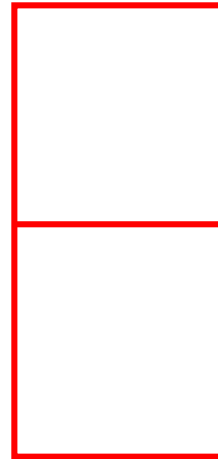
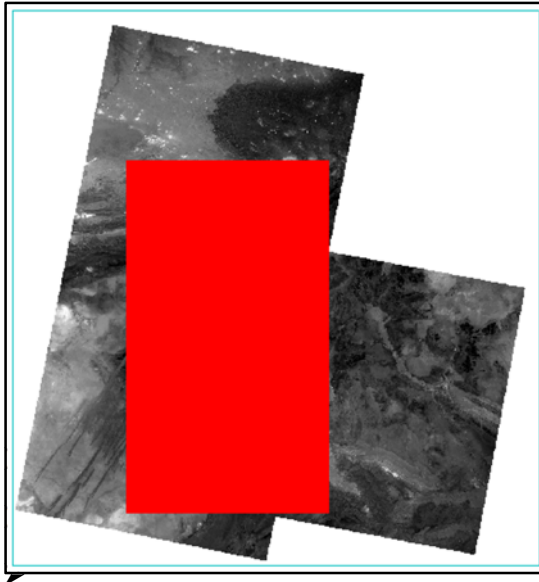


2.4. Découpage d'une image (Extraction de la zone d'étude) :

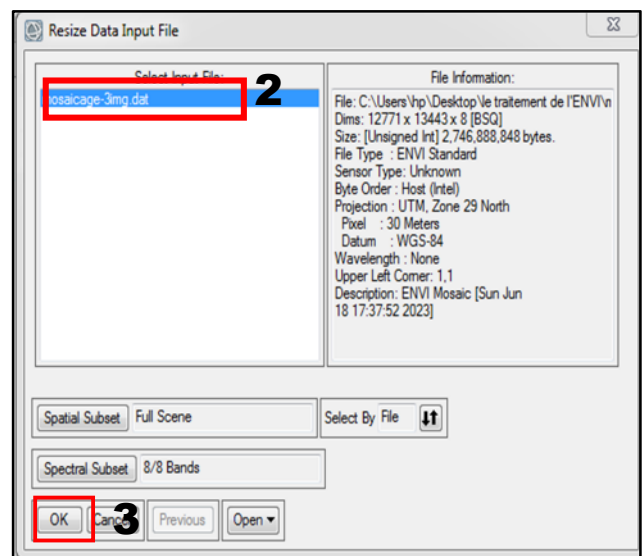
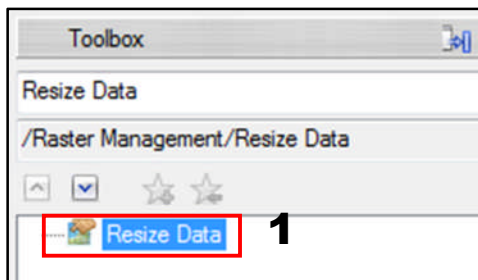
Les images peuvent couvrir une zone beaucoup plus importante que celle que l'on veut étudier. Pour cela il faut extraire uniquement la zone d'intérêt.

Les étapes à suivre :

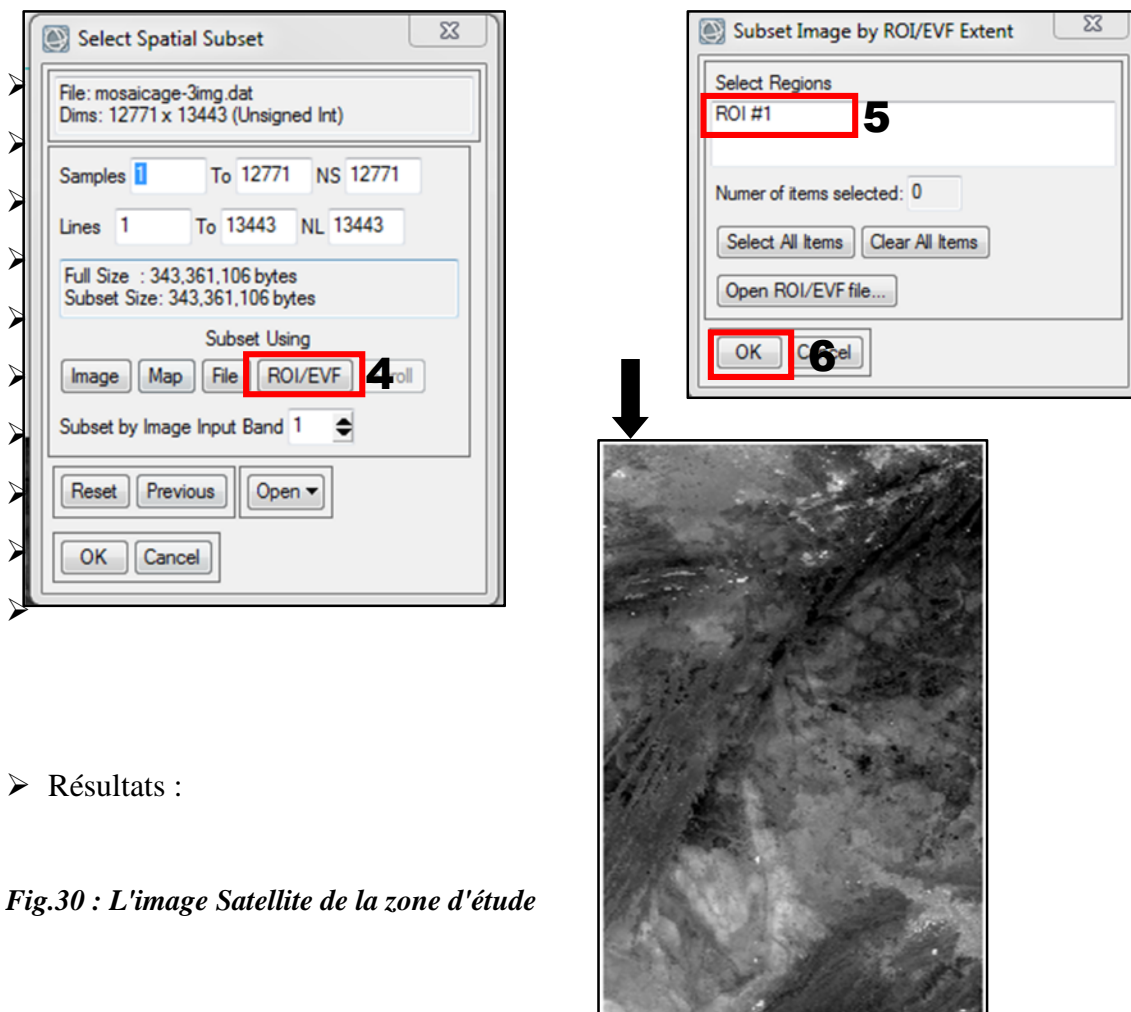
- Premièrement il faut qu'on ajoute un polygone de la zone d'étude.



- Ensuite cherchez et choisissez dans le « Toolbox » **Resize Data**, une fenêtre «*Resize Data Input File*» apparaît



- Cliquer sur le bouton **ROI/EVF**
- Sélectionner le fichier vecteur et valider par OK.



➤ Résultats :

Fig.30 : L'image Satellite de la zone d'étude

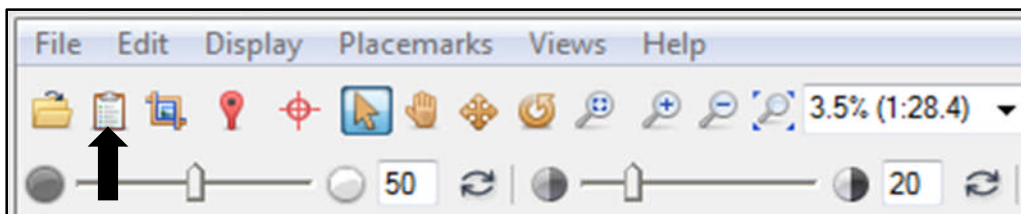
3. Les Traitements d'images :

3.1.Composition colorée d'une image :

Les compositions colorées permettent de produire des images en couleurs en tenant compte de la signature spectrale des objets. En jouant avec les différentes bands d'images satellites en va avoir des images avec des couleurs bien déterminées.

Les étapes à suivre :

➤ Ouvrir le « *Data Manager* » sur la barre d'outils.



➤ Sélectionnez 3 bandes dans notre travail on applique les différentes combinaisons selon les expériences qui nous a permis de donner les meilleurs résultats (Fig.31):

- 1-2-3 (Naturelle).
- 8-1-5.
- 7-5-2.
- 5-2-3.

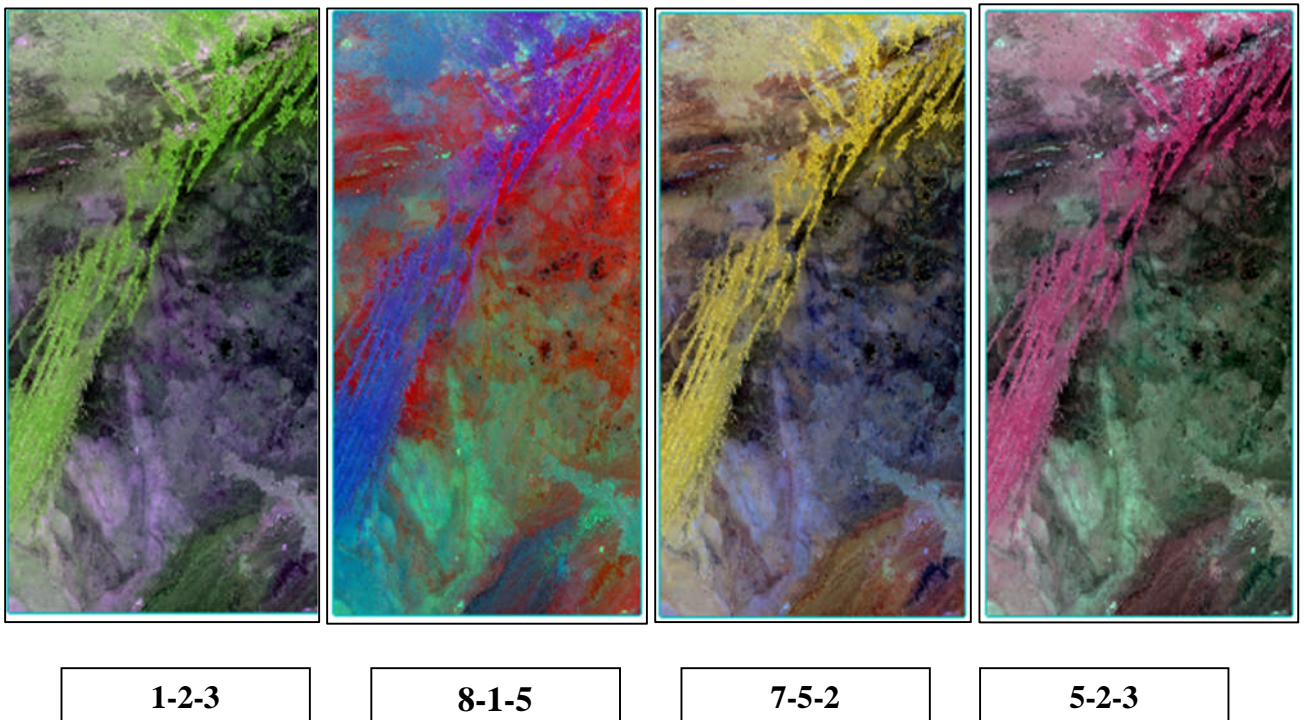
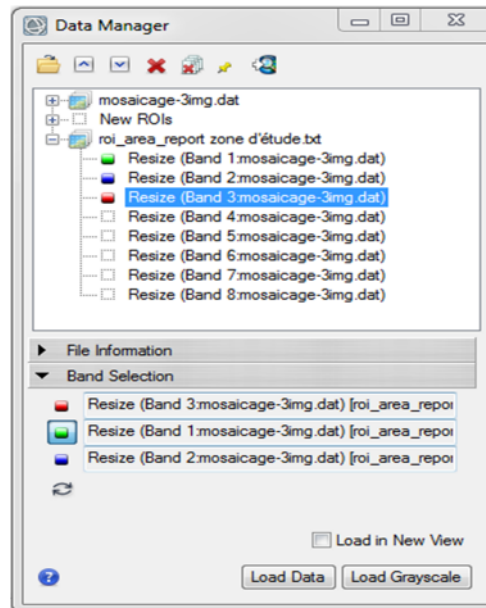


Fig.31 : Résultats d'application des combinaisons utilisées.

3.2. Analyse en composantes principales (ACP)

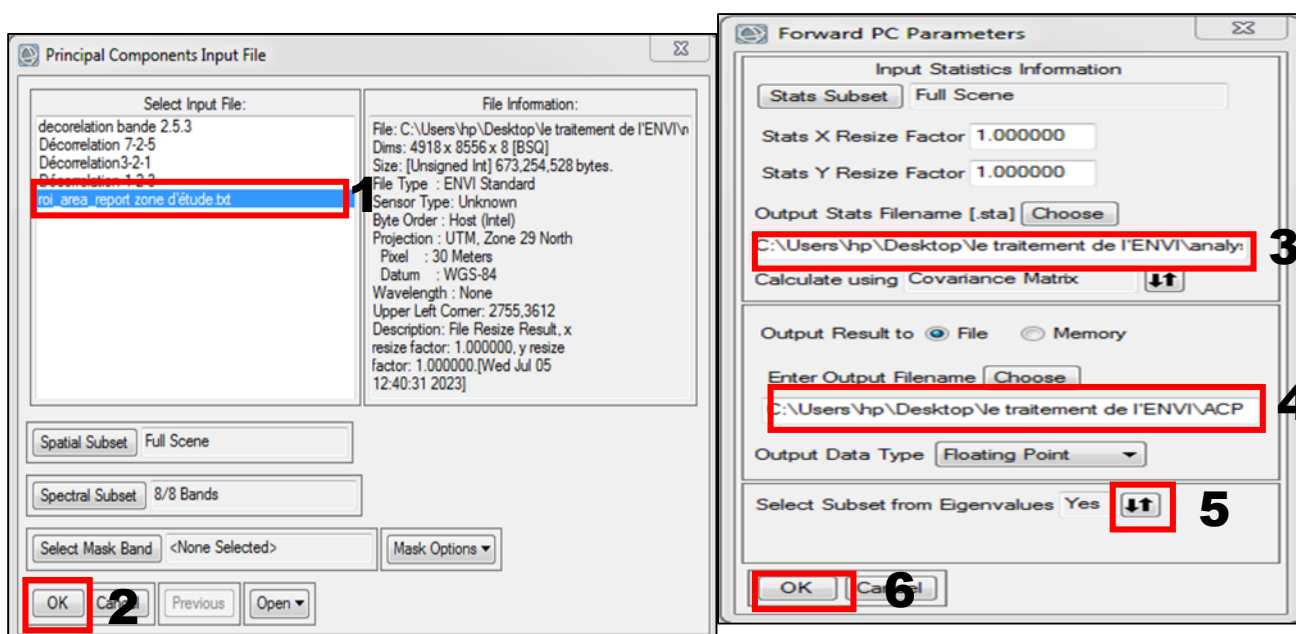
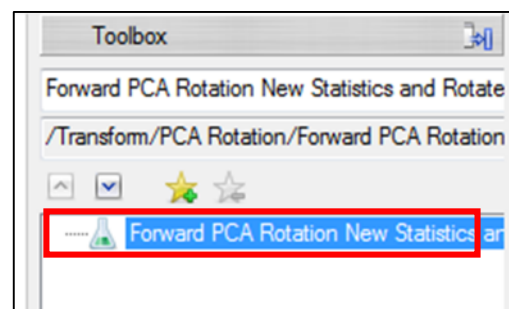
L'ACP est utilisée en télédétection pour :

- Créez un ensemble de données plus petit à partir de plusieurs bandes, tout en conservant autant d'informations spectrales originales que possible. Le résultat est un ensemble de bandes d'images non corrélées, appelées bandes PC.
- Révélez des relations complexes entre les caractéristiques spectrales.
- Identifiez les caractéristiques spectrales qui sont plus répandues dans la plupart des bandes et celles qui sont spécifiques à quelques bandes seulement.

Chapitre IV : Télédétection

Les étapes à suivre :

- Dans Toolbox Cherchez est choisissiez « *Forward PCA Rotation New Statistics and Rotate* ».
- Sélectionnez le fichier (1)
- Puis un clic sur « ok » (2) La fenêtre Forward Pc Parameters s'affiche.
- On sélection le fichier de la zone étude (3).
- Choisir le nom et l'emplacement de l'ACP (4).
- Choisissez « *yes* » dans “*Select Subset from Eigenvalue*” (5) puis (ok).



Remarque : Le tracé des valeurs propres du PC qui s'affiche après l'exécution d'une rotation du PC vers l'avant montre une représentation graphique de la relation entre les valeurs propres (axe des y) et les bandes du PC (axe des x).

Ainsi, les valeurs propres sont utiles pour décider quels Pc seront intéressants: typiquement ceux qui retiennent la plus grande quantité d'informations originales.

Les bandes PC produisent des images composites plus colorées que les images composites couleur spectrale car les données ne sont pas corrélées (Fig.32).

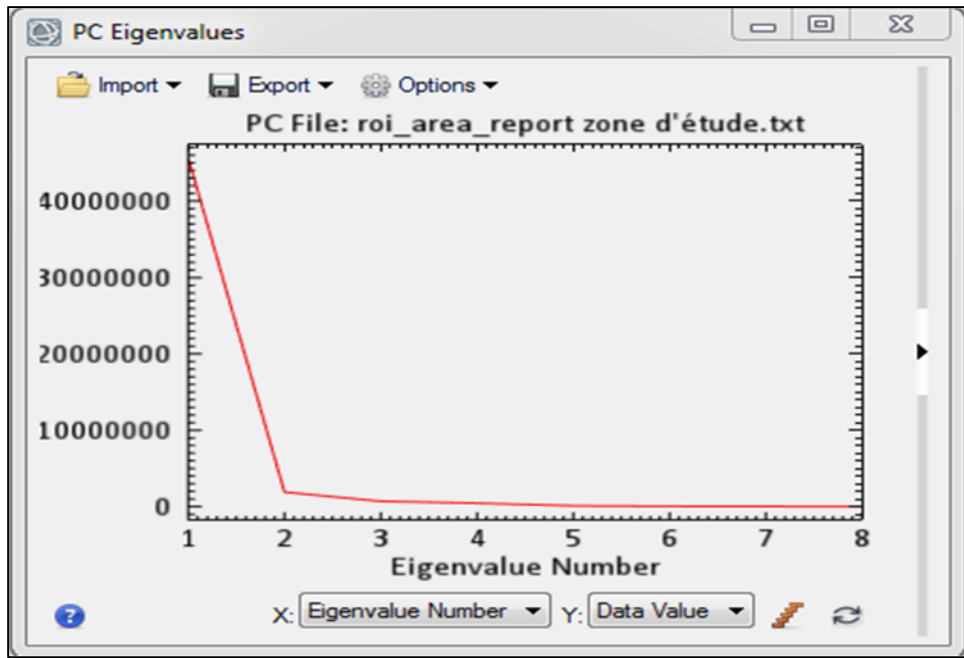
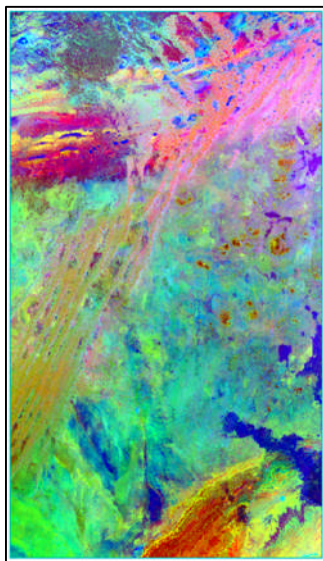
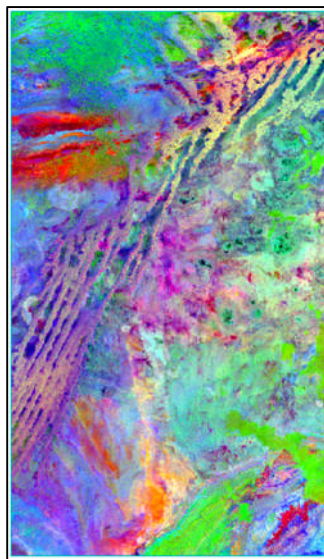


Fig. 32 : Le tracé des valeurs propres du PC.

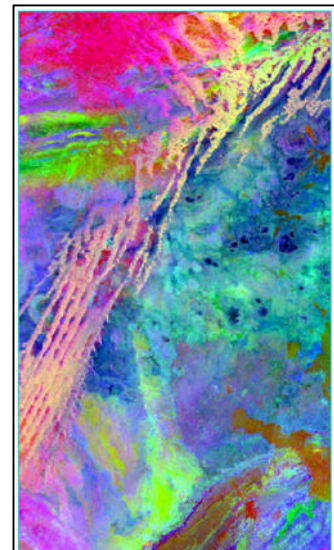
Les résultats après le traitement ACP sont comme suit :



3.5.2



7.6.5



1.7.5

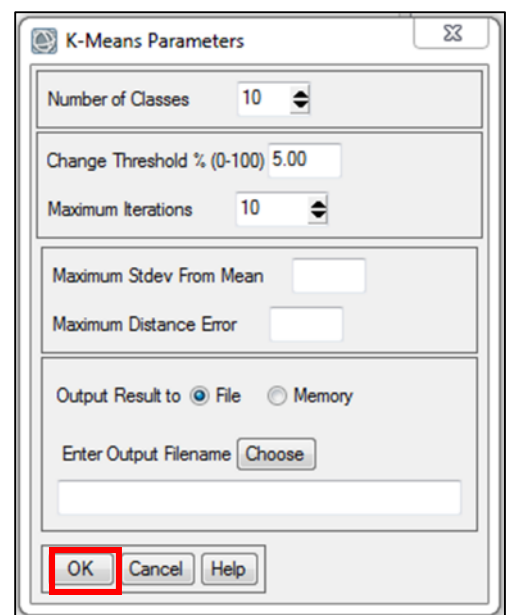
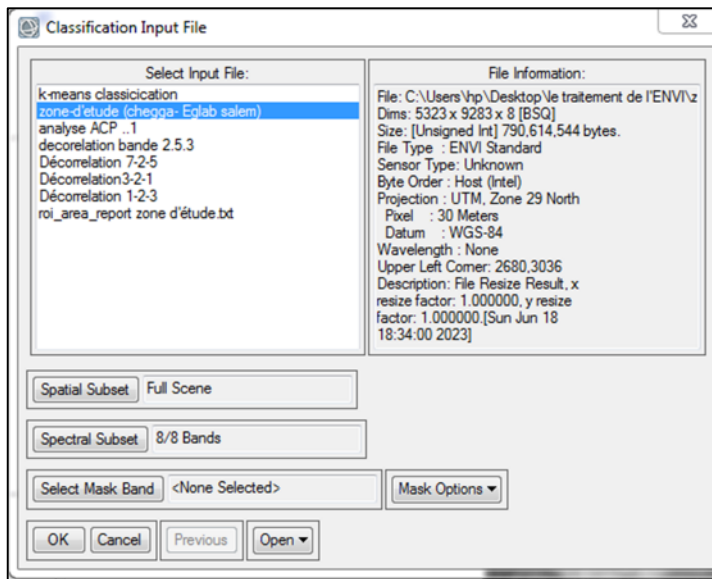
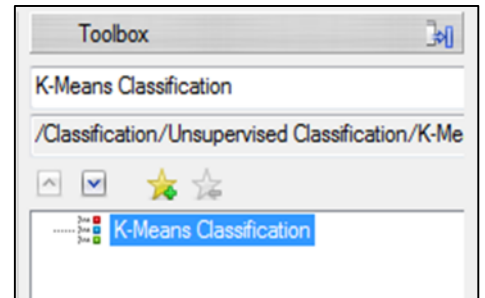
Fig. 33 : Composition colorée après le traitement ACP.

3.3. La classification non supervisée (K-Means) :

Elle s'appelle aussi classification non dirigée. Elle calcule les moyennes de classe initiales uniformément réparties dans l'espace de données, puis regroupe de manière itérative les pixels dans la plus proche en utilisant une technique de distance minimale.

Les étapes de traitement à suivre :

- Sur « Toolbox » en recherche k-Means Classifications (1).
- Sélectionner le fichier (zone d'étude) puis OK (2).
- Sur la fenêtre « k-Means Parameters » en va choisir (3).



Résultat de traitement :

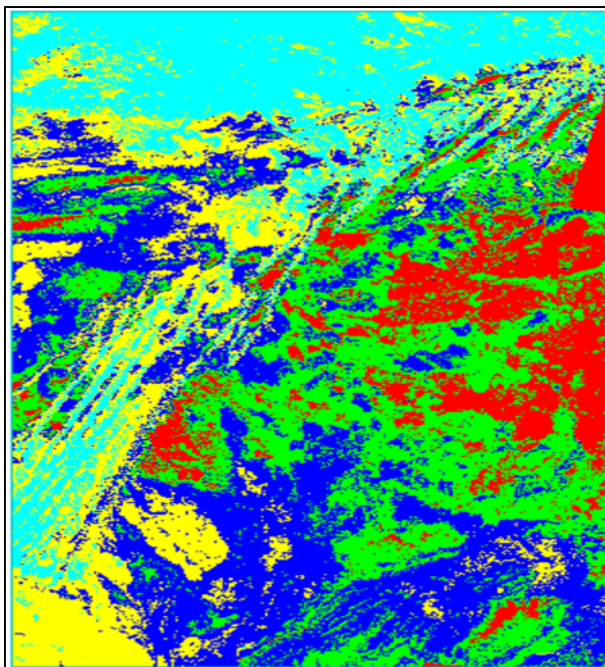


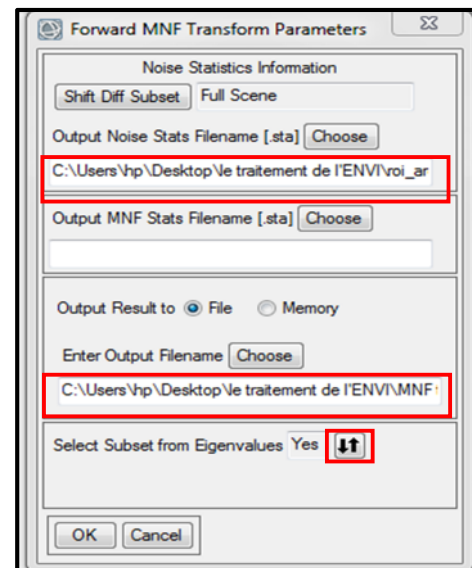
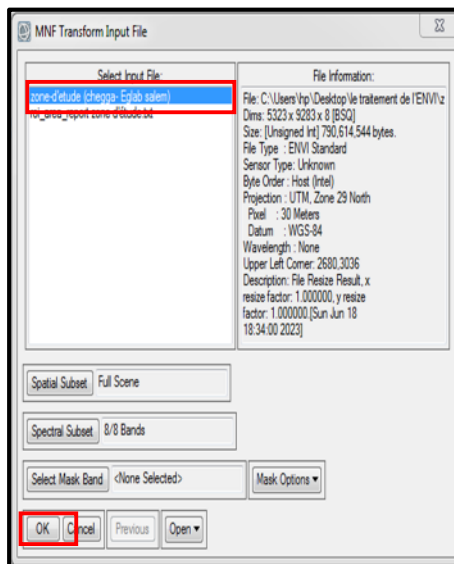
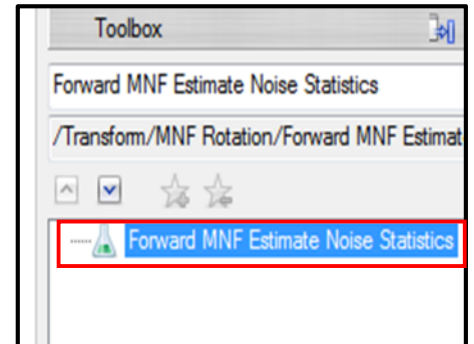
Fig.34 : Résultat de traitement K-Means Classification Landsat-8.

3.4. La fraction de bruit minimale (MNF) :

La transformation MNF est utilisée pour déterminer la dimensionnalité inhérente des données d'image, pour séparer et égaliser le bruit dans les données et pour réduire les exigences de calcul pour le traitement ultérieur.

Les étapes de traitement à suivre :

- Sur « Toolbox » chercher « *Forward MNF Estimate Noise Statistics* ».
- Sélectionner le fichier (1) puis cliquer sur « OK ».
- Sur la fenêtre « *Forward transformation Parameter* » choisir le nom et l'emplacement de l'MNF (2).
- Sélectionner « yes » dans « *Select Subset From Eigenvalue* » (3).



Résultats de traitement :

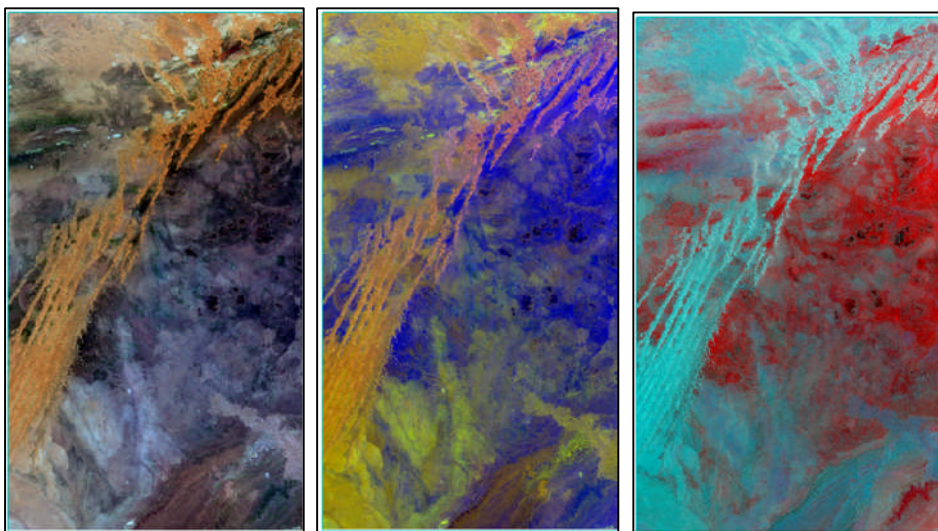


Fig.35 : Le résultat de traitement MNF Landsat-8 (Band : 5-3-1 / 5-3-8 / 8-7-6 par ordre).

3.5. Décorrélation stretch :

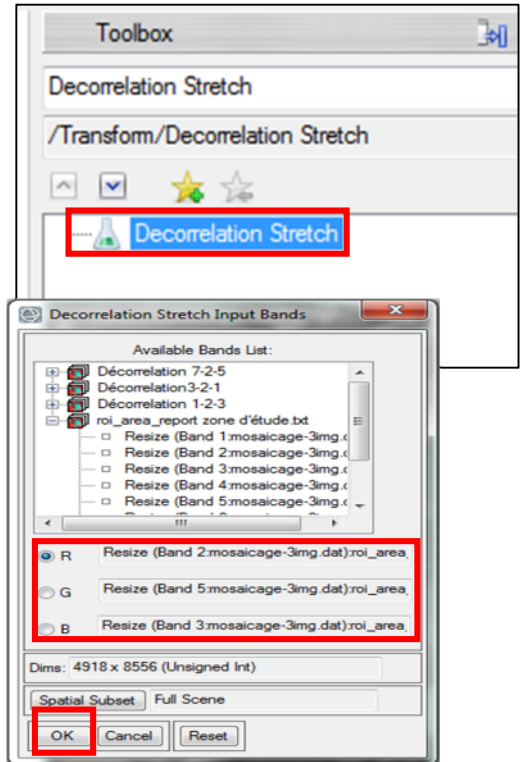
Utilisé pour supprimer la corrélation élevée couramment trouvée dans les ensembles de données multispectrales et pour produire une image composite couleur plus colorée. Les ensembles de données fortement corrélés produisent souvent des images couleur assez fades. Le « *décorrélation stretch* » nécessite trois bandes pour l'entrée. Ces bandes doivent être des données d'octet étirées ou peuvent être sélectionnées à partir d'un affichage couleur ouvert.

Les étapes à suivre :

➤ Dans le Toolbox cherchez et sélectionnez « *Decorrelation Stretch* ».

➤ Sélectionnez une bande pour les champs R, V et B, puis cliquez sur OK. La boîte de dialogue « *Decorrelation Stretch Paramètres* » s'affiche.

➤ Taper le Nom et choisissez l'emplacement de fichier puis cliquez « OK »



Résultats de traitement :

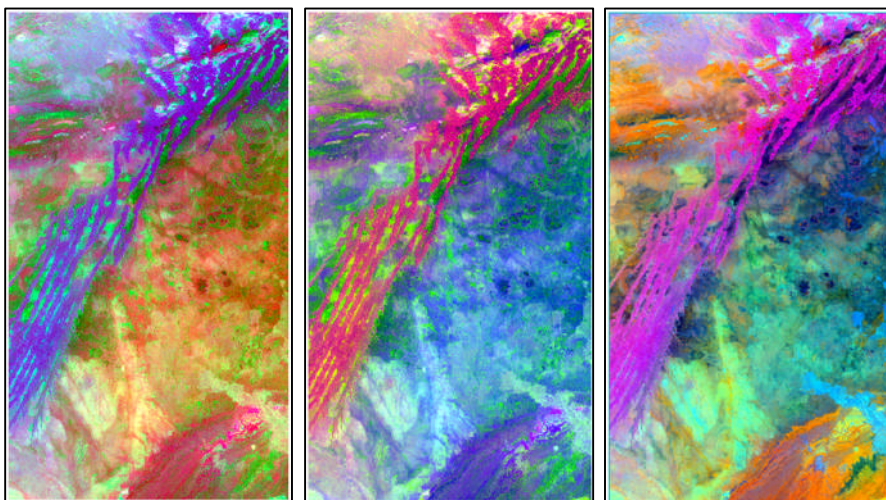


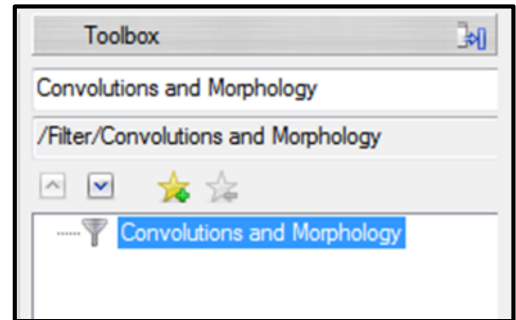
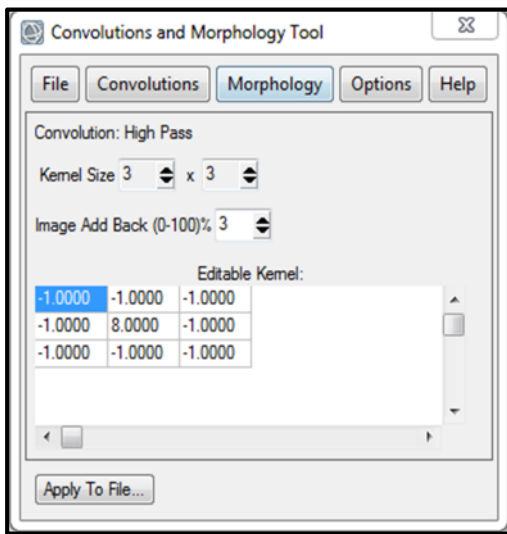
Fig.36 : Résultat de traitement *Decorrelation Stretch* (Band : 1-2-3 / 3-2-1 / 7-2-5 par ordre).

3.6. Traitement Convolution et Morphologie :

Le filtrage d'une image permet de lui appliquer une fonction mathématique qui modifie les valeurs du gris de tout ou une partie des pixels. Dans le cas d'une fonction linéaire, le filtrage est dit linéaire, cependant, dans le cas de prise en compte des valeurs du gris au voisinage de chaque pixel transformé, elle est dite fonction de convolution. Les méthodes utilisées, généralement, sont de type convolution. (Fig.34).

Les étapes à suivre :

- On cherche et on clique sur Toolbox « Convolutions and Morphology ».
- On choisit et on clique sur « Directional ».
- En fin on clique sur « Apply To File... »



Résultats de traitement :

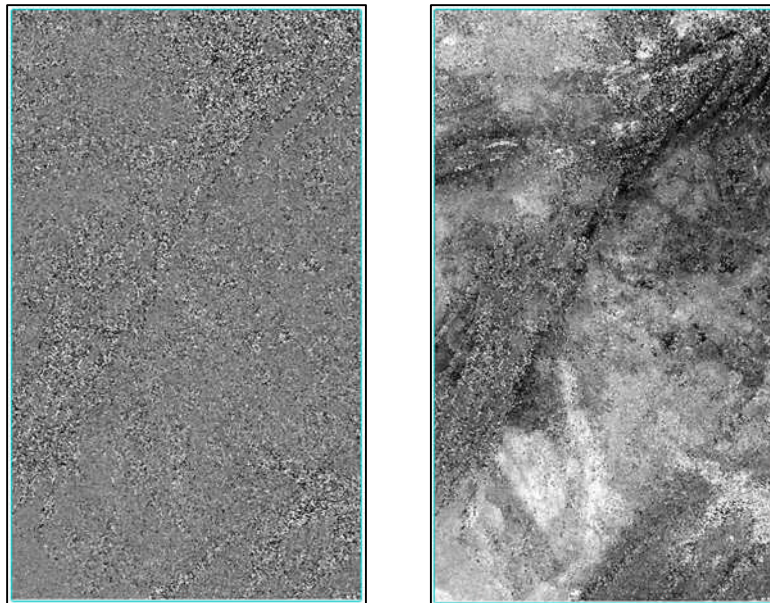


Fig.37 : Résultat de traitement Convolutions et Morphologie.

4. Conclusion

Dans ce chapitre réservé à l'imagerie et télédétection, nous avons suivi les différentes étapes pour avoir les données nécessaires à la cartographie SIG qui a commencé tout d'abord par l'acquisition des données imagées de Landsat8 à partir du site USGS Earth Explorer qui nous a permis de télécharger les scènes nécessaires pour notre étude.

Ces données ont été ensuite soumises à une préparation minutieuse et complète (Layer Stacking, Le Mosaïquage, Découpage des images). Ce qui nous a permis de passer à l'étape suivante qui est le traitement

La troisième étape consistait à la réalisation des différents traitements (les compositions colorées, les ACP, les classifications supervisées, les MNF, les décorrélation stretch, Traitement Convolution et Morphologie).

Les résultats de l'ensemble de ces opérations nous ont permis d'acquérir les données nécessaires pour passer à la phase suivante qui l'interprétation de ces données en vue de réaliser une bonne cartographie géologique SIG.

Chapitre V :
Systeme d'Information
Géographiques

A. RAPPELS THEORIQUES

1. Introduction :

Un SIG « système d'information géographique » appelé autrefois SIRS « Système d'Information à Référence Spatiale » est une organisation structurée de ressources permettant d'acquérir les données à référence spatiale, de les conserver, de les traiter et d'en diffuser les résultats.

Le système d'information géographique permet de stocker, manipuler, gérer et analyser des données de façon à pouvoir en extraire facilement les synthèses utiles à la prise de décision.

On appelle donnée à référence spatiale toute donnée pouvant être localisée de façon directe (une école, une route...) ou indirecte (une adresse, un propriétaire...) à la surface de la Terre. Pour transformer un objet réel en une donnée à référence spatiale, on décompose le territoire en couches thématiques (relief, routes, bâtiments...) structurées dans des bases de données numériques.

Les bases de données qui alimentent les SIG doivent être géo référencées, c'est-à-dire partager un cadre commun de repérage appelé système de projection. Ce cadre commun est fixé légalement.

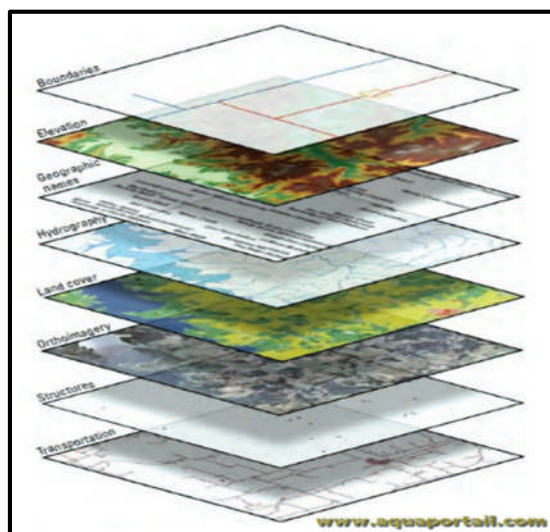


Fig.38 : Base des données géographiques.

2. Les composants d'un SIG :

Un système d'information géographique est constitué en général par cinq composants majeurs : Logiciels, Matériels, Données, Utilisateurs et Méthodes (figure 2).

Un système d'information géographique est constitué de cinq éléments majeurs :

2.1. Matériel :

Les SIG fonctionnent aujourd'hui sur une très large gamme d'ordinateurs des serveurs de données aux ordinateurs de bureaux connectés en réseau ou utilisés de façon autonome.

2.2. Utilisateurs :

Les SIG s'adressent à des utilisateurs très différents (urbanistes, géographes, élus, militaires, commerciaux, géologues, informaticiens...) et aujourd'hui, en particulier avec l'apparition des SIG sur Internet n'importe qui peut être amené à utiliser un SIG.

2.3. Méthodes :

Différentes compétences techniques sont indispensables à la mise en œuvre et à l'exploitation des SIG comme par exemple des connaissances en géodésie, en analyse des données, en sémiologie graphique ou encore un traitement informatique.

2.4. Données :

Les données sont certainement les composantes les plus importantes du SIG. Les données géographiques et les données attributaires (ou tabulaires) associées peuvent, soit être constituées en interne, soit acquises auprès de producteurs de données. Elles peuvent être de trois types :

2.4.1. Données géographiques :

Les données géographiques sont des données localisées auxquelles on associe une forme et des paramètres d'affichage (couleur, épaisseur du trait...). Elles peuvent être de type raster ou vecteur. Les données géographiques peuvent avoir deux composantes :

- Les données géométriques : renvoient à la forme et à la localisation des objets.
- Les données graphiques : elles renvoient aux paramètres d'affichages des objets (types de traits, couleurs, épaisseurs...).

2.4.2. Données attributaires :

Les données attributaires caractérisent les données géographiques (nom d'une route, nombre d'habitants dans un immeuble localisé,...)

2.4.3. Métadonnées :

Les métadonnées décrivent directement la ressource c'est-à-dire ici les données, ce sont « les données sur les données » comme par exemple la date d'acquisition, le nom du propriétaire...etc. ».

2.5. Logiciels :

Les logiciels de SIG offrent les outils et les fonctions pour stocker, analyser et afficher toutes les informations. Les logiciels font aussi le lien entre les données, le matériel et les utilisateurs. A partir d'une interface graphique, l'utilisateur va interroger une base de données afin de visualiser et d'analyser ces différentes informations. Les logiciels offrent les fonctions élémentaires suivantes :

- Acquisition : saisie, intégration et échanges des informations géographiques sous forme numérique.
- Analyse : manipulation et interrogation des données géographiques (Calculs liés à la géométrie des objets, croisement de données thématiques...).

Chapitre V : System d'Information Géographique

- Archivage : structuration et stockage de l'information géographique sous forme numérique.
- Affichage : représentation et mise en forme, notamment sous forme cartographique avec la notion d'ergonomie et de convivialité.
- Abstraction : représentation du monde réel.

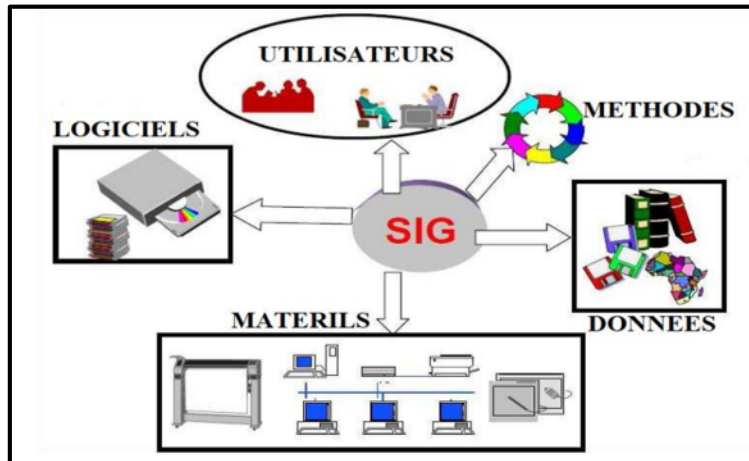


Fig.39 : Les composants d'un Système d'Information Géographique (SIG)

3. Représentation des données dans un SIG :

On distingue deux modes : le mode raster et le mode vecteur.

3.1.Mode Raster :

Le mode raster ou mode matriciel décrit l'image sous la forme d'une matrice de pixels. Chaque matrice représente une couche d'information.

Les données raster proviennent soit d'un scan d'une carte, soit d'une image numérique telle que les images satellites.

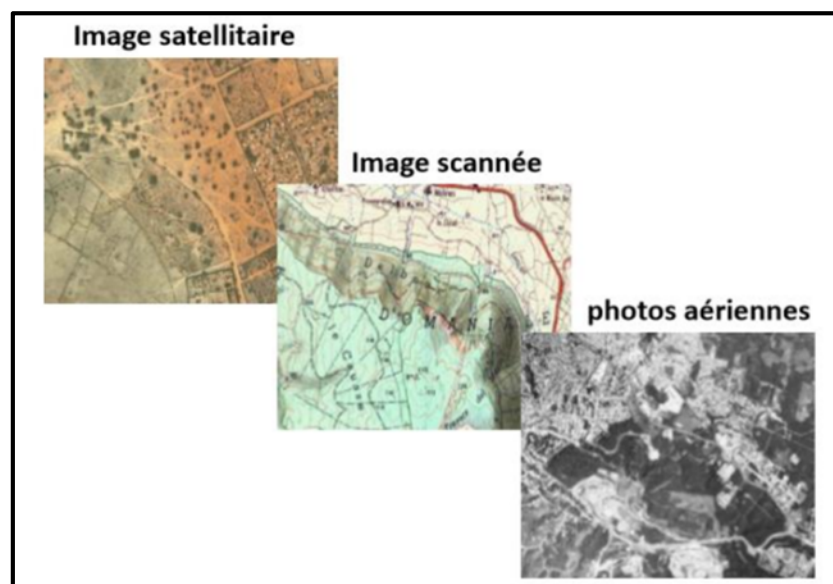


Fig. 40 : Exemple de donnée raster

Chapitre V : System d'Information Géographique

Le mode raster est intéressant pour les réalités continues (plage de couleur, paysage...) mais de par la taille des cellules, le rendu est souvent imprécis et de qualité esthétique médiocre, en particulier après un zoom.

La combinaison des différentes couches d'information se limite à une simple superposition des matrices et les attributs sont faciles d'accès malgré une forte demande en mémoire pour le stockage.

3.2.Mode vecteur :

Elles contiennent trois grands types d'objets, avec lesquels on peut représenter tout objet géographique :

- **Les points** : Ils définissent des localisations d'éléments séparés pour des phénomènes géographiques trop petits pour être représentés par des lignes ou des polygones, ou par des éléments qui n'ont pas de surface comme des points cotés.
- **Les lignes** : Les lignes représentent les formes des objets géographiques trop étroits pour être décrits par des surfaces (ex : rue ou rivières) ou des objets linéaires qui n'ont qu'une longueur, comme les courbes de niveau.
- **Les polygones** : Ils représentent la forme et la localisation d'objets homogènes comme des pays, des parcelles, des types de sols...

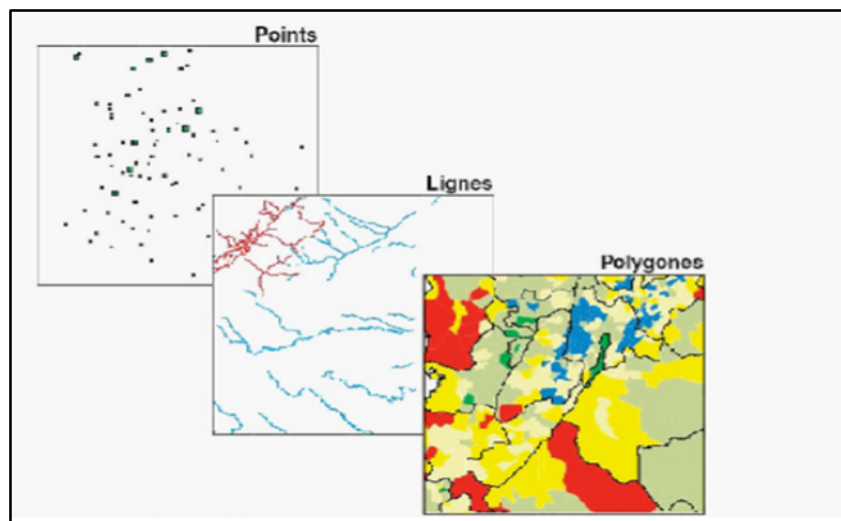


Fig. 41 : Exemples de données vectorielles

3.3.Comparaison des modes vecteurs et rasters :

Aucunes des deux formes de présentation des données ne convient au mieux pour toutes les applications d'un SIG, et le choix de la forme et du mode de traitement sera en fonction du type.

Bien que les deux modes se distinguent par une organisation différente des données, aucun des deux ne convient au mieux pour toutes les applications d'un SIG, et le choix de la forme et du mode de traitement sera en fonction du type de phénomène à étudier, et certaines applications peuvent même faire appel aux deux modes.

Chapitre V : System d'Information Géographique

On rajoute que les informations modelées des deux modes peuvent être converties d'un mode vers un autre et vice versa.

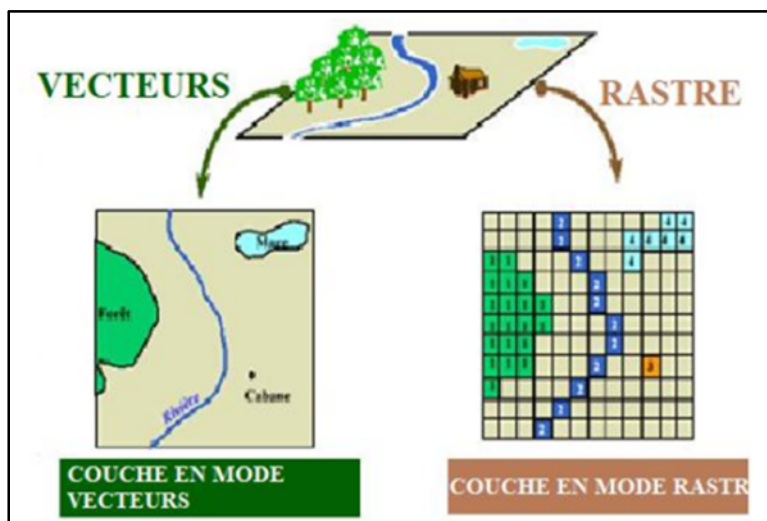


Fig. 42 : les mondes de représentation de l'information géographique dans le SIG

Chaque mode à ces avantages et ces inconvénients et le recours à l'un ou à l'autre n'est pas toujours une tâche facile, car ce sont les objectifs et surtout les sources de données du projet qui orientent le choix de l'utilisateur. Certaines applications peuvent même faire appel aux deux modes.

Tableau 3 : Avantages et inconvénients des deux modes raster et vecteur.

Modes	AVANTAGES	INCOVENIENTS
Le mode raster	<ul style="list-style-type: none"> - Meilleure adaptation à la représentation des détails surfaciques. - Acquisition des données à partir d'un scanner à balayage. - Meilleure adaptation à certains types de traitements numériques : filtres, classifications. 	<ul style="list-style-type: none"> - Une meilleure adaptation à la description des entités ponctuelles et linéaires. - Une facilité d'extraction de détails. - Une simplicité dans la transformation de coordonnées
Les inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Mauvaise adaptation à la représentation des détails linéaires. - Obligation de parcourir toute la surface pour extraire un détail. - Impossibilité de réaliser certaines opérations topologiques, la recherche du plus court chemin dans un réseau par exemple. 	<ul style="list-style-type: none"> - Les croisements de couches d'information sont délicats et nécessitent une topologie parfaite.

Chapitre V : System d'Information Géographique

4. Le SIG et la Géologie :

La géomatique regroupe l'ensemble des moyens et méthodes permettant de représenter, d'analyser et d'intégrer des informations géographiques. Ces trois actions pourraient définir le cycle perpétuel de travail d'un service géologique moderne.

Le modèle de données sous-jacent au SIG géologique se doit de répondre à un certain nombre de contraintes fortes, notamment :

- ✓ Décrire fidèlement et de manière exhaustive le contenu de la carte géologique.
- ✓ Associer les différents objets constitutifs de la carte dans des thèmes conformes à leurs significations géologiques.
- ✓ Etablir une méthode de construction topologiquement «propre », (par exemple au niveau de la superposition de lignes dans différents thèmes) mais néanmoins rationnelle en termes de cout de production.
- ✓ Mettre à disposition un outil à potentiel d'analyse optimum.

Le potentiel d'analyse du SIG peut être amélioré si le levé géologique et la préparation des données sont effectués en prévision de la construction d'un modèle spatial SIG complet.

5. Les domaines d'application du SIG :

Les domaines d'application des SIG sont aussi nombreux que variés. Citons cependant :

- Géologie (prospection minière) ;
- Hydrologie ;
- Tourisme (gestion des infrastructures, itinéraires touristiques) ;
- Marketing (localisation des clients, analyse du site) ;
- Planification urbaine (voirie, réseaux assainissement) ;
- Protection civile (gestion et prévention des catastrophes) ;
- Transport (planification des transports urbains, optimisation d'itinéraires) ;
- Forêt (cartographie pour aménagement, gestion des coupes et sylviculture) ;
- Biologie (études du déplacement des populations animales) ;
- Télécoms (implantation d'antennes pour les téléphones mobiles).

6. Avantage d'un SIG :

- Les systèmes d'information géographiques présentent plusieurs avantages.
- Les informations sont stockées de façon claire et définitive.
- Gérer une multiplicité d'informations attributaires sur des objets.
- Comprendre les phénomènes donc prévoir les risques

Chapitre V : System d'Information Géographique

- Etablir rapidement des cartographies.
- Localisation rapide dans l'espace et dans le temps.
- Réagir rapidement après des événements ayant un impact sur le territoire.
- Calcul rapide des couts et des bénéfices.
- Choix efficace de la meilleure variante.
- Fournir une aide pour la prise de décision Etc.

7. SIG sous ArcGIS : (Présentation du logiciel ArcGIS 10.5)

ArcGIS est un logiciel de cartographie SIG permettant d'exploiter un système d'information géographique.

Il offre de nombreuses potentialités pour la saisie, manipulation, gestion, analyse et l'édition des données géospatiales.

Différentes couches d'informations spatiales peuvent être manipulées offrant la possibilité d'analyser une ou plusieurs couches sous le contrôle des autres.

Le seul lien entre les différentes couches est le lien spatial, c'est-à-dire, l'appartenance au même espace géographique et ayant le même système de coordonnées.

ArcGIS comprend une suite de trois applications (ou modules) intégrées fonctionnant simultanément en relation. Ce sont :

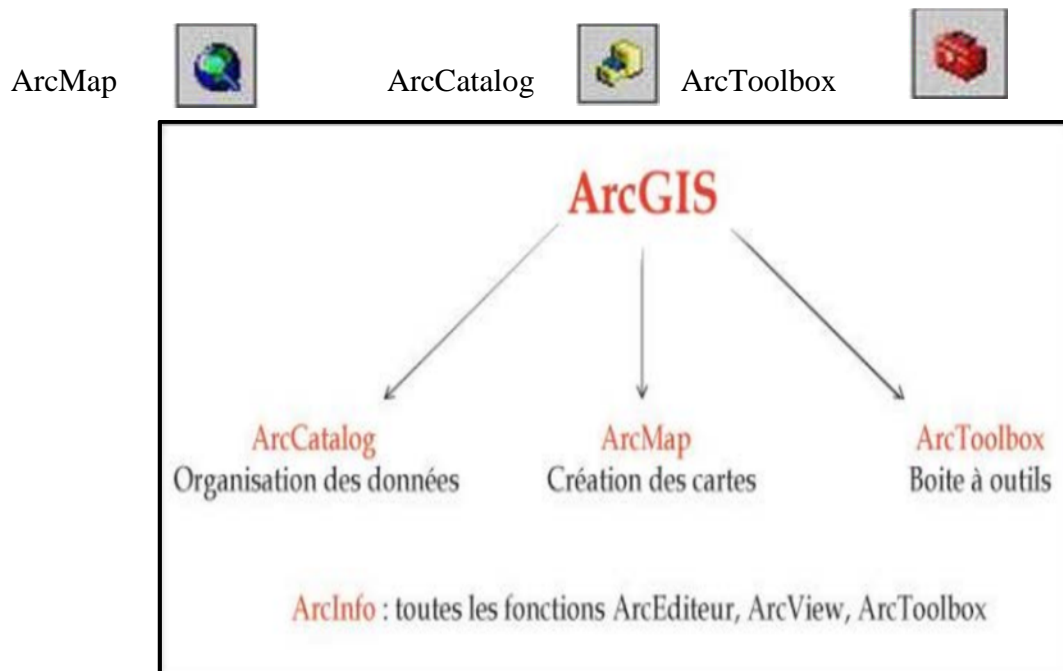


Fig. 43 : Architecture générale de l'ArcGIS

Chapitre V : System d'Information Géographique

Grace à ces trois applications, l'opérateur SIG pourra réaliser différentes tâches liées à l'édification d'un SIG : gestion et mise à jour des données géographiques, analyse, Cartographie, géo-traitement...etc.

1) **ArcMap** : Est utilisé pour toutes les tâches de cartographie et de mise à jour ainsi que pour les analyses associées aux cartes (fig.2).

❖ **Les composantes de l'interface d'ArcMap :**

- Una barre de menu comprenant un ensemble de fonctionnalités.
- Des barres d'outils permettant diverses opérations, en activant les outils selon le besoin.
- Une fenêtre principale est une fenêtre de visualisation spatiale des données ouvertes et sélectionnées dans la table des matières.
- Table des matières « Table of Contents » reprenant la liste des fichiers ouverts dans le projet ArcMap.

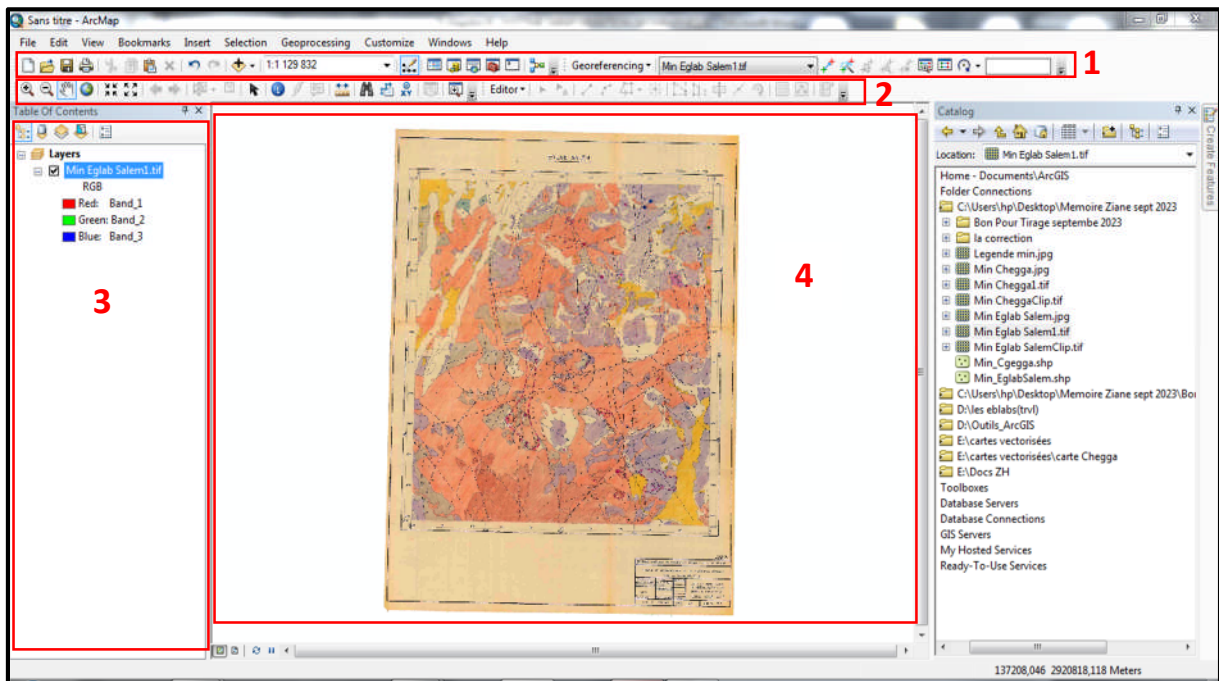


Fig.44 : l'interface d'ArcMap « 1. Barre de menus, 2. Barre d'outils, 3. Fenêtre principale, 4. Table des matières »

2) **ArcCatalog** : Permet de gérer les fichiers de données et l'organisation des bases de données ainsi que d'enregistrer et de visualiser les métadonnées permettra de connaître les modalités du lancement, d'afficher, d'exploiter des données sous ArcCatalog (fig.41).

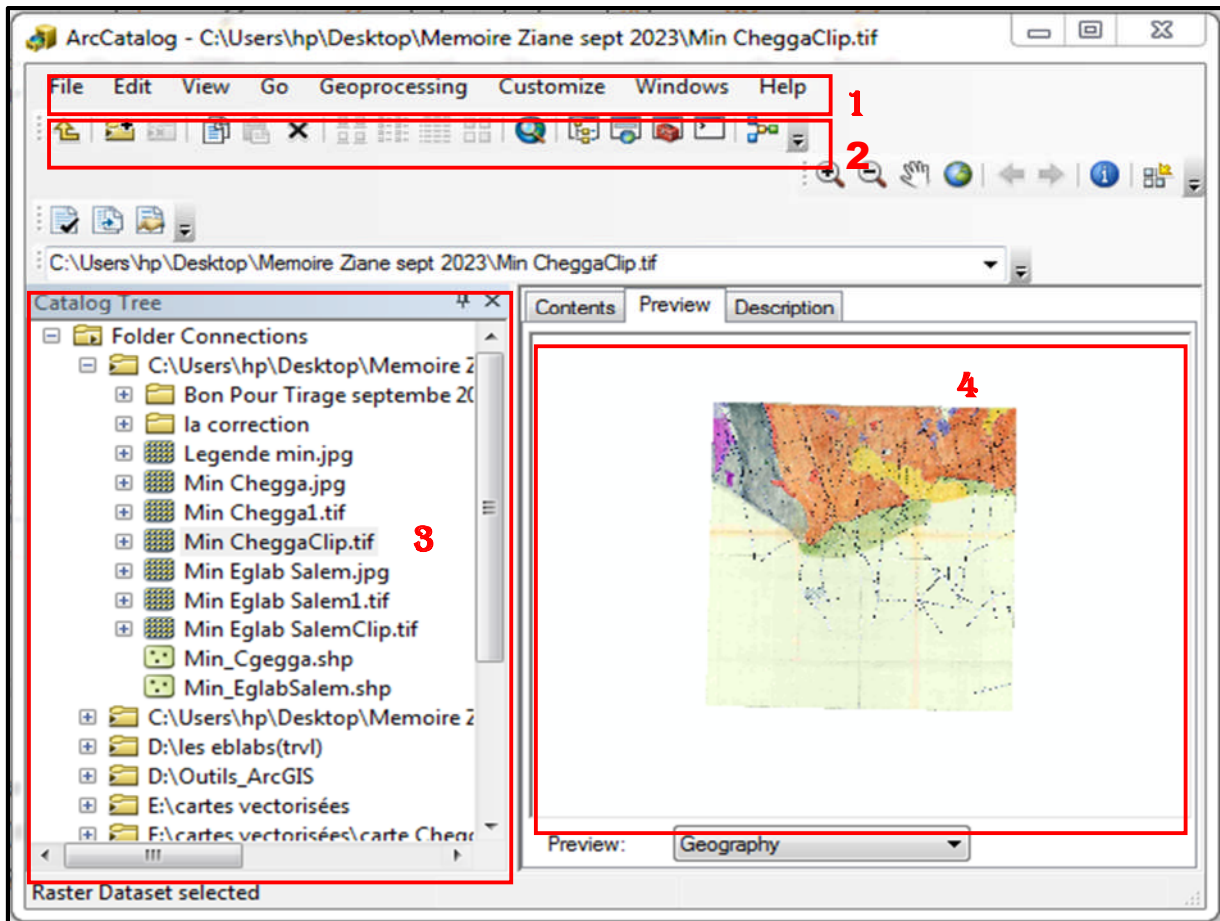
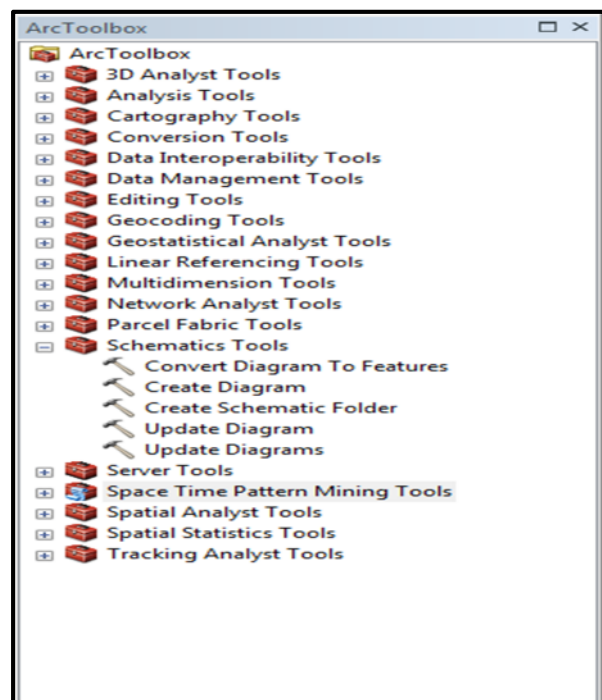


Fig.45 : Interface ArcCatalog « 1. Barre de menus, 2. Barre d'outils, 3. Fenêtre de visualisation 3 onglets : (Contents, Preview, Description ou les métadonnées), 4.Fenêtre d'exploitation »

3) **ArcToolbox** : Est une boîte à outils permettant d'effectuer des transformations, conversions, projection et divers types d'opérations menant à la production de l'information désirée.

Fig.46 : ArcToolbox et ses outils



B. APPLICATION A LA REGION D'ETUDE :

ArcGIS est le logiciel que nous avons utilisé dans ce travail à fin d'atteindre l'objet principal, qui est la cartographie SIG à l'échelle de **1/200 000** des régions d'**Eglab Salem** et **Chegga**. Ce travail a été effectué à partir du traitement des images satellites **Landsat 8** en utilisant le logiciel **ENVI**

Pour la reconnaissance des facies et des formations géologiques de notre région d'étude, les minutes géologiques réalisées par l'EREM (Niec 1983) ont été utilisées.

La méthode de travail consiste tous d'abord à géoréférencier les cartes géologiques anciennes, puis à l'aide de l'analyse des résultats des différents traitements des images **Landsat 8**, on procède à la vectorisation des entités géologiques (polygones ou lignes) interprétées selon leur extension visuelle. La nature de la formation vectorisée est attribuée selon celles des anciennes données cartographiques. Ainsi, nous avons procédé aux différentes corrections et mise à jour de la cartographie de notre région d'étude.

1. Géoréférencement :

C'est une manipulation qui consiste à ajouter les points de contrôle de la carte dans ArcMap, en cliquant sur l'outil «**Géoréférencement**» localisé à la barre d'outils puis décocher "Ajustement automatique".

Il faut noter qu'il est indispensable de caler chaque carte raster avant de pouvoir l'utiliser dans une base de données. Pour que le travail soit correct et précis, il faudrait opter pour un système de projection unique et ce, pour éviter les déformations sur les entités ainsi que les erreurs lors des calculs d'analyses spatiales. Dans notre cas, on a utilisé le système de projection « UTM » Nord Sahara 1959, fuseau 30.

1.1. Connexion au dossier

Etapes suivies :

- a) **Démarré le logiciel ArcGIS** : Ouvrir ArcCatalog ainsi qu'ArcGIS
- b) **Connecter au dossier** : Il faut se connecter au dossier qui contient les fichiers requis pour notre étude. Pour cela on commence par : **connecter au dossier** via le menu fichier → **connexion a un dossier** → **carte raster Chegga, Eglab-Salem (Fig.43)**.

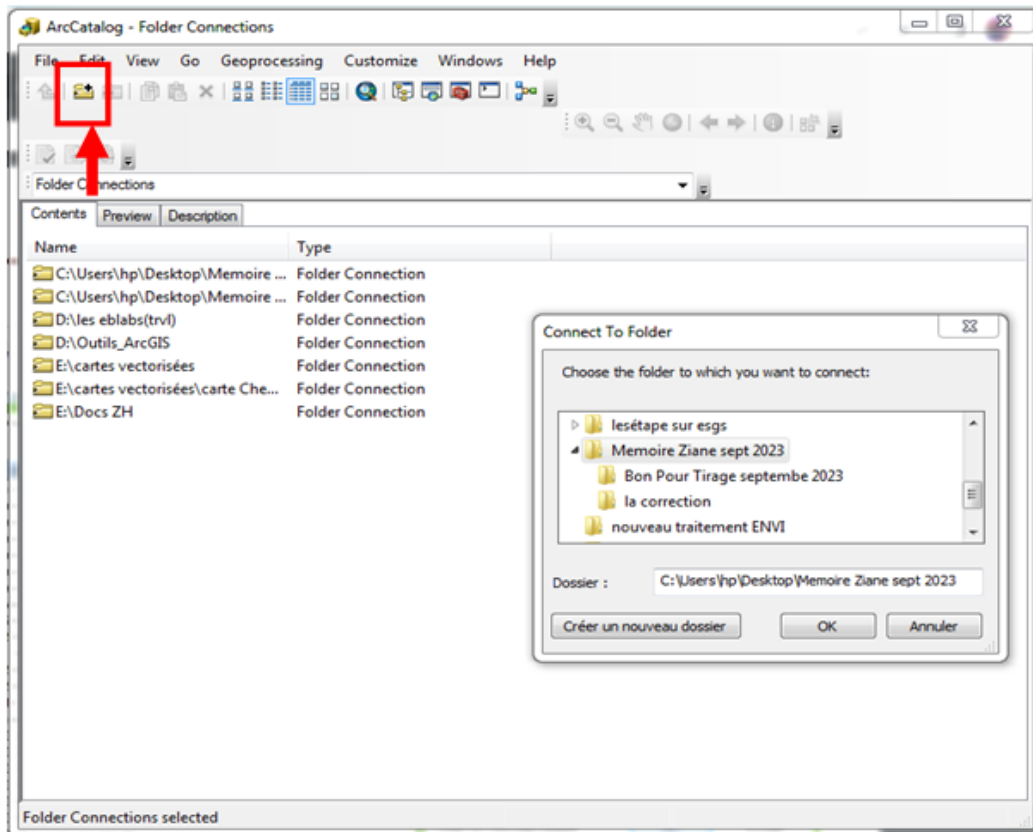


Fig.47 : présentation de l'interface d'ArcCatalog montrant la connexion à un dossier.

Une fois le dossier ajouté à ArcCatalog, ce dernier s'affichera dans la partie «Arborescence du catalogue ». Effectuer un clic gauche sur le dossier en question, la liste de fichiers qui contient apparaitra dans la partie gauche d'ArcCatalog.

1.2. Attribution de la référence spatiale :

On sélectionne notre carte qui est en format raster → on effectue un *clic droit* dessus → propriétés → Références spéciales → Modifier → Sélection → référence spatiales → Système de coordonnées projetés → UTM → Africa → Choisir le système de coordonnées qui convient (*Nord_Sahara_1959_Zone30N*) → Ok.

Chapitre V : System d'Information Géographique

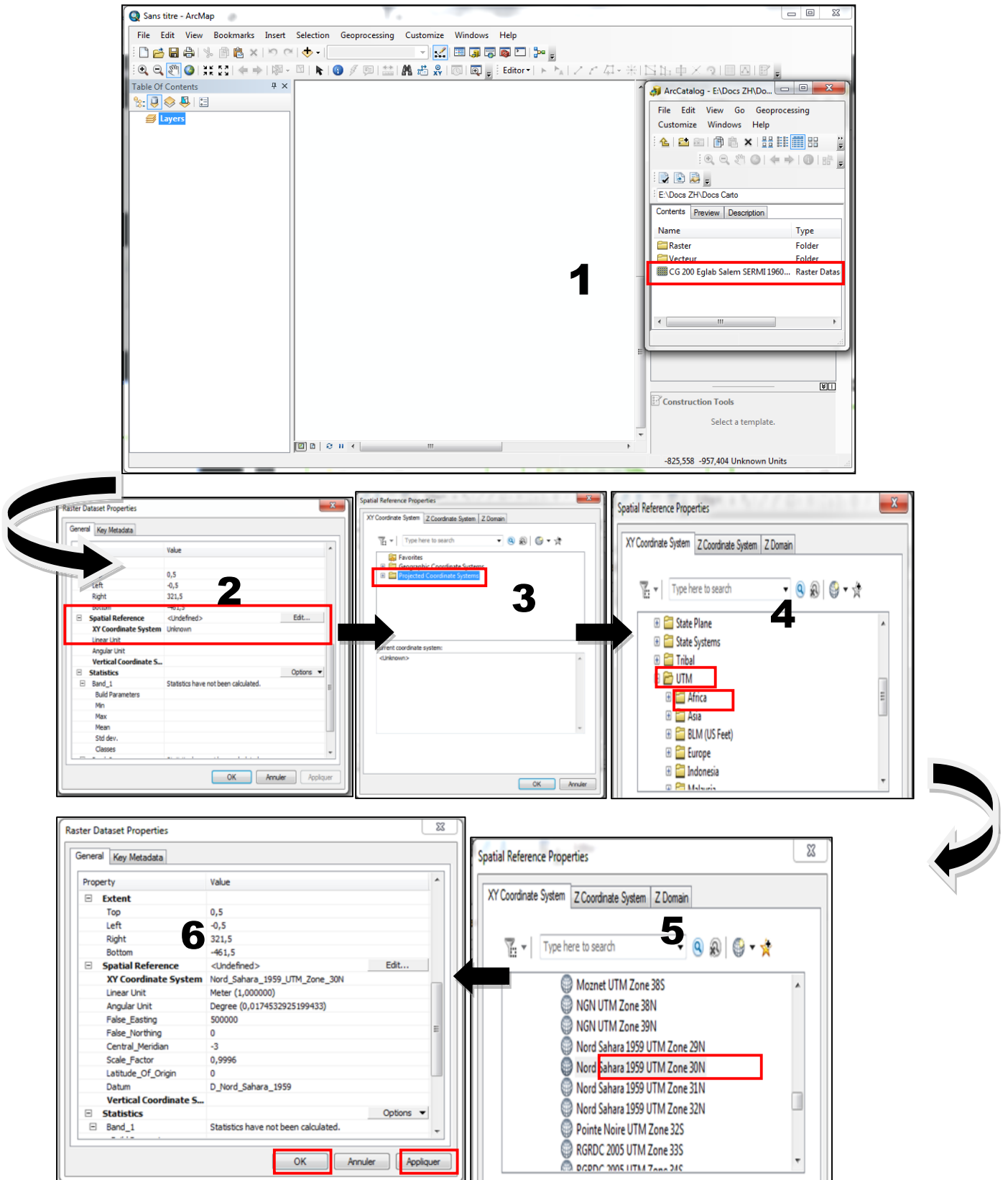




Fig.48 : Propriété de la référence spatiale dans ArcCatalog

Remarque : Choix du même système de coordonnées dans ArcMap

1.3. Ajout des points de contrôle à la carte :

C'est une manipulation qui consiste à caler la carte en ArcMap, en cliquant sur l'outil «**Géoréférencement**» localisé à la barre d'outils puis décocher "Auto Adjust". On ajoute les quatre points de contrôle en utilisant l'outil () puis choisir les coordonnées géographiques en Degrée Minutes Secondes (DMS). Ces points sont ajoutés par ordre, dans le sens des aiguilles d'une montre.

Etapes à suivre :

Georeferencing → Auto Adjust →  → clique gauche sur les poids d'intersection des limite de la carte (Ces points sont ajoutés par ordre, dans le sens des aiguilles d'une montre)
→ clique droit → Input DMS of Lon and Lat → un tableau des cordonniers DMS s'affiche
Ce sont des coordonnées géographiques en Degrée Minutes Secondes (DMS), Longitude et Latitudes à chaque point. Ces points sont ajoutés par ordre, dans le sens des aiguilles d'une montre

Résultat :

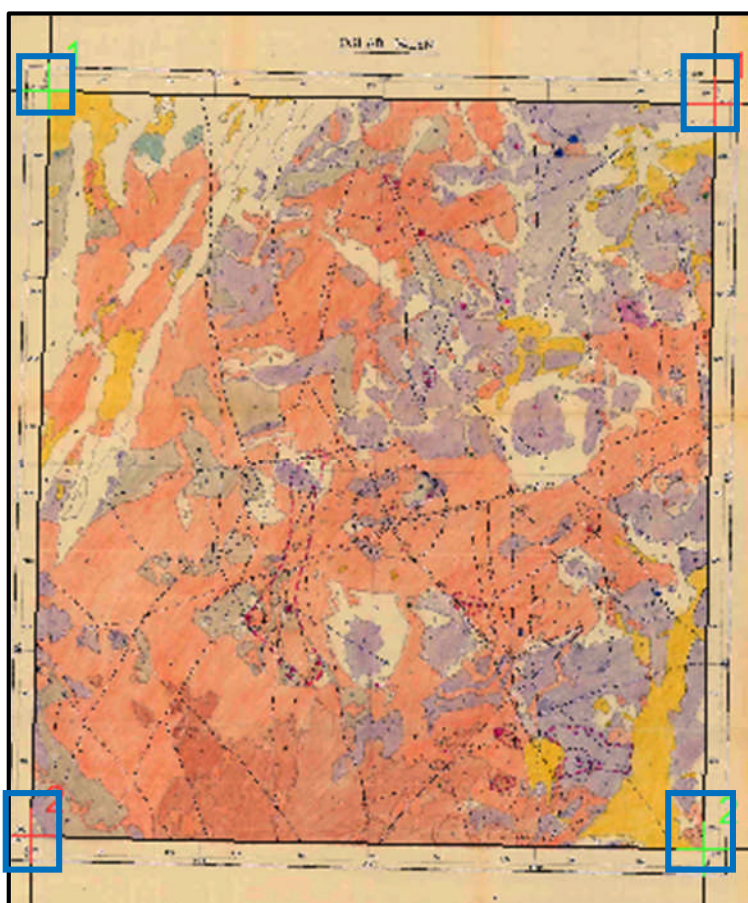



Fig.49 : Résultat de Géoréférencement de la carte « Eglab Salem »

Les quatre points ont été plantés, Cliquer sur « Auto Adjust » puis OK. La carte disparaît, pour la réafficher cliquez sur l'outil (). Les quatre points doivent apparaitre sous forme de croix.

1.4. Rectifications de la carte :

Clic gauche sur **Georeferencing** → **rectify** → un boîte de dialogue s'ouvre (**Save As**) :
Name, format (Tiff) puis mettre le dossier d'enregistrement de notre carte géoréférencé dans
« **Output Location** » → enregistrer « Save »

Résultats :

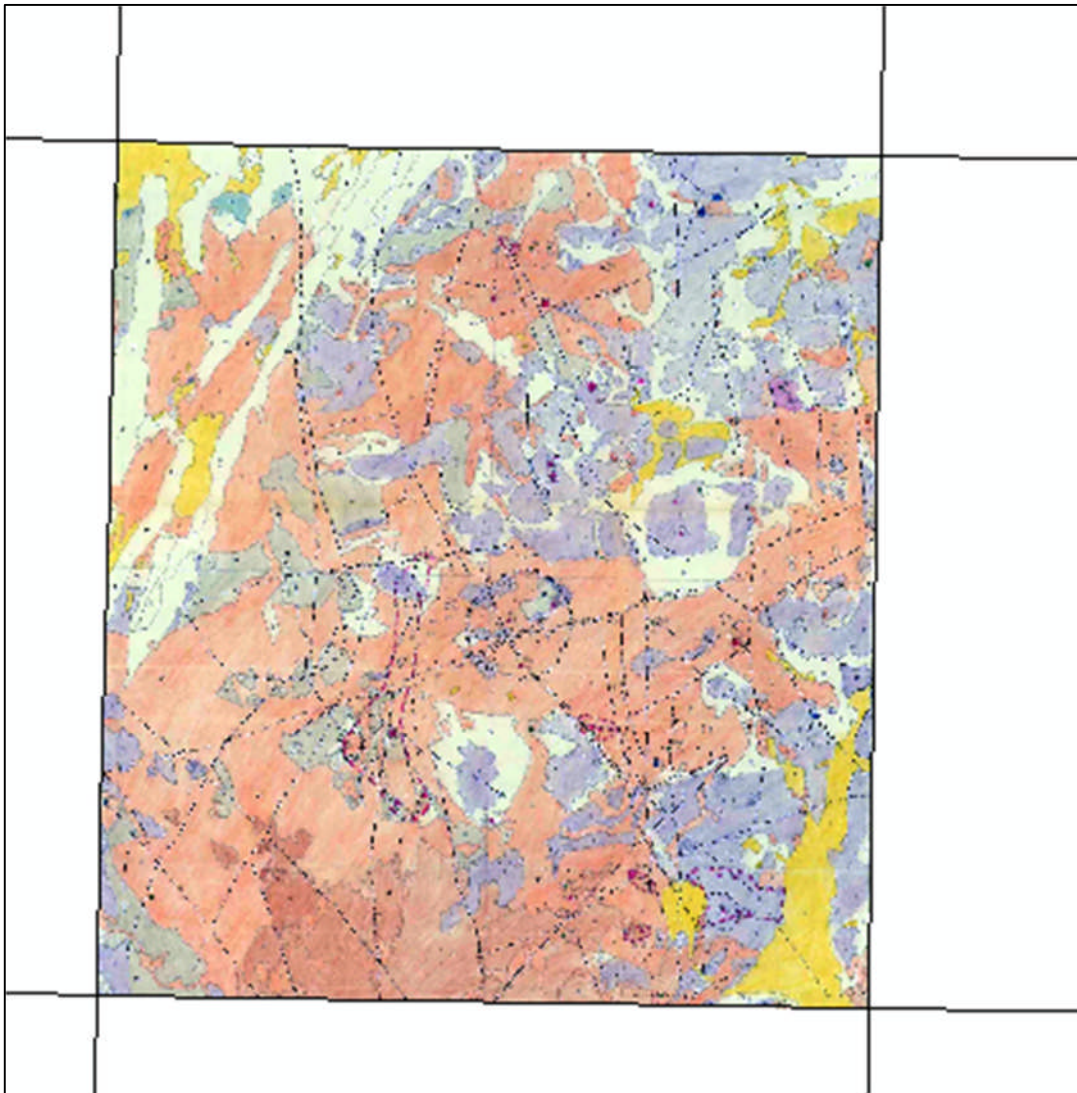


Fig.50 : Carte d'Eglab Salem géoréférencée et rectifiée

2. La vectorisation des différentes formations géologiques :

La vectorisation consiste à la reproduction du contenu d'une carte géologique à partir d'éléments géométriques simples sous forme de polygone, ligne ou point, à l'aide des différents outils d'ArcGIS.

Les éléments géométriques utilisés diffèrent selon les types d'objet à vectoriser :

- Une faille par un trait (ligne).
- Un affleurement par un polygone.
- Une minéralisation par un point.

Dans notre travail on a utilisé des images satellites Landsat 8 traitées par le logiciel l'ENVI. Le résultat sera une image en mode « vecteur ».

Étapes à suivre :

- 1) Ouvrir ArcMap et ArcCatalog
- 2) Afficher la carte géoréférencée et l'image Landsat traitée dans ArcMap (Fig. 51)
- 3) Créer un fichier de forme polygone avec les mêmes références spatiales
- 4) En combinant les données de l'image traitée et de la minute géologique, on commence à délimiter la formation géologique qui nous intéresse selon notre vision (Fig.49).
- 5) Faire de même pour toutes les formations géologiques polygonales et linéaires de la carte.

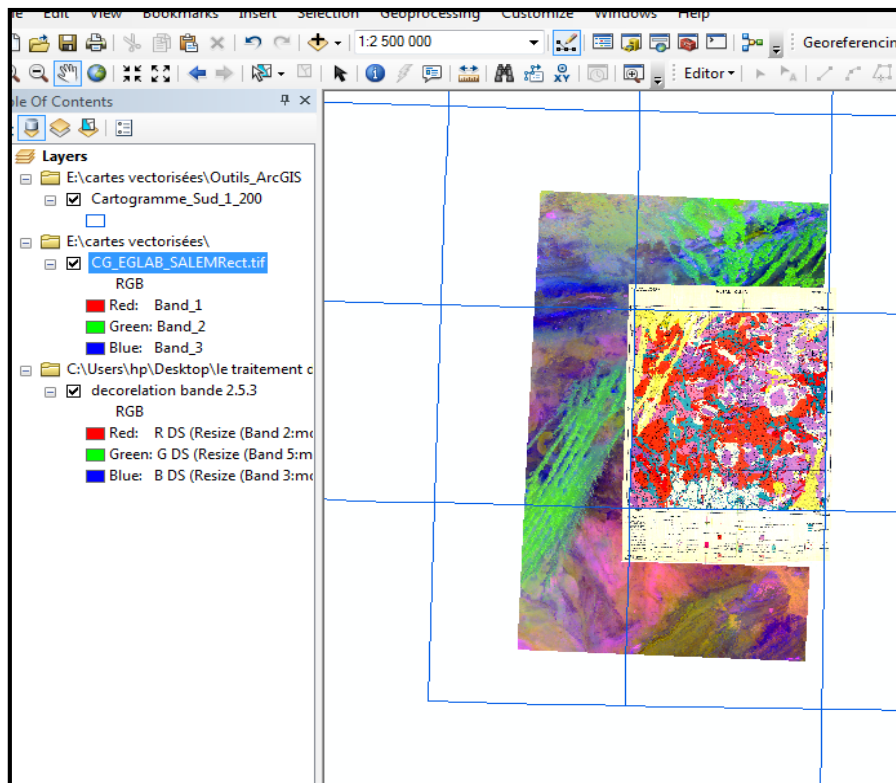


Fig. 51: montrant la vectorisation en combinant l'image traitée et la minute géologique

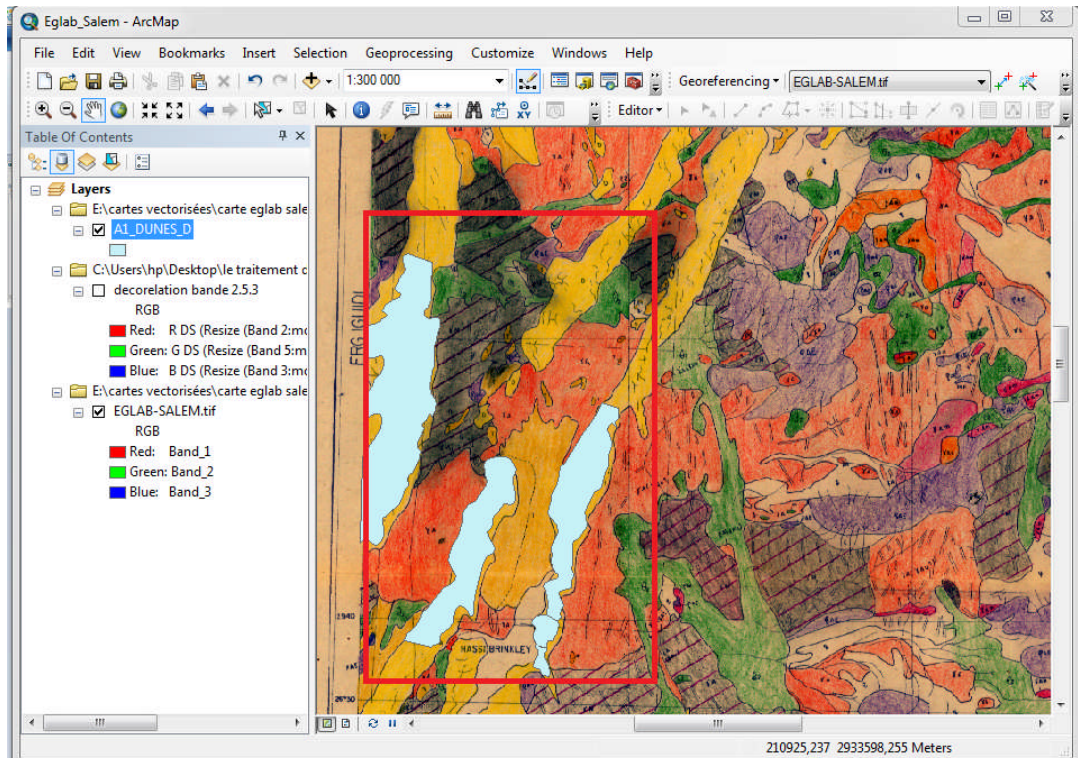


Fig.52 : vectorisation de la formation (A1_Dunes_D) sur une carte ancienne

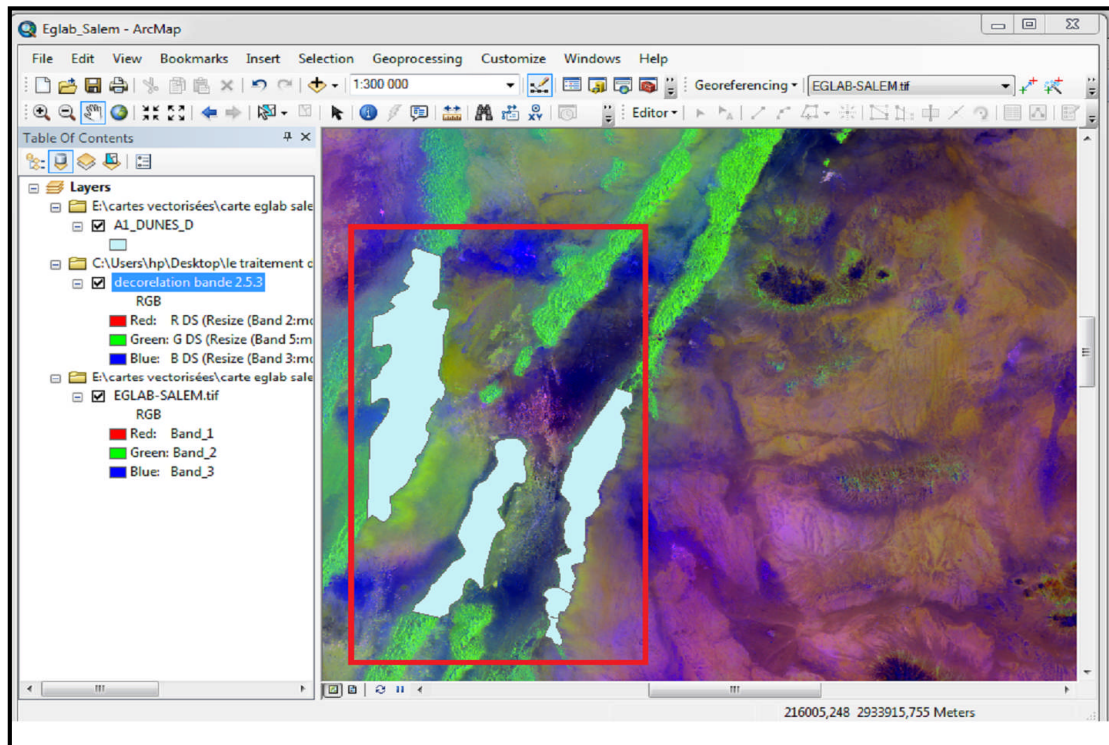


Fig.53 : vectorisation de la formation (A1_Dunes_D) sur un traitement de l'ENVI.

Chapitre V : System d'Information Géographique

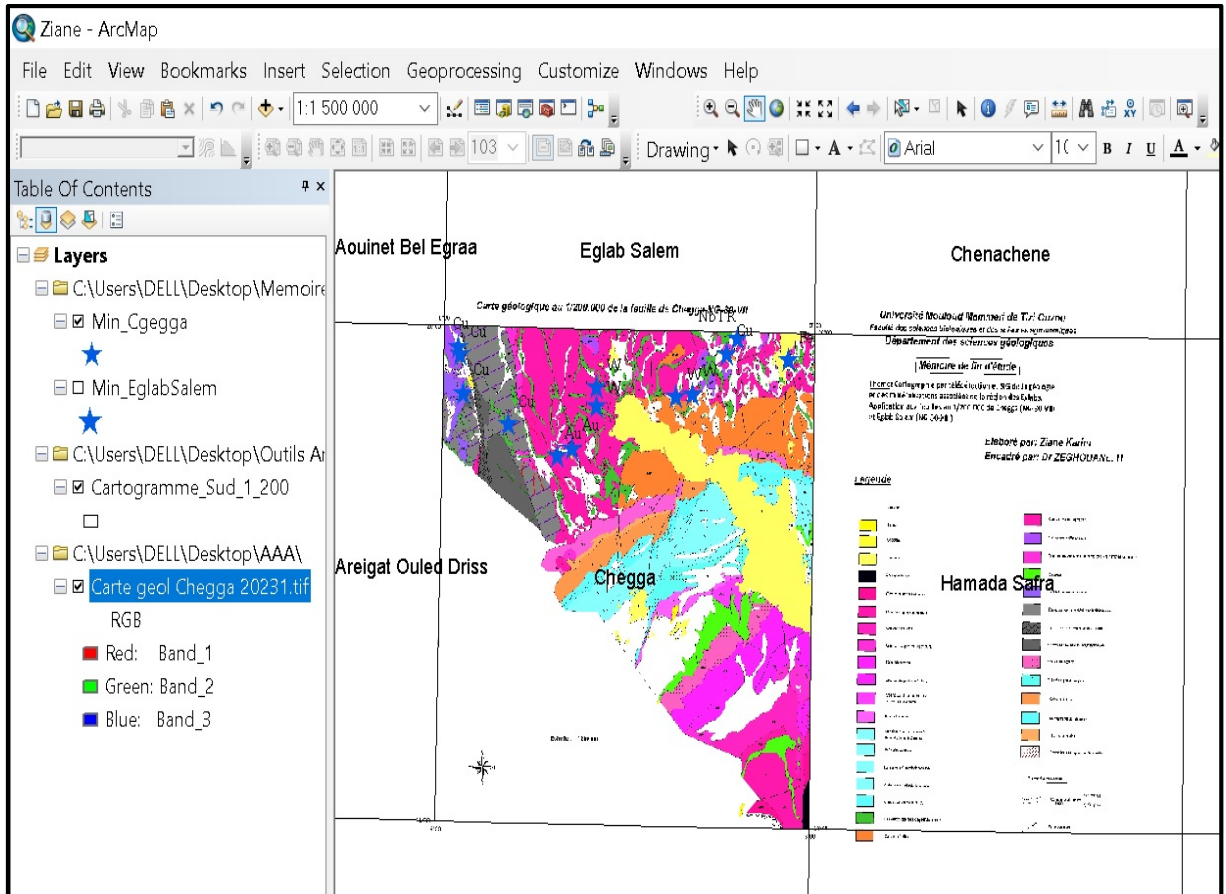


Fig.56 : Carte Géologiques de Chegga avec Minéralisations

Résultat final :

Le résultat de toutes ces opérations est une carte géologique SIG composée de plusieurs fichiers de forme reflétant les différents composants de la légende, dotée également de tous les éléments d'habillage d'une carte géologique moderne.

Chapitre V : System d'Information Géographique

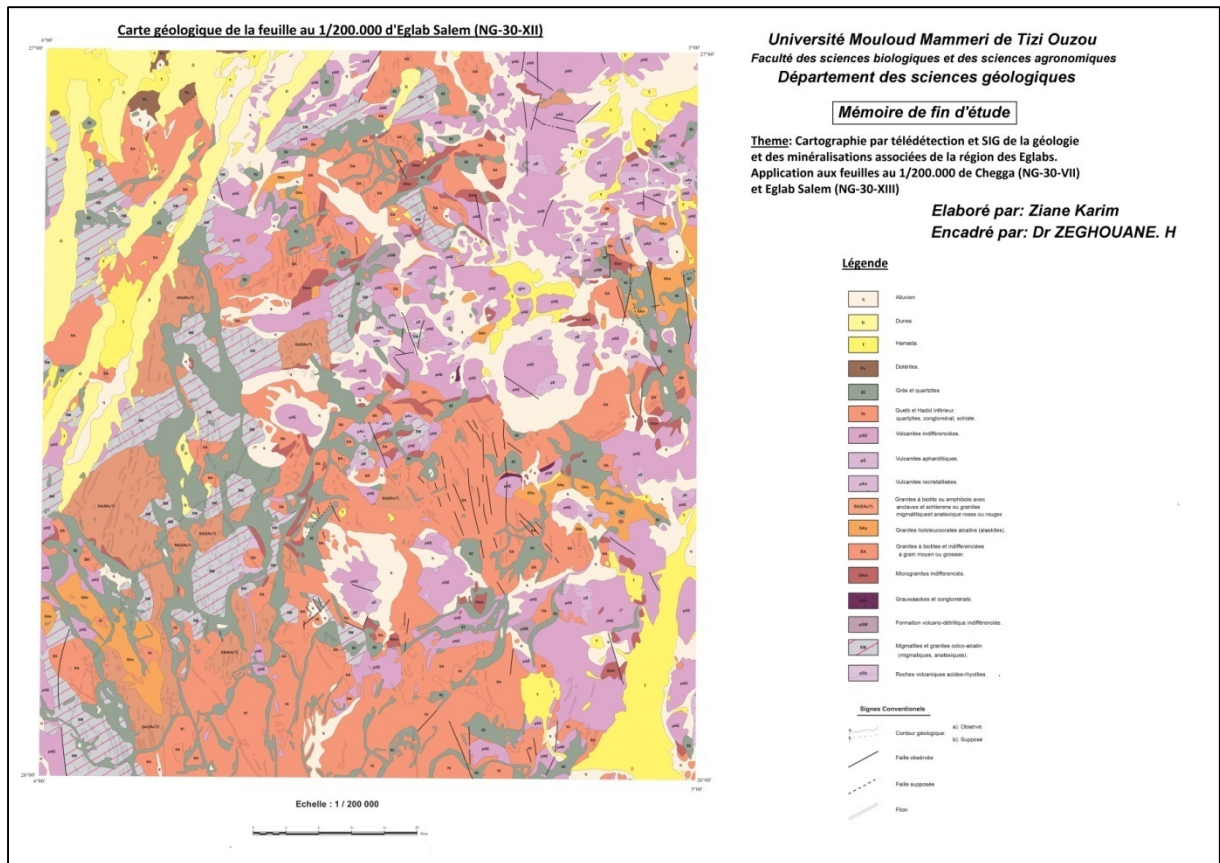


Fig.57 : Carte Géologiques de Chegga avec minéralisation.

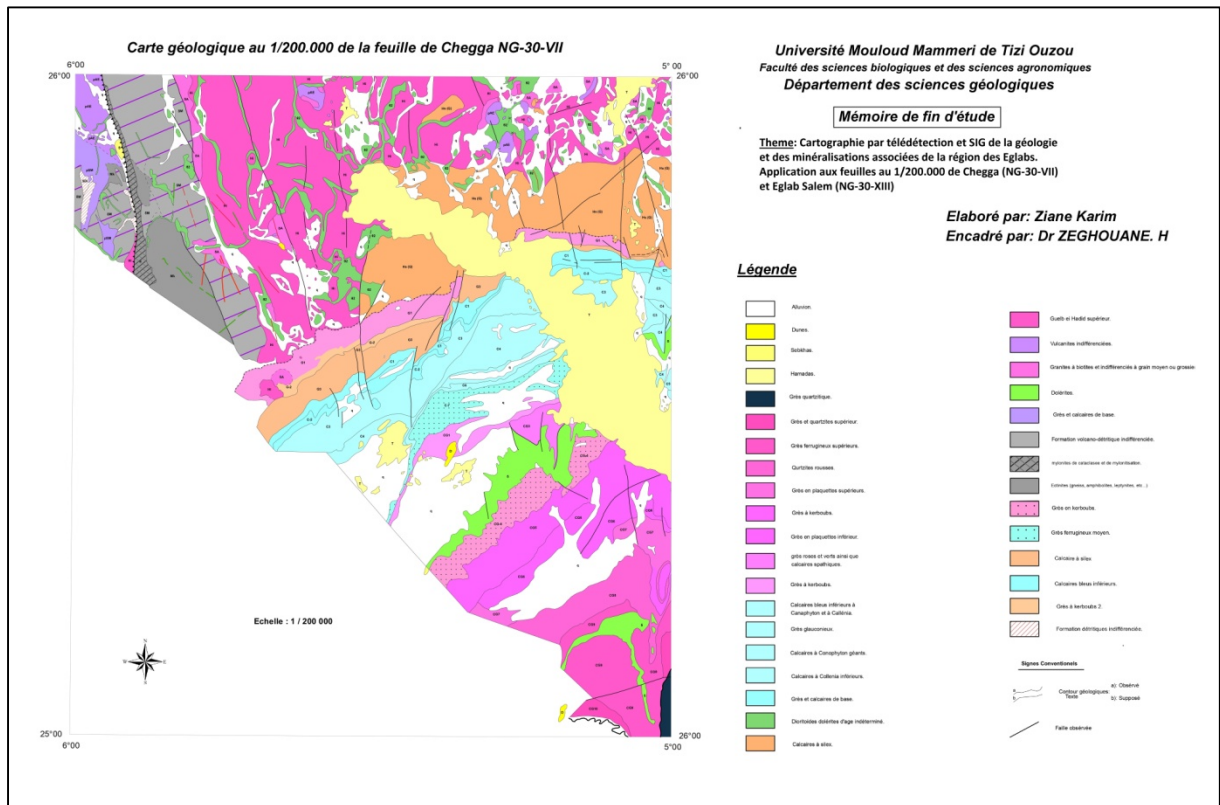


Fig.58 : Carte Géologiques de Chegga rectifié.

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Le massif des Eglabs qui représente un des plus vieux orogènes du Craton Ouest Africain situé dans la partie nord-ouest du continent africain, à l'extrémité ouest de la dorsale de Réguibat. C'est un socle métamorphique magmatique Crâtonisé au cours de l'orogénèse éburnéenne (2000 - 1800 M.A.).

Dans le domaine Eglab, nous avons entrepris un travail de cartographie SIG de la région de Chegga et Eglab Salem.

A l'issue de ce travail l'outil Informatique ainsi que la technologie « SIG » ont été d'un grand apport pour effectuer une cartographie géologique SIG au 1/200 000 de cette région. Les données de l'imagerie du satellite Landsat-8 ont été traitées à l'aide du logiciel ENVI.

Ce travail a nécessité plusieurs étapes :

La première étape consistait à effectuer une recherche documentaire sur cette région du pays, La documentation recherchée était d'ordre bibliographique ou cartographique. Ce qui nous de réaliser tout d'abord deux synthèses géologiques. L'une sur le massif des Eglabs et l'autre sur la région d'étude.

La deuxième étape consiste à réaliser une cartographie SIG en utilisant les différents outils de la télédétection et SIG. Les logiciels utilisés sont ArcGIS version 10.5 et ENVI version 5.3.

Le travail a commencé par le téléchargement sur le site Web Earth explorer de l'USGS des scènes Landsat-8 couvrant notre région d'étude.) Puis on a procédé aux différents traitements requis (Les compositions colorées, analyses des composantes principal : ACP, classification non supervisée : K-Means, fraction de bruit minimale MNF et décorrélation stretch). Ces différentes méthodes de traitement avaient pour but d'offrir une meilleure différenciation lithologique des formations géologiques de la région d'étude causée par les variations des propriétés lithologiques des roches.

La phase suivante a permis d'élaborer le SIG raster sous ArcGIS où les cartes géologiques anciennes ont été géoréférencées.

En combinant les informations de terrain véhiculées par les cartes géologiques antérieures avec les différentes données traitées de l'imagerie Landsat-8, une vectorisation appropriée et plus précise des formations géologiques a été effectuée. De cette manière on est arrivée à produire deux cartes géologiques SIG qu'on peut également exporter en format image.

Le document obtenu est un SIG géologique composé d'un ensemble de fichiers de forme doté d'une légende appropriée, et également de tous les éléments d'habillage nécessaire d'une carte géologique moderne. (Annexes 1 et 2).

En fin, ce travail nous a été d'un apport appréciable car il nous a permis non seulement de maîtriser les techniques de synthèses géologiques mais aussi les technologies modernes liées à la télédétection et aux systèmes d'information géographique.

Références bibliographiques

Bibliographiques

Azzouni-Sekkal A. (1976). Les stocks plutoniques basiques de la jointure «Yetti-Eglab ». Thèse Doct. 3ème cycle Univ. Alger, 99p.

Baudin T. (1996). Rapport de la mission de terrain dans les Eglab et le Yetti, Mém. Serv. Géol. Algérie, n°8, pp.53-60.

Benramdan H, (2007). Contribution à l'étude géologique et gîtologique des minéralisations aurifères de la zone de jointure Yetti-Eglab (SW. Algérien). Thèse magistère, USTHB, Alger.120p.

Bessoles B. (1977). Géologie de l'Afrique : le craton ouest Africain. BRGM n°88.

Buffière J.M., Fathy J.C. et Petey J. (1965a). Etude géologique de la partie orientale de la dorsale Réguibat, région des Eglab et secteur Nord du Yetti. Rapp. Inéd. (SERMI), Paris, Déc. 1965, n°ALG. 63-09-I V, 23Op.

Buffière J.M., Fathy J.C. et Petey J. (1965b). Notice explicative de la carte géologique à 1/500000 de la région des Eglab et la bordure Nord du Yetti. (SERMI), Paris, 38p.

Buffière J.M., Fahy J.C. et Petey J. (1967). Sur l'ensemble Yetti-Eglab et sur la couverture infratillitique en territoire algérien. C.R. Acad. Sci. Paris, n° 262, pp. 1513- 1516.

Buffière J.M., Fathy J.C. et Petey J. (1966). Sur l'ensemble Yetti- Eglab et sur la couverture infratillitique en territoire algérien. C.R. Acad. Sci., Fr., 262, pp.1513-1516.

Choubert G. et Faure-Muret A. (1971). Tectonique de l'Afrique. UNESCO.

CONSOREM. (2004). Paramètres des altérations hydrothermales des gisements de type VMS et aurifères : Comparaison de la performance d'indicateurs d'altération Doc. Consorem (inédit)

Gevin P. (1951). Sur la structure du massif cristallin Yetti-Eglab (Sahara occidentale). C.R Acad. Sci. Paris, n° 233, pp. 1129-1130.

Gevin P. (1958). Cartes au 1/500000 Eglab et Tindouf. Ser. Carte Géol. Algérie.

Kahoui M., Drareni A., Fabre J., Peucat JJ. et Kaddour M. (1996). Age éburnéen du complexe annulaire alcalin du Djebel Drissa (Est de la dorsale Reguibat, Algérie). Mém. Serv. Géol. Algérie, n°8, pp.53-60.

Lassere M., Lameyre J. et Buffière J.M. (1970). Données géochronologiques sur l'axe précambrien Yetti-Eglab en Algérie et en Mauritanie du Nord. Bull. BRGM 2ème série, IV, 2, pp. 5-13.

Références bibliographiques

Menchikoff N. (1949). Quelques traits de l'histoire géologique du Sahara occidental. Annales Hébert et Haug, 7, livre jubilé, Ch. Jacob, pp. 303-325.

Mahdjoub Y., Drarni A., Gani R., (1994) Accrétion crustale et tectonique verticale à l'Eburnéen dans les massifs des Eglab et du Yetti (dorsale Réguibat, Algérie) [Eburnean crustal accretion and vertical displacement in Yetti-Eglab massifs (Reguibat Rise, Algeria)]. Bull. Ser. Géol. Algérie, 5 (1), pp.97-108

O.R.G.M. (ex E.R.E.M),(1983). Rapport final du groupe Eglab sur les travaux de reconnaissance et de prospection régionale (inédite).

O.R.G.M (ex E.R.E.M), (1984). Rapport du groupe Eglab sur la structure circulaire de Bled M'Dena (feuilles Aouinet Legraa) (inédit).

Sabaté P. et Lomax K. (1975). Données stratigraphiques et paléomagnétiques de la région Yetti-Eglab (Sahara occidental algérien). Bull. B.R.G.M Fr., section II, n° 4, pp. 293-31].

Sabaté P. (1973). La jointure Yetti-Eglab dans la dorsale précambrienne du pays Réguibat (Sahara occidental algérien). C. R. Acad. Sci. Paris, (D), 276, pp. 2237-2240.

Sabaté P. (1973). La jointure Yetti-Eglab dans la dorsale précambrienne du pays Réguibat (Sahara occidental algérien). C.R. Acad. Sci., Fr. 276, (D), pp. 2237-2239.

Sabaté P. (1979). Les volcanites Eglab : Données radiométriques de la dernière expression magmatique calco-alcaline du cycle orogénique Eglab (Sahara occidental). Revue de géologie dynamique et de géographie physique. Vol.21.Fasc.5., pp.326-329. Paris, 1979.

MISSOUMI A. & TADJEROUNI K., 2003. SIG et imagerie Alsat1 pour la cartographie du risque d'incendie de forêt (Sidi Bel Abbas,) TS13 Risk Management, Marrakech, Maroc, 14p

Tabeliouna M., Kolli O., J.Y. Cottin, et Zerka M. (2008): Les clinopyroxénites et les gabbros d'une structure annulaire (sud de Gara Djebilet, Eglab, Eglab, Dorsale Reguibat, Sud-ouest algérien), Bulletin du Service Géologique National, Vol.19,n°3, pp. 245-265.

Halit, Z., & Boudjmai, F., 2020-2021. Télédétection de la région des Eglabs mémoire 2020/2021(U.M.M.T.O).

Zeghouane, H., 2019. Dates historiques de télédétection. Cour 2018 /2019.

Lillsand., et Kiefer., 2019. La télédétection.

Résumé

À mesure que le domaine de la cartographie SIG dans les différents domaines de la géologie continue de se développer, la télédétection est devenue un domaine d'étude crucial.

Les systèmes d'information géographique (SIG) sont un outil indispensable pour visualiser et interpréter les données spatiales. Les principes fondamentaux de la télédétection et du SIG impliquent la collecte, la gestion, l'analyse et l'interprétation des informations géographiques. Cette technologie géomatique permet l'intégration de diverses sources de données, notamment les images satellite et différentes bases de données géospatiales.

Entre autre, l'imagerie satellitaire contribue de manière significative aux données visuelles depuis plusieurs décennies. Dans cette optique, un travail de cartographie par télédétection et SIG de la géologie et des minéralisations associées a été réalisé sur les feuilles aux 1 /200 000 d'Eglab Salem et Chagga (Eglabs).

Le travail a consisté à effectuer des traitements d'images Landsat-8 et d'en extraire et mettre sous forme de couches d'informations vectorielles les entités géologiques (lithologie, magmatisme, tectonique et minéralisations) interprétées. Ce qui a permis de créer des cartes de détail faciles à exploiter.

Les cartes SIG obtenues, à partir de ces nouvelles techniques appliquées à l'imagerie Landsat-8 et aux données cartographiques antérieures, permettent une **facile mise à jour** et une **gestion plus efficace** de la géologie et des données minières de cette région qui aide à une bonne prise décisions et également un **gain de temps** important.

Abstract

As the field of GIS mapping in different areas of geology continues to develop, remote sensing has become a crucial area of study.

Geographic Information Systems (GIS) are an essential tool for visualizing and interpreting spatial data. The fundamental principles of remote sensing and GIS involve the collection, management, analysis and interpretation of geographic information. This new technology allows the integration of various data sources, including satellite imagery and different geospatial databases.

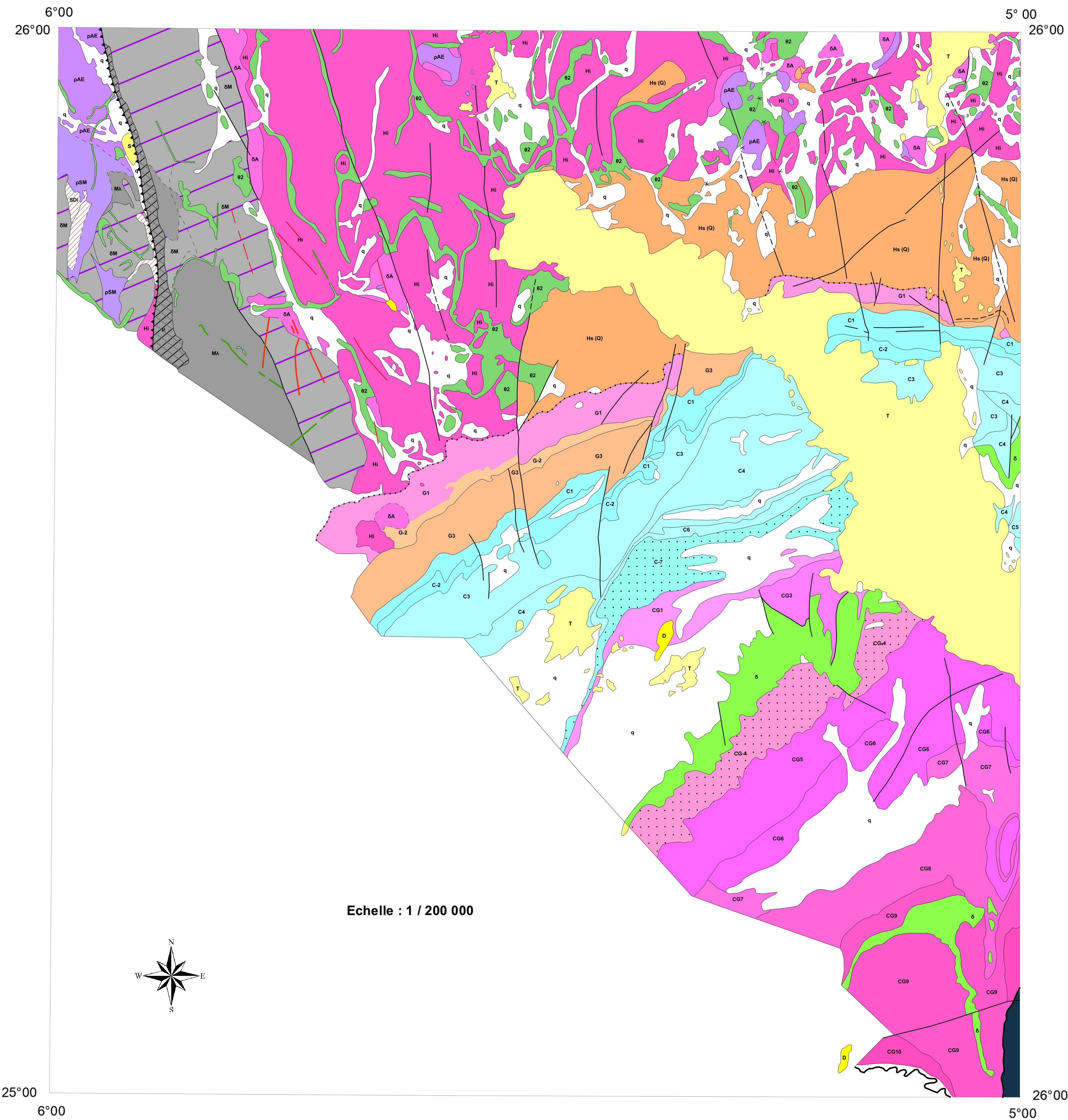
On the other hand, satellite imagery has been making a significant contribution to visual data for several decades.

With this in mind, remote sensing and GIS mapping of the geology and associated mineralization was carried out on the 1:200,000 Eglab Salem and Chegga (Eglabs) sheets.

The work consisted in processing Landsat-8 images and extracting the interpreted geological features (lithology, magmatism, tectonics and mineralization) with vector format information layers. This has enabled us to create detailed maps that are easy to use.

The obtained GIS maps, based on these new techniques applied to Landsat-8 imagery and previous mapped data, allow an easy updating and more efficient management of the geology and mining data of this region, helping to make better decisions and save a great deal of time.

Carte géologique au 1/200.000 de la feuille de Chegga NG-30-VII



Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou
 Faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques
 Département des sciences géologiques

Mémoire de fin d'étude

Theme: Cartographie par télédétection et SIG de la géologie et des minéralisations associées de la région des Eglabs.
 Application aux feuilles au 1/200.000 de Chegga (NG-30-VII) et Eglab Salem (NG-30-XIII)

Elaboré par: Ziane Karim
Encadré par: Dr ZEGHOUANE. H

Légende

	Alluvion.		Guelb ei Hadid supérieur.
	Dunes.		Vulcanites indifférenciées.
	Sebkhas.		Granites à biotites et indifférenciés à grain moyen ou grossier.
	Hamadas.		Dolérites.
	Grès quartzitique.		Grès et calcaires de base.
	Grès et quartzites supérieur.		Formation volcano-détritique indifférenciée.
	Grès ferrugineux supérieurs.		mylonites de cataclasee et de mylonitisation.
	Qurtzites rouges.		Ectinites (gneiss, amphibolites, leptynites, etc...)
	Grès en plaquettes supérieurs.		Grès en kerboub.
	Grès à kerboub.		Grès ferrugineux moyen.
	Grès en plaquettes inférieure.		Calcaire à silex.
	grès roses et verts ainsi que calcaires spathiques.		Calcaires bleus inférieurs.
	Grès à kerboub.		Grès à kerboub 2.
	Calcaires bleus inférieurs à Canaphyton et à Callénia.		Formation détritiques indifférenciée.
	Grès glauconieux.		
	Calcaires à Conophyton géants.		
	Calcaires à Collenia inférieurs.		
	Grès et calcaires de base.		
	Dioritoïdes dolérites d'age indéterminé.		
	Calcaires à silex.		

Signes Conventuels	
	a) Observé
	b) Supposé
	Faïlle observée

Carte géologique de la feuille au 1/200.000 d'Eglab Salem (NG-30-XII)

Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou
Faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques
Département des sciences géologiques

Mémoire de fin d'étude

Theme: Cartographie par télédétection et SIG de la géologie et des minéralisations associées de la région des Eglabs.
Application aux feuilles au 1/200.000 de Chegga (NG-30-VII) et Eglab Salem (NG-30-XIII)

Elaboré par: Ziane Karim
Encadré par: Dr ZEGHOUANE. H



Légende

- q Alluvion
- D Dunes.
- T Hamada.
- Pc Dolérites.
- θ2 Grés et quartzites
- HI Guelb el Hadid inférieur, quartzites, conglomérat, schiste.
- ρAE Vulcanites indifférenciées.
- ρE Vulcanites aphanitiques.
- ρAx Vulcanites recristallisées.
- δA(δAu?) Granites à biotite ou amphibole avec anclaves et schliers ou granites migmatitiques et anatectiques roses ou rouges
- δAa Granites hololeucocrates alcalins (alaskites).
- δA Granites à biotites et indifférenciées à grain moyen ou grossier.
- δAm Microgranites indifférenciés.
- δBc Grauwackes et conglomérats.
- ρSM Formation volcano-détritique indifférenciée.
- δM Migmatites et granites colco-alcalin (migmatiques, anatectiques).
- ρSb Roches volcaniques acides-rhyolites.

Signes Conventionnels

- a) Contour géologique: a) Observé
- b) Contour géologique: b) Supposé
- Faille observée
- Faille supposée
- Filon

Echelle : 1 / 200 000

