

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou



Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département des Sciences Géologiques

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de MASTER

Spécialité : Géologie Appliquée

Option : Ressources Minérales, Géomatériaux et Environnement

Thème

**Télédétection par imagerie Landsat-8 et Sentinel-2 dans la
région des Eglabs; application de la cartographie géologique des
feuilles au 1:200000 Gara Sayada, Kahel Morat et Tilmsi Ould
Haïda**

Réalisé par :

Mlle BOUDJEMAI Fatma

Mlle HALIT Zahoua

Encadré par :

Dr. ZEGHOUANE. H

Soutenu le : 06/01/2022

Les membres du jury :

Mr HAMIS. A :

MCB,

U.M.M.T.O

Président

Mme IZRI. D :

MAA,

U.M.M.T.O

Examinatrice

Mr ZAGHOUANE.H :

MCB,

U.M.M.T.O

Promoteur

Promotion : 2020/2021

REMERCIEMENT

Avant tout propos, nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné la sagesse et la santé afin de réaliser ce modeste travail.

Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

A monsieur ZEGHOUANE.H, notre promoteur qui nous a guidé et soutenu tout au long de la réalisation de ce mémoire en nous prodiguant de fructueux conseils et en nous faisant bénéficier de son savoir et de son expérience.

A monsieur HAMIS.A, qui a bien voulu présider le jury. Nous lui exprimons toute notre gratitude.

A madame IZIRI.D, qui a accepté de faire partie de ce jury et pour avoir accepté d'examiner notre travail, nous tenons à remercier vivement.

Notre gratitude à toutes les personnes qui nous ont apporté leurs soutiens, nous citerons en particulier monsieur SERKHAN.A, mademoiselle ABOUD.D et monsieur LAHRANI.Y qui ont toujours été disponibles à notre aide.

Dédicace :

Je tiens à Dédier ce modeste travail à mes chers parents pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

A mon cher frère Idir et mes sœurs Lynda et Karima pour tout l'amour fraternel et la solidarité familiale inconditionnels.

A mon très cher petit Amine.

A ma grand-mère paternelle que je ne reverrai plus. Tes bienveillances, surtout tes précieux conseils sont gravés dans ma mémoire et ont beaucoup contribué à vaincre certains de mes obstacles de la vie humaine.

A mes chers amis, H.Lyes, C.Lysa, A.Dihia, .A.Sarah, A.Nabila, C.Nassima.

A tous les étudiants de ma Promo RMGE 2021 spécialement HALIT Zahoua.

Et à toutes les personnes que j'aime.

FATMA

Dédicace :

A MES CHÈRES PARENTS avec tout mon amour

Je dédie ce mémoire en premier à mon père :

Tous les mots ne sauraient exprimer ma gratitude et ma reconnaissance pour ton dévouement, tes sacrifices et tes encouragements, tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'épauler.

Je te dédie ce mémoire, puisse tu y trouver le fruit de tes efforts.

A ma chère mère et grand-mère qui me donnent toujours l'espoir de vivre et qui n'ont jamais cessé de prier pour moi.

A la mémoire de mon grand-père, j'aurais souhaité votre présence en ce moment pour partager ma joie. Vous m'avez toujours fait preuve d'amour et d'affection, vous êtes toujours présents dans mon esprit et dans mon cœur. Que votre âme repose en paix.

A mes sœurs Karima et Razika, à mon frère Yacine et nana Ourida.

A mon cousin Elyane.

A mes neveux Bilal, Syphax et Walid.

A mes copines Sylia, Djahida, Samira, Yasmine, Nabila, Anabella, Nina et mes copines de la résidence.

A mes chers camarades

Enfin, je remercie mon binôme Fatma, qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail.

ZAHOUA

LISTES DES FIGURES :

Figure 1: Situation géographique de la région d'étude.....	7
Figure 2: Situation des différents cratons du continent africain (in Choubert et Faure-Muret, 1975).....	11
Figure 3: Schéma géologique simplifié du craton ouest africain (in Peucat et al, 2005).....	13
Figure 4: Schéma géologique de la dorsale Réguibat (in Benramdane, 2007).....	14
Figure 5: Localisation de la zone de jointure dans le contexte de la dorsale Réguibat (in Tabeiouna, 2009).....	15
Figure 6 : Log synthétique représentant les différentes séries de la jointure Yetti-Eglab. (Les âges repris Peucat et al, 2005).....	18
Figure 7: Schéma structurale de la région d'étude.....	21
Figure 8: Log stratigraphique de notre région d'étude.....	26
Figure 9: Surfaces prospectées sur le massif d'Eglab.....	31
Figure 10 : zones métallifères potentielles de l'ensemble cristallin du massif Yetti-Eglab (EREM 1983).....	32
Figure 11 : L'Onde électromagnétique simple (monochromatique, plane).....	39
Figure 12 : Spectre de rayonnement électromagnétique.....	39
Figure 13 : Les sept étapes clé de la télédétection.....	40
Figure 14 : les signatures spectrales du sol, l'eau et la végétation.....	42
Figure 15 : Un satellite géostationnaire.....	43
Figure 16 : Stellite héliosynchrone.....	44
Figure 17 : Les principales missions de satellite Landsat.....	47
Figure 18 : Comment télécharger les images satellites à partir de site Web de l'USGS.....	49
Figure 19 : Les missions de satellite SENTINEL.....	50
Figure 20 : Visualisation de la carte interactive d'Open Access Hub.....	52
Figure 21 : Volet de filtrage des données.....	52
Figure 22 : Affichage des résultats de la requête.....	53
Figure 23 : Focus sur une image sélectionnée.....	54
Figure 24 : Interface de « ENVI Classic ».....	55

Figure 25: Interface « ENVI ».....	56
Figure 26 : Une image satellite entouré par la bordure sombre.....	58
Figure 27 : Les résultats d'application des combinaisons utiliser.....	65
Figure 28: Le tracé des valeurs propres du PC.....	67
Figure 29: Le résultat de traitement ACP landsat-8 avec quelque composition colorée.....	68
Figure 30 : Le résultat de traitement K-Means (7 Classes) landsat-8.....	70
Figure 31: Le résultat de traitement MNF landsat-8 en utilisant les combinaisons (Band 1//3-2-1//1-2-3//7-5-2) par ordre.....	71
Figure 32 : Le résultat du filtre directionnel en appliquant les angles suivant en ordre (45°//90°//180°) pour l'image landsat-8.....	73
Figure 33 : Composantes d'un SIG.....	78
Figure 34 : Base des données géographies.....	80
Figure 35 : Deux différents types de modèles géographiques.....	82
Figure 36 : Deux différents types de modèles géographiques.....	83
Figure 37 : Exemple de données vecteurs.....	84
Figure 38 : Exemple de minute géologique de terrain comprenant les données de base.....	87
Figure 39 : Ensemble des lignes de la carte géologique vectorisé dans un thème de construction.....	88
Figure 40 : Polygones construits à partir des lignes importées dans le thème « substratum rocheux ».....	88
Figure 41 : Polygones construits à partir des lignes importées dans le thème « terrains superficiels ».....	89
Figure 42: Carte géologique obtenue par superposition des thèmes du SIG.	89
Figure 43 : Carte des instabilités de versant : carte 'métier' dérivée par analyse spatiale à partir du SIG.....	90
Figure 44 : Bloc-diagramme du secteur donné en exemple. Une information « pseudo 3D » est incluse dans le SIG grâce à la superposition des 2 thèmes « substratum rocheux » et « terrains superficiels ». Pour atteindre une parfaite cohérence topologique entre les différents thèmes, toutes les lignes de la carte sont vectorisées dans un seul thème de construction et attribuées de manière simple ou multiple.....	90
Figure 45 : Méthodes de constructions d'un SIG.....	91

Figure 46 : Architecture générale de l'ArcGIS.....	93
Figure 47 : Visualisation des données via l'interface ArcMap.....	94
Figure 48 : Fichiers composants une couche vecteur.....	95
Figure 49 : Interface ArcMap en mode Data View: 1. Barre de menus, 2. Barre d'outils, 3. Fenêtre principale, 4.Table des matières.....	97
Figure 50 : 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,5. Mode de prévisualisation (géographique, tabulaire).....	101
Figure 51 : Globe terrestre avec des latitudes et longitudes.....	105
Figure 52 : Une présentation d'interface d'ArcCatalog montrant icone connexion à un dossier.....	106
Figure 53 : La propriété de la référence spatiale dans ArcCatalog.....	108
Figure 54 : La propriété de la référence spatiale dans ArcMap.....	109
Figure 55 : Calage de la carte géologique.....	110
Figure 56 : La rectification d'une carte géologique.....	111
Figure 57 : Ouvrir un nouveau fichier de forme.....	112
Figure 58 : Outil Editeur.....	113
Figure 59 : Présentation des formations superficielles de type HAMADIEN à partir des images Landsat8 avec le traitement MNF.....	114
Figure 60 : Présentation des formations du volcanisme eglab à partir les images Sentinel-2 par le traitement de decorrelation Stretch.....	114
Figure 61 : Présentation des formations de la série de Hank à partir les images Sentinel-2 par le traitement PCA.....	115
Figure 62 : Présentation des formations superficielles de type HAMADIEN de la feuille de Kahal Morat vectorisées à partir des images Landsat8 avec le traitement MNF.....	116
Figure 63 : Présentation de la feuille de Kahal Morat vectorisées à partir des images Raster Sentinel2 et Landsat8.....	117
Figure 64 : Vectorisation des failles dans la feuille de Kahal Morat en utilisant le filtre directionnel 60° des images Landsat8.....	118
Figure 65 : Vectorisation des formations linéaires (failles) de la feuille de Kahal Morat.....	118

Figure 66 : Présentation d'une formation de Microgranite Aftout avant et après la correction.....	119
Figure 67 : Présentation d'une formation de volcanisme Eglab acide avant et après la correction cartographique.....	120
Figure 68 : Présentation de la formation hamada avant et après la correction cartographique.....	120
Figure 69 : Carte exporté de la feuille de Kahal Morat.....	122

Liste des tableaux :

Tableau 1 : coordonnées géographique des trois cartes.....	6
Tableau 2: L'absorption du REM à divers effets.....	41
Tableau 3: les bandes spectrales et leurs longueurs d'ondes.....	42
Tableau 4 : les différents types de vecteurs.....	43
Tableau 5 : Les bandes spectrales de Landsat-8.....	48
Tableau 6: Caractéristique des bandes spectrales de Sentinel-2.....	51
Tableau 7 : Les périodes principales dans l'évolution des SIG.....	77
Tableau 8 : Avantages et inconvénients des deux modes raster et vectoriel (CLARAMUNT G.1991 in OUHTI Y 2006).....	85
Tableau 9 : Outils fréquemment utilisés dans ArcCatalog et dans l'ArcMap.....	102

Résumé :

La discipline cartographique en plein développement, la télédétection trouve ses meilleures applications en géomorphologie et en géologie ; elle constitue souvent une couche essentielle des systèmes d'information géographique (SIG).

Depuis plus de trente ans, les images acquises à partir des satellites contribuent à la reconnaissance globale de notre planète et, ainsi, à la mise à jour des données cartographiques la concernant. L'ouvrage présente, aux étudiants comme aux spécialistes, un état de l'art dans le domaine de la télédétection appliquée aux sciences de la Terre et, tout particulièrement, à la cartographie géomorphologique et géologique. Il précise, selon les différents contextes morphologiques, les principales données utilisables ; il décrit les traitements à mettre en œuvre ; surtout, il illustre par l'exemple les phases essentielles d'analyse et d'interprétation des images.

Dans le présent mémoire, nous avons réalisé un SIG géologique et minier de trois feuilles aux 1 /200 000 des Eglabs qui sont : Kahal Morat, Tilemsi Oued Haida et Gara Syada. Le travail a consisté à extraire et mettre sous forme de couches d'informations vectorielles l'ensemble des entités géologiques et gîtologiques (lithologie et tectonique), et faire de traitement des images Sentinel2 et des images Landsat8 qui m'ont permis à la fin de rectifier les cartes déjà faites et créer du nouvelles meilleures cartes et plus détaillées.

Dans le but d'atteindre cet objectif, nous avons travaillé sur ArcGIS 10 : un logiciel SIG développé par ESRI et composé essentiellement de trois applications (ArcMap, ArcCatalog et ArcToolbox).

La vectorisation de l'ensemble des feuilles constituant notre région d'étude nous ont permis de mettre en évidence la relation entre la lithologie et la géologie des différents affleurements, et ainsi de bien visualiser les limites géologiques.

Le SIG et les résultats sur l'interprétation des images Sentinel2 et les images Landsat8 représente une nouvelle forme de données numériques, susceptibles d'être mise à jour, améliorée et enrichie, ce qui permettra une meilleure gestion des richesses géologiques de la région d'étude et un gain de temps appréciable pour la cartographie.

Sommaire :

INTRODUCTION GENERALE

1	But et objectif de projet.....	2
2	Méthode et outil.....	2
3	Historique des travaux dans le massif des Eglab.....	3
4	Présentation de la région d'étude.....	6
4.1	Situation géographique.....	6
4.2	Le climat.....	7
4.3	Le vent.....	7
4.4	La faune et la flore.....	8

CHAPITRE I : GÉOLOGIE RÉGIONALE

1	Introduction.....	10
2	Le craton ouest africain.....	12
3	La dorsale Réguibat.....	12
3.1	Cadre géologique de la dorsale Réguibat.....	13
a)	La partie occidentale de la dorsale Réguibat.....	14
b)	La jointure Yetti-Eglab.....	14
c)	La partie occidentale de la dorsale Réguibat.....	14
3.2	Données géologiques de la partie orientale de la dorsale Réguibat	15
a)	La série de Yetti.....	16
b)	La série d'Akilet Deilel.....	16
c)	La série de l'Oued Souss.....	16
d)	La série de Chegga.....	16
e)	Le pluton Aftout.....	16
f)	Les intrusions basiques.....	16
g)	La couverture inférieure.....	17
3.3	Evolution tectonique de la partie orientale de dorsale Réguibat.....	18

CHAPITRE II : GÉOLOGIE DE LA RÉGION D'ÉTUDE

1	Introduction.....	21
2	Litho-stratigraphie.....	21
2.1	Quaternaire.....	21
2.1.1	Dépôts éoliens Q2.....	21
2.1.2	Dépôts d'éluviaux et de piedmonts Alluvions et Regs Q1.....	22
2.2	Tertiaire.....	22
2.2.1	Néogène - Pliocène (N2).....	22
2.2.1.1	Hamada (Les formations sédimentaires)	22
2.2.1.2	Formations intrusives post paléozoïques (Ô).....	23
2.3	Primaire (Paléozoïque).....	23
2.3.1	Cambro -Ordovicien (1E-0).....	23
2.3.2	Eocambrien.....	23
2.4	Protérozoïque.....	23
2.4.1	Néoprotérozoïque (Série du Hank).....	24
2.4.2	Paléoprotérozoïque.....	24
2.4.2.1	Volcanisme.....	24
3	Tectonique.....	24
3.1	Tectonique globale dans le massif des Eglab.....	27
3.1.1	Les phases tectoniques.....	27
3.2	Principaux traits structuraux.....	28
3.3	Tectonique dans les feuilles Kahal Morrat, Tilemsi Ould Haïda et Gara Sayada.....	28
4	Minéralisations.....	30
4.1	Les principaux métaux.....	32

CHAPITRE III : TELEDETECTION

1	Introduction.....	35
2	Notions sur la télédétection.....	35
2.1	Définition.....	35
2.1.1	Historique de la télédétection.....	35
2.1.2	Domaines d'applications de la Télédétection.....	36
2.1.3	La télédétection et la géologie.....	37
2.1.4	Les principales applications de la télédétection pour la géologie.....	37
2.2	Bases physiques de la télédétection.....	38
2.3	Les sept étapes clés de la télédétection.....	39
3	Les données imagées du satellite.....	46
3.1	Landsat.....	46
3.2	Sentinelle-2.....	50
4	Traitement et analyse des images sous ENVI.....	54
4.1	Présentation de logiciel ENVI.....	55
4.2	Prétraitement des images landsat-8 et sentinel-2.....	56
4.2.1	Landsat-8.....	56
4.2.2	Sentinel-2.....	61
4.3	Les traitements landsat-8 et sentinel-2.....	63
4.3.1	Composition colorée d'une image.....	63
4.3.2	L'analyse des composantes principales ACP.....	65
4.3.3	La classification non supervisée (K-Means).....	68
4.3.4	La fraction de bruit minimale (MNF).....	70
4.3.5	Filtre linéaire.....	72
4.3.6	Étirement de la décorrélation (Decorrelation Stretch).....	73

CHAPITRE IV : SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

1	Généralités sur le système d'informations géographiques.....	76
1.1	Introduction.....	76
1.2	Définition de SIG.....	76
1.3	Historique.....	77
2	Architecture et fonctionnement d'un SIG.....	77
2.1	Les composantes d'un SIG.....	77
2.2	Le fonctionnement d'un SIG.....	81
2.3	Les domaines d'application du SIG.....	85
2.4	Les avantages d'un SIG.....	86
2.5	Les SIG et la Géologie.....	86
3	SIG sous ArcGIS.....	92
3.1	Définition du logiciel ArcGIS 10.....	92
3.2	Présentation du logiciel ArcGIS 10.....	92
3.3	Principes de fonctionnement de l'ArcGIS (tout SIG).....	93
3.4	Familiarisation du logiciel ArcGIS.....	94

CHAPITRE V : APPLICATIONS SIG A LA REGION D'ETUDE

1	Introduction.....	104
2	Étapes suivies pour la réalisation du travail.....	104
2.1	Rappels et explications.....	104
2.2	Géoréférencement.....	105
2.3	La vectorisation des différentes formations géologiques.....	111
2.4	La mise en page.....	121
	Conclusion générale.....	124

INTRODUCTION GENERALE

1. But et objectif du projet :

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

L'objectif est l'application des connaissances théoriques et pratiques acquises au cours de notre cursus universitaire, sur les sciences de la terre en générale et les SIG en particulier, afin de réaliser des cartes géologiques SIG qui sont très proches de la réalité par traitement des images satellites, appliqué aux formations géologiques, tectoniques et géologiques.

Le but étant de contribuer à la reconnaissance géologique dans les Eglab par l'évaluation de l'apport de la télédétection multispectrale à haute résolution et particulièrement l'utilisation des images Landsat et Sentinelle-2 dans la discrimination lithologique et linéamentaire au 1/200.000 -ème dans la région par rapport aux résultats des études classiques (carte de Buffière et al).qui nous a 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 croiser des informations géologiques variées.

L'étude concerne une télédétection par imagerie Landsat et Sentinelle-2 dans la région des Eglab : Application à la cartographie géologique des feuilles au 1/200.000 de Gara Sayada, Kahal Morat et Tilemsi Ould Haïda.

2. Méthode et outil :

La télédétection et le traitement d'image satellite sont les méthodes qu'en utilise pour la réalisation des cartes géologiques.

Les outils utilisés sont :

- ✓ L'outil informatique,
- ✓ les logiciels ArcGis et ENVI
- ✓ Les images Landsat-8 et Sentinel-2.

INTRODUCTION GENERALE

3. Historique des travaux dans le massif des Eglab :

Les recherches géologiques ont été entreprises dans le massif des Eglab par N.Menchikoff, P.Lapadu Hargues et P.Gevin dans les années quarante. Elles n'ont été menées que le long des itinéraires isolés ; les chameaux ayant été le moyen essentiel 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 « vieux pays cristallins » du continent africain. Il propose, en 1944, l'appellation de « pays cristallin Réguibat ». 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 de Chegga, du Yetti et de Guelb El Hadid.

Parallèlement, de nombreux autres géologues ont entamé leurs travaux dans le Réguibat occidental en Mauritanie. Sougy (1951-1952) y a reconnu les formations suivantes : les séries de Ghallaman, d'Aguelte Nebkha, d'Aioun Abdelmalek et 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'infra-cambrien de la série du Hank.

Jusqu'en (1960), des prospections préliminaires, à l'échelle de 1/200000ème, 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), (1960) Sougy est à l'origine d'une première corrélation stratigraphique entre les séries précambriennes précitées. Il désigne sous le nom de série d'Aguelte Lekhneig les formations similaires à celles de la série d'Imourène qu'elles prolongent au sud.

En (1962), Bonhomme obtient les résultats des toutes premières mesures géochronologiques effectuées dans le 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. alimentera, par de nouvelles données, les 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. Cette étude aboutira à la réalisation d'une carte géologique au 1/500000ème du Yetti et des Eglab qui sera publiée en (1965) avec une notice explicative.

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

INTRODUCTION GENERALE

En (1966), Buffière, Fahy et Petey définissent la série de l'Oued Souss comme un ensemble de formations volcaniques et volcano-sédimentaires discordantes sur le système de base –Réguibat.

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

En (1970), nous trouvons les travaux de Caron et al. où ils préciseront l'appartenance des migmatites du Sud 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'Aguelt Nebkha (série d'El Naam).

En cette même année, Sabaté entreprendra une étude structurale et pétrographique 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 ébauchait une étude comparative de quelques granitoïdes de la dorsale 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 2000 Ma et 1700 Ma.

Presque en même temps, Sabaté (1972) a précisé la structure de Yetti et en 1973 il définit la série d'Akilet Deïl 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 Deïl.

En 1976, Sekkal-Azzouni présente une étude des stocks plutoniques de la jointure Yetti-Eglab et montre qu'ils sont d'affinité calco-alcaline. Une année après, Bessolés publie une étude sur le craton ouest africain alors que Sabaté et al. (1977) datent l'intrusion du pluton Aftout à 1925 Ma.

SONAREM (1981-1983), a effectué des travaux de recherche systématique 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.

INTRODUCTION GENERALE

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 Tegueur (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 Deïl et de Yetti en se basant sur l'absence de klippes de charriages.

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

Kahoui et al (1996) rattachent le stock plutonique du sud Tinguicht (malginites et syénites mésocrates associées) aux complexes annulaires post-orogéniques tels que ceux de Djbel 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. Tabeliouna et al. étudia la structure annulaire du sud de Gara Djebilet en montrant le caractère tholéiitique 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, Mr TABELIOUNA a 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 l'université d'Oran (Tabeliouna, Lagraa) travaillent présentement dans la région des Eglab.

Une équipe de jeunes doctorants formés par monsieur Tabeliouna travaille sur la région des Eglab.

INTRODUCTION GENERALE

4. Présentation de la région d'étude :

4.1 Situation géographique :

C'est une vaste zone cristalline et cristallophyllienne de direction générale Sud-Ouest / Nord-Est. Le massif Eglab est délimité au nord par l'Anti-Atlas, à l'Est par la zone mobile panafricaine et L'Erg Chech et à l'Ouest par la chaîne des Mauritanides et le bassin d'El Aioun.

Dans le Sud-Ouest Algérien (dans la wilaya de Tidouf), 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 est représentée par trois feuilles à l'échelle 1/200.000 ayant les coordonnées géographiques suivantes :

Tableau 1 : coordonnées géographiques des trois cartes.

Régions	longitude	Latitude
3-Gara Sayada	4°-3° W	27°-28° N
2-Kahal Morat	4°-3° W	26°-27° N
1-Tilemsi Ould Haida	4°-3° W	25°-26° N

INTRODUCTION GENERALE

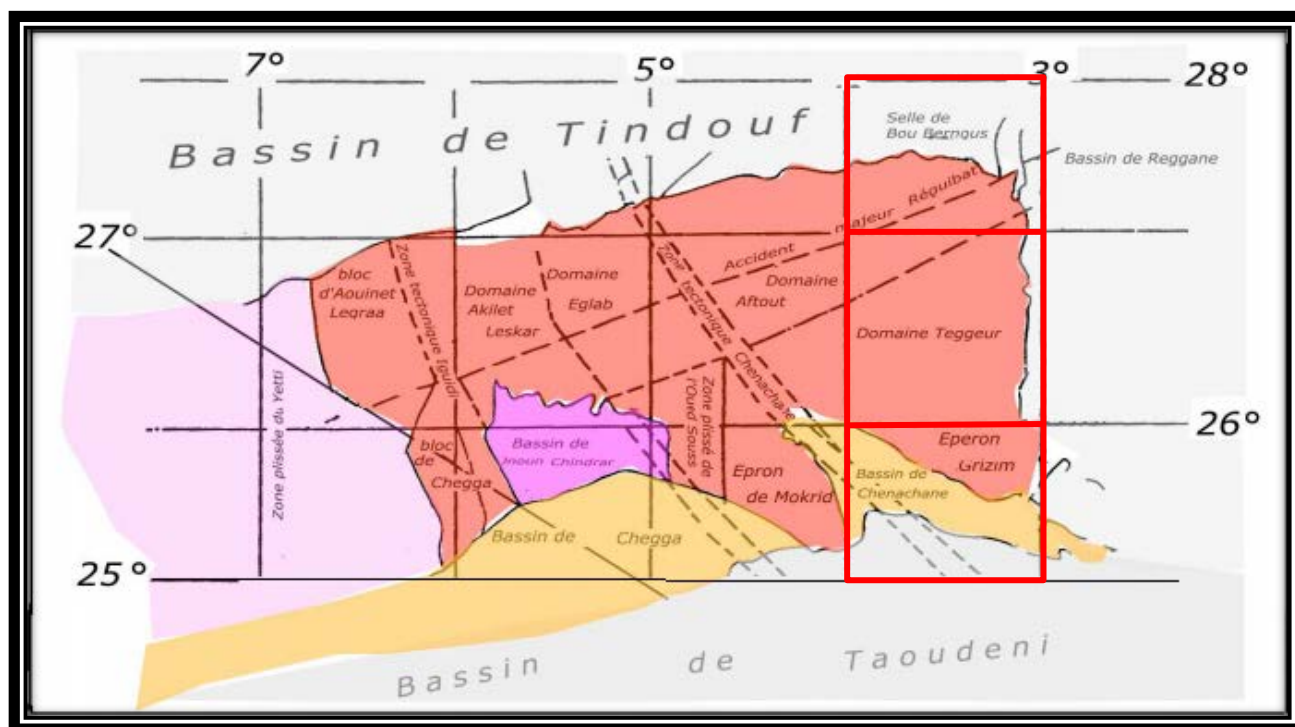


Figure 1: Situation géographique de la région d'étude (EREM, 1983).

4.2 Le climat :

Le climat de la région est saharien de type continental, caractérisé par de faibles valeurs de précipitation et des 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 ; elles oscillent entre 0 mm (enregistrées en juillet et août) et 5,5 mm (valeurs enregistrées en janvier). En revanche, le régime thermique enregistre des 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.

4.3 Le vent :

La région d'Eglab, à l'instar des autres régions sahariennes, est soumise à des vents fréquents durant toute l'année. Leur vitesse dépasse souvent les 5m/s provoquant 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.

INTRODUCTION GENERALE

4.4 La faune et la flore :

Certaines régions en Eglab sont complètement dépourvues de vie animales ou végétales, mais il a d'autres régions (les ergs, djebels, hammadas) sont relativement vivant.

La faune est représentée en générale par des mammifères : Le blair, le chacal, le renard, l'antilope, mohor, les gazelles (la rinn et svouin), le mouflon à manchettes, le guépard, le fenne, les innombrables rats, les gerboises, le lièvre isabelle. Les oiseaux en à l'autruche, l'autarde, les aigles, ganga, la caille, les lézards, les arachnides, et en a aussi quelque insectes.

La flore ; en a que trois espèces d'arbres : Palmiers, dattiers, le talha et l'ethel.

Chapitre I : Géologie régionale.

CHAPITRE I : GEOLOGIE REGIONALE.

1. Introduction :

L'Afrique couvre environ 30 millions km² et compte plus d'un milliard d'habitants. Elle est située entre 37° 21' de latitude Nord et 34° 51' de latitude Sud. Elle se partage entre zones à climats chauds et secs, sous les tropiques, et zones à climats chauds et humides sous l'équateur (Pourtier, 2001).

Le continent africain est bordé par la mer Méditerranée au Nord, le canal de Suez et la mer Rouge au Nord-Est, l'océan Indien au Sud-Est et l'océan Atlantique à l'Ouest. Son histoire géologique comprend plusieurs étapes qui peuvent être résumées en trois ères principales (Choubert et Faure-Muret, 1968) :

- l'ère de la cratonisation ;
- l'ère des chaînes intracontinentales et des grands rajeunissements ;
- l'ère des couvertures de plate-forme et des grandes fractures ou rifts.

Ce continent serait essentiellement composé de plusieurs cratons ou boucliers : le craton du Congo (ou craton centre africain), le craton du Kalahari, mis en évidence par Cahen (1961 et 1963), le craton ouest africain et un craton supposé nilolitique (Figure 2)

Les cratons du Congo, du Kalahari et de la Tanzanie ont été formés entre 3600 et 2000 Ma et sont liés à des ceintures de plis plus jeunes formées entre 2000 et 300 Ma.

Le craton du Kalahari occupe une partie de l'Afrique du Sud et comprend, de part et d'autre de la ceinture du Limpopo, le craton du Kaapvaal, au Sud, et le craton du Zimbabwe au Nord.

Le craton ouest africain a été étudié par Cahen (1961 et 1963). Des études récentes ont permis de situer le craton ouest africain et la Chine de l'Est à la périphérie du super-continent de la Rodinia et dont ils en constituaient les marges continentales (Lefort et al. 2004). La Rodinia serait ainsi formée essentiellement par les anciens cratons qui constituent aujourd'hui le cœur de l'Amérique du Nord, de la Baltique, de l'Inde et de l'Australie (Lefort et al. 2004). Sa genèse remonte vers ~1300 Ma et sa consolidation s'est effectuée probablement durant l'orogénèse Grenvillienne entre 1100 et 1000 Ma (Torsvik et Hartz, 2002 ; Torsvik, 2003).

Des études paléomagnétiques acquises sur le craton ouest africain et leur comparaison avec de nouvelles informations obtenues sur les filons et sur les formations riches en stromatolites ont permis d'établir l'histoire de ce craton entre 2200 et 700 Ma (Lefort et al. 2004). Il se serait donc formé et stabilisé au cours de l'orogénèse éburnéenne (~ 2 Ga).

Le craton ouest africain est limité à l'Est par la zone mobile de l'Afrique centrale en contact avec le bouclier Touareg formé durant l'orogénèse panafricaine (650-550 Ma) selon Bertrand et al, (1978). Il est caractérisé par des shear-zones majeures orientées Nord-Sud, qui peuvent être interprétées comme une amalgamation entre le craton ouest africain et le craton est saharien lors de l'orogénèse pan africaine (Black et Liégeois, 1993; Liégeois et Ennih, 2000).

CHAPITRE I : GEOLOGIE REGIONALE.

Le craton niolitique a été suggéré par Cahen (1961 et 1963). Sa nature géologique a été définie par Liégeois et al. (2002) qui ont proposé le terme de « méta-craton saharien ».

Le craton de Madagascar a une histoire géologique récente en relation avec la dislocation du super-continent de la Gondwana et qui a notamment conduit, d'une part, à la séparation de l'île de Madagascar de l'Afrique et à la formation du canal du Mozambique à partir de 300 Ma et, d'autre part, à sa séparation de l'Inde et à la formation de l'Océan Indien à partir de 85-90 Ma (De Wit et al, 2001).

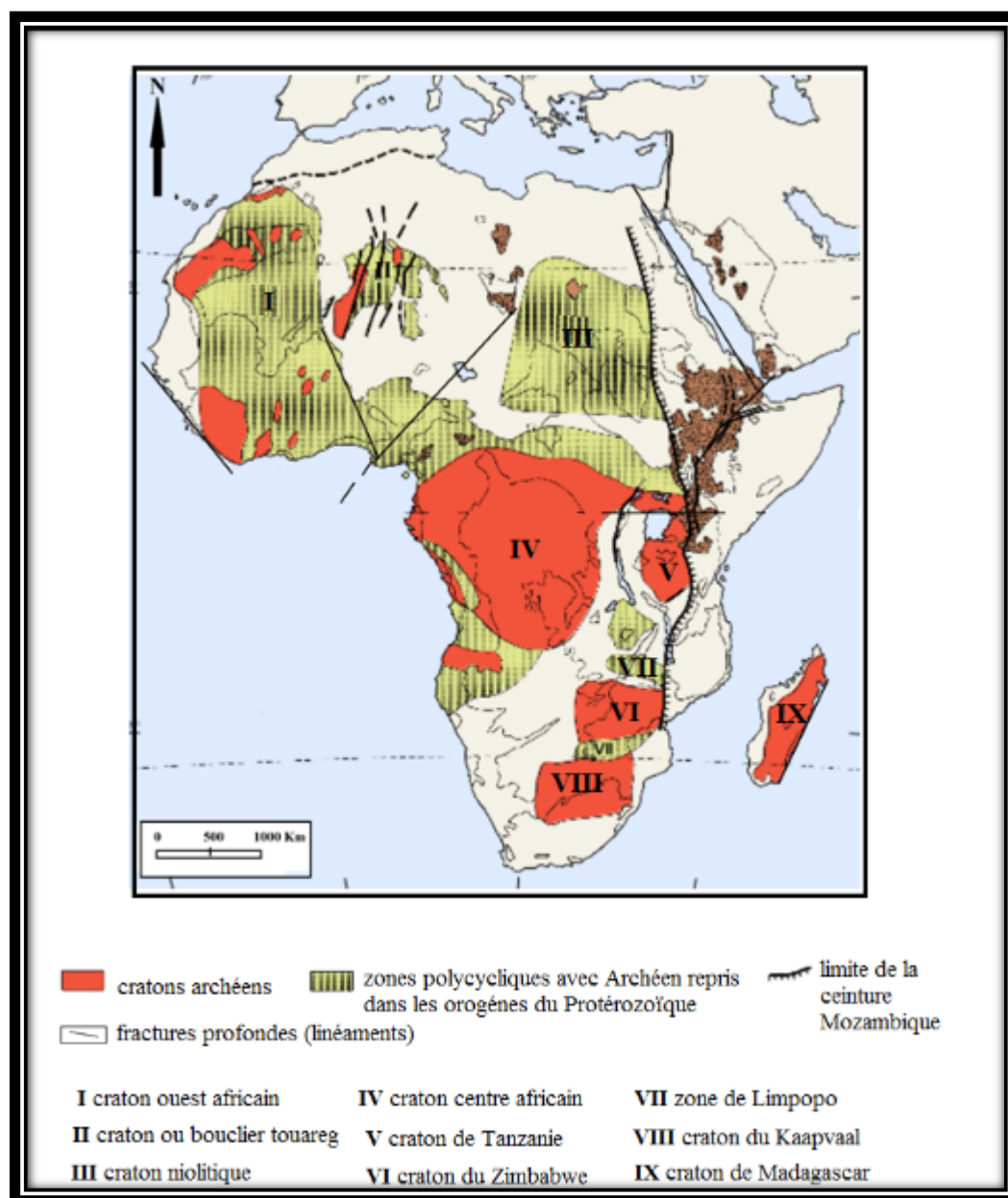


Figure 2: Situation des différents cratons du continent africain (in Choubert et Faure-Muret, 1975).

Les études géologiques et géochronologiques du continent africain, compilées par Clifford (1970), ont permis d'établir les grands épisodes orogéniques majeurs liés à des événements tectoniques, métamorphiques et magmatiques :

CHAPITRE I : GEOLOGIE REGIONALE.

- **L'orogénèse ouzzalienne (~ 3000 Ma)** : a affecté le Tanezrouft oriental et l'Adrar des Iforas en donnant des complexes à faciès granulitiques.
- **L'orogénèse éburnéenne ou ivoirienne (~ 2000Ma)** : est responsable de l'édification d'une chaîne de montagne inexistante actuellement et qui s'étend du Nord au Sud à travers l'Afrique occidentale.
- **L'orogénèse kibarienne (~ 1000 Ma)** : a affecté la partie centrale du continent (Congo, Burundi) ainsi que l'Afrique du Sud.
- **L'orogénèse panafricaine (650-550 Ma)** : s'est déroulée sur une bande de terrains pharusiens situés à l'articulation entre le craton ouest africain et l'Est Saharien.

Ces différents épisodes orogéniques majeurs ont conduit à la cratonisation progressive du continent africain, marquant ainsi son évolution depuis le noyau primitif jusqu'à sa structure actuelle.

2. Le craton ouest africain :

Le craton ouest africain, (C.O.A.), correspond à une vaste étendue de près 4,5 millions km². Il est formé par la dorsale Réguibat coincée entre les bassins Paléozoïques de Tindouf, au Nord, et de Taoudenni au Sud (Figure 3). La partie méridionale du C.O.A comprend le bassin voltaïque, les dorsales de Man et de Léo ainsi que les fenêtres de Kayes et Kéniéba (Bessoles, 1977). Le C.O.A est limité au Nord par l'Anti-Atlas, à l'Est par la zone mobile de l'Afrique centrale (contact avec le bouclier Touareg) et à l'Ouest par la zone mobile de l'Afrique représentant les chaînes poly-orogéniques panafricaine et Hercynienne des Mauritanides.

Les retombées d'ordre lithologique et géochronologique dues aux orogénies qui se sont succédées depuis environ 3000 Ma, montrent une zonalité où les témoins du cycle libérien (Archéen) ont occupé la partie occidentale du C.O.A. (dorsale Réguibat occidentale et domaine Kéniéba-Man), alors que ceux témoignant du cycle éburnéen (Birimien) affleurent essentiellement dans la partie orientale (dorsale Réguibat orientale et domaine Baoulé Mossi). Les formations Eburnéennes sont principalement représentées par des roches sédimentaires associées à des ensembles volcaniques (Bessoles, 1977).

3. La dorsale Réguibat :

La dorsale Réguibat doit son appellation à Menchikoff (1949). Elle correspond à un ensemble cristallophyllien, d'âge Archéen à Paléo-Protérozoïque, situé dans la partie septentrionale du C.O.A. Elle est recouverte, respectivement, au Nord et au Sud par les formations sédimentaires Néo-protérozoïques à Paléozoïques des bassins de Tindouf et de Taoudeni (Figure 3)

CHAPITRE I : GEOLOGIE REGIONALE.

3.1. Cadre géologique de la dorsale Réguibat :

La dorsale Réguibat affleure en boutonnière étirée sur environ 1500 km de long et 250 à 400 km de large entre les parallèles 20° et 27° N et les méridiens 3° et 16°W (Figure 3)

Cette dorsale est divisée en deux zones distinctes :

- Une zone occidentale où dominant des roches d'âge Archéen, datées à 3,5 Ga (Potrel et al, 1996 ; Chardon, 1997 ; Potrel et al, 1998), et formée par des événements successifs entre 3,5 et 3,45 Ga. Ces événements se sont traduits par un épaississement crustal et la mise en place d'un important épisode métamorphique dans le faciès granulite vers 2,73Ga (Portel et al, 1998). Les granites et les formations volcaniques d'âge Eburnéen sont absents.
- Une zone centrale et orientale où dominant les roches éburnéennes, (Protérozoïque inférieur ou Paléo-Protérozoïque), et qui forment les massifs du Yetti et des Eglab (Lasserre et al, 1970). Cet ensemble est plus jeune et a été daté à 2,5 à 1,6 Ga (Vachette, 1964 ; Boher, 1991). Il est constitué de séries métamorphiques, en général de plus faible degré que celles de la partie occidentale, ainsi que par des roches plutoniques et volcaniques.

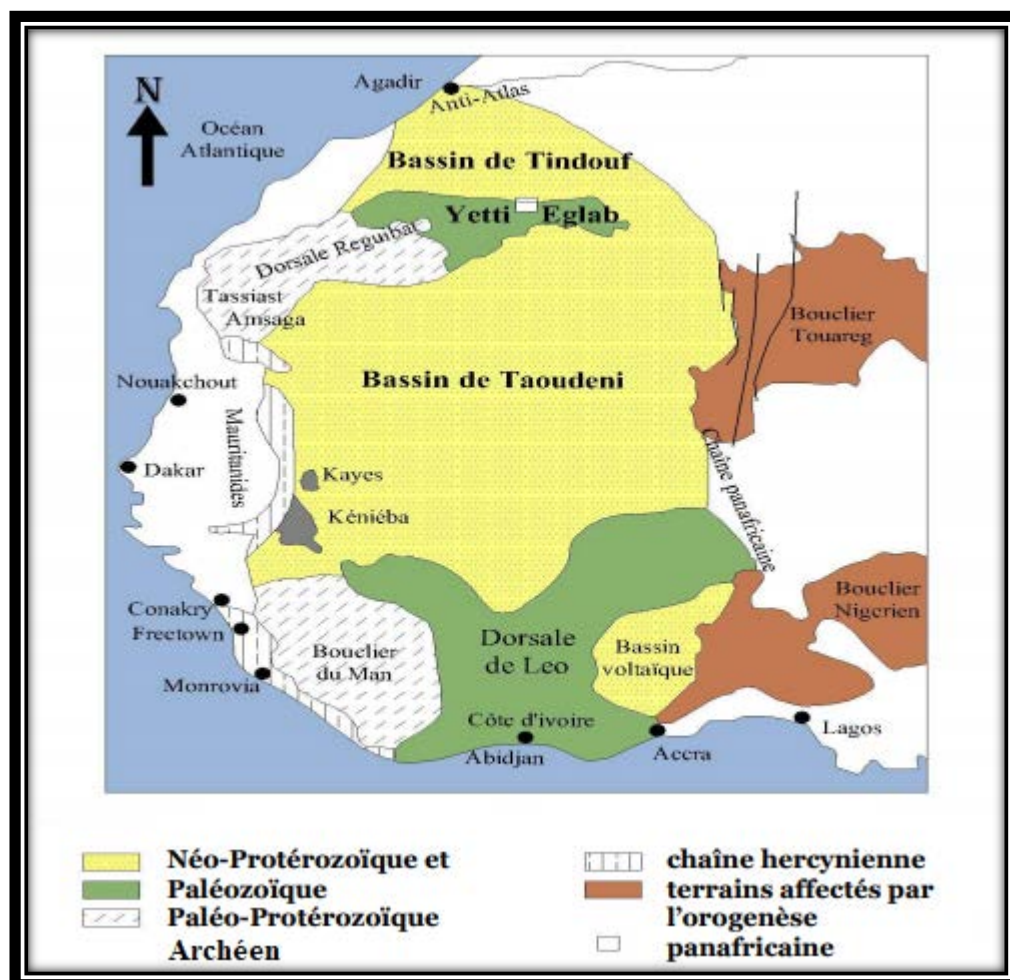


Figure 3: Schéma géologique simplifié du craton ouest africain (in Peucat et al, 2005).

CHAPITRE I : GEOLOGIE REGIONALE.

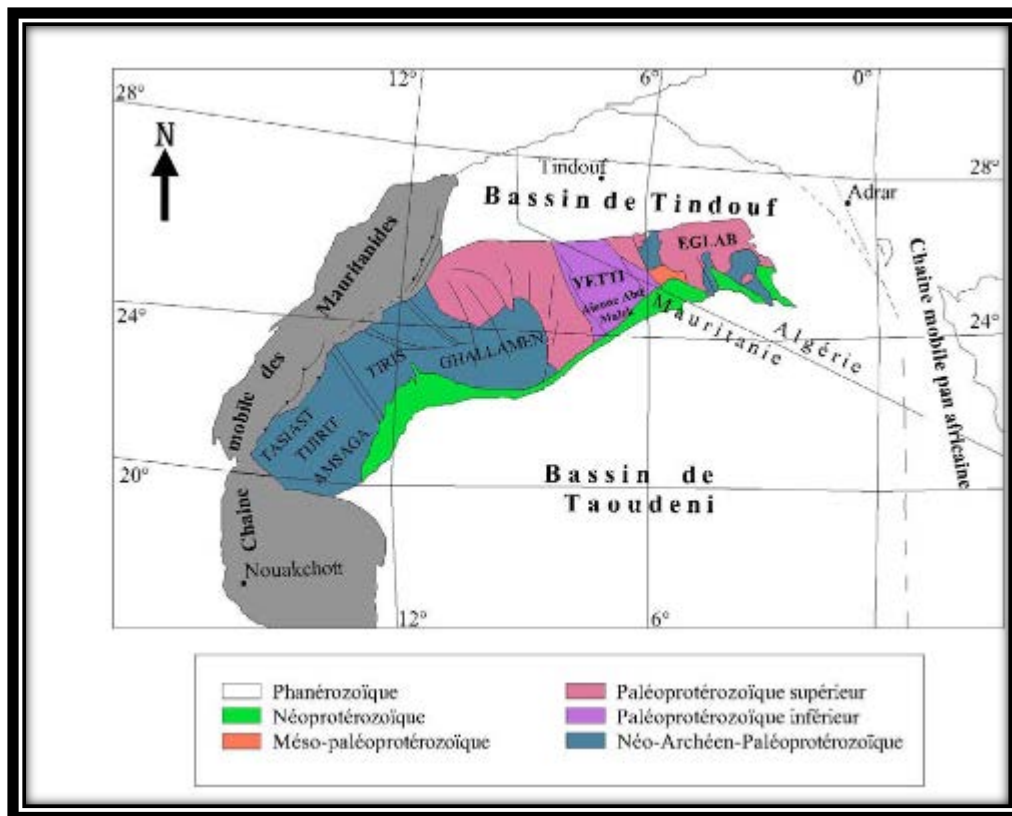


Figure 4: Schéma géologique de la dorsale Réguibat (in Benramdane, 2007).

a) La partie occidentale de la dorsale Réguibat :

Elle se situe essentiellement en territoire Mauritanien. Elle s'étend depuis le Sud- Ouest jusqu'au synclinal de Aïoune Abdel Malek à l'Est (Figure 4). Le socle précambrien du Tasiast, du Tijrit et de l'Amsaga, d'âge Archéen, est désigné sous l'appellation du groupe de l'Amsaga qui est subdivisé en deux grandes unités constituées essentiellement par des migmatites et des roches métamorphiques (Barrère, 1969).

b) La jointure Yetti –Eglab :

Elle correspond à la limite entre le domaine Yetti et le domaine Eglab (Fig.4). Cette limite est connue sous l'appellation de zone de jointure Yetti-Eglab (Sabaté, 1973). Elle regroupe deux ensembles lithologiquement et structuralement distincts (Gevin, 1952 ; Gevin, 1960 ; Buffière et al., 1966 ; Sabaté, 1973) : le domaine Yetti à l'Ouest et le domaine Eglab à l'Est, séparés par une zone de fracture orientée globalement SSE-NWW. Les données paléomagnétiques montrent que les domaines Yetti et Eglab ont représenté des entités géologiques séparées avant qu'elles ne se réunissent vers 2 Ga, engendrant ainsi la collision continentale birrimienne (Lefort et al. 2003).

Le massif Eglab a été affecté par trois épisodes majeurs (Sabaté et Lomax, 1975) :

- La restructuration du socle des formations précambriennes inférieures (Gevin, 1951).

CHAPITRE I : GEOLOGIE REGIONALE.

- L'orogénèse éburnéenne (Buffière et al, 1966 ; Sabaté, 1973).
- Les dépôts discordants de la série marine du Hank dont l'âge est voisin de 1 Ga (Bassot et al, 1963 ; Bertrand-Serfati et Moussine-Pouchkine, 1992).
- Après cette série, c'est le Précambrien de la Dorsale Réguibat qui laisse place aux dépôts glaciaires puis aux sédiments paléozoïques des synéclises de Taoudeni et de Tindouf (Caby, 1965).

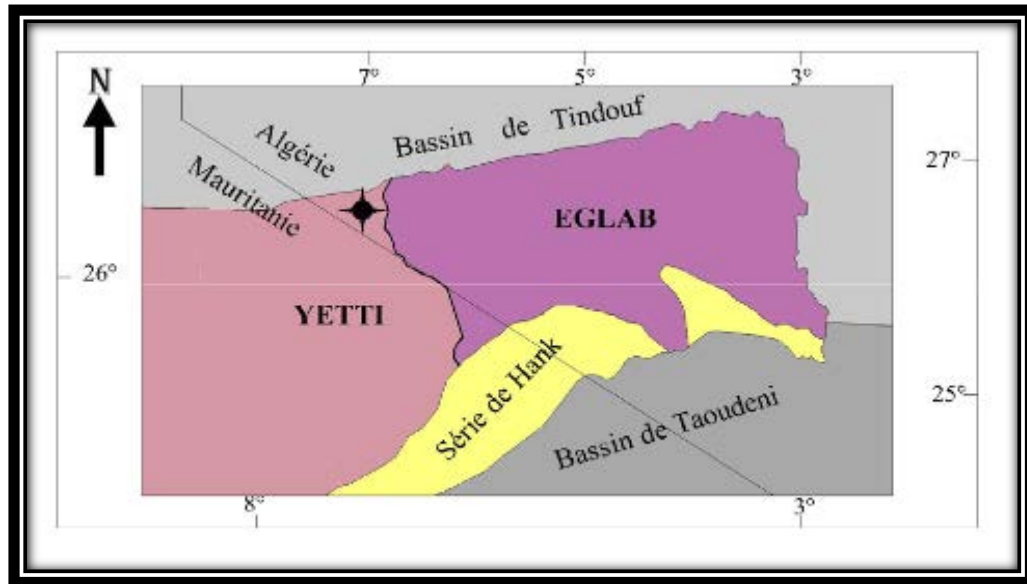


Figure 5: Localisation de la zone de jointure dans le contexte de la dorsale Réguibat (in Tabeliouna, 2009).

c) La partie orientale de la dorsale Réguibat :

Les deux domaines Yetti et Eglab, d'âge PaléoProtérozoïque, sont dominés par les séries Birimo-éburnéennes de nature volcano-sédimentaire et par d'abondantes manifestations magmatiques (Abouchami et al, 1990). Ils ont été structurés par l'orogénèse Eburnéenne entre 2,12 et 2,07 Ga et recouverts ensuite par des séries Néoprotérozoïques et Phanérozoïques (Figure 5).

3.2. Données géologiques de la partie orientale de la dorsale Réguibat :

La partie orientale de la dorsale Réguibat comprend deux domaines distincts : le Yetti à l'Ouest et les Eglab à l'Est, séparés par une de fractures appelée la zone de la jointure Yetti-Eglab (Sabaté, 1973). Cette partie de la dorsale comprend plusieurs séries lithologiques d'âge essentiellement PaléoProtérozoïque (Figure 5).

- a) **La série de Yetti :** représente un ensemble volcano-sédimentaire ayant subi deux phases de plissements et affecté ensuite par des accidents cassants et un serrage dû à la mise en place de plutons granitiques (Sabaté, 1972). Cette série est également traversée par des

CHAPITRE I : GEOLOGIE REGIONALE.

granitoïdes calco-alcalins et qui y ont induit un métamorphisme de contact de type Yetti (Buffière et al, 1965 ; Sabaté, 1973).

- b) **La série d'Akilet Deilel** : distinguée par Sabaté (1973) et correspond à la couverture du domaine Eglab. Elle affleure au Nord et au Nord Est de Bled M'Dena et occupe une dépression orientée SW-NE. Cette série est essentiellement constituée de grés, de quartzites clairs, d'arkoses assez grossiers et de conglomérats polygéniques. Cette série a été affectée par une tectonique tangentielle s'étant caractérisée notamment par un charriage vers l'Ouest (Sabaté, 1978).
- c) **La série de l'Oued Souss** : définie par Buffière et al. (1965) comme un ensemble de formations discordantes sur le système de base Réguibat et affecté par un plissement souple. La série comprend des dépôts volcano-détritiques et des formations volcaniques à hypovolcaniques. Elle est découpée par des accidents coulissants en bandes allongés selon une direction Nord Ouest et Sud Est, présentent parfois le contact discordant entre cette série et son socle métamorphique de la série de Chegga (Sabaté, 1978).
- d) **La série de Chegga** : décrite pour la première fois près de Hassi Chegga par Gevin (1951). Elle constitue le substratum des séries du Yetti et d'Akilet Deilel près de la jointure Yetti-Eglab. La série de Chegga est composée de leptynites, d'amphibolites, de schistes amphiboliques et de migmatites leptynitiques (Buffière et al., 1965). Ces faciès correspondent globalement à des plagiogranites gneissiques à intercalations d'amphibolites témoins d'une croûte océanique superficielle (Peucat et al, 2005).
- e) **Le pluton Aftout** : dont la mise en place est postérieure à la phase plicative de la série de l'Oued Souss. Le magmatisme Aftout est ainsi caractérisé par plusieurs épisodes :
 - a) Des roches vertes basiques représentées par des diorites et des gabbros doléritiques qui sont antérieurs aux granites d'Aftout.
 - b) Des porphyres Aftout, également antérieurs au granites Aftout, et composés de microgranites noirs et de microgranites porphyriques.
 - c) Le volcanisme Aftout, syn- à post-granite Aftout, est caractérisé par des dacites, des andésites ainsi que des émissions plus acides (ignimbrites, rhyolites, brèches pyroclastiques). Cet ensemble aurait subi, par la suite, une tectonique cassante (Lapadu-Hargues, 1947 ; Buffière et al, 1965).
 - d) Les granitoïdes Aftout affleurent essentiellement dans la partie orientale des Eglab et correspondent à la phase la plus récente du plutonisme Eglab (Lassere et al, 1970). Celui-ci comprend des granites (roses à rouges), des diorites et des gabbros (Lapadu-Hargues, 1947).
- f) **Les intrusions basiques** : correspondent à de petites intrusions tardives, de type sills ou laccolites, et qui affleurent en filons de lamprophyres (Buffière et al., 1965), de dolérites, d'aprites ou même de basaltes (Baudin, 1993). Ces intrusions basiques sont plus nombreuses dans la partie orientale (massif des Eglab) que dans la partie centrale et occidentale de la dorsale Réguibat. Les séries Précambriennes de Yetti et d'Akilet Deilel sont également traversées par des dykes doléritiques dont la direction varie de N 40 à N 160. Au niveau de la jointure Yetti-Eglab, les intrusions basiques apparaissent en petits massifs (Sabaté et Lameyre, 1971, Azzouni-Sekkal, 1976) et constituent deux groupes : l'un occidental affleurant dans les régions de Bled M'dena, d'El Kahla et le long des

CHAPITRE I : GEOLOGIE REGIONALE.

grands filons doléritiques méridiens, l'autre, appelé groupe de la jointure, forme un alignement de petits plutons d'orientation méridienne sur la bordure du batholite Aftout.

g) La couverture inférieure :

a) La couverture infratillitique inférieure : comprend deux séries principales :

- **Le volcanisme terminal des Eglab:** il s'agit d'un volcanisme acide, correspondant la dernière manifestation éruptive qui a donné la forme des reliefs des Eglab. Il est constitué essentiellement de rhyodacites, de rhyolites, de dacites et parfois d'andésites ainsi que des brèches et des tufs. Ce volcanisme recoupe le granite Aftout mais peut également le remanier sous forme de brèches ou même parfois aussi le recouvrir.
- **La série de Guelb El Hadid :** elle est postérieure au volcanisme Eglab, et essentiellement détritique et composée d'une succession de bancs gréseux et avec intercalations de conglomérats reposant en discordance sur les termes antérieurs du cycle Eglab (Clauer, 1971 et 1973). La série est affectée par des plissements de direction Nord-Sud, reconnue entre le méridien d'Aouïnet Bel Legrâa et celui de Chenachane, est située dans la partie inférieure de la couverture infratillitique. Elle est subdivisée en deux épisodes à caractères épicontinentaux (Buffière et al, 1965) :
 - ✓ **Le Guelb El Hadid inférieur :** comprend un ensemble gréseux, un complexe volcano-sédimentaire et des conglomérats remaniant des roches volcaniques de la série de l'Oued Souss.
 - ✓ **Le Guelb El Hadid supérieur :** discordant sur le précédent, il est représenté par deux faciès comprenant des grès roses conglomératiques à la base et des grès grossiers feldspathiques.

b) La couverture infratillitique supérieure : correspond à la série du Hank. Elle est discordante sur la série de Guelb El Hadid. Elle représente une série marine qui débute par des dépôts gréseux et s'achève par des calcaires à stromatolites (Buffière et al, 1965). C'est avec cette dernière que s'achève le Précambrien de la dorsale Réguibat au-dessus duquel viennent en discordance les dépôts glaciaires tillitiques issus des bassins paléozoïques de Tindouf et de Taoudeni (Gevin, 1973). Ainsi, la zone de la jointure Yetti-Eglab est caractérisée par une succession d'événements éburnéens que nous avons essayé de schématiser dans la figure 6.

Le socle le plus ancien de la région correspond à la série de Chegga et son granite, d'âge 2094 ± 2 Ma selon Peucat et al. (2005), qui constituent ensemble le substratum des séries du Yetti (2086 ± 8 Ma).

L'unité de la série du Yetti, d'âge (Birimien I, est plissée, métamorphisée et érodée avant le dépôt des séries supérieures d'Akilet Deilel et de l'Oued Souss, d'âge Birimien II (Buffière et al, 1965).

Le domaine Yetti-Eglab est essentiellement composé de plutons granitiques post-tectoniques qui correspondent à des granites Aftout d'âge 2071 Ma. Ensuite, se sont mises en place des roches volcaniques felsiques du volcanisme Eglab vers 2074-2065 Ma. Celles-ci recoupent ou reposent sur des formations volcano-sédimentaires plissées (série d'Oued Souss) ou des formations métamorphiques plus anciennes. La série de Guelb Hadid représente la couverture de cet ensemble.

CHAPITRE I : GEOLOGIE REGIONALE.

La dernière phase est représentée par des dépôts discordants de la série marine du Hank qui termine le Précambrien de la dorsale Réguibat avant les dépôts glaciaires puis les sédiments paléozoïques des bassins de Taoudeni et de Tindouf.

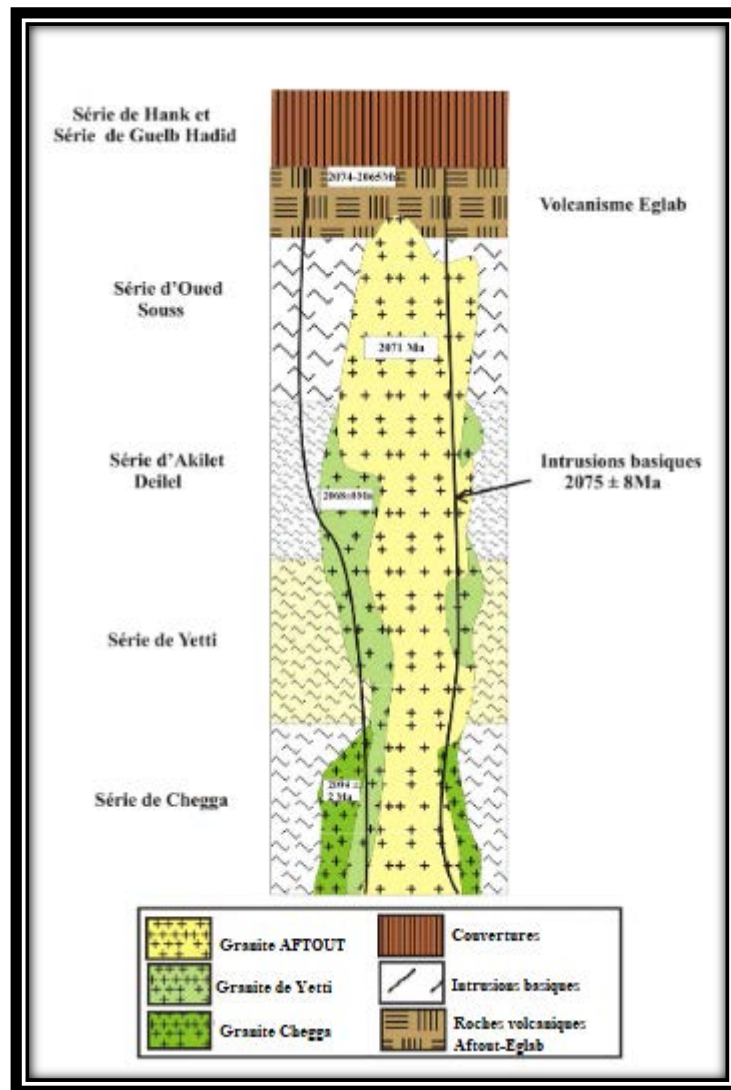


Figure 6 : Log synthétique représentant les différentes séries de la jointure Yetti-Eglab. (Les âges repris Peucat et al, 2005).

3.3. Evolution tectonique de la partie orientale de dorsale Réguibat :

Plusieurs épisodes tectoniques ont affecté la région et peuvent être distingués globalement en cinq phases principales (Buffière et al, 1965) :

- La phase tectonique Réguibat : c'est la phase reconnue la plus ancienne et qui a affecté les formations archéennes ou protérozoïques. Elle est orientée SW-NE et a été souvent reprise dans des phénomènes tectoniques ultérieurs.
- La phase tectonique Yetti succédant à la phase Réguibat et se traduisant par un système de fractures SSE-NNW déterminant la formation de deux unités principales de la dorsale : le massif de Yetti et le massif des Eglab.

CHAPITRE I : GEOLOGIE REGIONALE.

- Une phase postérieure au dépôt de la série du Guelb El Hadid et formant un système d'accidents sub-méridiens.
- La phase considérée comme le plus récent des événements liés aux plissements des séries du Hank et du Chenachane, et qui correspond à des fractures de direction SSE-NNW qui laissent penser qu'il s'agit d'un nouveau jeu de la phase Yetti.
- la phase postérieure au dépôt du Dévonien précoce du bassin de Taoudeni et qui est caractérisée par le jeu des accidents précédents. Elle provoque également l'individualisation de nouvelles fractures de direction subméridienne. Cette phase est probablement antérieure au dépôt des grès du bassin du Tindouf.

Chapitre II : Géologie de la région d'étude.

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE.

1. Introduction :

La région d'étude est située au Sud-Ouest de l'Algérie, dans la partie extrême Est des Eglab. Elle est composée de trois feuilles régulières au 1/200.000 : Gara Sayada, Kahal Morat et Tilemsi Ould Haïda.

Une synthèse sur les caractéristiques géologiques (litho-stratigraphie ; tectonique ; magmatisme ; minéralogique), a été réalisée à partir des différents rapports et travaux de recherches géologiques et systématiques sur ces trois feuilles.

Le territoire d'étude appartient à la partie orientale des Eglab, il est délimité par des coordonnées de 3° à 4° longitudes Ouest et 25° à 28° altitudes Nord (Figure7).

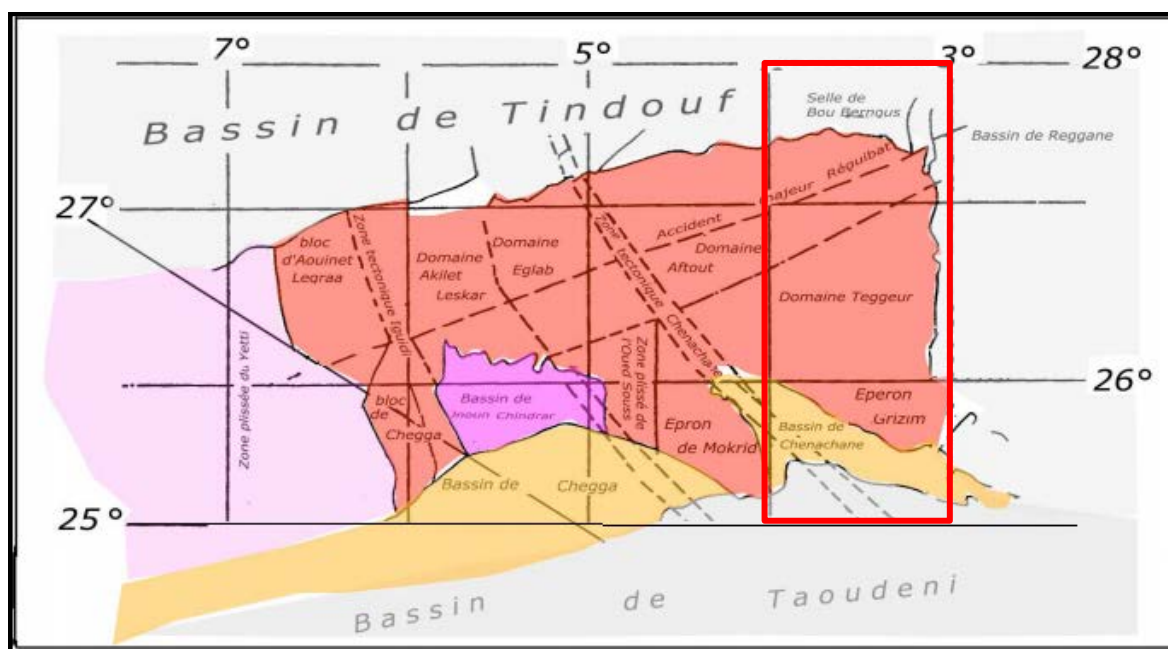


Figure 7: Schéma structural de la région d'étude (EREM, 1983).

2. Litho-stratigraphie :

2.1 Quaternaire :

2.1.1 Dépôts éoliens Q2:

Ce sont des sables éoliens fins formant des dunes de plusieurs dizaines de mètres de hauteur. On les observe surtout au Nord et au Sud de la région (au Nord-Est de la feuille Gara Sayada et à l'Est de Tilemsi Ould Haïda), et ils sont représentés par des cordons dunaires. On

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE.

les rencontre aussi piégés dans les creux des élévations au Sud-Est de la région (au Sud-Est de la feuille Kahal Morrat et sur l'étendu Est de Tilemsi Ould Haïda).

2.1.2 Dépôts d'éluviaux et de piedmonts (Alluvions et Regs) Q1 :

- Dépôts d'éluviaux et de piedmonts : Ils résultent de la désintégration des roches volcaniques, et de la croûte silico-carbonatée, et sont déplacés vers les parties inférieures des surélévations de types volcaniques ou sédimentaires.

- Dépôts alluvionnaires des oueds: sont représentés par des éboulis de roches de puissance métrique, de natures différentes, cimentés par un matériel calcaire- argileux, à passées d'argiles calcaire-sableuses, dans la partie supérieure par des sédiments sableux et des graviers mis en place dans les lits contemporains des oueds.

- Regs allochtones développés au pied des élévations et autochtones développés sur les granites.

-Ces dépôts s'étendent sur toutes les trois feuilles.

L'Age des sédiments lacustres (sables, silts, travertins) datent de 9 000 ans.

2.2 Tertiaire :

2.2.1 Néogène - Pliocène (N2) :

2.2.1.1 Hamada (Les formations sédimentaires) :

Il est représenté par une croûte silico- carbonatée, d'aspect bréchique et d'une puissance métrique avec alternance de calcaire et de grès. Cette formation couvre de vastes plateaux tabulaires occupant de grandes superficies et se présentent sous différentes formes :

- En grandes dalles de quelques dizaines de kilomètres de longueur, de puissance métrique et de largeur variant de 1 à 12 Km. Elles gisent selon trois directions principales : Nord Sud, Nord Est et Nord-Ouest.
- De buttes témoins de quelques mètres de hauteur.
- D'une mince couche laissant, par endroits, entrevoir les formations sous-jacentes, dont l'épaisseur tend à augmenter en allant vers le Sud. La lithologie de cette formation montre une croûte silico-carbonatée, d'aspect bréchique, constituée par différents éboulis, cimentés par un matériel calcaireux et des alternances de bancs métriques de calcaire dolomitique, calcaire gréseux à fines intercalations de gypse.

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE.

2.2.1.2 Formations intrusives post paléozoïques (Ô):

Elles sont caractérisées par plusieurs venues magmatiques durant des étapes géologiques différentes. Ces formations de composition dioritique et doléritique à grains fins et moyens affleurent en sills et en dykes au Sud Est de la feuille de Kahal Morrat, dans la région de Draa El Guerb et au Sud-Ouest de la feuille de Tilemsi où elles recoupent les formations du Paléozoïque Inférieur. Elles traversent aussi les formations protérozoïques de natures différentes.

2.3 Primaire (Paléozoïque) :

2.3.1 Cambro-Ordovicien (1E-0) :

Il est composé essentiellement par des séries sédimentaires constituées d'alternances de grés et grés quartzitiques jaune et jaune - marron à grains fins, moyens et grossiers.

Les grés et quartzites qui affleurent sur la feuille de Kahal Morrat(Nord-Est) et Gara Sayada (Nord et Sud-Est).

Les grés affleurent au Sud de la feuille de Tilemsi Ould Haïda.

2.3.2 Eocambrien :

Il est représenté par des roches argileuses, à éléments et galets de différentes roches. Ce sont des argiles morainiques caractéristiques, dont la puissance ne dépasse pas 10 m et caractérisées par de petits plissements d'origine glacio-tectonique. Cette formation sub-horizontale, de pendage doux, gît suivant la direction Nord-Ouest à Sud-est. Elle affleure au Sud de la feuille de Tilemsi Ould Haïda. Elle est désignée sur la carte géologique, par la lettre T (Tillite) dont l'âge est d'environ 560 M.A.

2.4 Protérozoïque :

Durant cette période, plusieurs manifestations magmatiques se sont produites. On y retrouve essentiellement divers générations de volcanites ainsi que des roches plutoniques d'âges différents.

Le développement de certaines roches telles les diorites, et les gabbro-diorites, s'est échelonné sur plusieurs époques de cette période.

Les formations sédimentaires affleurent surtout dans la partie sud de la région (feuille Tilemsi Ould Haïda) et sont caractérisées par des niveaux organogènes de calcaires à conophyton et à collénia.

Deux époques géologiques caractérisent le protérozoïque: le Néoprotérozoïque et le Paléoprotérozoïque.

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE.

2.4.1 Néoprotérozoïque (Série du Hank) :

C'est une formation de type plate forme, à pendage doux (1° - 2°), s'est mise en place sur un socle cristallin aplani dont l'âge est compris entre 1000 et 600 MA (H.Clauer1973). Elle renferme des roches calcaireuses, organogènes représentées par des niveaux de calcaires à collénia et des calcaires à conophyton.

Les calcaires à conophyton et à collénia sont bioclastiques. Les colonies de ces organismes sont conservées en position de leur croissance naturelle. Ce sont des conophyton atteignent parfois quelques mètres de hauteur et environ 10 m de diamètre.

Les espaces qui les séparent sont remplies de détritus composé de leurs fragments broyés (calcaires bio clastiques). Ces formations affleurent particulièrement au Sud de la feuille de Tilemsi Ould Haïda, et gisent selon la direction Nord-Ouest - Sud Est. Au Sud - Est de Kahal Morrat, ces roches sont conservées sur des surfaces très réduites (région de Draa El Guerb).

Deux ensembles de roches sont distinguées:

2.4.1.1 Ensemble inférieur calcaire (NP_a) :

Il est représenté par des calcaires bleus, des grés ferrugineux versicolores et des calcschistes rubanés très répandus au Sud Est de la feuille Kahal Morrat.

Au Sud de la feuille de Tilemsi, cet ensemble est plus développé, avec à la base, des calcaires et des grés surmontés par des calcaires gris à collénia, passant vers le haut à des calcaires à conophytos dolomitiques, de grés ferrugineux versicolores, de calcaires rubanés, en plaquettes, blancs et de schistes calcaires laminés versicolores.

2.4.1.2 Ensemble supérieur calcaire-gréseux(NP_b) :

C'est un ensemble de roches constitué d'une alternance de grés feldspathiques roses, de grés verts, de calcaires spathiques et de grés quartzitiques en plaquettes clairs.

2.4.2 Paléoprotérozoïque :

2.4.2.1 Volcanisme :

Les séries volcaniques de cette région sont surtout de nature acide et rarement basique. Elles apparaissent sur le terrain sous forme de monticules et en petites chaînes de montagnes d'altitude variable, elles forment également des reliefs aplanis. On distingue les volcanites de type Eglab et les volcanites de type Aftout-Eglab.

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE.

a. Volcanisme Eglab :

Les roches volcaniques de type Eglab sont majoritairement de nature acide, de couleur rouge brique, rougeâtre ou noirâtre, assez souvent sujettes à des phénomènes de recristallisation et présentent en général une structure microcristalline. Ces roches sont représentées par plusieurs faciès: Rhyolites, rhyodacites, tufs et brèches volcaniques.

b. Volcanisme Aftout - Eglab :

Aux roches volcaniques de type Eglab, sont associées les roches volcaniques indifférenciées dites volcanites Aftout Eglab (rapport O.R.G.M 1984). Cela représente des passages progressifs entre les roches volcaniques, déterminées en tant qu'Aftout, à celles définies comme roches volcaniques de type Eglab. Ces faciès sont observés en plusieurs endroits de la région.

Leur âge n'est pas déterminé vu que leur contact, immédiat, avec les granites n'est pas visible.

Ces roches affleurent en grande partie dans la feuille de Kahal Morrat et on les retrouve également au Nord-Ouest de la feuille de Tilemsi Ould Haïda et au Sud et Sud-Ouest de la feuille de Gara Sayada.

c. Volcanisme Aftout :

Les roches volcaniques de type Aftout occupent des aires importantes dans les trois feuilles. La plupart de ces roches sont de nature acide, de couleur noirâtre, rougeâtre, rouge brique et grise. Ces roches sont de texture aphanitique et sont représentées principalement par des rhyolites, des rhyodacites, des dacites, des tufs et des brèches volcaniques.

d. Plutonisme associé :

Les roches volcaniques sont étroitement liées à un plutonisme de composition variée qui est structuré comme suit:

- **Granites Aftout** : Les granites Aftout sont diversifiés et très répandus sur l'ensemble de la région (feuille Gara Sayada, Kahal Morrat et Tilemsi Ould Haïda). Ils se présentent sous différents aspects et de dimensions variables. Il s'agit de dykes de différents paramètres ou de vastes structures de forme ovale.
- **Porphyres Aftout** : Les porphyres Aftout sont des roches sub-volcaniques liées au volcanisme Eglab, elles sont de couleur gris brunâtre, constituent un massif étendu dans la partie Sud Est de la feuille Kahal Morrat et occupent une surface très réduite au Nord Est de la feuille de Tilemsi Ould Haïda et Gara Sayada. Ces roches présentent une structure hyp-idiomorphe, porphyrique et sont constituées

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE.

d'une pâte microgrenue) feldspaths-quartz et amphibole peu abondante, renfermant des phénocristaux de feldspath potassique.

- **Roches vertes Aftout :** Les roches vertes d'Aftout coexistent surtout avec les granites de type Aftout. Elles sont relativement abondantes au Nord de la région et on les rencontre également au Sud. Elles sont représentées par les diorites et gabbrodiorites, sous forme de dykes ou de sills, à grains fins ou moyens, de couleur verdâtre, grise ou noire.

Les dykes sont surtout localisés le long des oueds.

- **Série d'Oued Souss :** Cette série est constituée par des roches volcaniques et volcano-détritiques fortement fissurées et schistifiées, qui affleurent sur les trois feuilles.
- **Série de chénachène - Erg chèche :** Cette série est représentée par plusieurs faciès plutoniques, elles sont abondantes sur la feuille de Kahal Morrat, et au Nord de la feuille de Tilemsi Ould Haïda et très réduite au Sud de Gara Sayada.

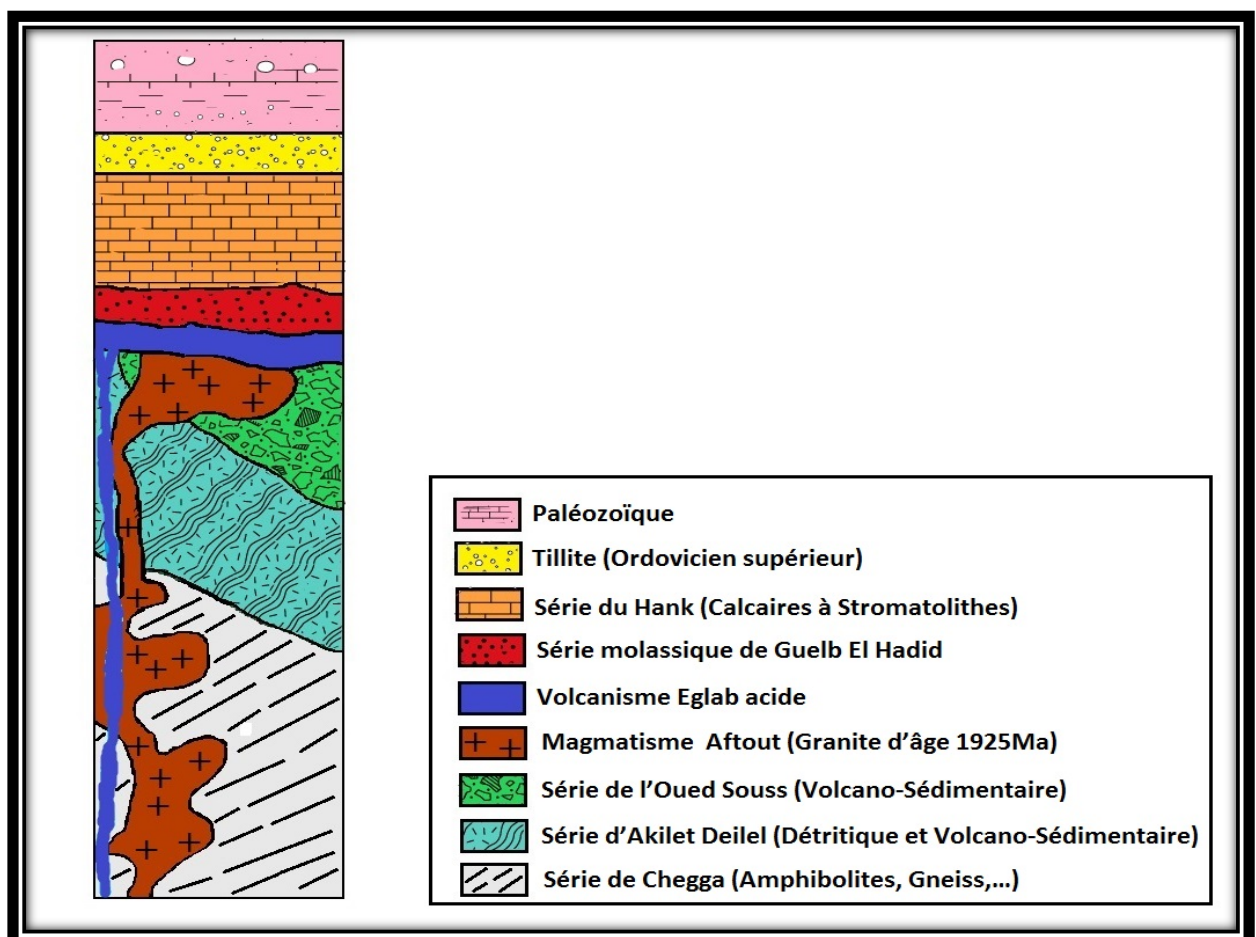


Figure 8: Log stratigraphique synthétique de la région d'étude.

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE.

3. Tectonique :

3.1 Tectonique globale dans le massif des Eglab :

Les premiers schémas structuraux proposés (SERMI, 1965 et EREM, 1983) sont très peu argumentés.

3.1.1 Les phases tectoniques :

Les ultimes épisodes magmatiques (Yetti et Aftout-Eglab) qui se sont manifestés sur les deux domaines du Protérozoïque rendent difficile une lecture précise des phases tectoniques. Une chronologie des événements tectoniques du massif a été proposée (Buffière et al. 1965 et EREM, 1983) ; plus tard, de nouveaux éléments ont permis de préciser, par endroit, l'évolution structurale (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 sublatitudinales et subméridiennes ; cette phase n'est pas datée, elle peut être éburnéenne précoce ;
- **la phase Yetti** serait responsable du collage Yetti-Eglab, de l'apparition des intrusions sur le domaine Yetti, des accidents subméridiens mylonitiques (SSE-NNW) et des plissements des séries Yetti, akilet Deilel et Oued Souss;
- **Les mouvements panafricains** : ces mouvements représentent les contrecoups de l'orogénèse panafricaine, qui a 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 Néoprotérozoïque et rejeux d'anciens accidents Eburnéens N-S, NW-SE, ENE-WSW et SSE-NNW;

Les phases tectoniques du Phanérozoïque sont lisibles uniquement sur la 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** reprend les traces des directions anciennes (NNW-SSE) ; elle serait à l'origine des môles (Laroussi et Aouinet Legraa) dans le bassin de Tindouf ;
- **la phase Hercynienne** phase majeure; elle est responsable des plissements de la couverture paléozoïque (synclinaux dissymétriques de Tindouf et Taoudenni) et rejeux d'accidents orientés N20°;
- **la phase post-triasique** est responsable de la mise en place des dykes doléritiques, répandus dans la ceinture paléozoïque.

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE.

3.2 Principaux traits structuraux:

Ils ont permis une subdivision structurale de la région en plusieurs blocs ou domaines tectoniques qui sont les suivants:

- Le bloc de Chegga.
- Le bloc d'Aouinet Legraa.
- La zone faillée du Yetti.
- Le domaine d'Akilet Lakser.
- Le bassin El Djnoun Chindrar.
- Le domaine Aftout-Eglab.
- La zone plissée de l'oued Souss
- Le bassin de Chegga.
- L'éperon Mokrid.
- Le domaine de Tegguer.
- Le bassin de Chenachène.
- L'éperon de Grizim.

3.3 Tectonique dans les feuilles Kahal Morrat, Tilemsi Ould Haïda et Gara Sayada :

La partie orientale des Eglab englobe un ensemble d'unités structurales définies sur la base de la différenciation de l'image de la structure géologique. La région de la feuille de Kahal Morat englobe le domaine Aftout-Eglab et le domaine de Teggueur. La feuille de Tilemsi Ould Haïda comprend l'Eperon de Grizim et le prolongement de la zone de dislocation de Chénachène. La feuille de Gara Sayada inclut le domaine Aftout-Eglab et la zone plissée de l'Oued Sous.

3.3.1 Feuille Kahal Morrat :

Sur la feuille de Kahal Morrat, le domaine Aftout-Eglab est formé de granites et de volcanites Aftout-Eglab. À l'Est affleure le pluton granitique Aftout, entouré par des zones de roches volcaniques, constituant la partie Nord-Ouest de la feuille.

L'autre partie est occupée par le domaine de Teggueur, caractérisé par de nombreuses zones de dislocations méridiennes et de formations de fentes d'extension et de remplissage par des dykes de nature acide et basique. Leurs directions varient du Nord-Ouest au Nord-Est.

Au sein de ces deux domaines, le réseau tectonique est très développé. On distingue, en premier, les failles régionales les plus importantes, de direction Nord Sud, qui recoupent plusieurs formations, et se prolongent sur plusieurs dizaines de kilomètres. Au Nord Est de la

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE.

feuille, un autre système d'accidents majeurs, de direction Nord-est, est disloqué par les accidents précités.

La partie Sud Est de la feuille est marquée par une abondance de dykes de direction Nord-Ouest souvent acides, recoupés par des failles de direction Nord-Sud.

Au Nord de la feuille, la faille de direction Nord Est, qui s'étend sur plusieurs kilomètres, traverse les granites rouges ainsi que les volcanites Aftout. Elle est recoupée et décalée par le réseau de des failles de direction subméridien. Ce système de failles le plus ancien de la zone de Réguibat et des Eglab est contemporain de l'intrusion plutonique Aftout. Il est accompagnée par une activité volcanique caractérisée par des dépôts volcano-détritiques de la série d'Oued Souss.

Ces roches volcaniques ont un âge 1995 MA.

Le système tectonique subméridien est très développé sur tout le territoire d'étude, Il est souligné par des directions orientées NS, NNE et NNW. Ce système subméridien est accompagné par un magmatisme alcalin représenté en général par des grands dykes de microgranite rouge et des dykes et sills doléritiques ainsi que les dykes de composition à dominance acide.

La structure générale de la feuille est marquée par trois blocs (Ouest, Centre et Est) délimités par des failles majeures NS, suivies sur plusieurs dizaines de kilomètres. Ces failles, masquées par les formations superficielles du Néogène et du quaternaire, recoupent toutes les formations Paléoproterozoïque et affecte le système de faille de direction NE.

Une grande concentration de dykes, souvent de composition acide, est observée dans la majeure partie de la feuille.

Les dykes acides et les failles qui les empruntent de ce système, recoupent les formations de la série de base, celles de l'Oued Souss, les granites Aftout et les volcanites Aftout- Eglab.

Un autre système de direction Est-Ouest est également jalonné par des dykes de rhyolite. Les accidents tectoniques NE sont recoupés par le système méridien alors que les dykes de microgranite et dolérite subméridiens sont traversés par les dykes rhyolitiques NW ayant joué tardivement.

3.3.2 Feuille Tilemsi Ould Haïda :

Sur l'ensemble de la feuille de Tilemsi Ould Haïda, on dénombre quelques failles majeures de direction subméridiennes, représentant le prolongement des failles précitées dans

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE.

la feuille de Kahal Morrat. Elles sont localisées dans la moitié Est de la feuille. Il s'agit du système d'accidents subméridiens de direction NS, NNE et NNW.

Le système de failles subméridien est accompagné également dans cette région par un magmatisme alcalin qui se manifeste sous forme de dykes de microgranite rouge et de dolérite ainsi que par des dykes acide.

Une grande concentration de dykes de direction NNE est observée au Nord-ouest et au Sud-est de la feuille. Les dykes basiques, orientés NS, affleurent dans sa partie centrale, ils traversent les granites Aftout, les roches volcaniques, volcano-détritiques de Oued Souss ainsi que les granites et granites migmatitiques de la série de base.

D'autres failles de direction NNO et N E sont également recensés. Elles sont recoupées par les failles subméridiennes.

3.3.3 Feuille Gara Sayada :

La phase effusive Aftout postérieure à la série de l'Oued Souss n'a pas subi la phase de plissement qui a affecté celle-ci ; la tectonique est donc simple avec seulement des accidents cassants ayant produit des décrochements et parfois des basculements de faible ampleur au voisinage des failles.

Cette opposition structurale avec la série de l'Oued Souss est particulièrement nette en plusieurs endroits, où l'on constate qu'il y a discordance entre les formations à pendage oblique et les formations horizontales qui les recouvrent.

De très nombreux accidents cassants parcourent le Gara Sayada mettant fréquemment en contact des formations différentes, bien que n'ayant qu'un faible rejet. Les failles se produisent fréquemment aussi au contact de l'encaissant, notamment avec les granites Aftout qui sont venus disloquer la couverture volcanique ; la bordure joue préférentiellement provoquant des contacts tectoniques qui ne facilitent pas la détermination des positions respectives des matériaux volcaniques et granitiques.

Les directions des accidents sont variables ; cependant les directions méridiennes et subméridiennes sont les plus fréquentes et les plus importantes. La direction oblique E NE-W SW et aussi bien présentée et les autres directions sont rares.

4. Minéralisations :

Dès le début du siècle passé, la région a suscité l'intérêt des chercheurs et des compagnies minières à l'origine des premiers indices et gîtes minéraux exploitables (BIA, 1960, SERMI, 1965). Les efforts de recherche relancés vers la fin du vingtième siècle ont mis

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE.

en évidence de nouveaux indices et de nouvelles substances, permettant ainsi de confirmer le potentiel minéral du massif et de ses bordures sédimentaires (EREM, 1983) (figure 9).

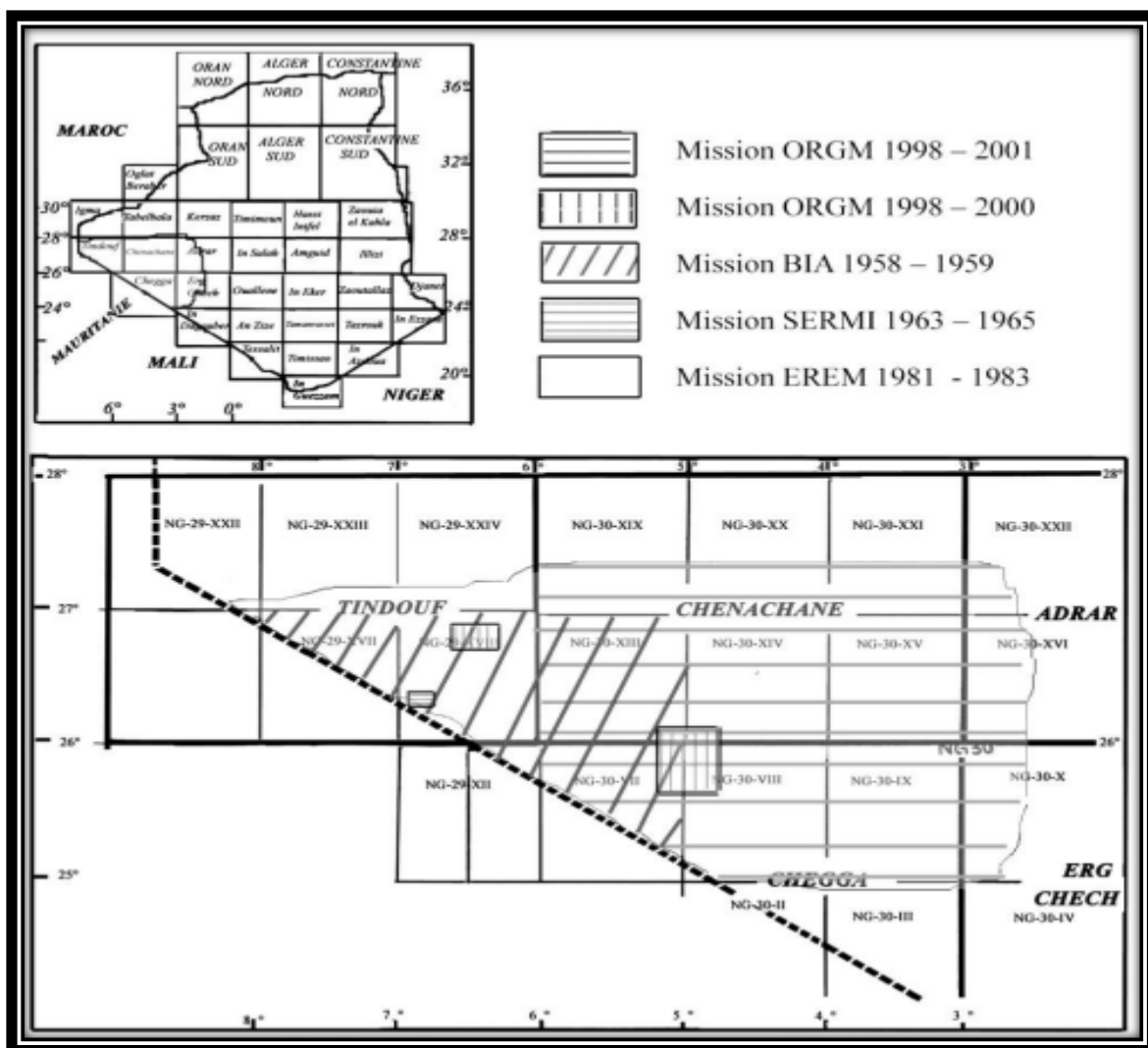


Figure 9: Surfaces prospectées sur le massif Eglab(EREM, 1983).

Mis à part les gisements de Fer oolithique (Gara Djebilet et Mecheri AbdelAziz) reconnus sur la bordure nord du massif Yetti-Eglab, des indices de Fe, de Cu et des points minéralisés à U, V, Ni et Co sur la bordure sud du massif ainsi que des anomalies radio-actives à U-Th de la Hamada, l'essentiel des indices sont localisés sur l'ensemble cristallin. Ils sont localisés dans une bande médiane allongée NE-SW située entre les parallèles N 26° et N 26° 45° et regroupées en trois zones distinctes avec d'Ouest en Est (Figure 10) (EREM, 1983):

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE.

1. zone Ouest-Eglab (Djebilet, Bled M'Dena et Areiguet Lemha),
2. zone Centre-Eglab (Eglab Salem et Djebel Drissa),
3. zone Est-Eglab, (Kahal Morrat, Tilemsi Ould Haïda et Gara Sayada)

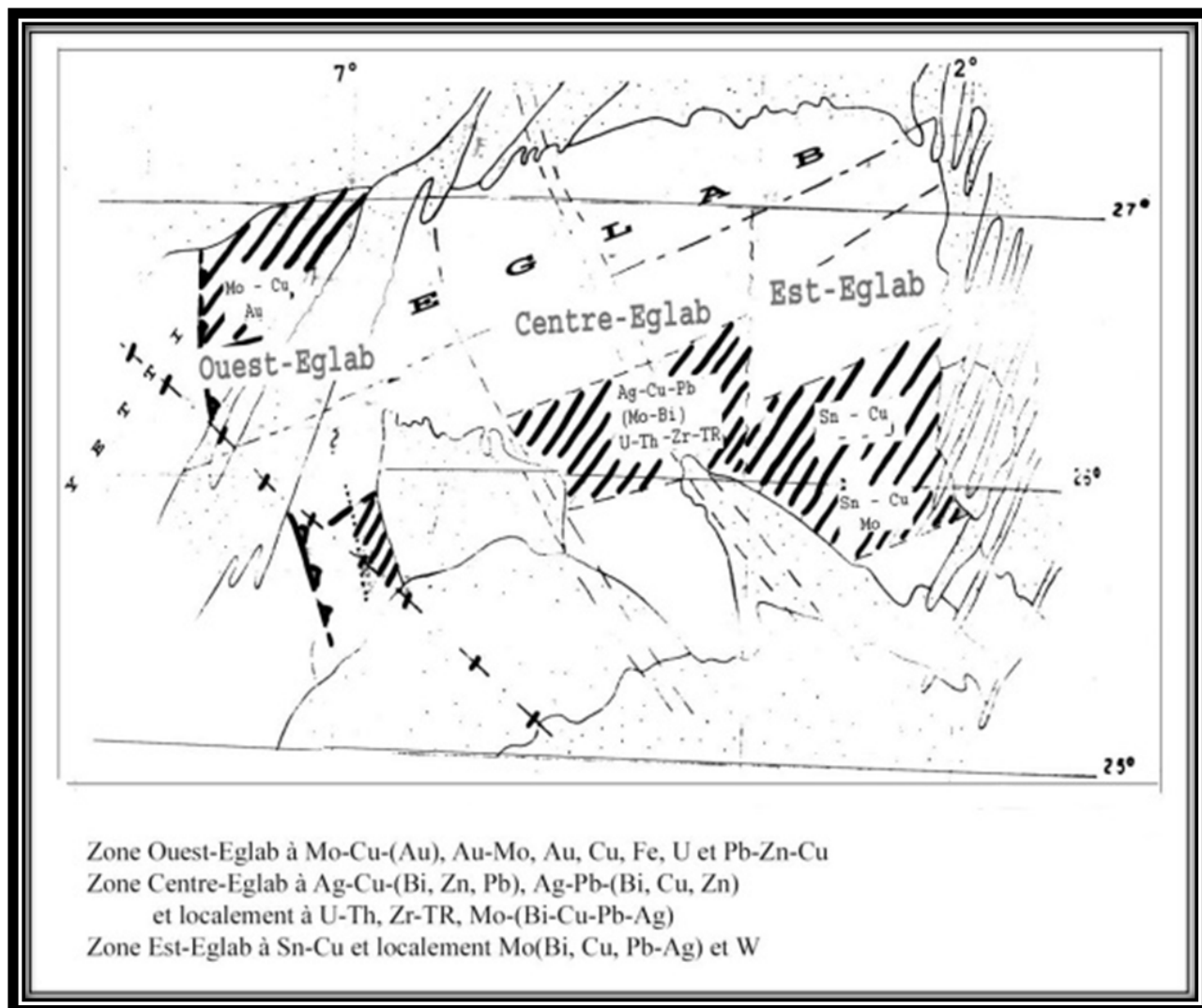


Figure 10 : zones métallifères potentielles de l'ensemble cristallin du massif Yetti-Eglab (EREM 1983).

4.1 Les principaux métaux :

Les associations métalliques d'origine magmatique et de type hydrothermal les plus fréquentes sur le massif Yetti-Eglab sont à: (1) Mo-Cu-(Au), (2) Sn-Cu, (3) Mo-(Bi, Cu, Pb, Ag), (4) Ag-Cu-(Bi, Zn, Pb), (5) Ag-Pb- (Bi, Cu, Zn), (6) Au-(Cu-Fe), (7) U-Th et (8) Zr Terres Rares.

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE.

Il y a lieu de retenir que :

- a) Sur l'ensemble cristallin, le Molybdène de type filonien (Mo, W) est le plus répandu avec un indice à Mo (Cu-Au) de type porphyry est jugé très prometteur. Les occurrences de Cuivre sont nombreuses essentiellement de type filonien. Les occurrences d'Uranium et Thorium sont liées aux zones de fractures affectées par des altérations hydrothermales. Les Terres Rares ont été reconnues dans un seul massif (Djebel Drissa) avec des teneurs élevées en Nb, Y, et Ce (EREM, 1983 et Kahoui, 1988). L'Or filonien a été reconnu dès les premiers travaux, mais le type « orogenic gold » en liaison avec les zones de cisaillement semble le plus prometteur (Benramdane et al. 2001).
- b) Sur l'ensemble sédimentaire de bordure de faibles concentrations d'U, V, Ni, Co et Cu et éventuellement Li et Co ont été révélées dans les niveaux détritiques Néoprotérozoïque du Hank. Idem pour les séries paléozoïques du flanc Sud du bassin de Tindouf où la présence de concentrations de Pb-Zn, Ag, Li, Zr et TR de type « Red Bed » sont soupçonnées. Enfin, les anomalies radioactives révélées dans les calcrêtes hamadiennes laissent penser à des concentrations uranifères de type calcrête (EREM, 1983).
- c) La présence du Diamant est fort probable, en plus du contexte géologique et géophysique (massif du Craton Ouest-africain) favorable, la campagne de prospection spécifique au diamant réalisée récemment ont permis de découvrir des minéraux indicateurs (ORGM, 2001). Les ultimes recherches sur le massif (Kahoui et al; 2008) permettent de considérer le massif Yetti-Eglab comme potentiellement favorable à la découverte de sources primaires de diamant.

Chapitre III : Télédétection.

CHAPITRE III : TELEDETECTION.

1. Introduction

La télédétection est utilisée de manière croissante dans différents domaines ; des dizaines de satellites d'observation de la Terre sont en orbite et fournissent en permanence des milliers d'images pour des applications militaires mais aussi de plus en plus pour des applications civiles telles que la gestion des ressources naturelles, la climatologie, l'océanographie, la géographie ou la cartographie.

2. Notions sur la télédétection :

2.1 Définition

"La télédétection est la science et l'art d'obtenir l'information sur un objet, surface ou phénomène à travers l'analyse des données acquises par un moyen qui n'est pas en contact avec l'objet, la surface ou le phénomène à étudier" (Lillensand & Kiefer, 1987).

La télédétection est l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci. Télé signifie "à distance" et détection veut dire "découvrir" ou "détecter" (Commission interministérielle de terminologie de la télédétection aérospatiale, 1988).

La télédétection est une discipline qui cherche à obtenir des informations de la Terre en utilisant des images acquises par des satellites ou des plateformes aériennes et en se servant de la radiation électromagnétique émise ou réfléchi par la surface terrestre (Lillesand et Kiefer, 1994 ; Chuvieco, 1996).

La télédétection utilise les propriétés physiques des objets pour acquérir des informations sur leur nature. Ceci implique une interaction entre l'énergie qui est transmise par le rayonnement électromagnétique et les objets. Pour la plupart des plates-formes satellitaires, cette énergie est enregistrée par un capteur et transmise à une station de réceptions, sous forme d'une image numérique (Lillesand et Kiefer, 1994).

2.1.1 Historique de la télédétection :

- 1783 : Première ascension en ballon par les frères Montgolfier
- 1839 : Mise au point de la photographie (NIEPCE, DAGUERRE).
- 1844 : Premières photographies aériennes réalisées depuis un ballon par G.F. Tournachon dit NADAR.
- 1856 : Le même NADAR fait breveter l'installation d'une chambre photographique à bord d'un ballon pour la prise de photographies aériennes verticales.
- 1858-1898: LAUSSEDAT expérimente systématiquement l'utilisation de la photographie aérienne (ballon) en cartographie et met au point les méthodes de la photogrammétrie.
- 1909: Premières photographies depuis un avion (WRIGHT).
- 1914-1918 : Utilisation intensive de la photographie aérienne comme moyen de reconnaissance pendant la 1ère guerre mondiale.

CHAPITRE III : TELEDETECTION.

- 1919 : Mise au point du premier restituteur stéréoscopique moderne (appareil de POIVILLIERS) pour l'utilisation des photographies aériennes en cartographie topographique.
- 1919-1939 : Essor de la photographie aérienne pour la cartographie et la prospection pétrolière (Moyen-Orient).
- 1940 : Apparition des premiers radars opérationnels en Grande-Bretagne (bataille d'Angleterre).
- Depuis 1945: Développement continu de la photographie aérienne comme méthode opérationnelle de cartographie et de surveillance de l'environnement. Perfectionnement des appareils et des émulsions (infrarouge).
- 1957 : Lancement de Spoutnik 1, premier satellite artificiel.
- 1960-1972 : Développement parallèle de la technique des satellites et des capteurs (mise au point des radiomètres et radars imageurs).
- 1960 : Lancement de Tiros, premier satellite météorologique équipé de caméras de télévision pour le suivi des masses nuageuses.
- 1964-69 : Embarquement d'appareils photographiques à bord d'engins spatiaux habités.
- 1972 : Lancement d'ERTS, rebaptisé Landsat 1, premier satellite spécialisé de télédétection des ressources terrestres.
- 1974-78 : Mise en place, sous l'égide de l'Organisation Météorologique Mondiale, du réseau des satellites météorologiques géostationnaires.
- 1978 : Lancement de Seasat, premier satellite spécialisé dans la télédétection de l'océan, équipé, entre autres capteurs, d'un radar.
- 1982 : Apparition de la haute résolution spatiale pour l'observation de la Terre : lancement de Landsat 4, équipé du radiomètre « Thematic Mapper ».
- 1986 : Lancement de SPOT 1 (Système Probatoire d'Observation de la Terre), satellite français de télédétection. Début de l'exploitation commerciale des images (Société Spotimage).
- 1991 : Mise en orbite et début de l'exploitation du satellite européen ERS-1, équipé de plusieurs capteurs passifs et actifs pour l'étude de l'environnement global de la planète.
- 1999 : Lancement par la société privée Space Imaging Corp. du satellite IKONOS, offrant des images à très haute résolution spatiale (1 m)
- 2007 : lancement du satellite géostationnaire AISat 1 par l'ASAL (Agence Spatial Algérienne).
- Aujourd'hui, des centaines de satellites d'observation de la Terre sont en orbite et des milliers d'images pour des applications militaires et civiles sont retransmises chaque jour.

2.1.2 Domaines d'applications de la Télédétection :

Domaine Marin :

- Océanographie physique: Courants, structures, température, salinité
- Océanographie biologique: Chlorophylle, productivité, affleurements, pêcheries et aquaculture
- Effets météorologiques: Brumes et vents.
- Changement climatique: Qualité eaux, déversements.

CHAPITRE III : TELEDETECTION.

Domaine terrestre:

- Environnement: Réserves de biosphère, zones protégées, dunes...etc.
- Inventaire et contrôle des masses végétales et forestières.
- Cartographie de combustibles.
- Surveillance des incendies.
- Inondations, volcanisme...etc.
- Cartes des risques.

Domaine Atmosphérique:

- Études des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.
- Prévisions météorologiques.
- Prévisions des catastrophes (tempêtes et vents...etc.).
- Énergies renouvelables (éolienne, solaire).
- Qualité de l'air : Pollution Atmosphérique, aérosols, brumes...etc.
- Changement climatique: Réchauffement, pluies, vents, aérosols...etc.

2.1.3 La télédétection et la géologie :

La télédétection a été utilisée pour examiner la composition et la structure des autres planètes et satellites naturels. La télédétection est un outil qui permet l'extraction d'information sur la structure ou la composition de la surface de la Terre. Elle est souvent combinée à d'autres sources de données pour des mesures complémentaires. À partir de la réflectance spectrale, les données multi-spectrales peuvent fournir de l'information sur la composition lithologique des roches. Le radar fournit des informations sur la rugosité et la géométrie de la surface et est donc très utile, surtout quand il est combiné avec des données provenant d'autres sources pour produire une représentation détaillée du relief.

La télédétection n'est pas limitée aux applications géologiques directes ; elle est aussi utilisée dans la planification et la logistique, comme la planification des routes d'accès dans une région minière, la surveillance de projets de réclamation, et dans la création de cartes de base sur lesquelles les données géologiques peuvent être superposées.

2.1.4 Les 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

CHAPITRE III : TELEDETECTION.

- la cartographie et surveillance des phénomènes naturels
- la cartographie des risques géologiques
- la cartographie planétaire.

2.2 Bases physiques de la télédétection :

Quel que soit le domaine d'application considéré, une bonne interprétation des documents de télédétection ou une bonne utilisation des données numériques nécessite la compréhension des propriétés du rayonnement électromagnétique et principes physiques sur lesquels sont fondés la technique de télédétection.

Pour bien comprendre le principe de fonctionnement de la télédétection, il est indispensable de rappeler quelques principes de base de la physique quantique.

➤ Le rayonnement électromagnétique : (REM)

Le rayonnement électromagnétique est une forme de propagation de l'énergie dans la nature, dont la forme qui nous est la plus familière est la lumière visible telle que la perçoit l'œil humain. Le rayonnement est reconnu par les physiciens comme un phénomène ondulatoire, en relation avec l'électricité et le magnétisme. Ainsi, une onde électromagnétique correspond à la vibration simultanée dans l'espace d'un champ électrique et d'un champ magnétique (figure 11). Elle se caractérise par :

- ✓ **Période T** : le temps au bout duquel le champ électrique ou magnétique effectue un cycle : ($T = 1/\nu$).
- ✓ **La fréquence ν** : (en Herz, ou dans le cas de la télédétection caractérisée par des fréquences très élevées, les mesures sont kHz, MHz ou GHz) : qui est le nombre d'oscillations par unité de temps ;
- ✓ **La longueur d'onde ou amplitude λ** : (m, μm) la distance entre deux crêtes consécutives;
- ✓ **La vitesse de propagation dans le vide** (vitesse de la lumière) de l'ordre de 300 000 km/s.

Sa relation fondamentale $c = \lambda \cdot \nu = \lambda/T$ { $c \text{ (ms}^{-1}\text{)} = \lambda \text{ (m)} \nu \text{ (Hz)} = \lambda/T$ }.

La physique moderne a montré que le rayonnement électromagnétique pouvait également être considéré comme un déplacement de particules élémentaires appelées photons transportant une quantité d'énergie par entités élémentaires ou quanta d'énergie pouvant être assimilés à des particules appelées photons.

CHAPITRE III : TELEDETECTION.

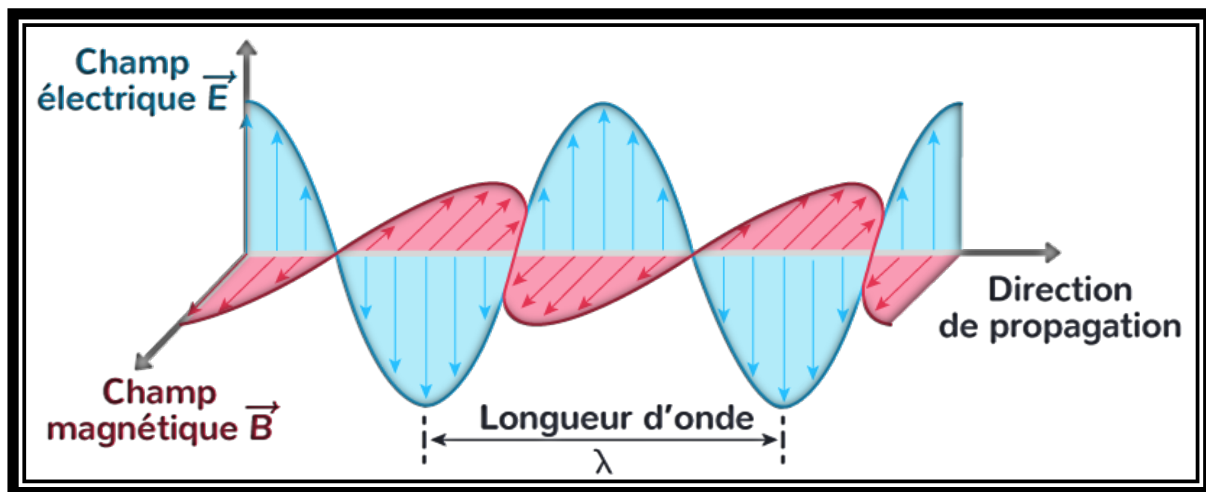


Figure 11 : L'Onde électromagnétique simple (monochromatique, plane).

➤ Le spectre électromagnétique :

Le spectre électromagnétique est le résultat de la décomposition du rayonnement électromagnétique en plusieurs fréquences (ou longueurs d'ondes). Il s'étend des courtes ondes (rayons γ , rayons X) jusqu'aux grandes ondes telles que les micro-ondes et les ondes radio.

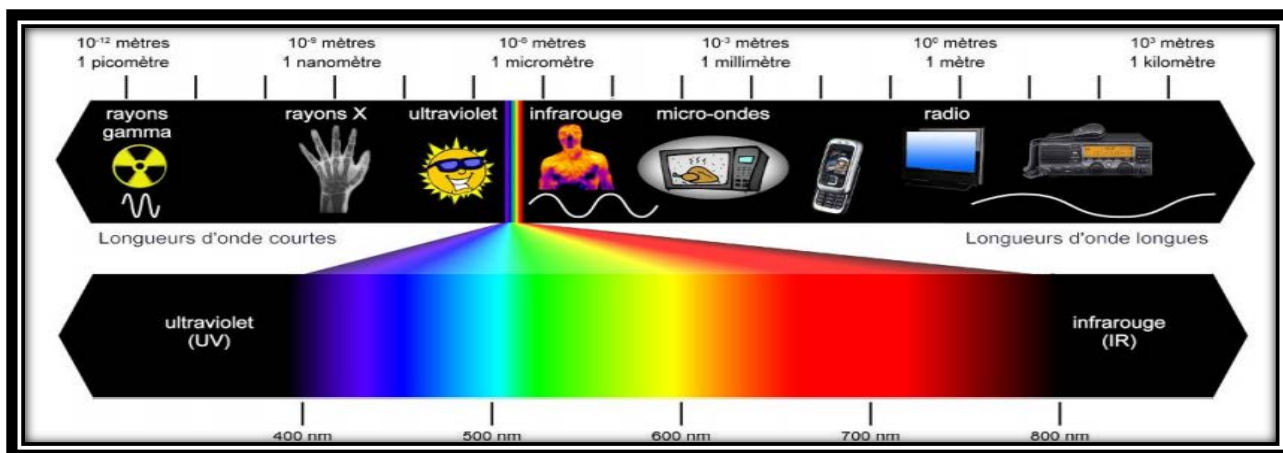


Figure 12 : Spectre de rayonnement électromagnétique.

La télédétection utilise plusieurs régions (ou morceaux) de ce spectre électromagnétique : Domaine du visible et L'infrarouge.

2.3 Les sept étapes clés de la télédétection :

On distingue sept grandes étapes dans le processus de télédétection :

- A. source d'énergie ;
- B. Interaction Rayonnement-atmosphère ;

CHAPITRE III : TELEDETECTION.

- C. interaction avec la cible ;
- D. enregistrement de l'énergie par le capteur ;
- E. transmission, réception et traitement ;
- F. interprétation et analyse ;
- G. Application.

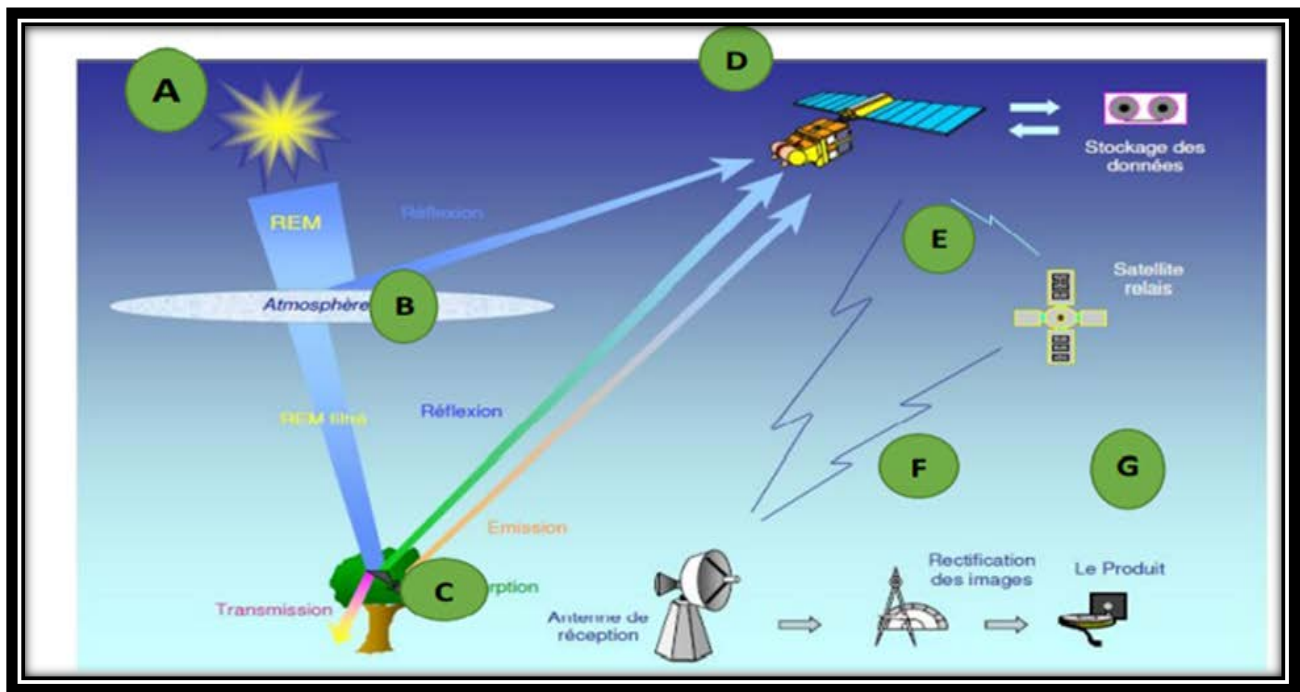


Figure 13 : Les sept étapes clé de la télédétection.

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

La Source d'énergie est un élément très important qui est indispensable pour illuminer la cible observée, En distingue deux types de source :

- **Source passive** : cette source est représentée par le soleil.
- **Source active** : une source fabriquée par l'homme.

2) Etape B : Interaction rayonnement – atmosphère :

Durant son parcours (aller) entre la source d'énergie et la cible, le REM interagit avec les éléments constitutifs de l'atmosphère. Une seconde interaction a eu lieu au retour c'est-à-dire entre la cible et le capteur.

Interactions au cours de la traversée des couches atmosphériques

Lors de la traversée de l'atmosphère, le REM subit des interactions avec les divers constituants de l'atmosphère. Deux phénomènes interactifs majeurs sont observés : la diffusion et l'absorption.

CHAPITRE III : TELEDETECTION.

- ❖ **La Diffusion** du rayonnement est causée par les atomes, molécules, poussières et autres particules atmosphériques. Selon la longueur d'onde émise et les dimensions de ces obstacles, on distingue trois types de diffusion : diffusion de Rayleigh, diffusion de Mie et une diffusion non sélective.
 - A. **Diffusion de Rayleigh** : Elle se produit dans les couches supérieures de l'atmosphère lorsque les dimensions des obstacles (en général molécules de gaz) sont inférieures à la longueur d'onde. La diffusion est affectée des courtes ondes en particulier le visible.
 - B. **Diffusion de Mie** : les obstacles atmosphériques sont pratiquement de même taille que la longueur d'onde. Ce sont principalement les aérosols et les molécules d'eau, omniprésentes dans les basses couches atmosphériques.
 - C. **Diffusion non sélective** : concerne toutes les longueurs d'onde, les obstacles sont les grosses particules et les gouttelettes d'eau.
- ❖ **L'absorption** : C'est une caractéristique liée à l'énergie de l'objet absorbant qui dépend de sa composition chimique ou minéralogique (molécules). Le rayonnement absorbé modifie donc l'énergie interne des molécules du corps absorbant (augmentation de sa température). L'absorption du REM à divers effets : ozone, oxygène, gaz carbonique, méthane, vapeur d'eau...etc.

L'ozone	inférieures à 290 nm.
L'oxygène	autour de 760 nm.
La vapeur d'eau	l'infrarouge proche, moyen et thermique.

Tableau 2: L'absorption du REM à divers effets.

Les longueurs d'ondes ayant une faible atténuation atmosphérique sont appelées fenêtres atmosphériques, en télédétection, les longueurs d'ondes les plus utilisées sont classées aux tableaux suivants :

CHAPITRE III : TELEDETECTION.

Bande spectrale	Longueur d'onde
Le visible	0.4 -0.7 μm (400 - 700nm)
Le proche infrarouge	0.7 -1.5 μm (700 - 1500nm)
L'infrarouge moyen	1.5 – 3 μm (1500 - 3000nm)
L'infrarouge thermique	3 -15 μm (3000 - 15000nm)
Les micro-ondes ou hyperfréquences	1 mm – 1 m

Tableau 3: les bandes spectrales et leurs longueurs d'ondes.

3) Etape C : Interaction Rem – Cible :

Le rayonnement qui n'est pas absorbé ou diffusé dans l'atmosphère peut atteindre et interagir avec la surface de la Terre. Lorsque l'énergie atteint la cible, la surface peut absorber (A) l'énergie, la transmettre (T) ou réfléchir (R) l'énergie incidente. La proportion de chaque interaction dépendra de la longueur d'onde de l'énergie, ainsi que de la nature et des conditions de la surface.

La télédétection s'intéresse au rayonnement réfléchi par une cible. La réflexion spéculaire et la réflexion diffuse représentent deux modes limites de réflexion de l'énergie.

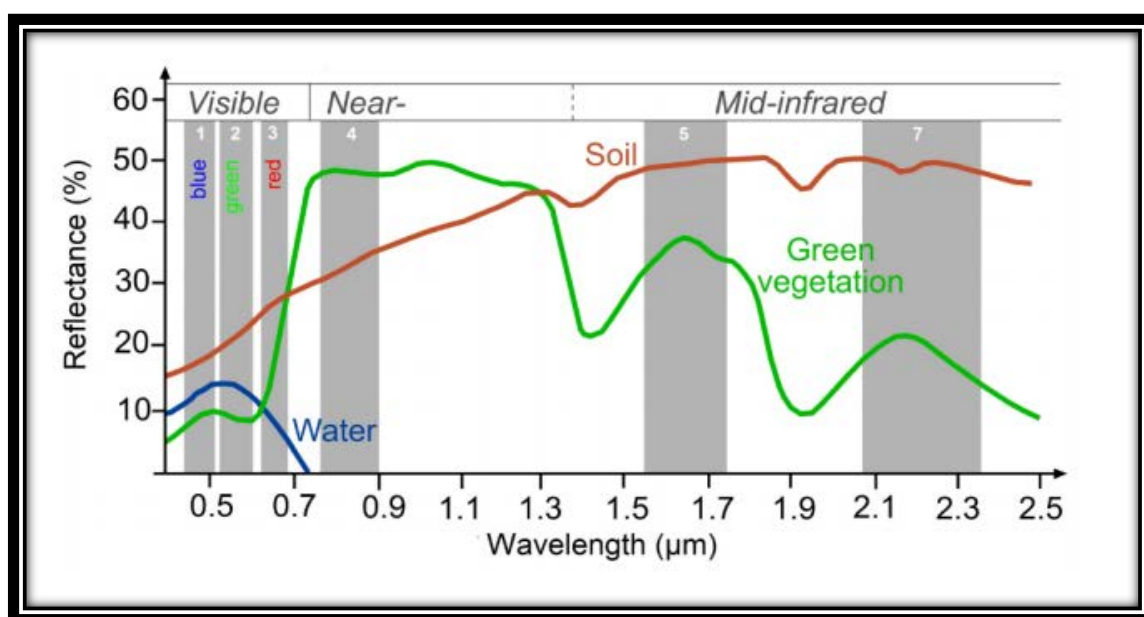


Figure 14 : les signatures spectrales du sol, l'eau et la végétation.

CHAPITRE III : TELEDETECTION.

4) Etape D : Enregistrement De L'énergie

L'énergie diffusée ou émise par la cible est captée et enregistrée sous format numérique grâce à un capteur embarqué à bord du vecteur. Selon la source d'énergie émise (soleil ou source provoquée) et réfléchi par la surface de l'objet.

- **Les vecteurs :** En générale on a : les avions, ballons, navette spatiale et les satellites.
- **Les captures: (les satellites)**

C'est la phase d'enregistrement des ondes réfléchies, en pratique il y a trois types de satellites:




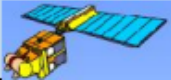
Les vecteurs	Avantages	inconvénients
avions 	Choix de la date et de l'heure Choix de la trajectoire et du lieu. Adaptation des capteurs à la mission. Haute répétitivité et haute résolution.	Perturbations de trajectoire Limitation d'altitude Fonctionnement coûteux
ballons 	Bonne résolution spatiale Trace au sol plus importante Fonctionnement peu coûteux	Trajectoire incertaine
navette spatiale 	Grande couverture spatiale Adaptation des capteurs à la mission Haute résolution spatiale	Faible répétitivité Fonctionnement coûteux Prix de revient coûteux
satellites 	Bonne couverture spatiale Bonne répétitivité Peu coûteux	Résolution spatiale plus faible Nombreux paramètres correctifs

Tableau 4 : les différents types de vecteurs.

✓ Satellite Géostationnaire : (GSS)

Ils sont mis en orbite dite « géostationnaire » ou « géosynchrone », 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 la terre 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.

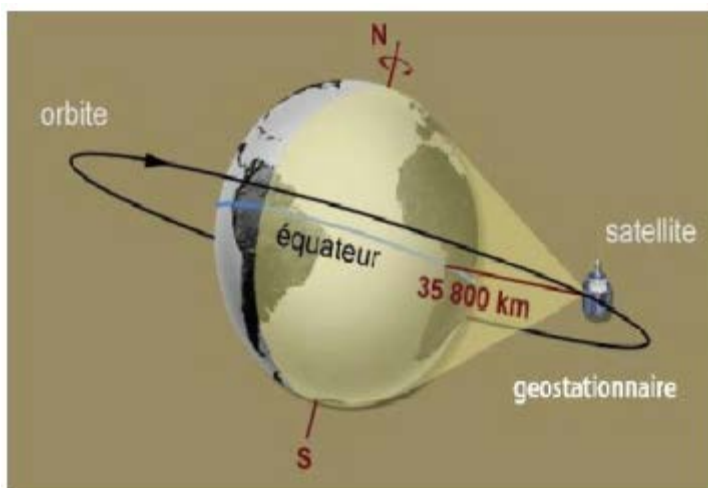


Figure 15 : Un satellite géostationnaire.

CHAPITRE III : TELEDETECTION.

✓ Satellites Héliosynchrone (A Défilement) :

Placés en orbite circulaire passant par les pôles. Son plan est déterminé de manière à observer régulièrement un point particulier à des mêmes heures locales solaires. Sa période comprise entre 90 et 120 mn Le nombre de révolutions en une journée est compris entre 12 et 16 : C'est le cas des satellites de télécommunication et d'observation météorologique telle que les satellites LANDSAT, NIMBUS et SPOT. 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.

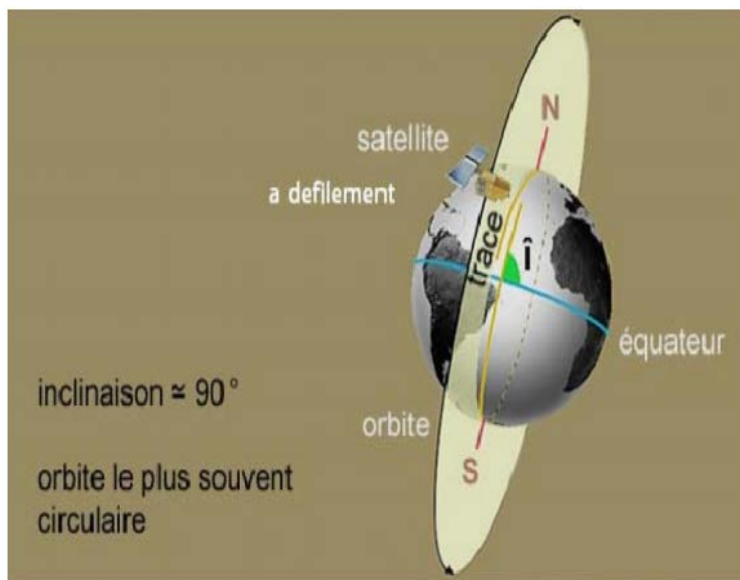


Figure 16 : Stellite héliosynchrone.

✓ 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**.

✓ Résolution des captures : une capture caractérise par quatre types de résolution :

- Résolution Spectral** (sensibilités des capteurs quelles longueurs d'ondes captées) : liée à la valeur REM capté, Elle correspond aux bandes de longueurs d'onde auxquelles les capteurs sont sensibles.
- Résolution Spatiale** (combien capter : dimensions= scanneur) : elle définit la surface élémentaire d'échantillonnage observée instantanément par le capteur : c'est-à-dire la taille du pixel. La résolution spatiale permet de distinguer avec précision des portions de la surface terrestre très petites.
- Résolution radiométrique** (taille de l'image x pixel par ligne et y pixel par colonne) : C'est le nombre de pixel par image. Le signal reçu par le capteur est codé en format numérique binaire. Pour un codage en 8 bits, l'image en niveaux de gris varie entre 0 et 255 (soit 256 niveaux de gris). 16 bits, le niveau de gris varie de 0 et 65535.
- Résolution temporelle** (répétitivité sur un même point ou révolution) : correspond à la période entre deux acquisitions de la même scène. Cette résolution ne dépend pas du capteur mais de l'orbite et du mode de manœuvre du satellite. Le satellite SPOT offre la possibilité de viser une cible sur commande permettant ainsi d'assurer une excellente

CHAPITRE III : TELEDETECTION.

résolution temporelle. La résolution temporelle de SPOT est de 26 jours, 16 jours pour LANDSAT TM et 14.5 jours pour NOAA-AVHRR.

5) Etape E : Transmission, Réception Et Prétraitement Des Données :

L'information enregistrée (signal) par le capteur embarqué sur le satellite est transmise, souvent par des moyens électroniques, vers des stations de réception au sol ou à des satellites relais où l'information est décodée et enregistrée sous forme d'images (numériques ou photographiques).

Prétraitement des données de télédétection :

Deux images de télédétection acquises sur la même cible ne sont jamais identiques puisqu'elles ne correspondent jamais aux mêmes conditions d'acquisition. Des corrections sont donc nécessaires. Ces corrections sont en général de trois types :

- **Corrections géométriques :** Comprennent la correction pour les distorsions géométriques dues aux variations de la géométrie Terre-capteur, et la transformation des données en vraies coordonnées (par exemple en latitude et longitude) sur la surface de la Terre.
- **Corrections des effets perturbateurs atmosphériques :** Les capteurs installés à bord des satellites d'observation de la Terre opérant dans le domaine spectral de l'émission solaire (longueurs d'onde de 0,2 à 4 μm) sont des radiomètres qui mesurent la luminance réfléchie par l'ensemble terre + atmosphère éclairé par le soleil. En atmosphère non-nuageuse, le signal radiométrique dépend de la réflectance de la surface terrestre mais aussi des effets de l'atmosphère qui interviennent au cours des deux trajets (descendant, du Soleil vers la surface, et montant, de la surface vers le capteur) effectués par le rayonnement solaire à travers l'atmosphère.

Le simple étalonnage des données d'un capteur, en luminances (valeurs absolues mesurées en) ou en réflectances (valeurs relatives), ne fournit donc pas une information sur la surface mais un signal composite, l'objectif de cette correction est d'extraire de ce signal une information indépendante des effets de l'atmosphère, variables dans le temps et dans l'espace, et concernant la seule surface terrestre, qui est l'objet à étudier.

- **Corrections des effets radiométriques :** Un certain nombre de "bruits radiométriques" peut être présent sur l'image en raison soit de déficiences des capteurs, soit de problèmes de transmission des données, soit enfin d'interprétation (codage/décodage). En général ces corrections radiométriques, c'est-à-dire les changements de la valeur radiométrique de points aberrants, sont réalisées directement à la réception de l'image par réaffectation de codes correspondants aux pixels voisins ou aux points défectueux.

6) Etape F : Interprétation, Traitement Et Analyse :

L'image obtenue est soumise à une interprétation visuelle et numérique. Le traitement est basé sur des théories et techniques souvent assez complexes et sert à extraire l'information. Le traitement et analyse de l'image obtenue est effectué à l'aide de logiciels appropriés spécialement conçus pour le traitement des images satellitaires tels qu'ENVI, ERDAS...etc. ou bien grâce aux logiciels de cartographie (ArcGIS, Mapinfo, Idrissi...etc.).

CHAPITRE III : TELEDETECTION.

7) Etape G : Application :

La dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre le comportement de la cible étudiée (ville, zone inondée, forêt...etc.).

3. Les données imagées du satellite :

3.1 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 643.000km/jour. En 16 jours ce satellite aurait couvert toute la Terre et il aurait effectué 244 rotations et parcouru 8.776.000km.

Les données de l'imagerie de Landsat ont été utilisées dans divers domaines, notamment dans le domaine de l'exploration minière et pétrolière ainsi qu'en cartographie géologique.

Les images des satellites LANDSAT sont libres de droit et diffusées par le US Geological Survey (USGS). Plusieurs moyens d'accès aux pages de téléchargement de ces données sont disponibles sur le site web de l'USGS consacré à Landsat.

Les trois premiers constituent la première génération, équipée de deux systèmes d'acquisition : la caméra numérique RBV (Return Beam Vidicom) et le capteur multispectral MSS (Multi Spectral Scanner).

❖ Les Principales Générations Du Satellite Landsat :

Après le lancement de 8 générations. En avril 2015, la NASA annonce son souhait de passer commande d'un nouveau satellite Landsat-9 a été prévu de lance initialement en 2023 - a été avancé à Septembre 2021. Chaque génération est caractérisée par une avancée technologique liée à la qualité de ses capteurs. Ils sont regroupés en trois grandes générations : Les "Multi- Spectral Scanner" (MSS), les Thematic mapper (TM et ETM) et les Operational Land imager (OLI).

CHAPITRE III : TELEDETECTION.

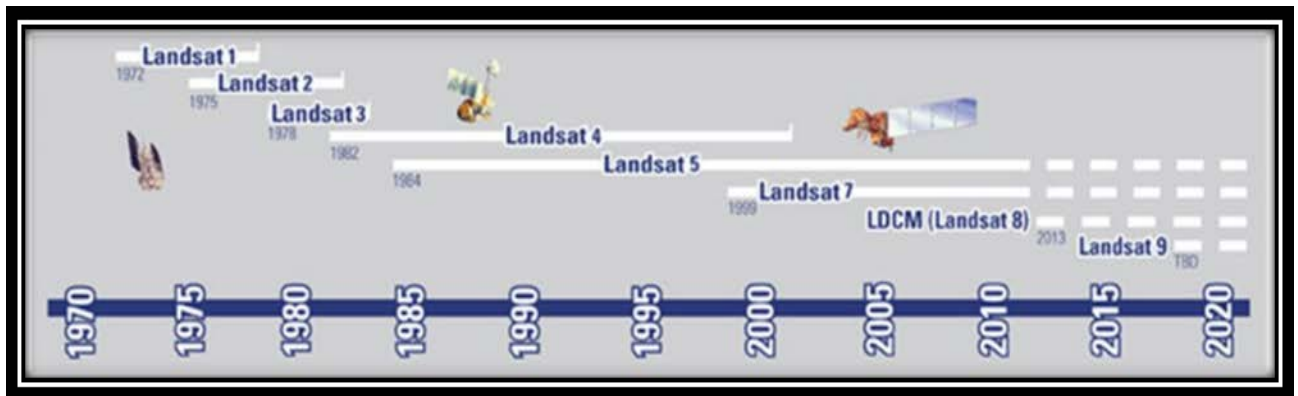


Figure 17 : Les principales missions de satellite Landsat.

▪ Les Images Satellitaires :

L'image satellitaire est un document contenant diverses informations relatives à des objets tels que le sol et la végétation, dans ce sens le traitement effectué est tel que l'information propre à l'occupation des sols et à la végétation puisse être mise en évidence.

• Images satellitaires de Landsat-8 :

Les images des satellites LANDSAT sont libres de droit et diffusées par l'US Geological Survey (USGS). Dans notre travail Nous prendre l'exemple d'images acquises par le satellite LANDSAT 8 opérationnel depuis 11 février 2013.

Lorsque l'on télécharge les images correspondant à la zone choisie, les fichiers obtenus sont au nombre de 23, correspondant aux 11 bandes spectrales acquises par les capteurs du satellite et à une bande dénommée "QA" destinée à synthétiser la qualité des données. Les bandes spectrales disponibles sont décrites ci-après.

CHAPITRE III : TELEDETECTION.

Landsat-8 OLI and TIRS Bands (μm)		
30 m Coastal/Aerosol	0.435 - 0.451	Band 1
30 m Blue	0.452 - 0.512	Band 2
30 m Green	0.533 - 0.590	Band 3
30 m Red	0.636 - 0.673	Band 4
30 m NIR	0.851 - 0.879	Band 5
30 m SWIR-1	1.566 - 1.651	Band 6
100 m TIR-1	10.60 – 11.19	Band 10
100 m TIR-2	11.50 – 12.51	Band 11
30 m SWIR-2	2.107 - 2.294	Band 7
15 m Pan	0.503 - 0.676	Band 8
30 m Cirrus	1.363 - 1.384	Band 9

Tableau 5 : Les bands spectrales de Landsat-8.

Téléchargement :

Plusieurs moyens d'accès aux pages de téléchargement de ces données sont disponibles sur le site web de l'USGS consacré à Landsat : <http://landsat.usgs.gov/>, rubrique Get Data <http://glovis.usgs.gov/>. <http://eoedu.belspo.be/fr/satellites/landsat.htm>.

1 : Lorsque en dessine le polygone, ou un cercle, les coordonnées s'inscrivent.

2 : On choisit la période qui nous intéresse et les mois de l'année.

CHAPITRE III : TELEDETECTION.

The screenshot displays the USGS EarthExplorer interface. On the left, the 'Critères de recherche' (Search Criteria) panel is active, showing a list of search criteria with a red box highlighting the first four entries. A red rectangle on the map indicates the search area. The 'Plage de dates' (Date Range) section is also highlighted with a red box. The map on the right shows a satellite view of North Africa, with a red rectangle indicating the search area. The interface includes various navigation and search tools, and a disclaimer at the bottom states that the maps are for reference and research purposes only.

1. Entrez les critères de recherche

Pour affiner votre zone de recherche : saisissez une adresse ou un nom de lieu, entrez des coordonnées ou cliquez sur la carte pour définir votre zone de recherche (pour les outils cartographiques avancés, consultez la documentation d'aide)et/ou choisissez une plage de dates.

Géocodeur Téléchargement kmL/shapefile

Sélectionner une méthode de géocodage

Fonctionnalité (GNIS)

Limites de recherche : La limite des résultats de recherche est de 100 enregistrements ; sélectionnez un pays, une classe d'entités et/ou un type d'entité pour réduire vos chances de dépasser cette limite.

Caractéristiques américaines Caractéristiques du monde

Nom de la fonctionnalité (utilisez % comme caractère générique)

État

Tout

Type de fonctionnalité

Tout

Montrer Clair

Polygone Cercle Zone prédéfinie

Degré/Minute/Seconde Décimal

1. Lat: 27° 32' 28 » N, Lon: 004° 20' 31 » W

2. Lat: 27° 28' 23 » N, Lon: 003° 17' 13 » W

3. Lat: 24° 58' 47 » N, Lon: 003° 16' 34 » W

4. Lat: 24° 57' 36 » N, Lon: 004° 14' 35 » W

Utiliser la carte Ajouter des coordonnées Effacer les coordonnées

Plage de dates Couverture nuageuse Options de résultat

Recherche à partir de : mm/jj/aaaa à : mm/jj/aaaa

Mois de recherche : (tous)

Ensembles de données Critères supplémentaires Résultats

Résumé des critères de recherche (Afficher)

Effacer les critères de recherche

Mètres (26° 26' 06 » N, 011° 33' 12 » O) Options

MOROCCO ALGERIA LIBYIA

URITANIA

Donnant Tiles © Esri — Source : Esri, I-cubed, USDA, USGS, AEX, GeoEye, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, UPR-EGP et la communauté des utilisateurs SIG, ES

Les cartes fournies ne sont ni à l'achat ni au téléchargement; il doit être utilisé à titre de guide à des fins de référence et de recherche seulement.

Figure 18 : Comment télécharger les images satellites à partir de site Web de l'USGS.

CHAPITRE III : TELEDETECTION.

3.2 Sentinelle-2 :

Sentinelle-2 est une série de satellites d'observation de la Terre de l'Agence spatiale européenne développée dans le cadre du programme Copernicus dont les deux premiers exemplaires ont été mis en orbite en 2015 et 2017. L'objectif du programme est de fournir aux pays européens des données complètes et actualisées leur permettant d'assurer le contrôle et la surveillance de l'environnement.

Chaque satellite, d'une masse d'environ 1 200 kg, emporte une charge utile constituée par l'imagerie multi-spectral MSI qui fournit des vues dans 13 bandes spectrales en lumière visible et proche infrarouge avec une résolution comprise entre 10 et 60 mètres et une fauchée de 290 km. Les satellites circulent sur une orbite héliosynchrone de 10h30. En configuration opérationnelle l'agence spatiale maintiendra deux satellites de manière à repasser au-dessus des mêmes zones tous les cinq jours. La durée de vie minimale est de 7,25 ans. Les Sentinel-2 disposent d'un système de transmission de données par laser permettant de transférer celles-ci vers les satellites géostationnaires EDRS avec un débit très élevé.

✓ Les missions de satellite SENTINEL :

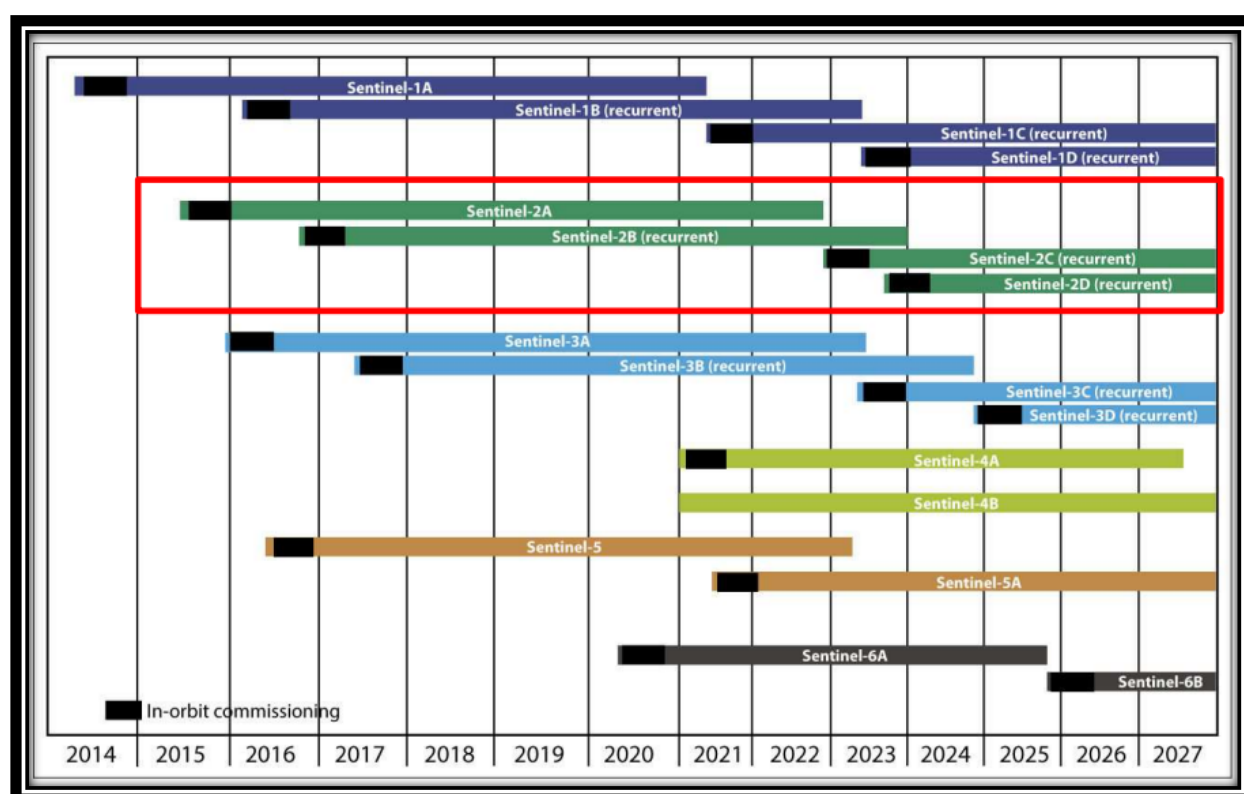


Figure 19 : Les missions de satellite SENTINEL.

CHAPITRE III : TELEDETECTION.

✓ Image satellite sentinelle-2 et téléchargement :

Les satellites Sentinel 2 possèdent plusieurs spécificités qui en font des outils innovants pour l'agriculture numérique. La répétitivité de la mesure (passage tous les 5 jours) et la multiplicité des mesures (13 bandes observées) permettent de suivre à haute résolution l'occupation des sols et les données environnementales. Les caractéristiques principales sont les suivantes :

- Composé de 2 satellites 2A et 2B.
- Passage tous les 10 jours, soit une revisite tous les 5 jours avec les deux satellites.
- Fauchée d'une photo : 290km.
- Imageur multi spectral 13 bandes.

Sentinel-2 Bands	Central Wavelength (µm)	Resolution (m)
Band 1 - Coastal aerosol	0.443	60
Band 2 - Blue	0.490	10
Band 3 - Green	0.560	10
Band 4 - Red	0.665	10
Band 5 - Vegetation Red Edge	0.705	20
Band 6 - Vegetation Red Edge	0.740	20
Band 7 - Vegetation Red Edge	0.783	20
Band 8 - NIR	0.842	10
Band 8A - Vegetation Red Edge	0.865	20
Band 9 - Water vapour	0.945	60
Band 10 - SWIR - Cirrus	1.375	60
Band 11 - SWIR	1.610	20
Band 12 - SWIR	2.190	20

Tableau 1: Caractéristique des bands spectrale de sentinel-2.

✓ Téléchargement :

Un grand nombre de sites permettent le téléchargement des images satellitaires, chacun ayant ses avantages et ses inconvénients : vitesse, mise à jour, ... Pour ce tutoriel nous nous limiterons à SciHub, qui a l'avantage d'être le site officiel du programme Copernicus. Les données sont mises à jour dès réception de la photo prise par le satellite, et sont gratuites. Le site est accessible à l'adresse <https://scihub.copernicus.eu/> Sentinel, via l'interface graphique montrée dans la Figure 20.

CHAPITRE III : TELEDETECTION.

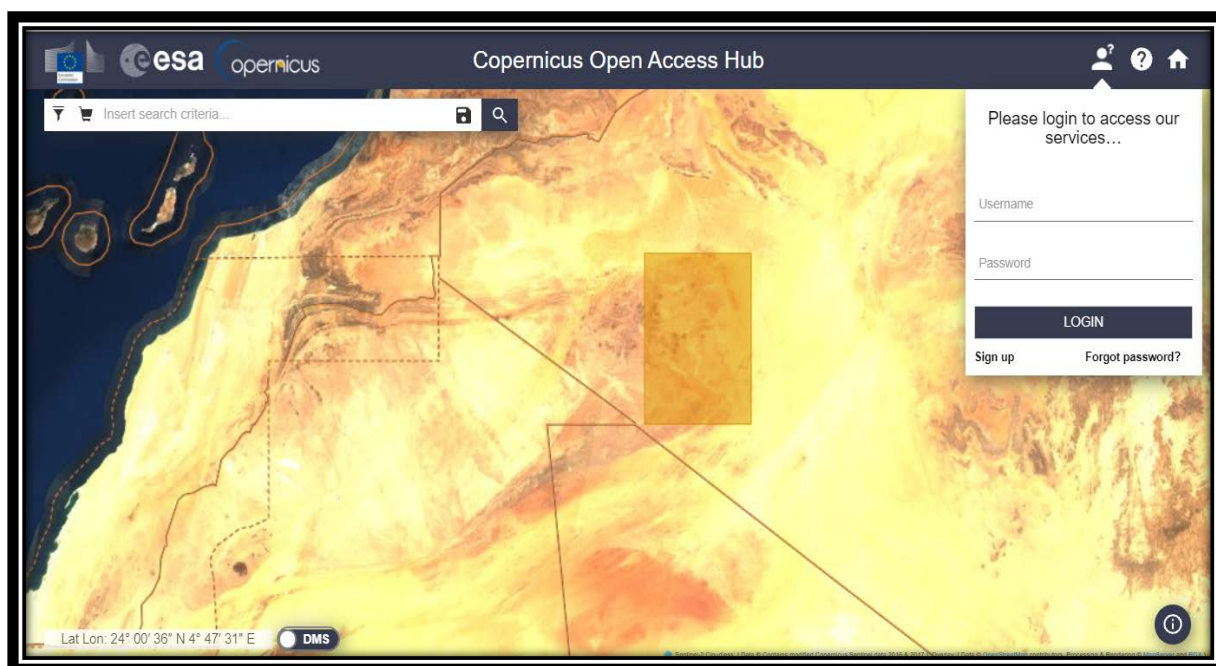


Figure 20 : Visualisation de la carte interactive d'Open Access Hub.

La première étape consiste à créer un compte utilisateur de la plateforme Scihub, ou de se connecter s'il a déjà été créé. La figure 21 montre le volet de connexion, en haut à droite.

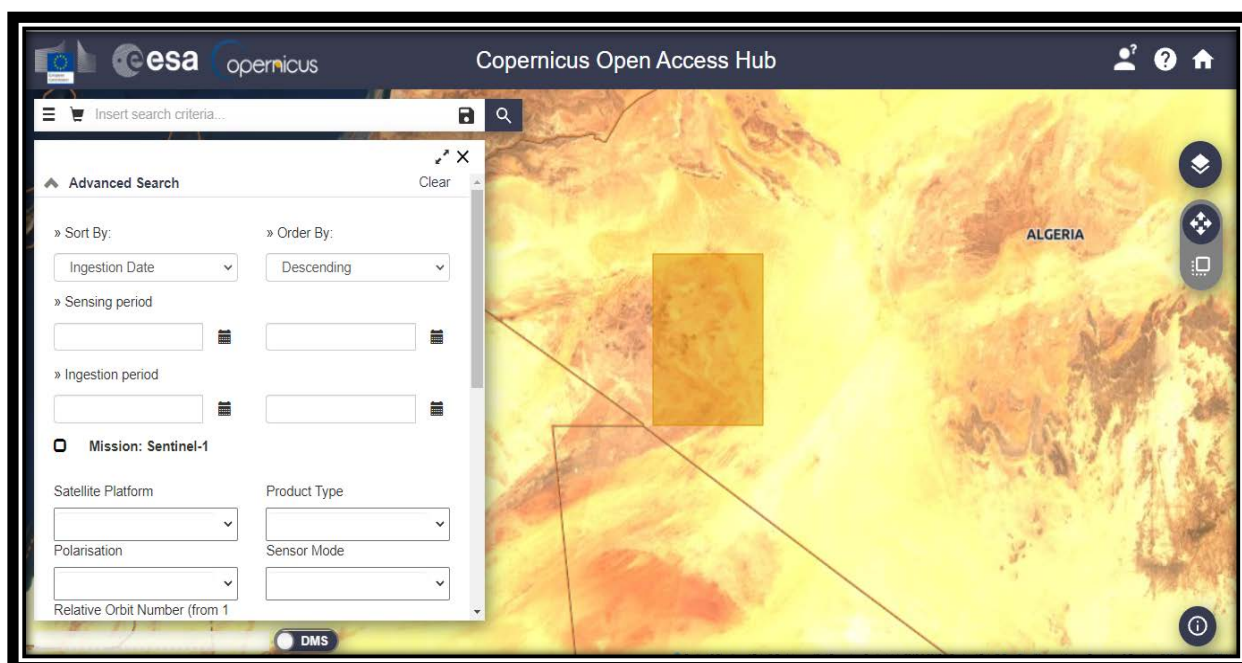


Figure 21 : Volet de filtrage des données

CHAPITRE III : TELEDETECTION.

Il est nécessaire maintenant de filtrer les images pour obtenir celle qui convient.

La Figure 20 indique les différentes façons de filtrer les données afin de choisir l'image voulue. Pour activer ce volet, il faut cliquer sur l'entonnoir en haut à gauche de la page. Les filtres à retenir sont :

- **Sort By :** (Sensing date) permet de trier les images par date d'acquisition
- **Sensing period :** permet de filtrer les images à une période donnée
- **Mission :**
 - ✓ (Sentinel 2) permet de choisir les données en fonction du satellite : Sentinel 1, 2, ...
 - ✓ **Product type :** permet de choisir les images traitées ou non :
 - 1C est une image ortho-rectifiée en réflectance TOA (Top-of-Atmosphere) avec un masque nuage
 - 2A une image ortho-rectifiée en réflectance BOA (Bottom-of-Atmosphere).
 - ✓ Pour Sentinel 2, le Cloud Coverage permet de filtrer les images dont la couverture nuageuse est trop importante.

Le dernier filtre est un filtre spatial, qui s'active en cliquant sur la carte avec le bouton droit de la souris, ou en activant le bouton « Switch to mode area » à droite de la carte. Un carré orange s'affiche pour montrer la sélection choisie.

La requête est ensuite exécutée, et les résultats sont affichés à la fois sur la carte et sur le tableau, comme le montre la Figure 22.

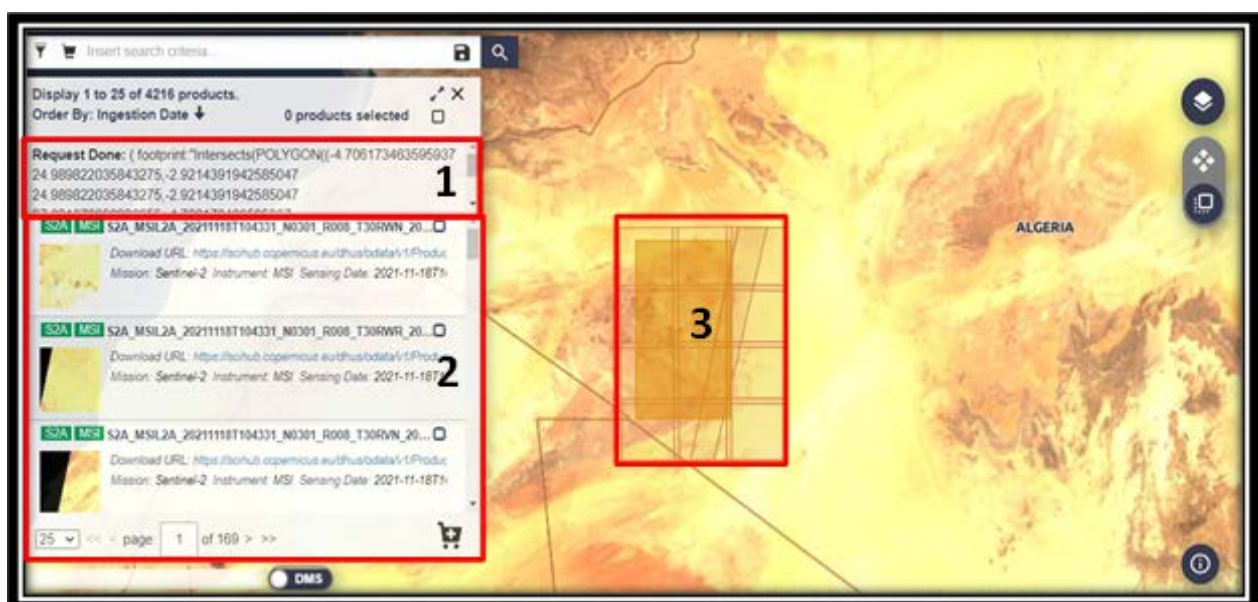


Figure 22 : Affichage des résultats de la requête

- **1 :** La requête exécutée est affichée. Nous y reviendrons plus tard.

CHAPITRE III : TELEDETECTION.

- **2** : les résultats sont affichés en liste, avec des informations pour chaque image. La Figure 22 montre ces informations.
- **3** : les images sont aussi disposées sur la carte.

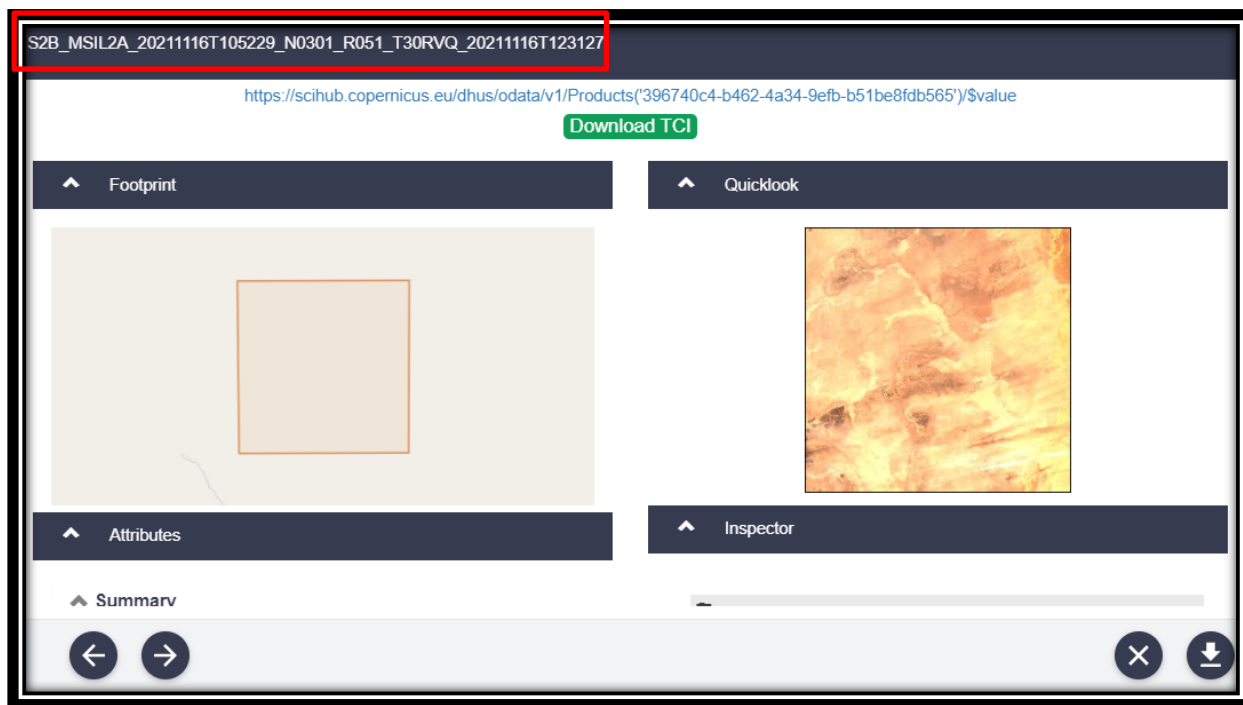


Figure 23 : Focus sur une image sélectionnée

Concernant les informations affichées dans la Figure 23, on peut lire le nom de l'image, qui définit précisément l'image :

- **S2B** : Acquisition par le satellite Sentinel 2 B
- **MSIL2A** : Acquis par l'instrument MSI, avec traitement 2A pour enlever les effets de l'atmosphère.
- **20181115T110319** : La photo a été prise le 15 Novembre 2018 à 11 heures 03 minutes et 19 secondes.

En plus du nom, l'URL de téléchargement est affichée, et sa taille. L'image réduite donne une bonne information du pourcentage de couverture nuageuse. Ici, il n'y a presque pas de nuages, ce qui est normal puisque l'image est située en Vendée. Il suffit d'entrer le lien URL, ou de cliquer sur « télécharger » pour acquérir l'image.

4. Traitement et analyse des images sous ENVI :

Avant d'entamer notre travail nous devons appliquer des modifications nécessaires pour chaque image. La première correspond à l'extraction de la zone de travail sur chaque image des dates retenues afin de pouvoir les superposer, en sachant que l'emprise de chacune des scènes recouvre une surface d'un quadrilatère. Ainsi, il est important de réduire cette emprise

CHAPITRE III : TELEDETECTION.

à celle qui englobe l'ensemble de la plaine (par application d'un masque) afin d'alléger les traitements à venir à l'aide du même masque.

4.1 Présentation de logiciel ENVI :

ENVI (Environnement For Visualizing Images) est un logiciel permettant la lecture et le traitement des images et données numériques et plus précisément les images satellitaires.

Celui-ci dispose, en effet, en un seul package d'un ensemble d'outils particulièrement avancés, faciles d'utilisation et interactifs: analyse spectrale, correction géométrique et géoréférencement, analyse topographique ...etc. Ce logiciel a la particularité d'être le plus utilisé est recommandé grâce notamment au fait qu'il supporte un grand nombre de formats de fichier, de toutes tailles. Il dispose aussi de son propre format, mais le plus important est que le résultat du travail sous ENVI facilite le travail sous d'autres logiciels de cartographie par la suite.

Lancement de l'logiciel :

Le logiciel « ENVI » est disponible sous 2 interfaces différentes : « ENVI Classic » et «ENVI »:

« ENVI Classic » : c'est cette interface qui a été utilisée pour la rédaction de ce manuel. Cette interface se limite à une simple barre de menu donnant accès à toutes les fonctionnalités. (Figure24).

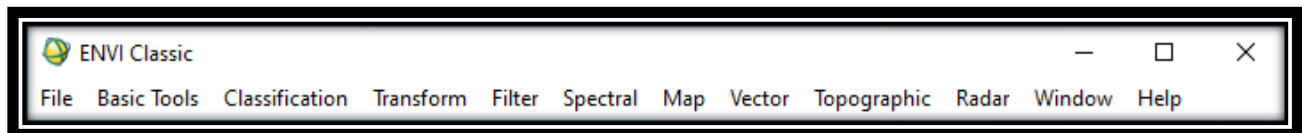


Figure 24 : Interface de « ENVI Classic »

« ENVI » : interface complète avec fenêtre de visualisation des données présente par défaut (Figure25) :

1. **Le panneau latéral :** Indique le résumé des images ouvertes.
2. **Le viewer :** Visualise les données géographiques activées dans l'onglet Layer Manager du panneau latéral
3. **Boîte à outils :** Permet l'accès rapide aux fonctionnalités d'ENVI
4. **Les barres de menus :** Elles permettent l'accès à toutes les fonctionnalités d'ENVI

CHAPITRE III : TELEDETECTION.

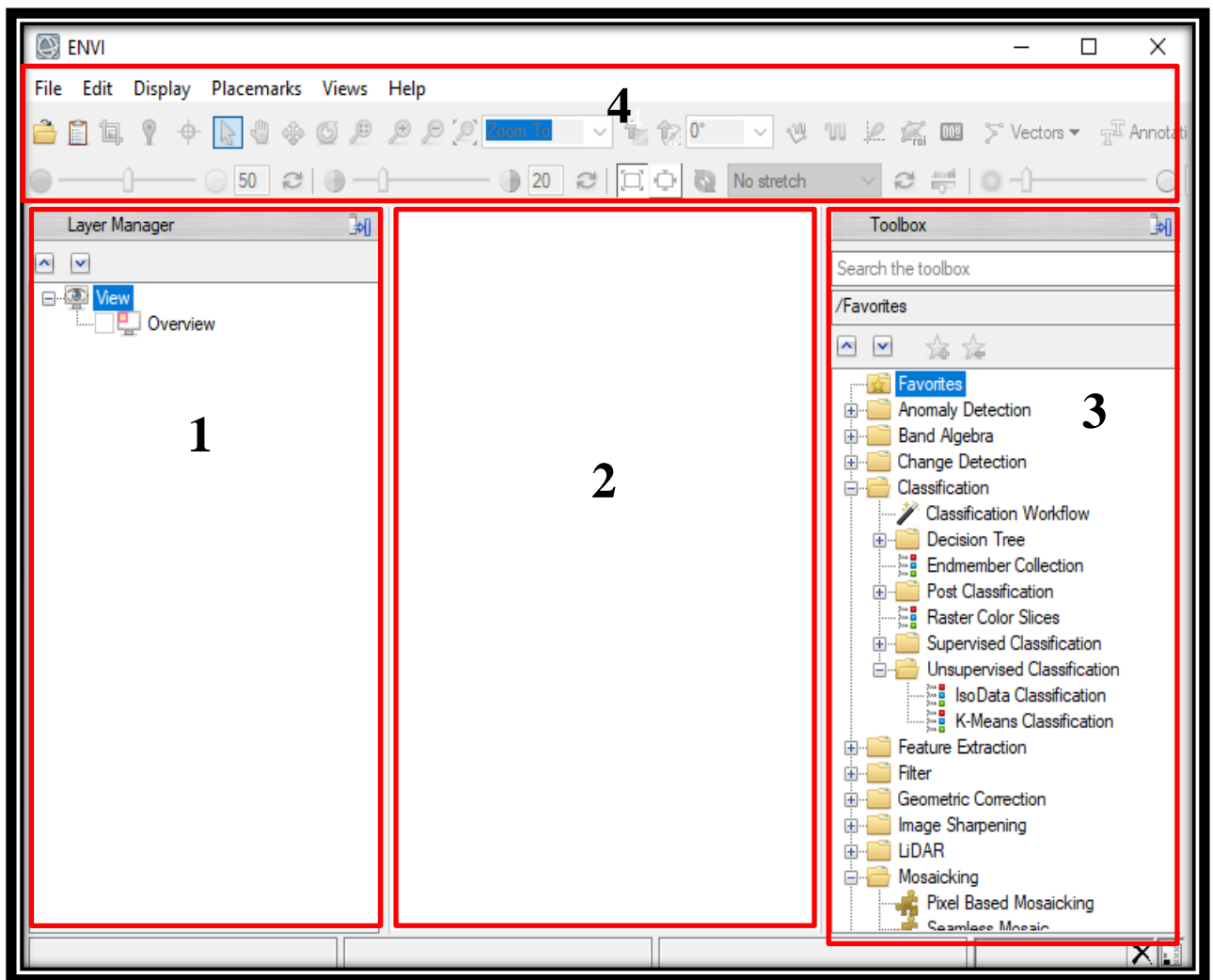


Figure 24 : Interface « ENVI »

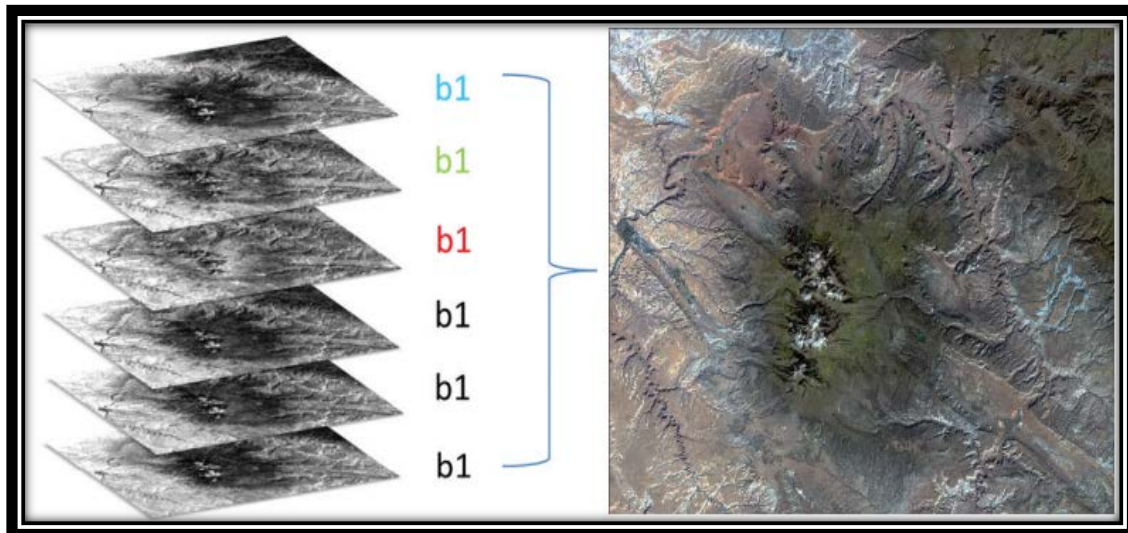
4.2 Prétraitement des images landsat-8 et sentinel-2 :

4.2.1 Landsat-8 :

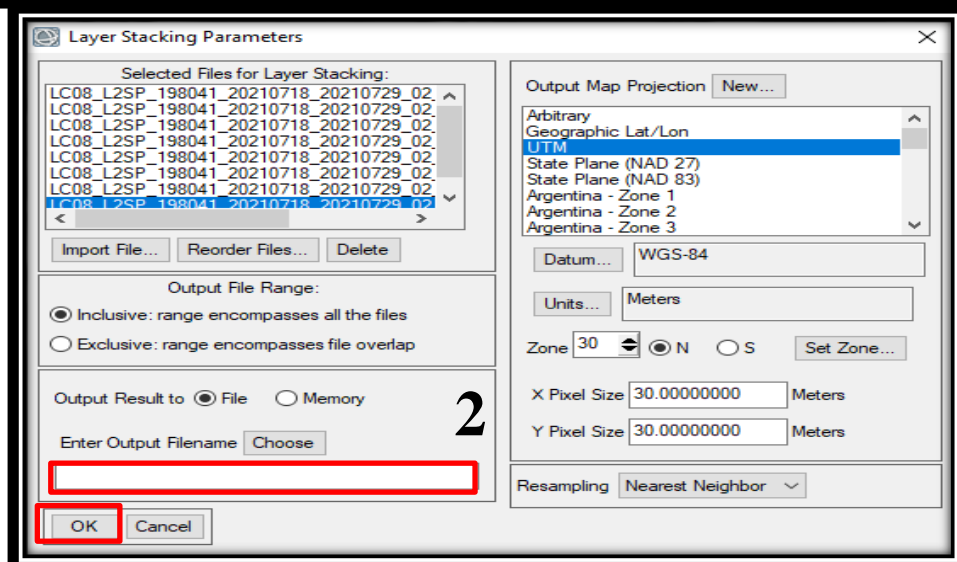
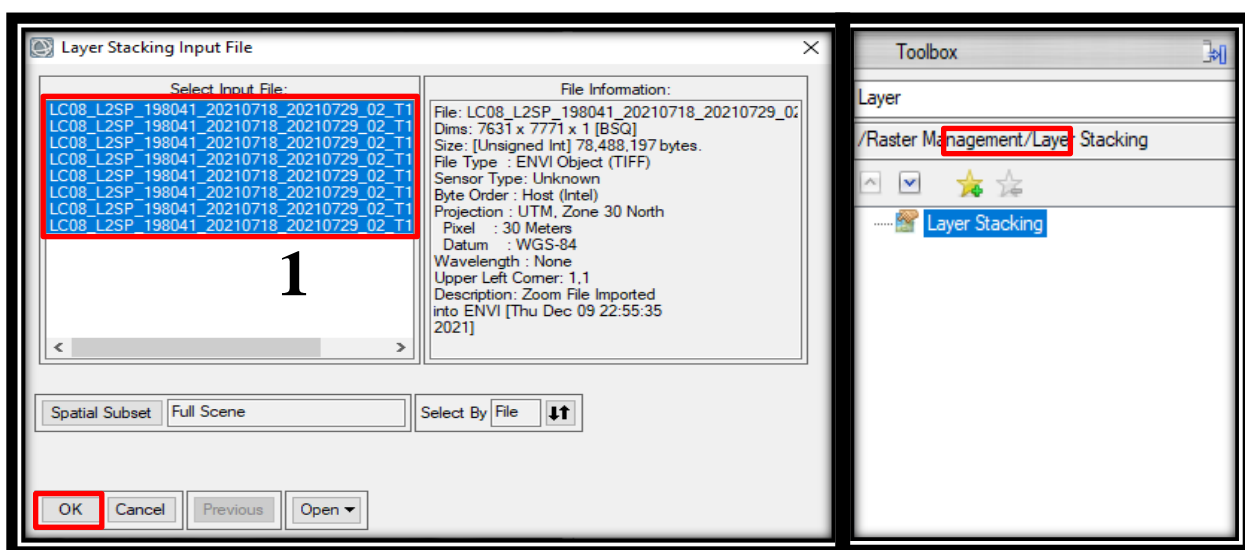
1. Empilement des bands ou couches (Layer stacking) :

En utilise l'empilement de couche pour construire un nouveau fichier multibandes à partir d'images géoréférencées. Les bandes d'entrée seront ré-échantillonnées et re-projetées 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 multi-dates à partir des images géoréférencées.

CHAPITRE III : TELEDETECTION.



- ✓ Dans le Toolbox d' ENVI, chercher et choisissez Layer Stacking.
- ✓ Cliquez sur Layer stacking Input file. Sélectionner les bands(1) puis validez par OK.
- ✓ Dans la fenêtre Layer stacking parameters, choisir le nom de sortie(2) puis OK.



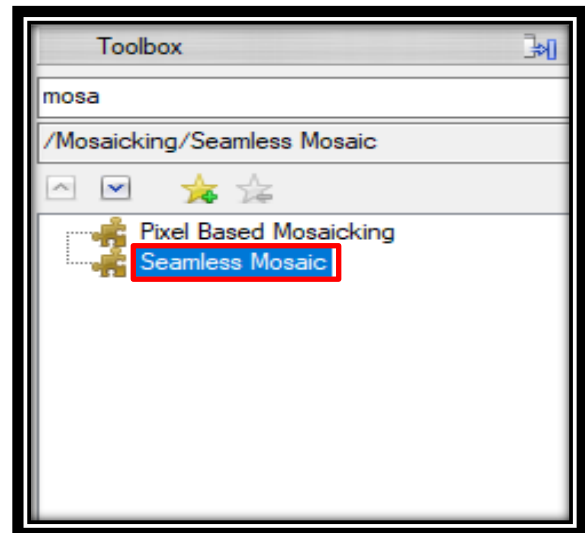
CHAPITRE III : TELEDETECTION.


2. Mosaïque :

Une mosaïque est une combinaison de deux ou plusieurs scènes. Cette opération est nécessaire dans le cas où une région d'étude est située à cheval sur deux scènes. Elle est réalisée sur des images satellites.

Pour créer une mosaïque des images (dans notre cas 6 images Landsat8 et 8 images Sentinel-2) en va suivre les étapes suivantes :

- ✓ Chercher et choisir Seamless Mosaic.



- ✓ Cliquer sur  puis sélectionner le Layers stacking qu'on déjà fait et mettre 0 dans le Data ignore value pour éliminer la partie noir qui entoure les images satellites.

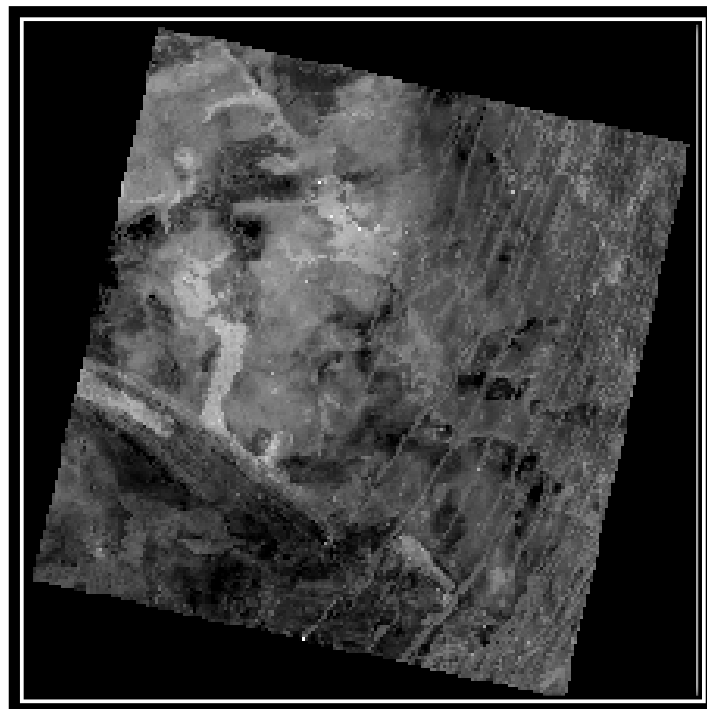
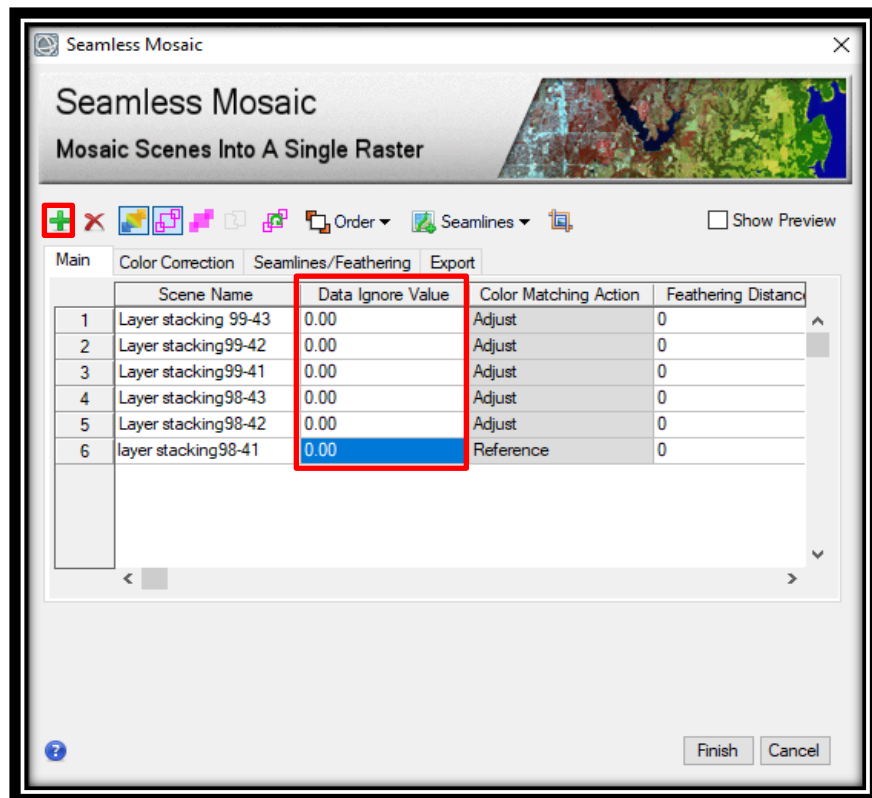
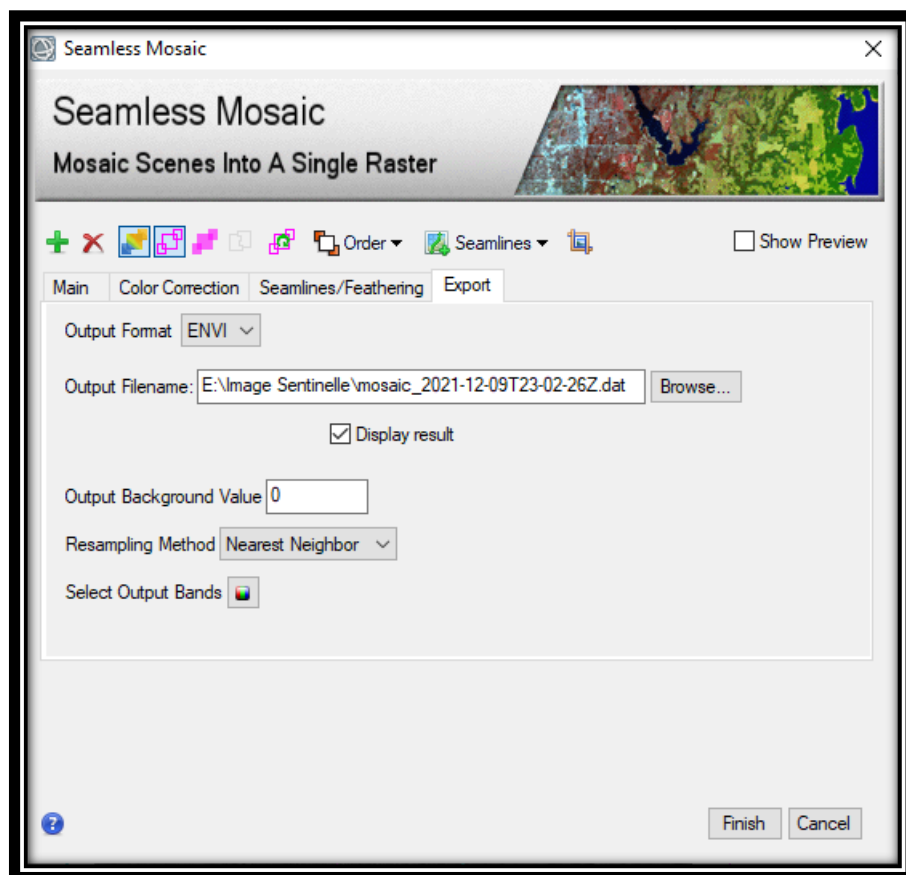


Figure 26 : Une image satellite entouré par la bordure sombre.

CHAPITRE III : TELEDETECTION.



- ✓ Cliquez sur Export donner un nom et l'emplacement de fichier et mettez 0 dans Output background value puis Finish

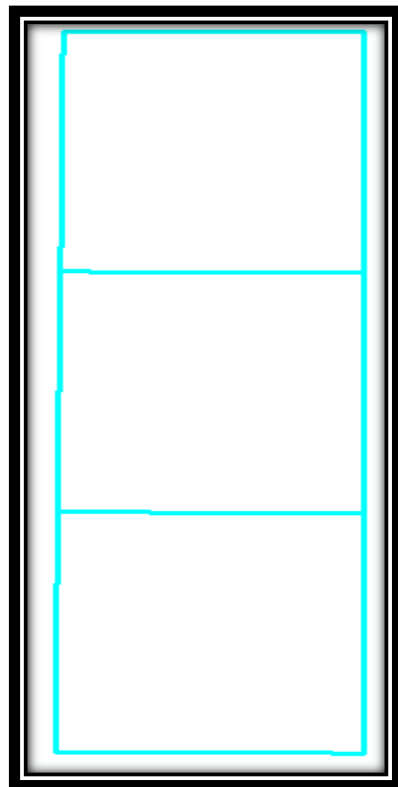


CHAPITRE III : TELEDETECTION.

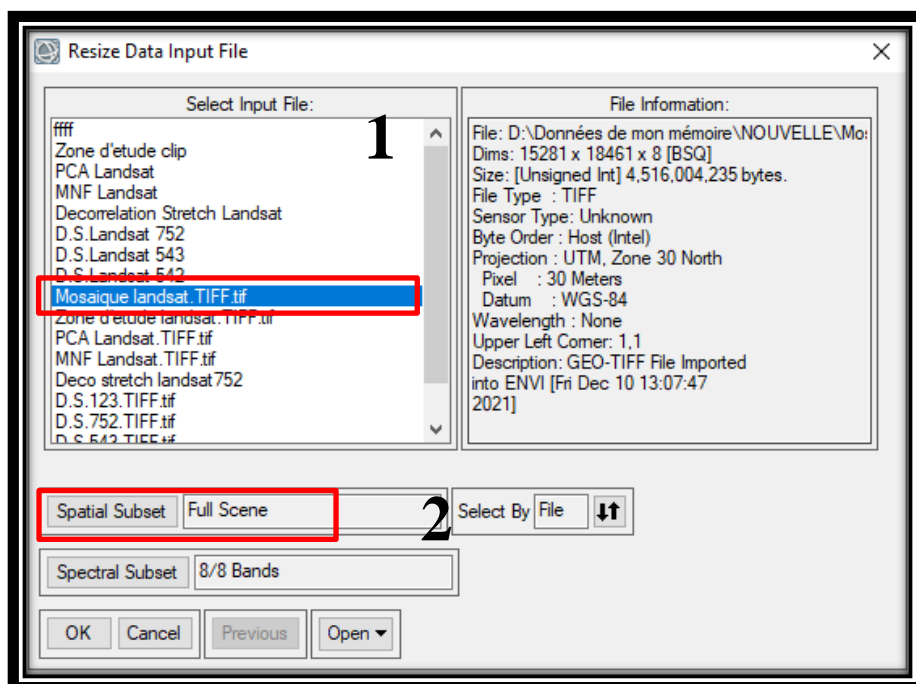
3. Découpage d'une image (Extraction de la zone d'étude) :

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

- ✓ Dans ce cas il faut en premier lieu ajouter le polygone de la zone d'étude.



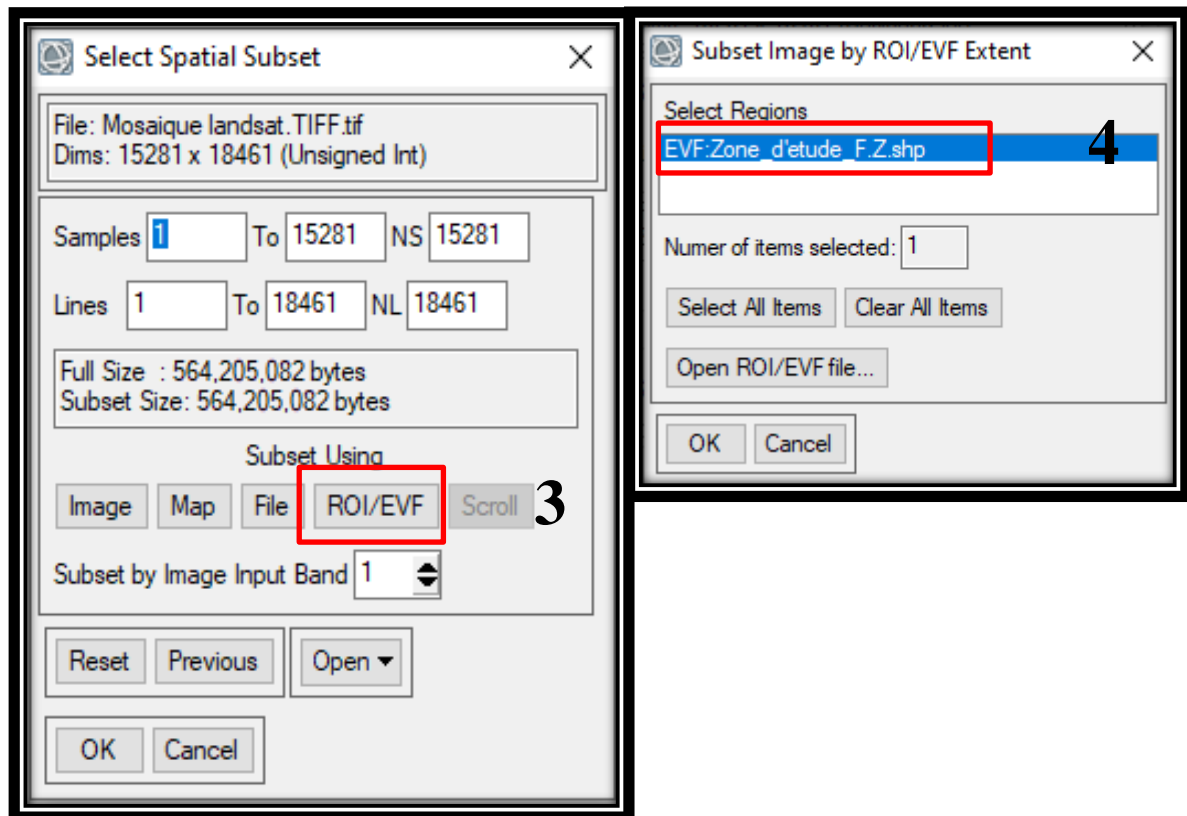
- ✓ Cliquer sur le fichier Mosaïque landsat(1) puis Spatial Subset(2).



- ✓ Cliquer sur le bouton ROI/EVF(3)

CHAPITRE III : TELEDETECTION.

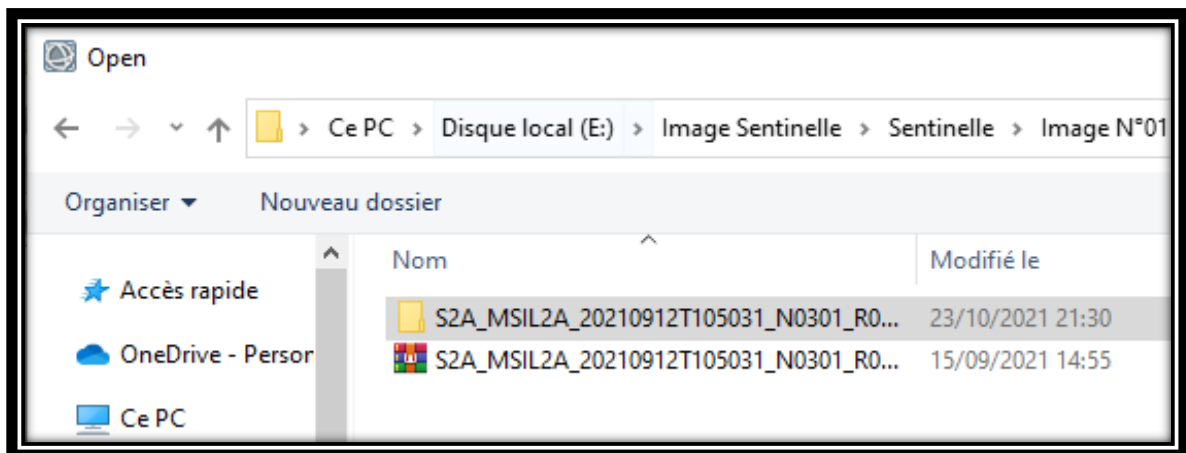
- ✓ Sélectionner le fichier vecteur(4) et valider par OK.



4.2.2 Sentinel-2 :

Pour les images sentinel-2 en va appliquer les mêmes prétraitements que les images landsat-8. Mais l'ouverture des sentinelles est différentes, en va la présentée comme suit :

- ✓ Dans ENVI en clique sur « file », « Open »
- ✓ Chercher l'image sentinel-2



CHAPITRE III : TELEDETECTION.

- ✓ Dans le fichier « R10 » en sélectionne les bandes (B02, B03, B04, B08)

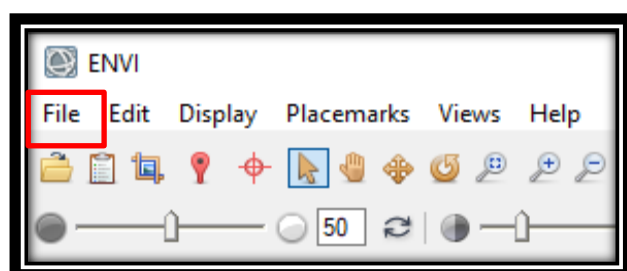
Nom	Modifié le	Type	Taille
T30RUP_20210912T105031_AOT_10m.jp2	12/09/2021 16:58	Fichier JP2	280 Ko
T30RUP_20210912T105031_B02_10m.jp2	12/09/2021 16:59	Fichier JP2	99 923 Ko
T30RUP_20210912T105031_B03_10m.jp2	12/09/2021 16:59	Fichier JP2	101 492 Ko
T30RUP_20210912T105031_B04_10m.jp2	12/09/2021 17:00	Fichier JP2	107 329 Ko
T30RUP_20210912T105031_B08_10m.jp2	12/09/2021 17:00	Fichier JP2	110 766 Ko
T30RUP_20210912T105031_TCI_10m.jp2	12/09/2021 17:00	Fichier JP2	132 461 Ko
T30RUP_20210912T105031_WVP_10m.jp2	12/09/2021 17:00	Fichier JP2	60 753 Ko

- ✓ Dans le fichier « R20 » en sélectionne les bandes (B05, B06, B07, B08A, B11, B12)

T30RUP_20210912T105031_AOT_20m.jp2	12/09/2021 16:58	Fichier JP2	295 Ko
T30RUP_20210912T105031_B02_20m.jp2	12/09/2021 16:59	Fichier JP2	27 537 Ko
T30RUP_20210912T105031_B03_20m.jp2	12/09/2021 16:59	Fichier JP2	28 653 Ko
T30RUP_20210912T105031_B04_20m.jp2	12/09/2021 16:59	Fichier JP2	30 646 Ko
T30RUP_20210912T105031_B05_20m.jp2	12/09/2021 16:59	Fichier JP2	30 401 Ko
T30RUP_20210912T105031_B06_20m.jp2	12/09/2021 17:00	Fichier JP2	30 635 Ko
T30RUP_20210912T105031_B07_20m.jp2	12/09/2021 17:00	Fichier JP2	30 644 Ko
T30RUP_20210912T105031_B8A_20m.jp2	12/09/2021 16:59	Fichier JP2	30 977 Ko
T30RUP_20210912T105031_B11_20m.jp2	12/09/2021 17:00	Fichier JP2	29 501 Ko
T30RUP_20210912T105031_B12_20m.jp2	12/09/2021 16:59	Fichier JP2	29 340 Ko
T30RUP_20210912T105031_SCL_20m.jp2	12/09/2021 16:58	Fichier JP2	114 Ko
T30RUP_20210912T105031_TCI_20m.jp2	12/09/2021 16:59	Fichier JP2	32 988 Ko
T30RUP_20210912T105031_WVP_20m.jp2	12/09/2021 16:59	Fichier JP2	21 027 Ko

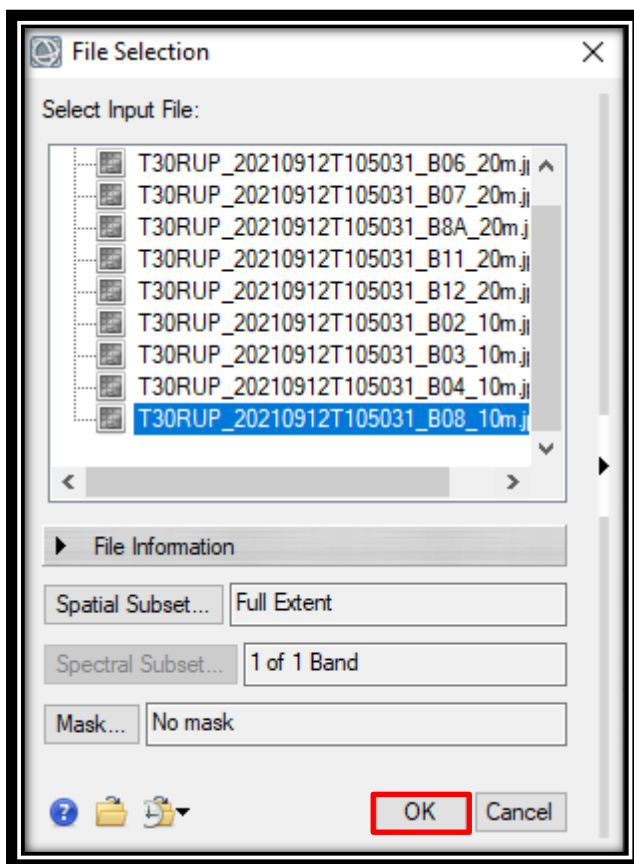
Après avoir rassemblé tous les bandes d'une image, en va changer le format pour chaque une d'entre elle, en format « TIFF ».

- ✓ Cliquer sur « File » puis choisir « Save as »

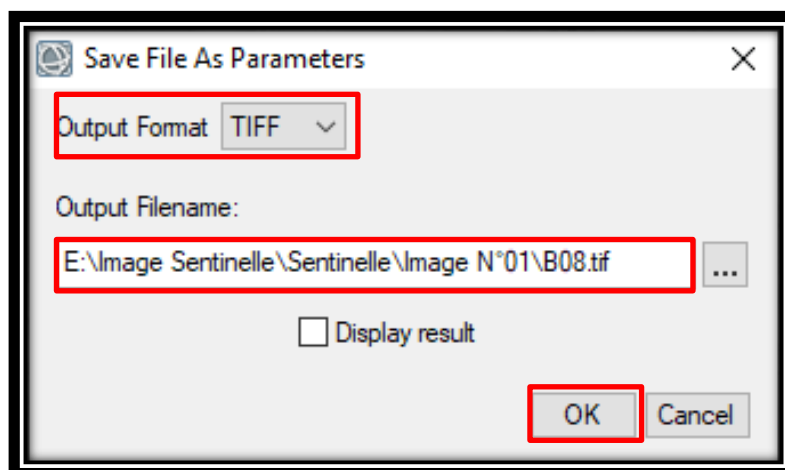


CHAPITRE III : TELEDETECTION.

- ✓ Sélectionner Save as...(ENVI, NITF, TIFF, DTED), la fenêtre « File Selection » va apparaître puis « Ok »



- ✓ Sélectionner TIFF dans « Output Format » puis entré le nom et l'emplacement de fichier dans « Output Filename » et valider par OK.



CHAPITRE III : TELEDETECTION.

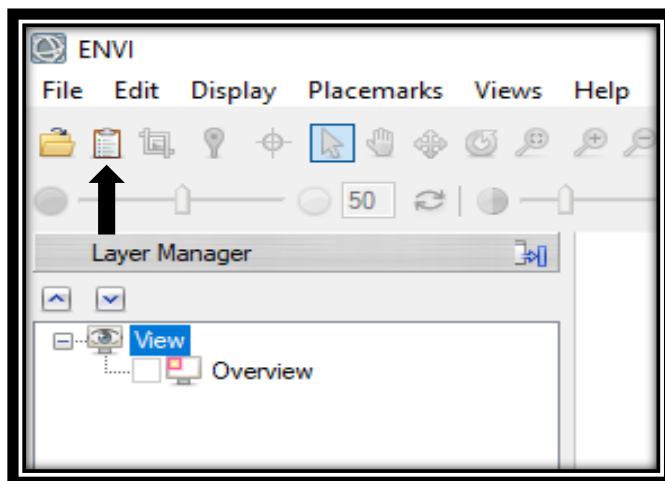
4.3 Les traitements landsat-8 et sentinel-2 :

4.3.1 Composition colorée d'une image :

Les compositions colorées permettent de produire des images en couleurs en tenant compte de la signature spectrale des objets.

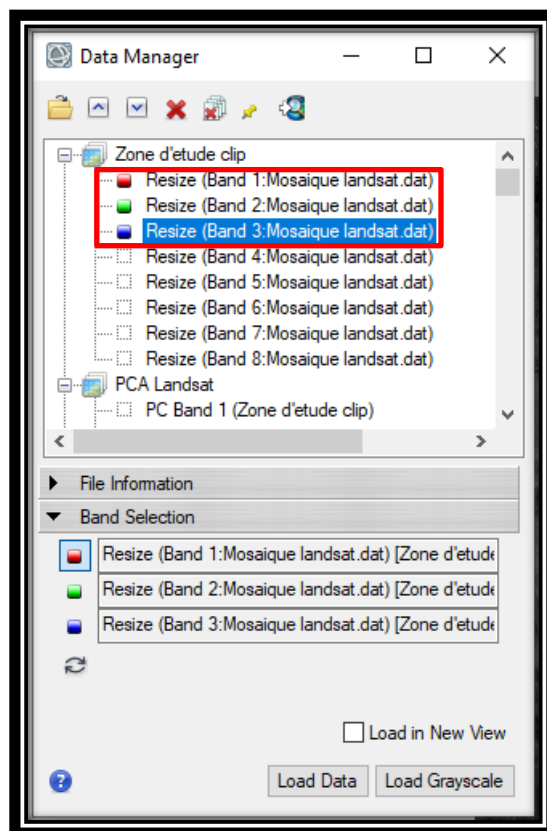
En jouant avec les différentes bands d'images satellites en va avoir des images avec des couleurs bien déterminée.

- ✓ Ouvrir le Data manager sur la barre d'outils.



- ✓ Sélectionner 3 bands. Dans notre travaille en a appliquez les combinaisons suivantes :

- 1-2-3(naturelle)
- 7-5-2
- 3-2-1
- 5-4-2



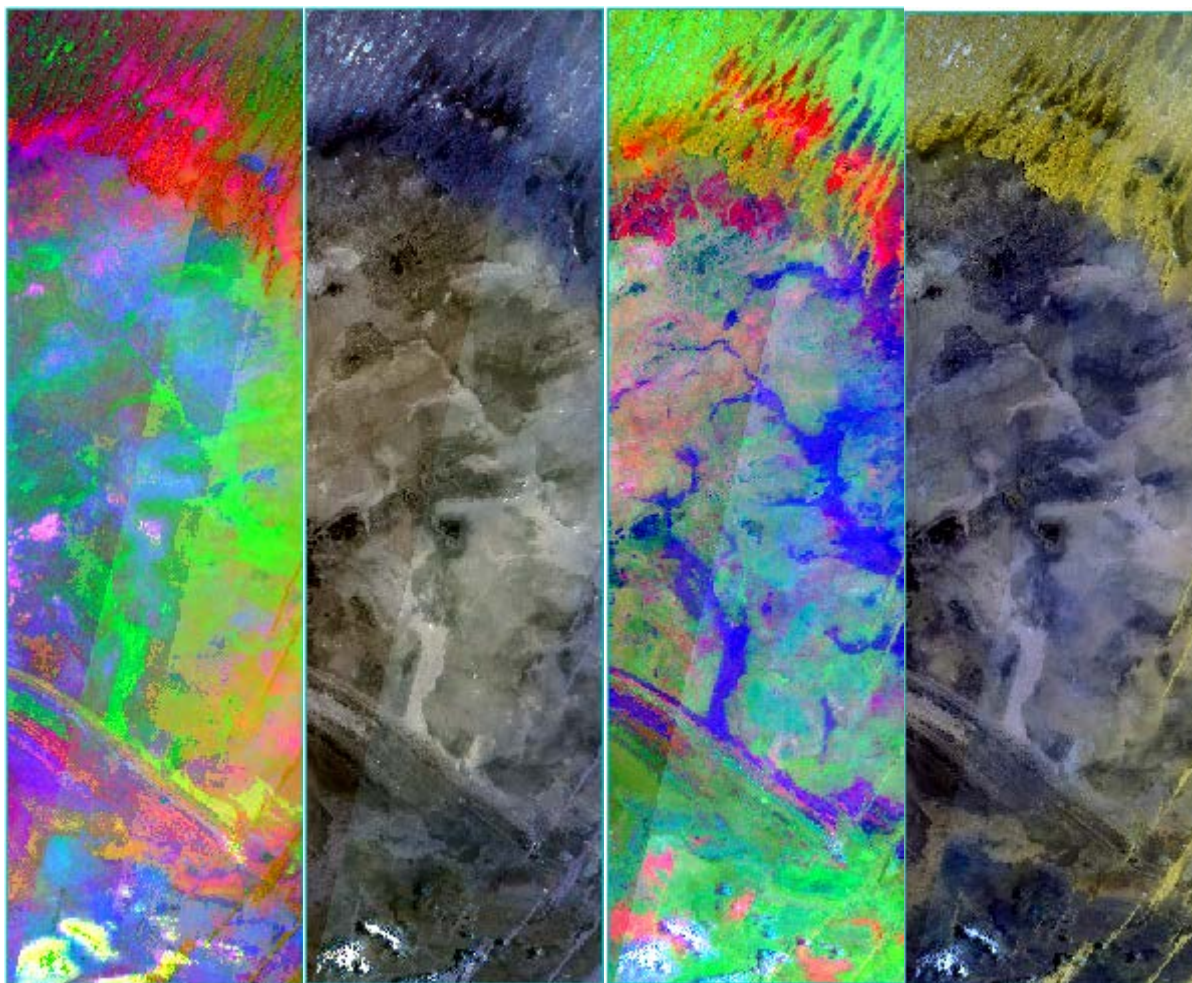


Figure 27 : Les résultats d'application des combinaisons utiliser.

4.3.2 L'analyse des composantes principales ACP :

Consiste à transformer les données d'image en un ensemble de variables non corrélées à l'aide de méthodes statistiques. Le résultat de l'ACP est un jeu d'images dans lequel chaque bande est non corrélée avec les autres bandes (Appelée PC), en d'autre terme chacune présente des informations uniques.

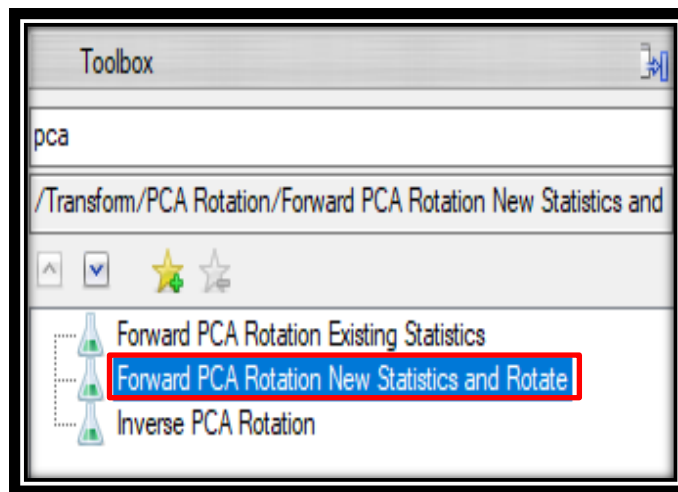
Dans les données des images normales, les bandes spectrales voisines sont fortement corrélées et contiennent donc des informations redondantes. En utilisant l'ACP :

- Nous pouvons réduire cette redondance et mettre en évidence les variables non corrélées qui sont «cachées» sous les données corrélées.
- Ainsi l'ACP révèle souvent un bruit systématique dans les données que nous pouvons alors supprimer.

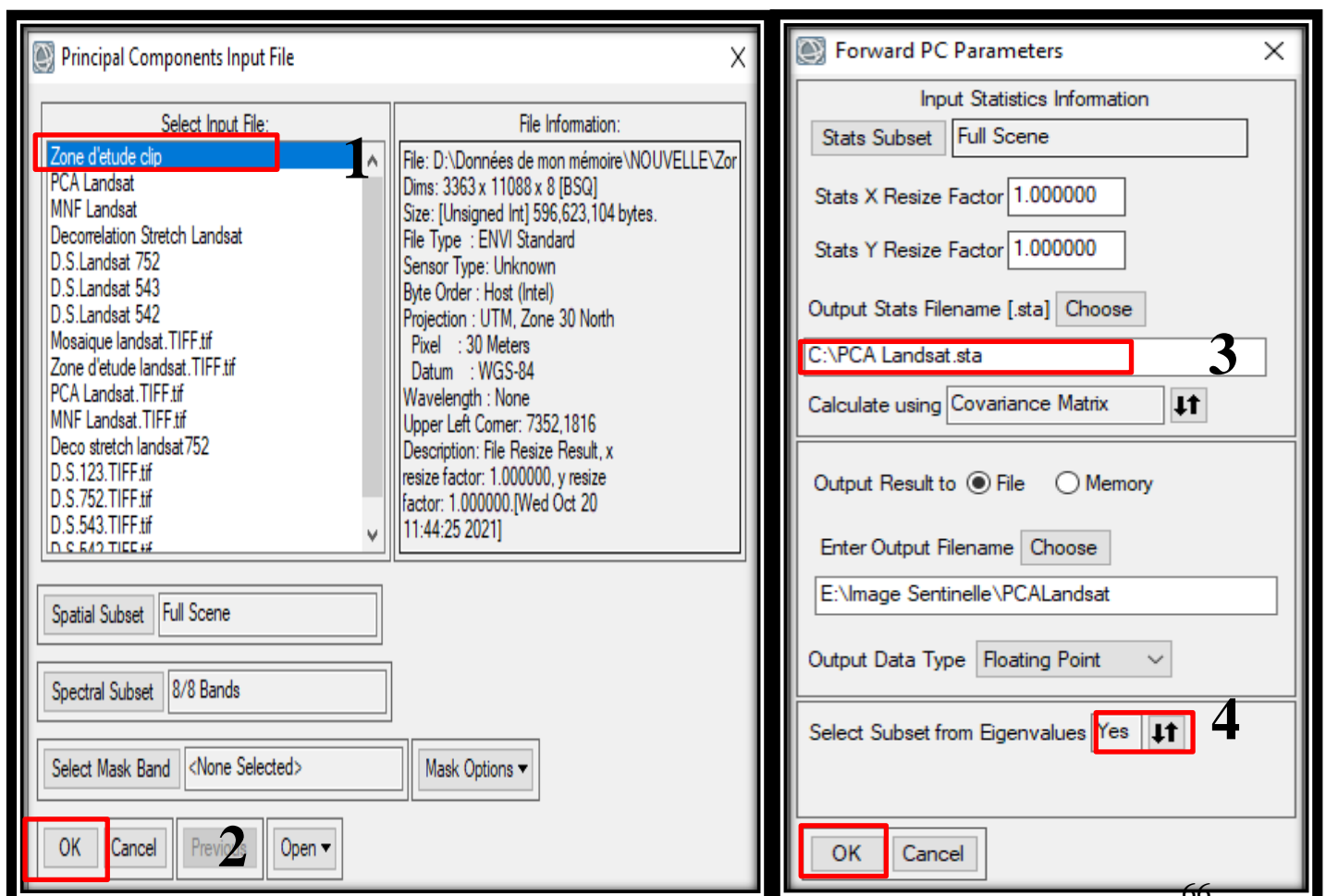
Cette analyse est utilisée dans la télédétection hyper spectrale pour réduire le nombre de bandes dans l'analyse d'image sans réduire le contenu de l'information en réduisant la redondance.

CHAPITRE III : TELEDETECTION.

- ✓ Sur « Toolbox » chercher « Forward PCA Rotation New Statistics and Rotate »



- ✓ Sélectionner le fichier(1) puis cliqué « OK » (2), la « fenetre Forward Pc Parameters » s'affiche.
- ✓ Choisir le nom et l'emplacement de l'ACP(3).
- ✓ Sélectionner « yes » dans « Select Subset From Eigenvalue »(4) puis en valide par « OK ».



CHAPITRE III : TELEDETECTION.

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.

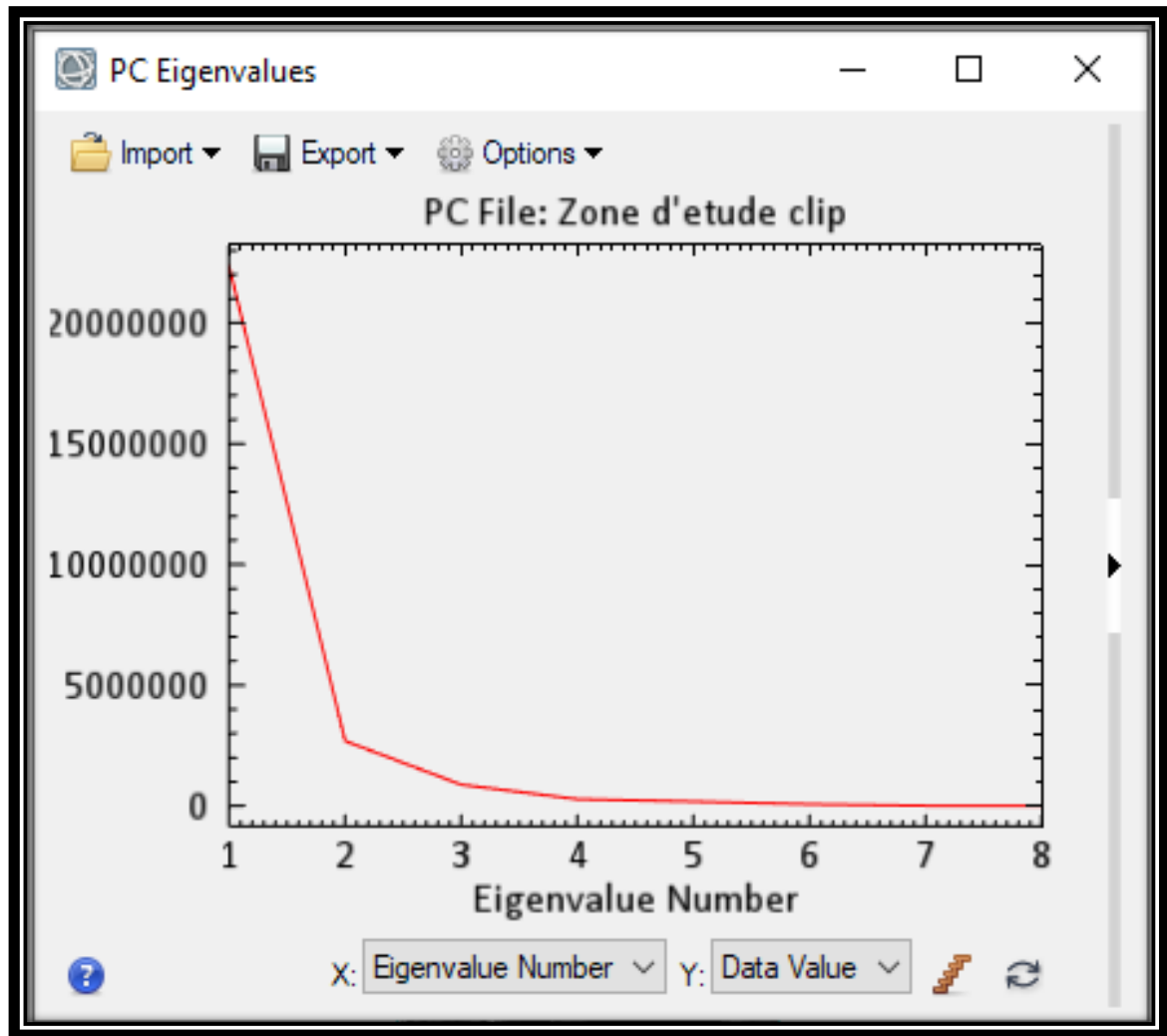


Figure 28 : Le tracé des valeurs propres du PC.

Les bandes PC produisent des images composites plus colorées que les images composites couleur spectrales car les données ne sont pas corrélées.

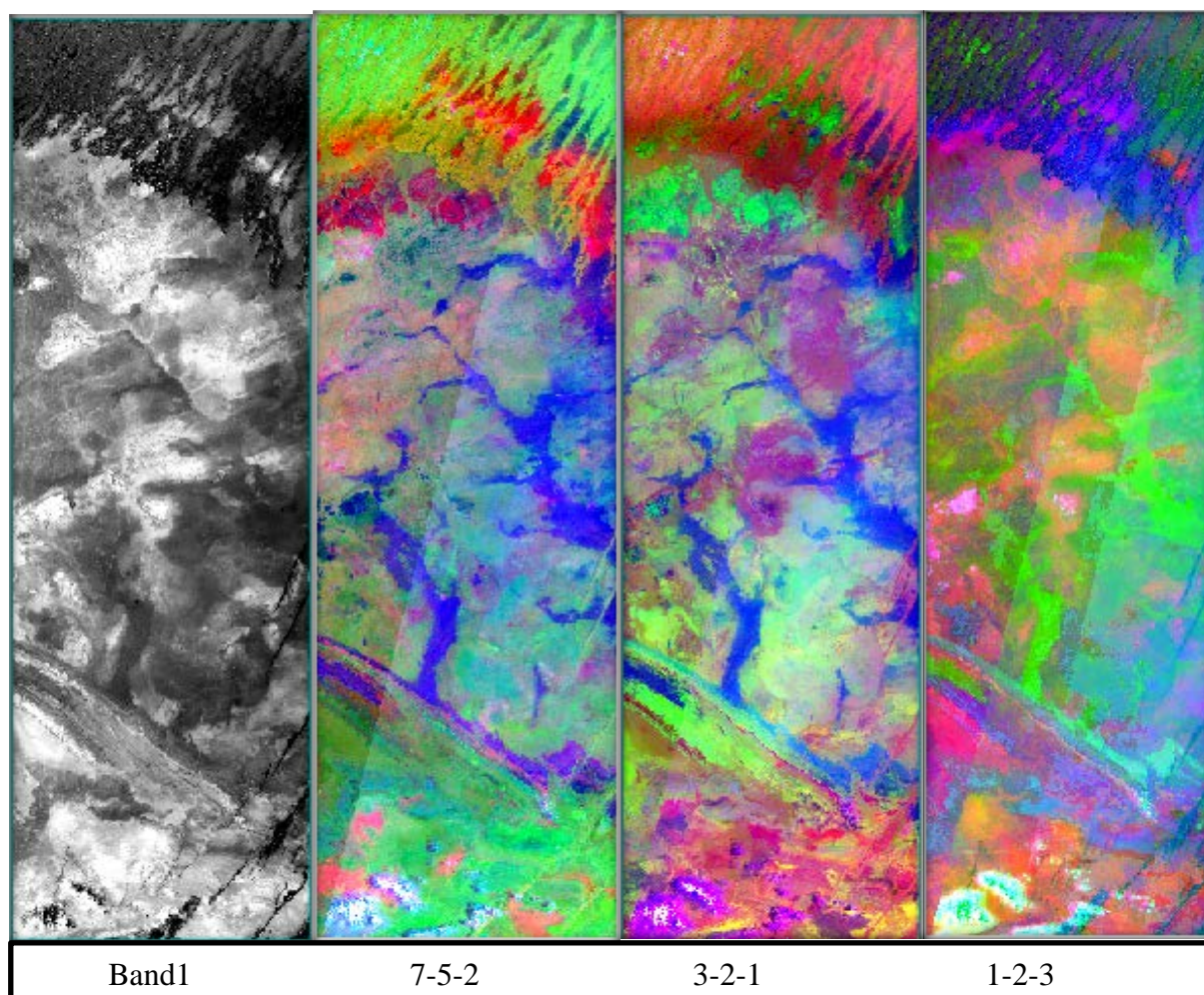


Figure 29 : Le résultat de traitement ACP landsat-8 avec quelque composition colorée.

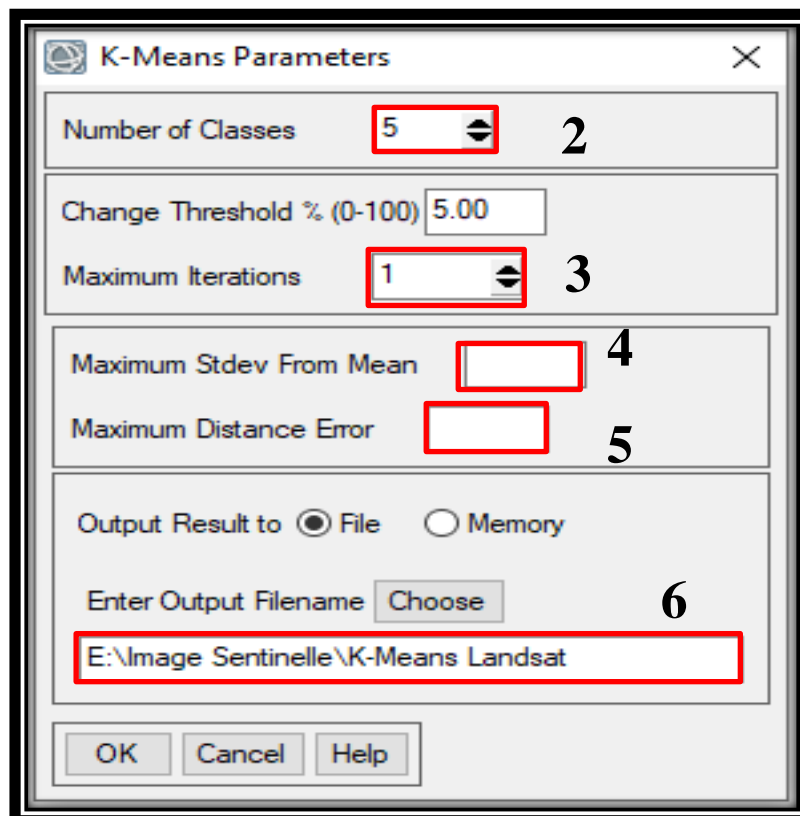
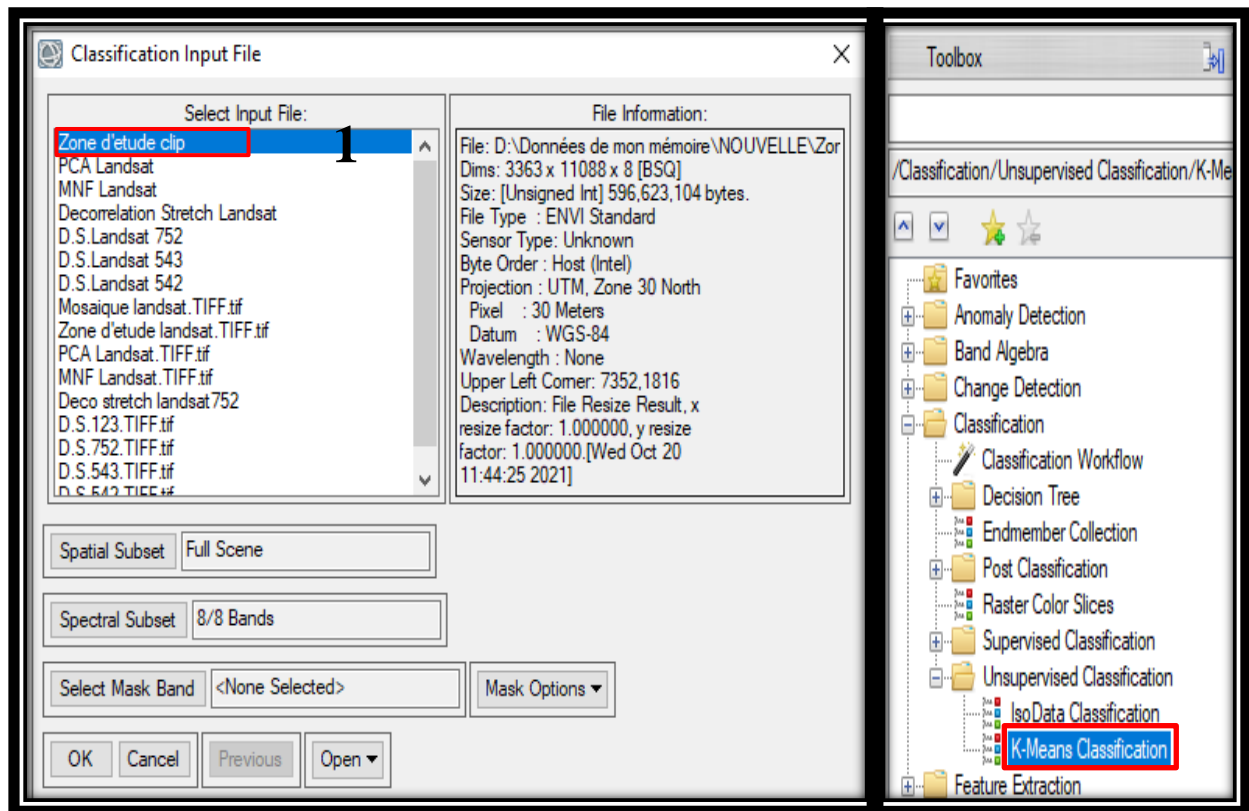
4.3.3 La classification non supervisée (K-Means) :

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 :

- ✓ Sur « Toolbox » en cherche k-Means Classifications
- ✓ Sélectionner le fichier (1) puis OK
- ✓ Sur la fenêtre « k-Means Parameters » en va choisir :
 - Le nombre de classes(2)
 - Le nombre d'itération(3)
 - L'écart type maximal(4)
 - Distance minimale(5)
 - L'emplacement du fichier(6)
 - Et valider par OK.

CHAPITRE III : TELEDETECTION.



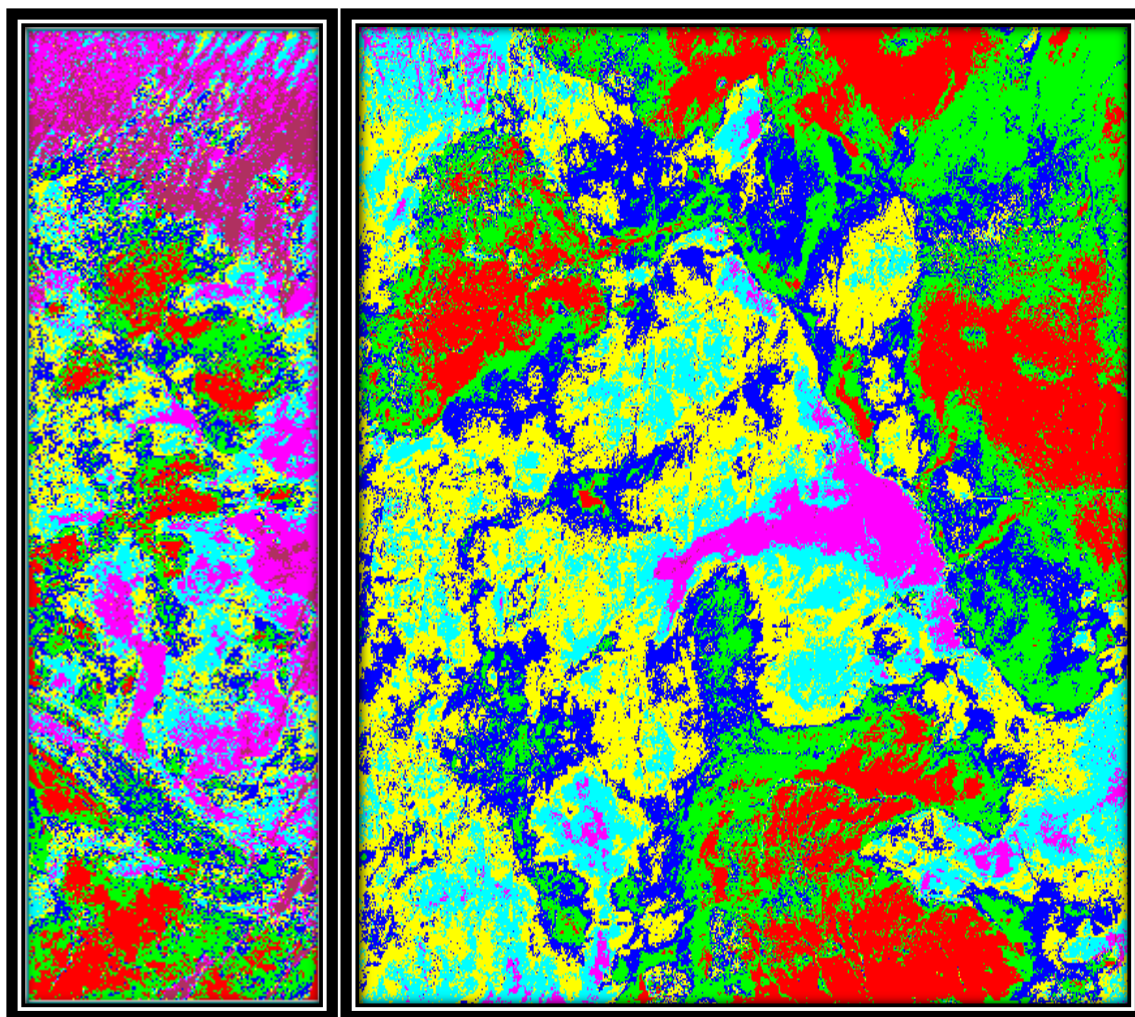


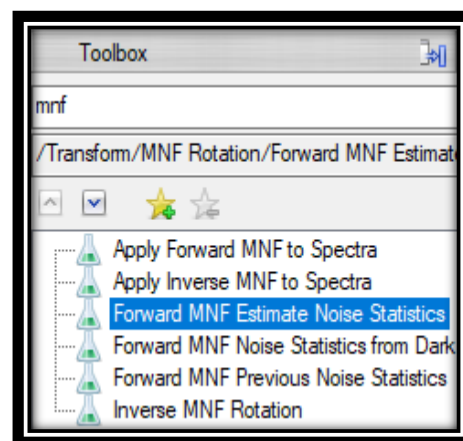
Figure 30 : Le résultat de traitement K-Means (7 Classes) landsat-8.

4.3.4 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 :

- ✓ 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)



CHAPITRE III : TELEDETECTION.

✓ Valider par OK.

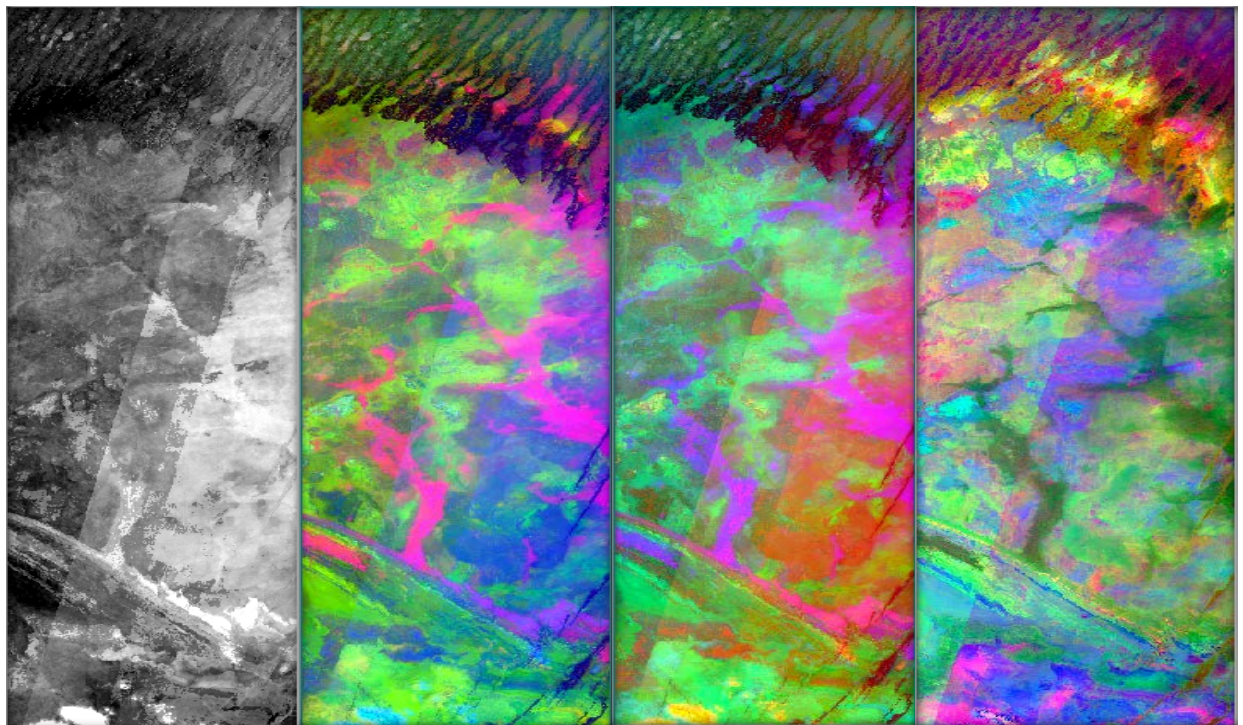
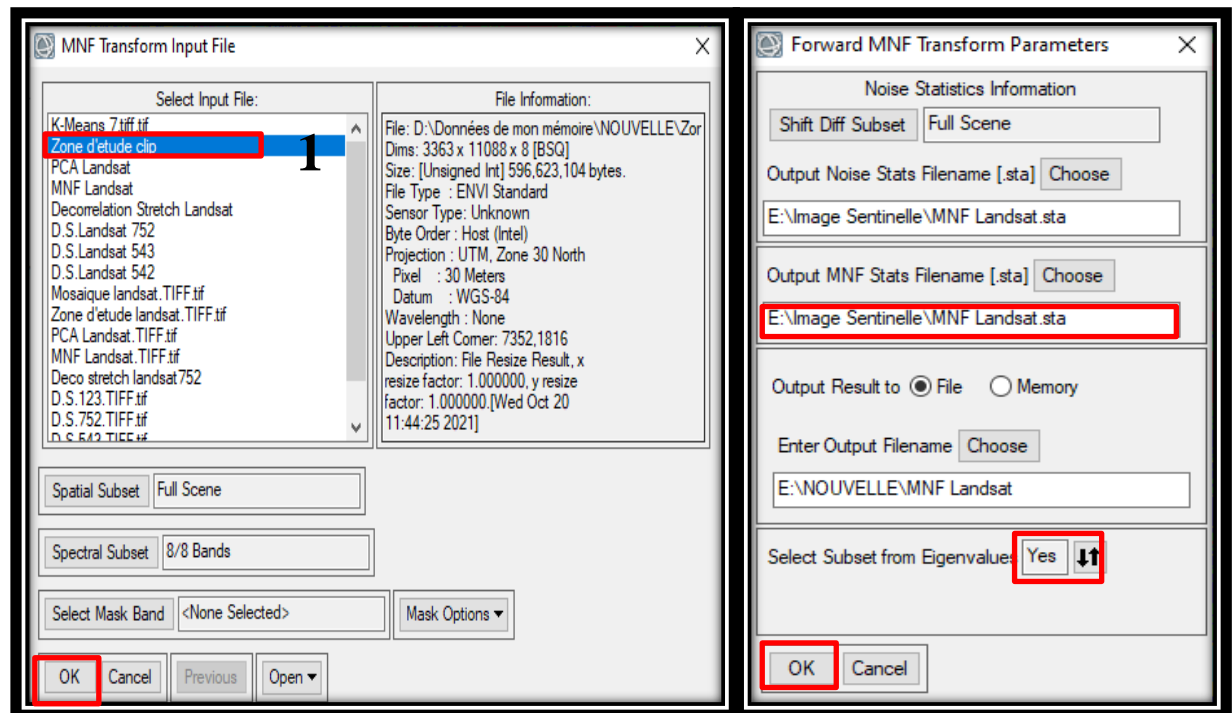


Figure 31 : Le résultat de traitement MNF landsat-8 en utilisant les combinaisons (Band 1/3-2-1/1-2-3/7-5-2) par ordre.

CHAPITRE III : TELEDETECTION.

4.3.5 Filtre linéaire:

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 :

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

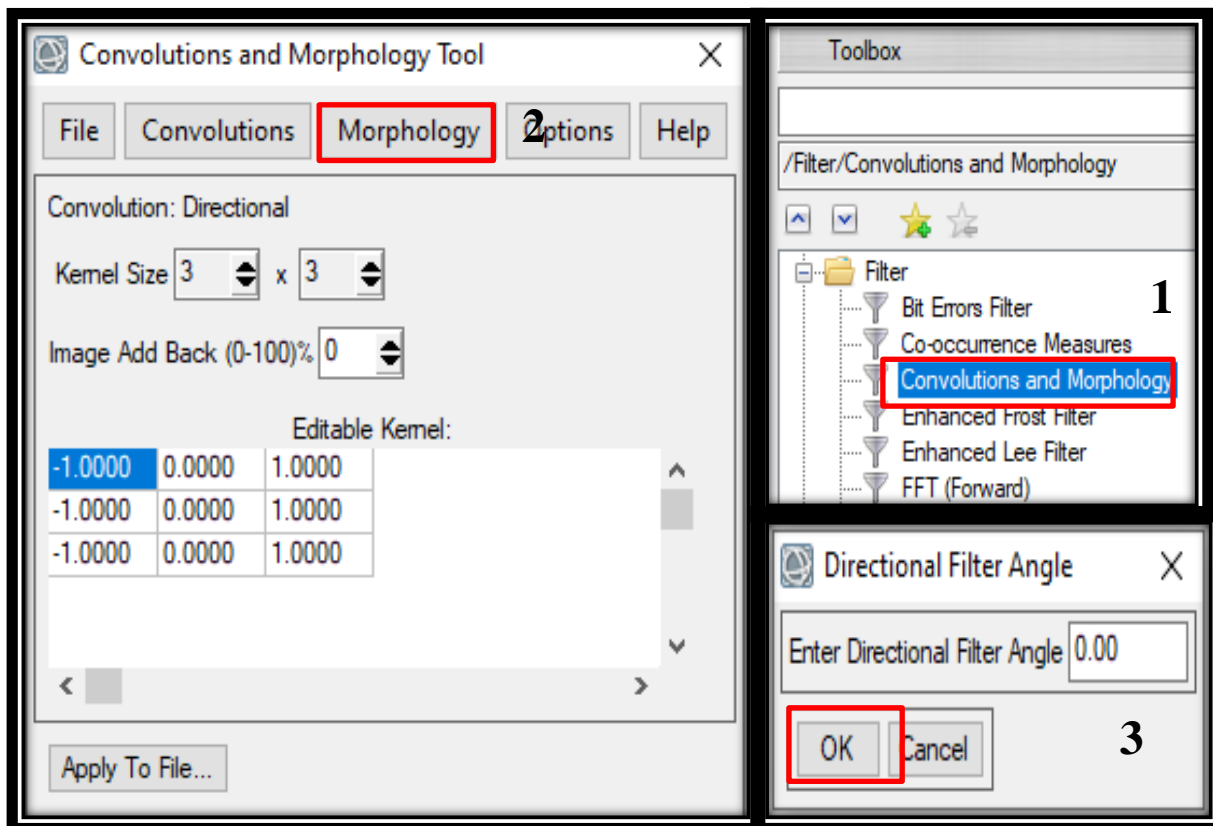
Pour cela, nous allons présenter la méthodologie comme suite :

1. Dans « Toolbox » en cherche filtre et en choisit « Convolutions and Morphology »

Une fenêtre s'ouvre

2. En clique sur « Convolutions » et en choisit « Directionnel »
3. Sur cette fenêtre en choisit l'angle

Dans notre travaille en a utilisés trois angles ($45^\circ//90^\circ//180^\circ$)



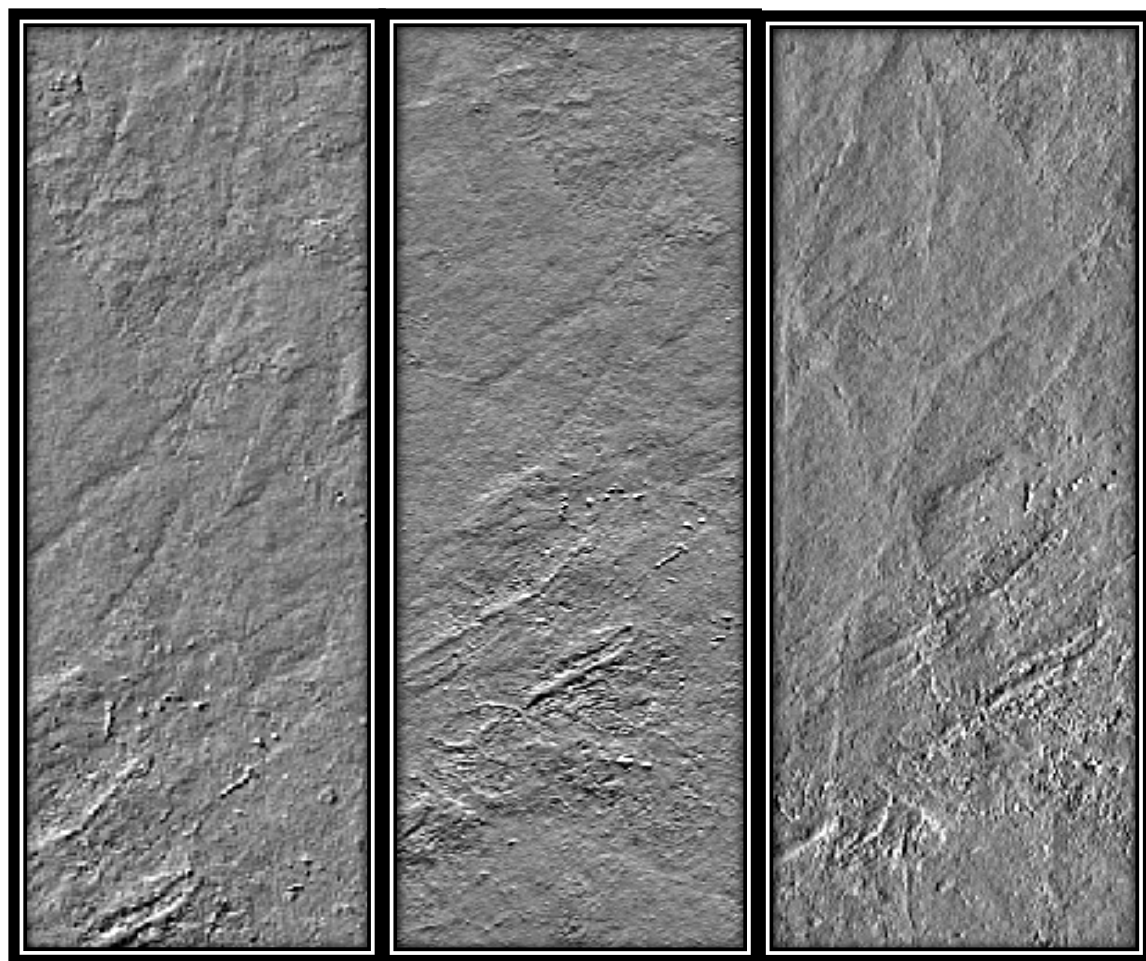


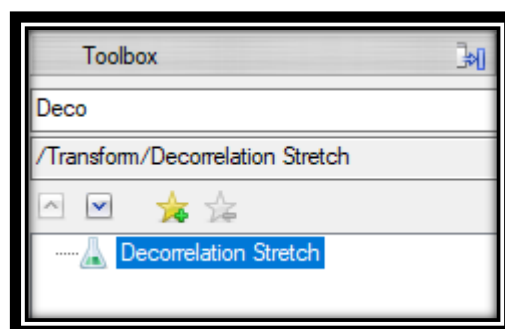
Figure 32 : Le résultat du filtre directionnel en appliquant les angles suivant en ordre (45°//90°//180°) pour l'image landsat-8.

4.3.6 Étirement de la décorrélation (Decorrelation Stretch) :

Il est utilisé pour supprimer la forte corrélation que l'on trouve couramment 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 en couleur assez fades. L'étirement de la décorrélation nécessite trois bandes pour l'entrée. Ces bandes doivent être des données d'octets étirées ou peuvent être sélectionnées à partir d'un écran couleur ouvert.

Les étapes du traitement :

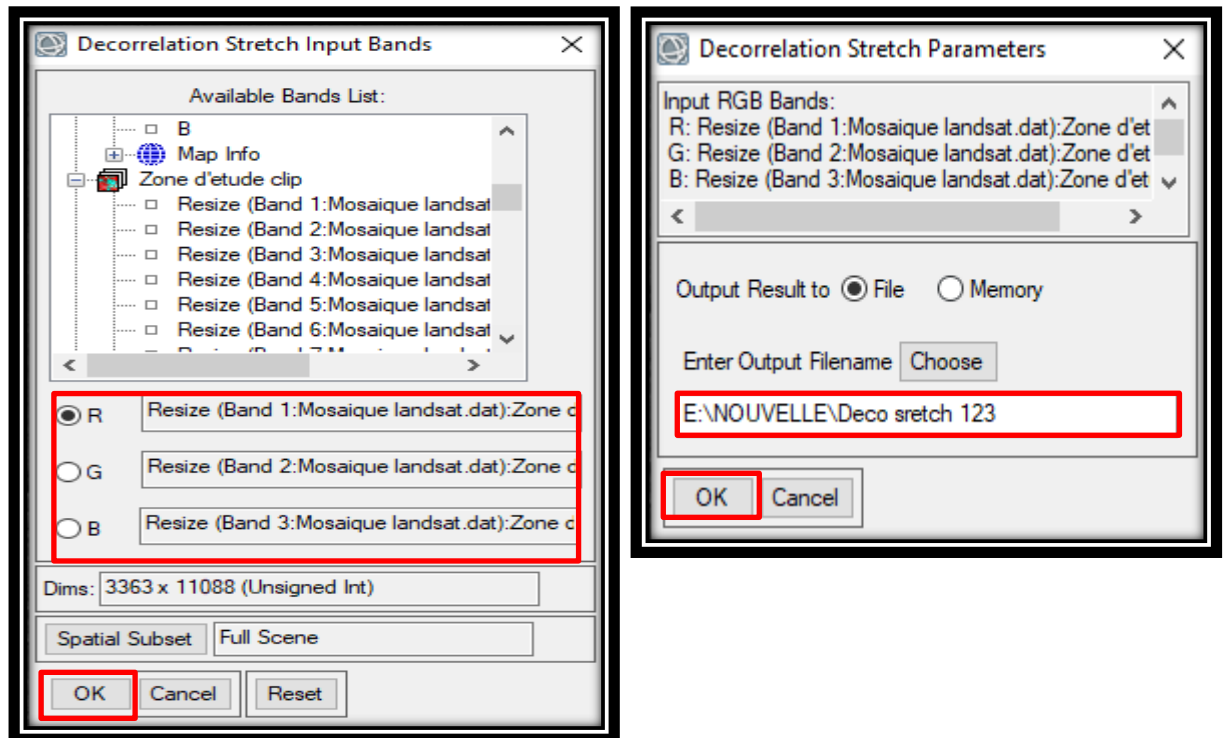
- ✓ Sur « toolbox » cherchez « Decorrelation Stretch »
- ✓ Sélectionnez une bande pour les champs R, V et B, puis cliquez sur OK



La fenêtre Decorrelation Stretch Parameters s'affiche.

CHAPITRE III : TELEDETECTION.

- ✓ Choisir le nom et l'emplacement de traitement et en valide par OK.



Chapitre IV : Système d'information géographique.

1. Généralités sur le système d'informations géographiques :

1.1 Introduction :

Le système d'information géographique combiné à la cartographie permet de réaliser des documents cartographiques, bien qu'il apparaisse comme un outil incontournable permettant d'organiser les couches d'informations et de les analyser dans le but d'en extraire les données. L'utilisation d'un SIG pour la gestion des ressources naturelles concerne essentiellement la cartographie du terrain à étudier (les différentes cartes réalisées). Les cartes réalisées de manière traditionnelle ne sont plus adaptées aux besoins actuels. La complexité et la diversité des données relatives à l'environnement ont favorisé le développement de systèmes capables de répondre aux besoins de collecte, d'analyse et de représentation de phénomènes environnementaux. Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) et la télédétection sont devenus des outils incontournables pour la compréhension et le suivi des phénomènes dynamiques et, une nécessité pour l'orientation d'investissement et disposer d'arguments valables pour la prise de décisions (Missoumi et Tadjerouni, 2003).

1.2 Définition de SIG :

De nombreuses définitions d'un système d'information géographique (SIG) existent. Pour On ne retiendra que les définitions les plus simples, on peut se référer aux deux définitions suivantes :

Selon Berger et al (2005), un SIG peut être défini comme un ensemble de coordonnées d'opérations généralement informatisées destinées à transcrire et à utiliser des données géographiques sur un même territoire. Ce dispositif vise particulièrement à combiner au mieux les différentes sources accessibles : bases de données, savoir-faire, capacité de traitement selon les applications demandées.

La seconde définition retenue est comme suit :

Le SIG est l'ensemble des matériels et logiciels informatiques ainsi que des données géographiques avec lesquels les utilisateurs interagissent pour intégrer, analyser et visualiser les données, identifier les relations, les schémas et les tendances et trouver des solutions aux problèmes. Ce système est destiné à la capture, au stockage, à la mise à jour, à la manipulation, à l'analyse et à l'affichage des informations géographiques. Un SIG sert habituellement à représenter des cartes sous forme de couches de données qui peuvent être étudiées et utilisées à des fins d'analyse (ESRI, 2004).

CHAPITRE IV : SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

1.3 Historique :

On cite souvent comme première application des SIG selon Kodjo (2008), l'étude menée avec succès par le docteur John Snow pendant l'épidémie de choléra dans le quartier de Soho à Londres en 1854 : ayant représenté sur un plan la localisation des malades et l'endroit où ils puisaient leur eau, il détermina que c'était l'eau d'un certain puits qui était le foyer de contamination. (On peut faire du SIG sans ordinateur).

Le développement des SIG dans la science et l'aménagement du territoire a été possible par l'avancée de la technologie informatique, et encouragé par la prise de conscience environnementale et de nouvelles approches scientifiques transdisciplinaires, intégratrices. Depuis les années 1970, notamment depuis le sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992 qui a généré une demande croissante de cartes présentant l'état de l'environnement et utiles pour mesurer les impacts du développement (Kodjo, 2008).

Maguire et al (1991), distinguent des périodes principales dans l'évolution des SIG comme le résume le tableau 7.

1.4 Période	1.5 Evolution de SIG
Fin des années 1950 Milieu des années 1970	Début de l'informatique, premières cartographies automatiques.
Milieu des années 1970 Début des années 1980	Diffusion des outils de cartographie automatique / SIG dans les organismes d'État (armée, cadastre, services topographiques, ...)
Depuis les années 1980	Croissance du marché des logiciels, développements des applications sur PC, mise en réseau (bases de données)
Depuis les années 1990	Des applications sur Internet et une banalisation de l'usage de l'information géographique (cartographie sur Internet, calcul d'itinéraires routiers, utilisation d'outils embarqués liés au GPS...)

Tableau 7 : Les périodes principales dans l'évolution des SIG.

2. Architecture et fonctionnement d'un SIG :

2.1 Les composantes d'un SIG :

Un SIG est constitué de cinq composantes majeures tels que présentées par le schéma ci-dessous :

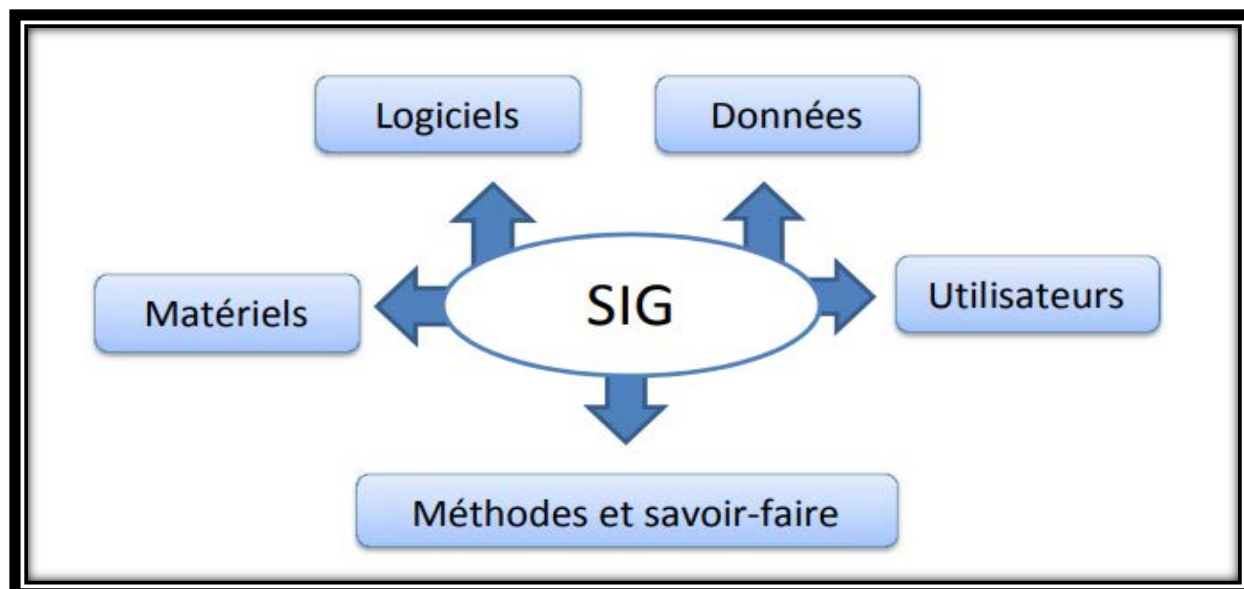


Figure 33 : Composantes d'un SIG.

2.1.1 Les matériels informatiques :

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.

2.1.2 Les logiciels :

Ils assurent les 6 fonctions suivantes :

1. Saisie des informations géographiques sous forme numérique (Acquisition).
2. Gestion de base de données (Archivage).
3. Manipulation et interrogation des données géographiques (Analyse).
4. Mise en forme et visualisation (Affichage).
5. Représentation du monde réel (Abstraction).
6. La prospective (Anticipation).

Selon la même source (1 et 2), les logiciels qui sont utilisables dans le domaine des systèmes d'information géographique il y a : L'ARCGIS, MAPINFO, ENVIE, ERDAS, SURFER...

2.1.3 Les données :

Les données sont certainement les composantes les plus importantes des SIG. Les données géographiques et les données tabulaires associées peuvent, soit être constituées en interne, soit acquises auprès de producteurs de données.

Les données géographiques : Elles possèdent quatre composantes :

- Les données géométriques renvoient à la forme et à la localisation des objets ou phénomènes

CHAPITRE IV : SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

- Les données descriptives (qui font partie des données attributaires) renvoient à l'ensemble des attributs descriptifs des objets et phénomènes à l'exception de la forme et de la localisation
- Les données graphiques renvoient aux paramètres d'affichage des objets (type de trait, couleur...)
- Les métadonnées associées, c'est-à-dire les données sur les données (date d'acquisition, nom du propriétaire, méthodes d'acquisition...)

Les données attributaires :

Il s'agit de données associées à un objet ou une localisation géographique, soit pour décrire un objet géographique, soit pour localiser des informations : nom d'une route, type d'un bâtiment localisé par son adresse, nombre d'habitants d'un immeuble localisé par ses coordonnées Lambert, débit d'un cours d'eau, tension d'une ligne de transport d'énergie, type d'arbres dans un verger localisé par sa parcelle, etc. Les données attributaires sont reliées à la géométrie de l'objet.

Les objets géographiques : Trois types d'entités géographiques peuvent être représentés :

- Le point (x,y) ou ponctuel
- La ligne ((x1, y1), ..., (xn, yn)) ou linéaire
- Le polygone

Relation objets/données attributaires :

Le géo-référencement est la technique de mise en relation organisée des objets géographiques et des données attributaires. Il suppose la mise en place dans le SIG d'un système de repérage normés, dont le rôle est l'équivalent des dépendances fonctionnelles dans les bases de données relationnelles. Ainsi des données alphanumériques, issues de fichiers externes au SIG lui-même, pourront être croisées avec les informations géographiques du SIG, donnant lieu à des usages de géo-analyse.

Les métadonnées :

Les données manipulées par un SIG viennent de sources et bases de données diverses. Une organisation qui se dote d'un tel système doit maîtriser ces sources, de façon à s'assurer :

- Qu'elle est bien au fait de l'ensemble des couches de données disponibles dans l'organisation
- Qu'elle peut se fier aux résultats obtenus lors de leur utilisation
- Qu'elle en maîtrise la gestion interne
- Qu'elle en maîtrise les coûts d'acquisition et de mise à jour
- Qu'elle est en mesure, le cas échéant, de fournir tout ou partie de ses données à des tiers, en donnant une visibilité suffisante sur la qualité de la fourniture

CHAPITRE IV : SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

C'est pourquoi toute source de données géographiques ne se limite pas à son contenu attributaire et géographique, mais est accompagnée d'informations caractérisant la source elle-même, c'est à dire de données sur les données (on les appelle métadonnées).

Quelques exemples de métadonnées (parmi beaucoup d'autres) :

- Description générale :

Description et nature des données

Système de projection et étendue géographique

Organisme producteur

- Qualité des données :

- ✓ Date de saisie ou de validité - si une donnée est ancienne par rapport aux évolutions des entités qu'elle représente, on peut toujours la faire intervenir dans des calculs, mais les résultats seront à interpréter avec prudence
- ✓ Précision de la saisie - croiser des données de qualité centimétrique avec des données de qualité hectométrique ne donne jamais que des résultats d'une précision hectométrique !
- ✓ L'ensemble de ces informations doit pouvoir être facilement accessible et partageable par tous les acteurs intervenant à quelque niveau que ce soit dans le cycle de vie des données au sein de l'organisation.

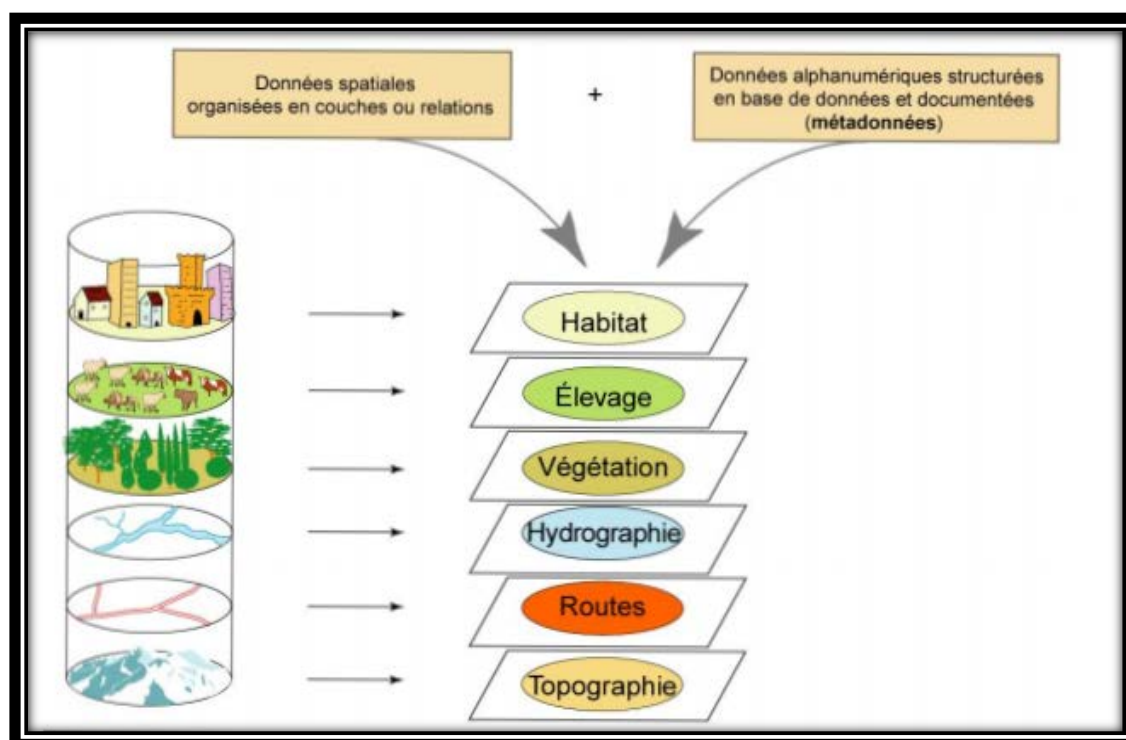


Figure 34 : Base des données géographiques.

2.1.4 Les utilisateurs :

Un SIG étant avant tout un outil, c'est son utilisation (et donc, son ou ses utilisateurs) qui permet d'en exploiter la quintessence. Les SIG s'adressent à une très grande communauté d'utilisateurs depuis ceux qui créent et maintiennent les systèmes, jusqu'aux personnes utilisant dans leur travail quotidien la dimension géographique. Avec l'avènement des SIG sur internet, la communauté des utilisateurs de SIG s'agrandit de façon importante chaque jour et il est raisonnable de penser qu'à brève échéance, nous serons tous à des niveaux différents des utilisateurs de SIG.

2.1.5 Méthodes et savoir-faire :

La mise en œuvre et l'exploitation d'un SIG ne peut s'envisager sans le respect de certaines règles et procédures propres à chaque organisation. Un SIG fait appel à une connaissance technique et à divers savoir-faire et donc divers métiers qui peuvent être effectués par une ou plusieurs personnes.

2.2 Le fonctionnement d'un SIG :

2.2.1 Couches :

Un SIG stocke les informations sous la forme de couches thématiques pouvant être reliés les unes aux autres par leurs coordonnées géographiques.

Chaque couche va contenir un ensemble unique de données (couches des réseaux routiers, couches de réseau urbain, couches de végétation) et c'est en rassemblement ces différentes couches que l'on obtiendra la carte finale représentant toutes les données géographiques pertinentes.

2.2.2 Références géographiques :

L'information géographique contient soit une référence géographique explicite (latitude & longitude ou grille de coordonnées nationales) ou une référence géographique implicite (adresse, code postal, nom de route...). Le géocodage, processus automatique, est utilisé pour transformer les références implicites en références explicites et permettre ainsi de localiser les objets et les événements sur la terre afin de les analyser.

2.2.3 Les données géographiques utilisées dans un SIG :

Les Systèmes d'Information Géographique exploitent deux différents types de modèles géographiques (IAAT, 2003) :

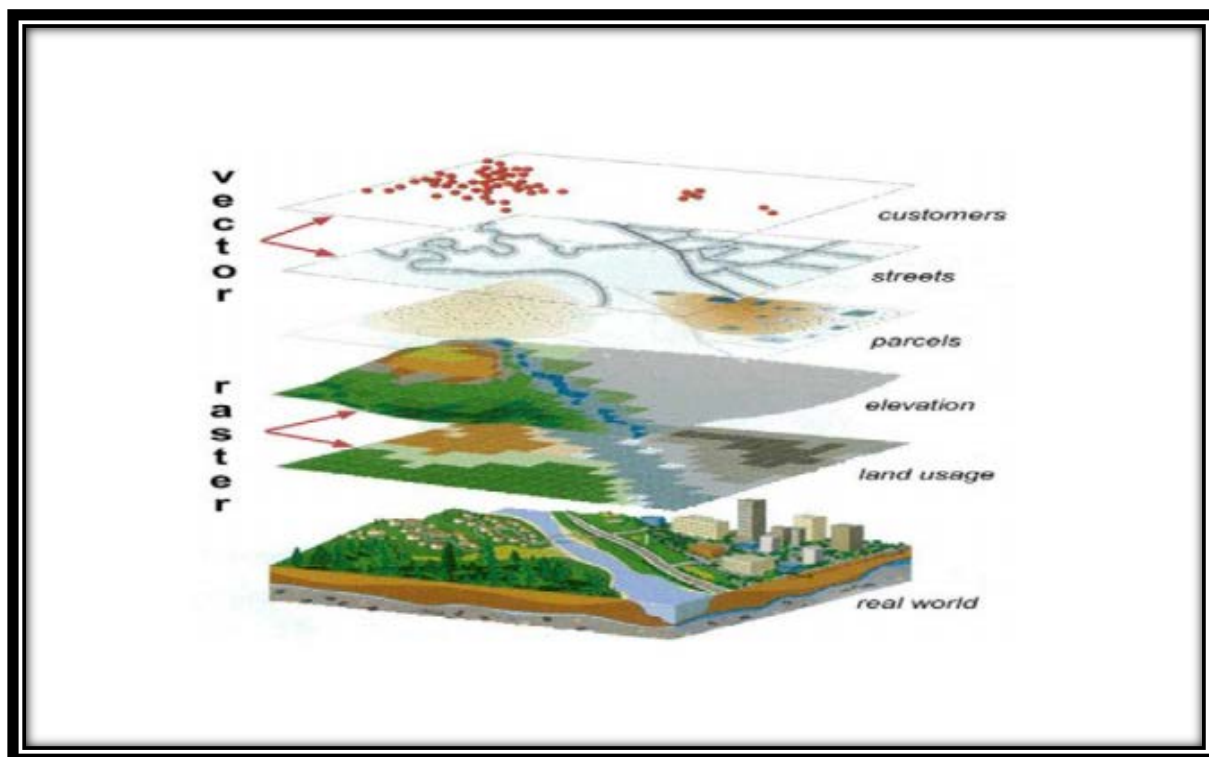


Figure 35 : Deux différents types de modèles géographiques.

2.2.3.1 Le mode « raster » :

Les données raster ont comme élément essentiel le pixel (pictureelement). Elles proviennent soit d'un scannage d'une carte, soit d'une image numérique telle que les images satellites (figure 35). Les pixels sont répartis dans un raster de façon régulière.

Les lignes et les surfaces ne peuvent être représentées par l'enchaînement de pixels uniques. Un objet ne peut donc être représenté que de façon approximative ; c'est ainsi que la taille du pixel conditionne l'exactitude de la présentation (figure 35).

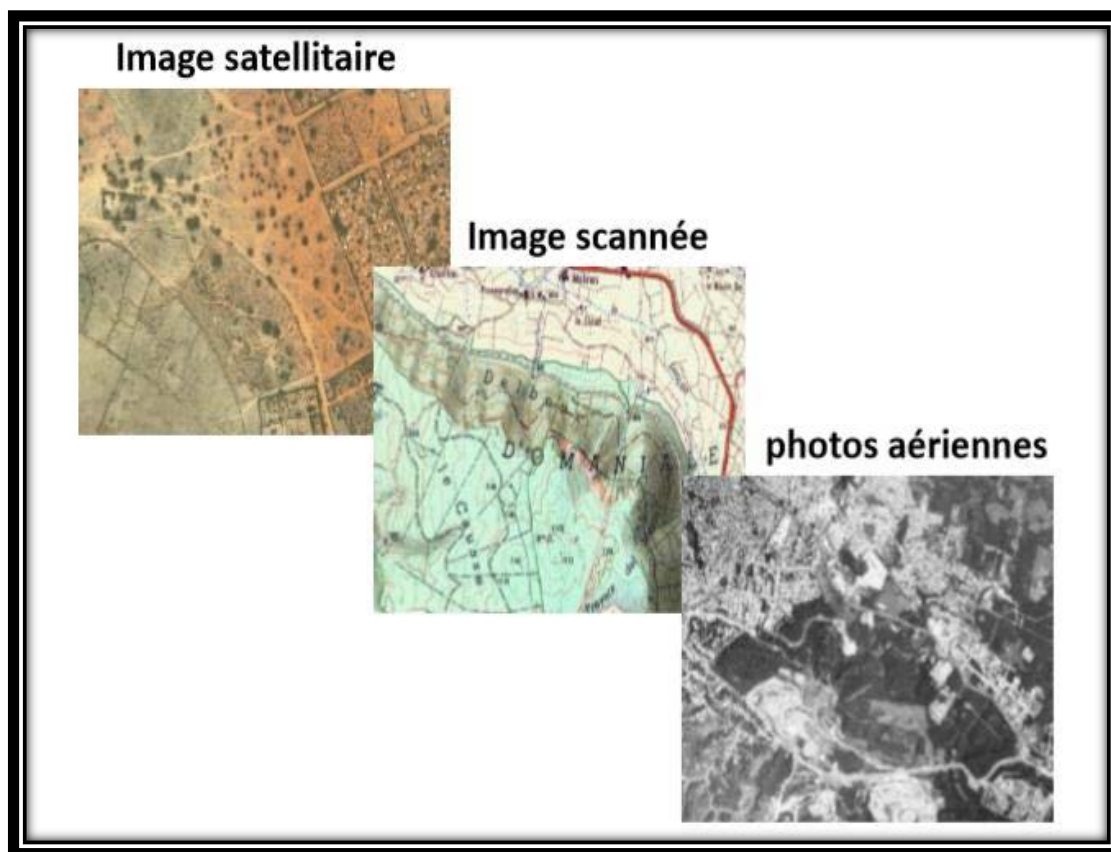


Figure 36 : Deux différents types de modèles géographiques.

2.2.3.2 Le mode « vecteur » :

Dans ce type de données, le point avec ses coordonnées sont les porteurs de l'information géométrique. Les lignes et les surfaces se comprennent comme une suite définie de points caractéristiques. Les données vectorielles sont la plupart du temps le résultat de la numérisation manuelle ou semi-automatique.

D'une façon générale, dans les données vectorielles on distingue les points, les lignes et les surfaces qui sont toujours représentés en couches différentes.

Le point : l'objet le plus simple, il peut représenter à grande échelle des arbres, des bornes d'incendie, des collecteurs d'ordures, Mais à des échelles plus petites de type carte routière au 1/1 000 000ème, il représente une capitale régionale.

La ligne : la ligne représente les réseaux de communication, d'énergie, hydrographiques, d'assainissement, etc. Elle peut être fictive, en représentant l'axe d'une route, ou virtuelle en modélisant des flux d'information, d'argent,

Le polygone : il peut matérialiser une entité abstraite comme la surface d'une commune ou des entités ayant une existence géographique comme une forêt, un lac, une zone bâtie, ...

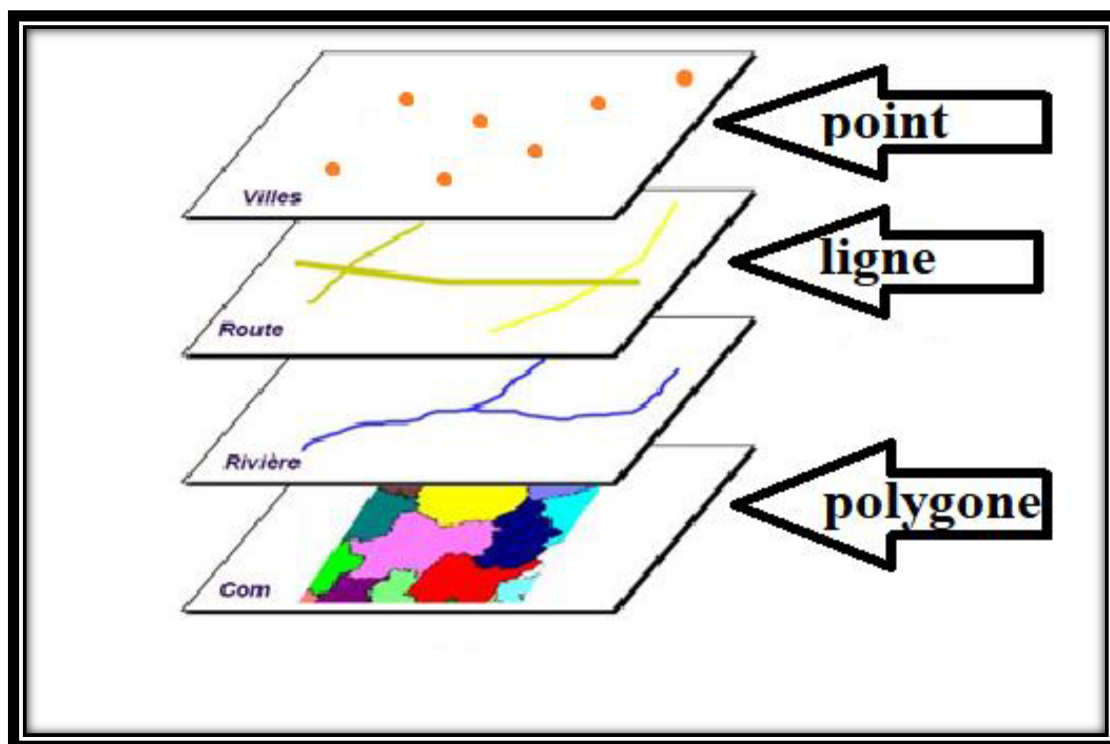


Figure 37 : Exemple de données vecteurs.

2.2.3.3 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.

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.

CHAPITRE IV : SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

	Le mode raster	Le mode vectoriel
Les avantages	<p>Structure simple de stockage des données.</p> <p>Superposition et combinaison des données facile.</p> <p>Analyse multivariable et modélisation spatiale faciles.</p>	<p>Structure de données compacte (une grande base de données pour un espace réduit).</p> <p>Efficacité de stockage.</p> <p>Possibilité de décrire la topologie à l'aide des liens en réseau.</p> <p>Mesures spatiales précises.</p> <p>Recherche, mise à jour et généralisation des graphiques et des attributs possibles.</p>
Les inconvénients	<p>L'utilisation de pixels de grande taille est une perte de précision.</p> <p>Mesures spatiales approximatives.</p> <p>Cartes produites de qualité inférieure.</p>	<p>Structure de stockage des données complexes.</p> <p>Analyse multivariable et modélisation spatiale complexes.</p>

Tableau 8 : Avantages et inconvénients des deux modes raster et vectoriel (CLARAMUNT G.1991 in OUHTI Y 2006).

2.3 Les domaines d'application du SIG :

- Les domaines d'application des SIG sont aussi nombreux que variés. Citons cependant :
- Géologie (prospection minière et exploitation des ressources).
- Cartographie et l'hydrogéologie.
- Gestion et surveillance de l'environnement (forêt, agriculture, eau, biodiversité, ...).
- Aménagement du territoire (voirie, réseaux assainissement).
- Modélisation spatiale.
- Etudes statistiques.
- Tourisme (gestion des infrastructures, itinéraires touristiques).

CHAPITRE IV : SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

- Géomarketing (localisation des clients, analyse du site).
- Gestion des risques naturels.
- Archéologie.
- Planification urbaine (voirie, réseaux assainissement).
- Transport (planification des transports urbains, optimisation d'itinéraires).
- Santé.
- Armée (Défense).

2.4 Les avantages d'un SIG :

Les logiciels SIG nous permettent de :

- ✓ Disposer les objets dans un système de référence géoréférencier.
- ✓ Convertir les objets graphiques d'un système à un autre.
- ✓ D'extraire tous les objets graphiques situés à une distance donnée d'une route.
- ✓ Fusionner des objets ayant une caractéristique commune (par exemple : toutes les maisons raccordées à un réseau d'eau potable).
- ✓ Déterminer l'itinéraire le plus court pour se rendre à un endroit précis.
- ✓ Définir des zones en combinant plusieurs critères (par exemple : définir les zones inondables en fonction de la nature du sol, du relief, de la proximité d'une rivière).

2.5 Les 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.

2.5.1 Construction du SIG géologique :

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 coût 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.

2.5.2 Architecture du modèle spatial :

Le modèle de données proposé consiste en une base de données spatiale multicouche permettant l'élaboration de la carte géologique par superposition de différents plans d'informations.

Cette approche implique la séparation de l'information géologique de base en différents thèmes c'est-à-dire en un ensemble d'objets géologiques homogènes ayant un même type spatial.

L'information « pseudo-3D » contenue dans la carte géologique et dans l'écorché tectonique est rendu par la superposition de thèmes de type polygones (« substratum rocheux » et « formations superficielles », par exemple). Des thèmes de type lignes (« éléments structuraux », « éléments morphologiques ») et de type points (« symboles orientés », « symboles non orientés », « forages », etc.) complètent l'information.

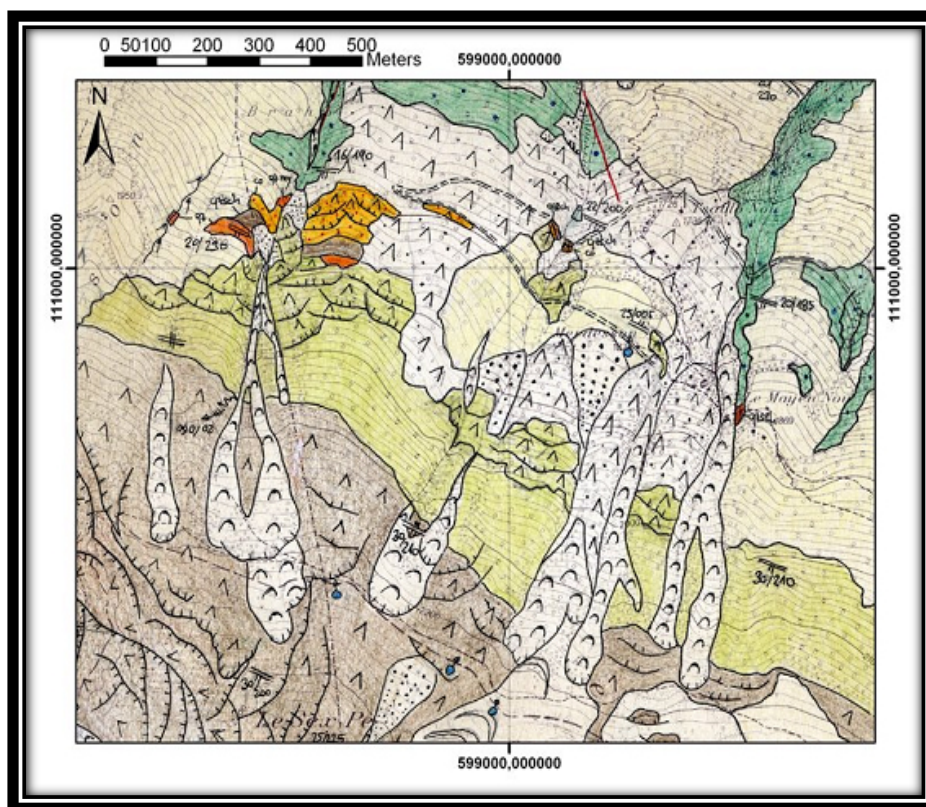


Figure 38 : Exemple de minute géologique de terrain comprenant les données de base.

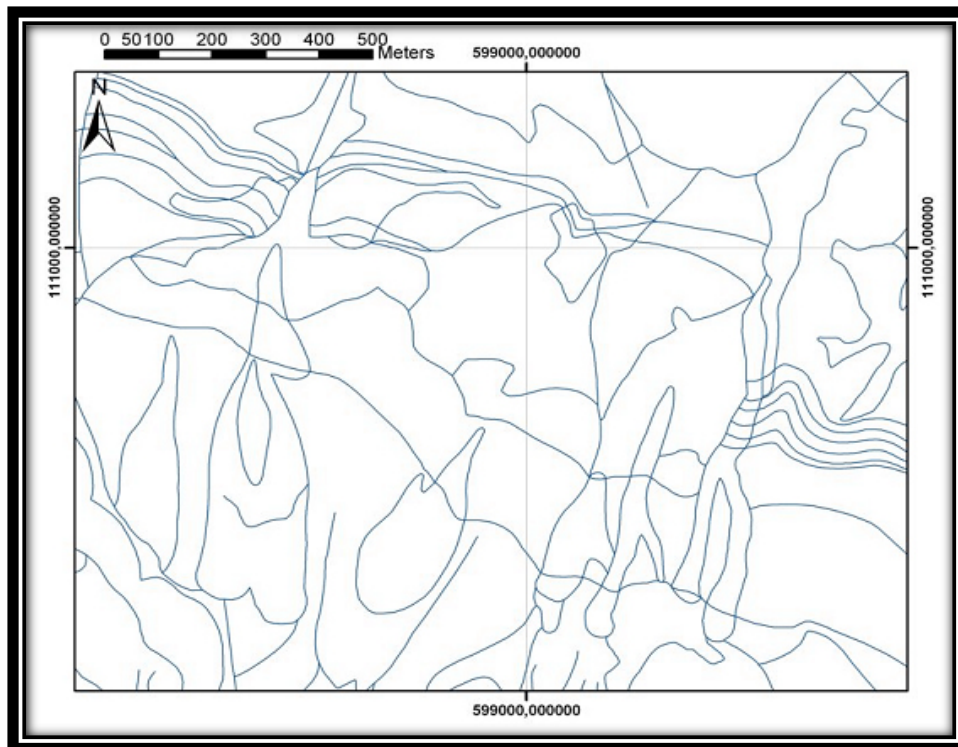


Figure 39 : Ensemble des lignes de la carte géologique vectorisé dans un thème de construction.

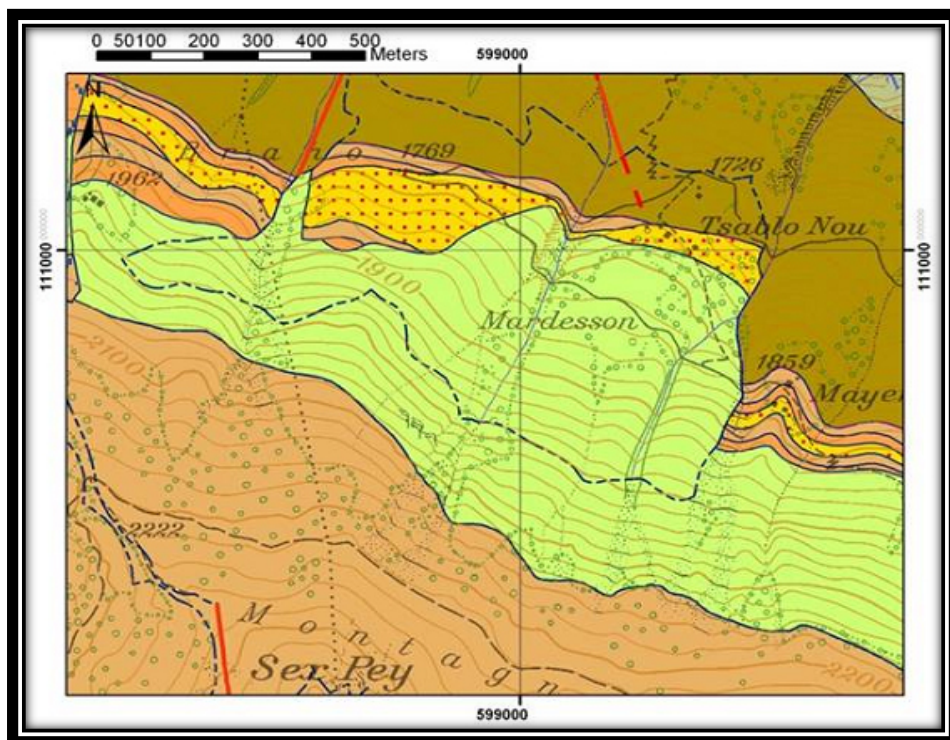


Figure 40 : Polygones construits à partir des lignes importées dans le thème « substratum rocheux »

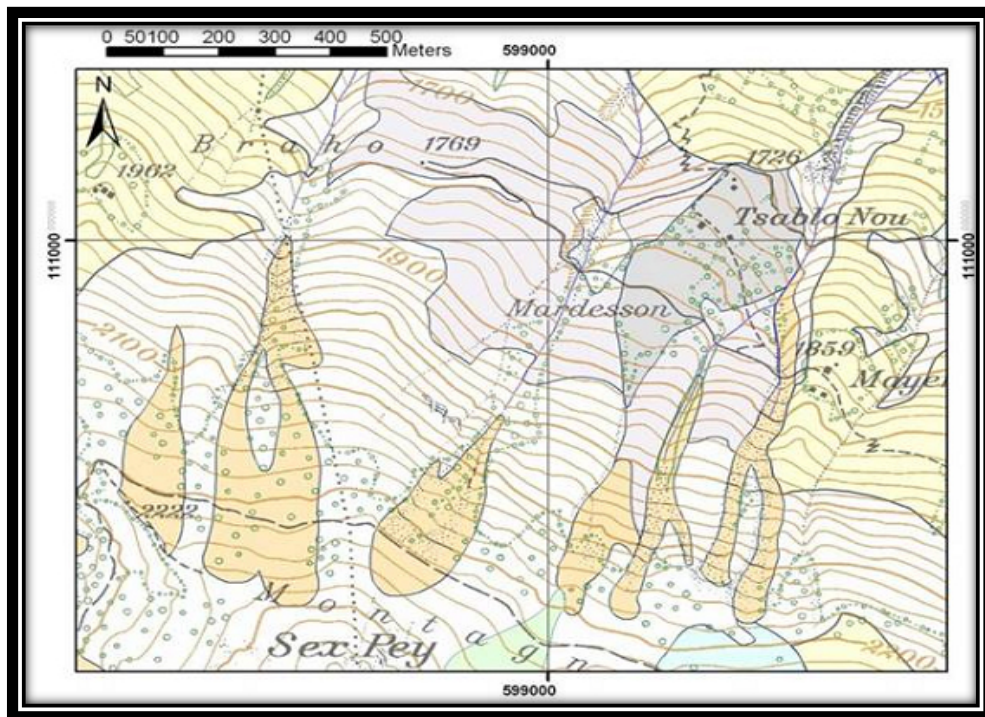


Figure 41 : Polygones construits à partir des lignes importées dans le thème « terrains superficiels ».

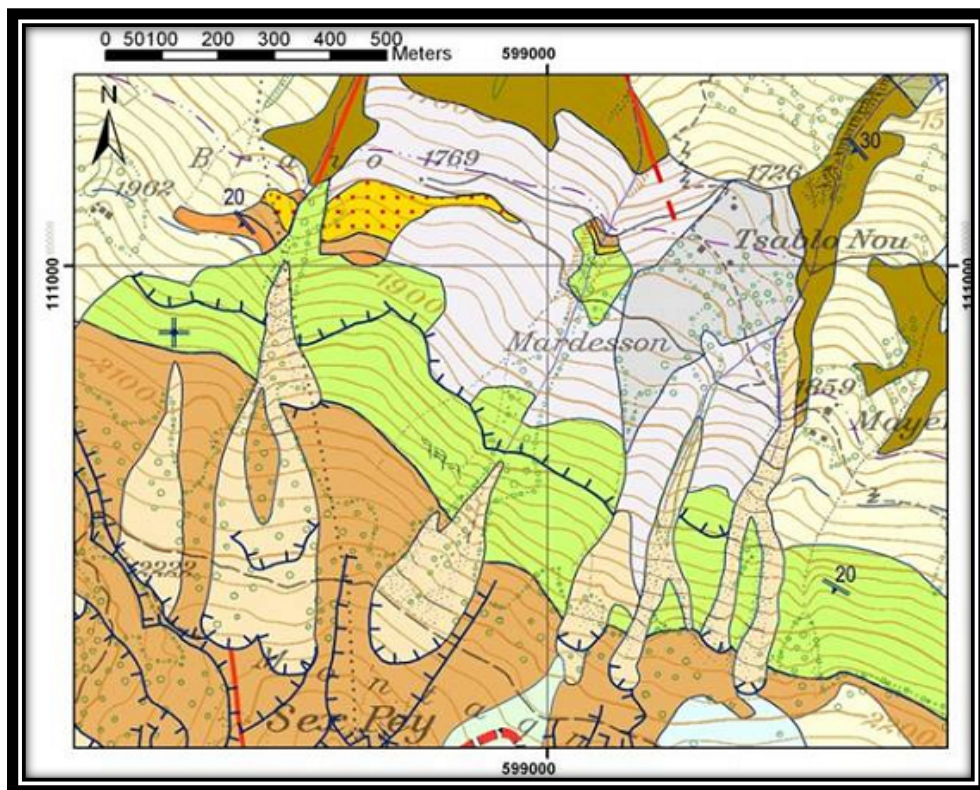


Figure 42: Carte géologique obtenue par superposition des thèmes du SIG.

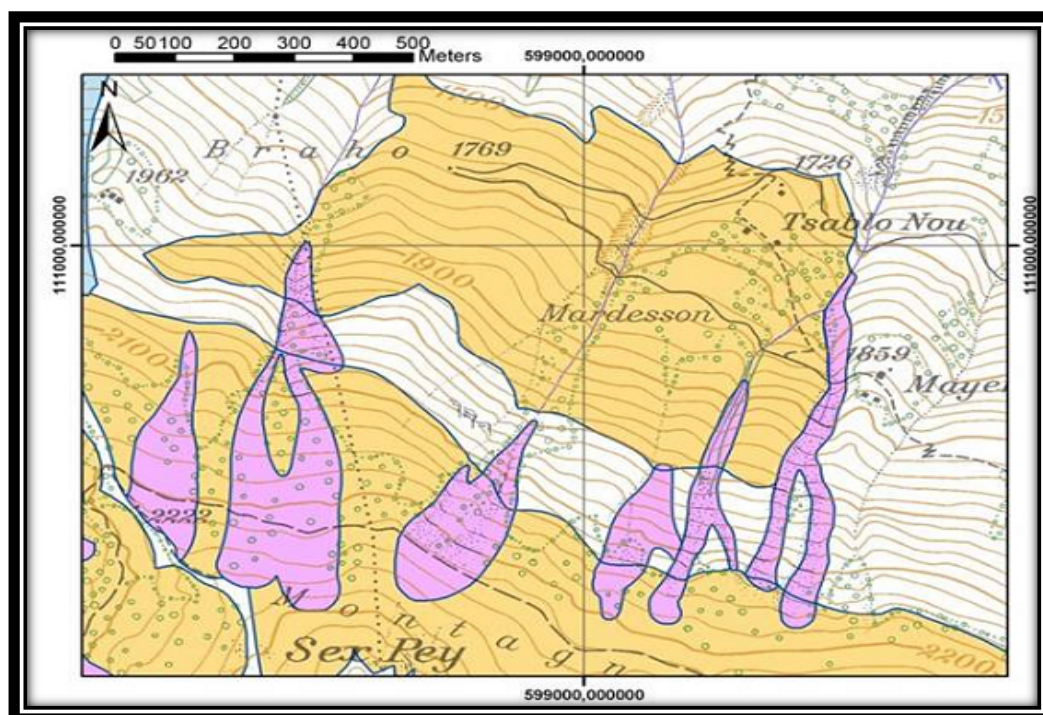


Figure 43 : Carte des instabilités de versant : carte 'métier' dérivée par analyse spatiale à partir du SIG.

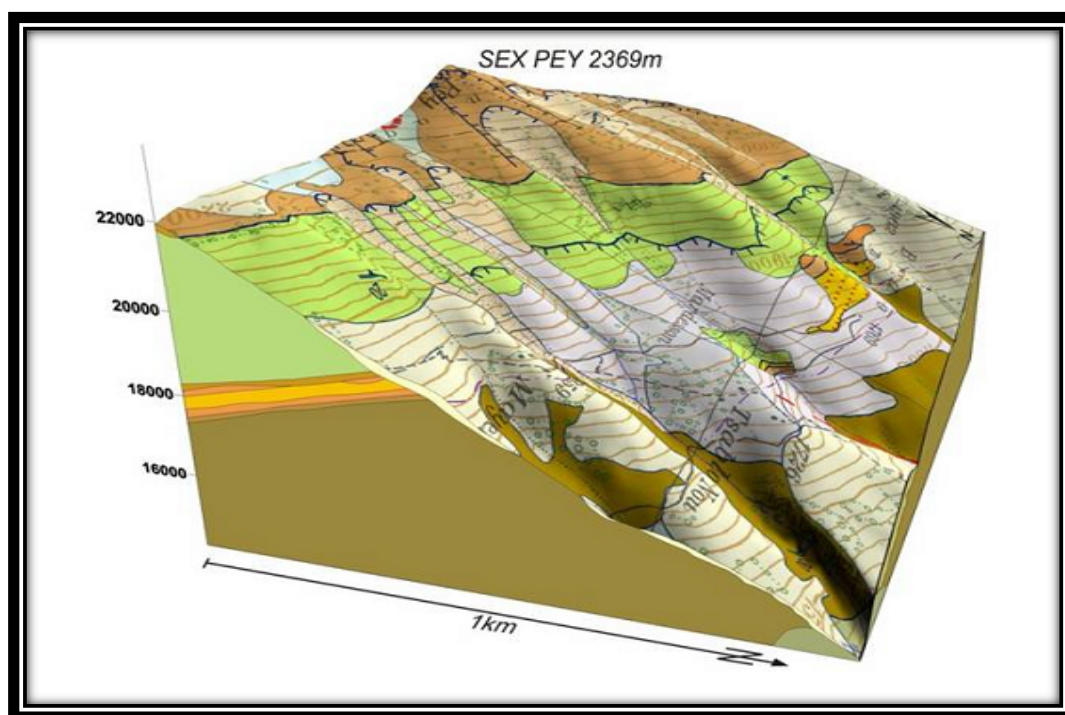


Figure 44 : Bloc-diagramme du secteur donné en exemple. Une information « pseudo 3D » est incluse dans le SIG grâce à la superposition des 2 thèmes « substratum rocheux » et « terrains superficiels ». Pour atteindre une parfaite cohérence topologique entre les différents thèmes, toutes les lignes de la carte sont vectorisées dans un seul thème de construction et attribuées de manière simple ou multiple.

2.5.3 Méthode de construction d'un SIG

Schématiquement, une carte géologique est constituée de surfaces auxquelles sont attribués des codes de couleur permettant de distinguer les différentes unités de terrains. La réalité est cependant plus complexe. Chaque surface est circonscrite par des segments de lignes qui sont les « objets (briques) élémentaires » de la carte. Certaines de ces lignes cumulent plusieurs significations géologiques (limite d'affleurement, niche d'arrachement et limite de tassement rocheux par exemple).

Dans le SIG chaque ligne appartiendra à un ou plusieurs thèmes. Comme élément constructif de polygones (ou comme élément linéaire) signification structurale ou morphologique.

La méthode développée consiste à numériser toutes les lignes de la carte géologique dans un seul thème de construction.

Chacune de ces lignes reçoit une attribution simple ou multiple en fonction de son appartenance aux différents thèmes constitutifs de la carte géologique.

Ces attributs reflètent la ou les fonctions géologiques de chaque objet levé par le géologue sur le terrain.

L'attribution discriminante des lignes dans le thème de construction permet d'extraire de manière semi-automatique les éléments de base des différents types de ligne et polygones.

Une opération topologique est encore nécessaire pour générer les surfaces et leur conférer une attribution spécifique. Une procédure itérative intégrant tests de validation, correction et reconstruction géométriques permet par ailleurs de garantir la cohérence topologique et sémantique du SIG.

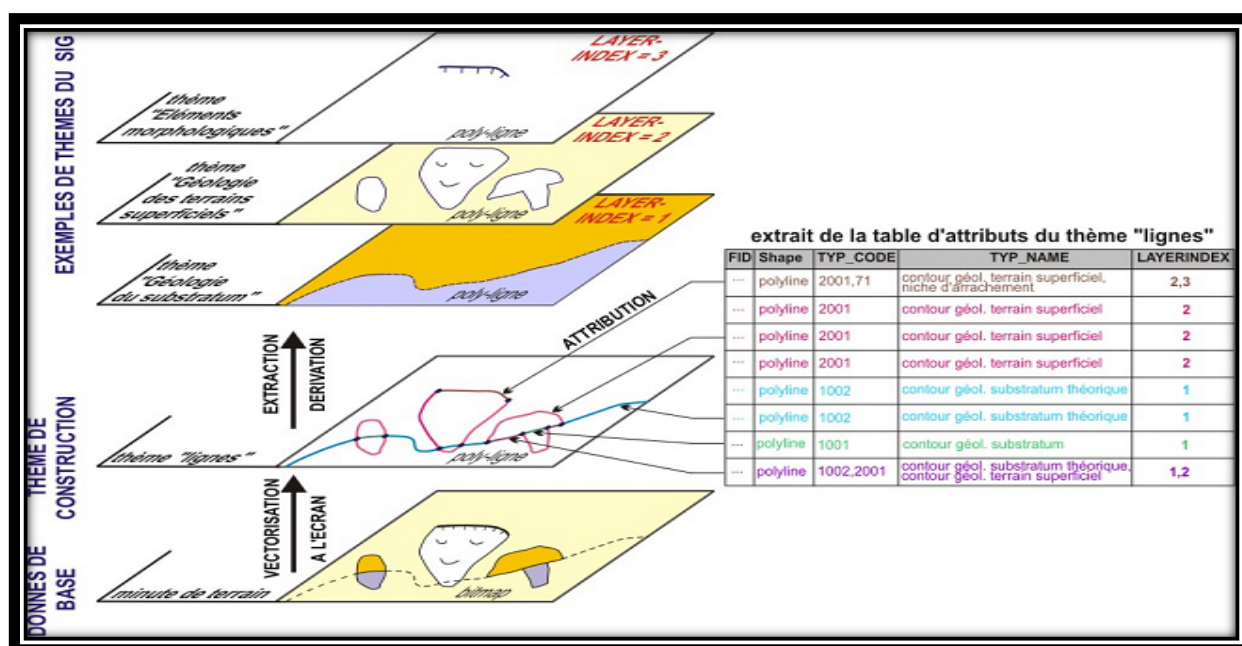


Figure 45 : Méthodes de constructions d'un SIG.

CHAPITRE IV : SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

Méthode de construction à partir d'un seul thème contenant toutes les lignes de la minute géologique. Une attribution simple ou multiple de chaque ligne permet leur extraction et leur affectation dans différents thèmes constitutifs de la carte géologique dans le SIG.

3. SIG sous ArcGIS :

3.1 Définition du logiciel ArcGIS 10 :

ArcGIS est l'un des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) les plus utilisés. Ce logiciel offre de nombreuses potentialités pour la manipulation, la gestion, l'analyse et l'édition des données spatiales. 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 ces différentes couches est le lien spatial, c'est-à-dire, l'appartenance au même espace géographique et ayant le même système de coordonnées.

Les différentes couches d'informations sont descriptives d'un espace géographique terrestre déterminé. Elles peuvent correspondre à des documents cartographiques représentant des objets thématiques géographiquement identifiés (carte de type IGN, photographies aériennes, images satellitaires, etc.) ou issus des analyses et des procédures de spatialisation (carte de la teneur en eau du sol, carte topographique, carte de la hauteur des arbres dans un peuplement forestier, etc.).

3.2 Présentation du logiciel ArcGIS 10 :

Le logiciel ArcGIS 10 Desktop comprend plusieurs applications dont les principales sont :

- 1. ArcCatalog : assure l'organisation et la gestion des données SIG.**
- 2. ArcMap :** c'est l'application centrale d'ArcGIS, dont elle assure à la fois la visualisation et le traitement (analyse, édition...) des données dans la fenêtre « data view ». La mise en page des cartes est réalisée dans la fenêtre « layoutview ». A noter qu'il existe l'ArcGlobe, qui est comparable à ArcMap mais permet une visualisation 3D de la donnée.
- 3. ArcToolbox « boîte à outils » :** c'est là où ils sont regroupés l'ensemble des outils de géotraitements. Il est disponible à trois niveaux progressifs de perfectionnement à savoir : ArcView, ArcEditor, ArcInfo (le niveau le plus complet et le plus sophistiqué).

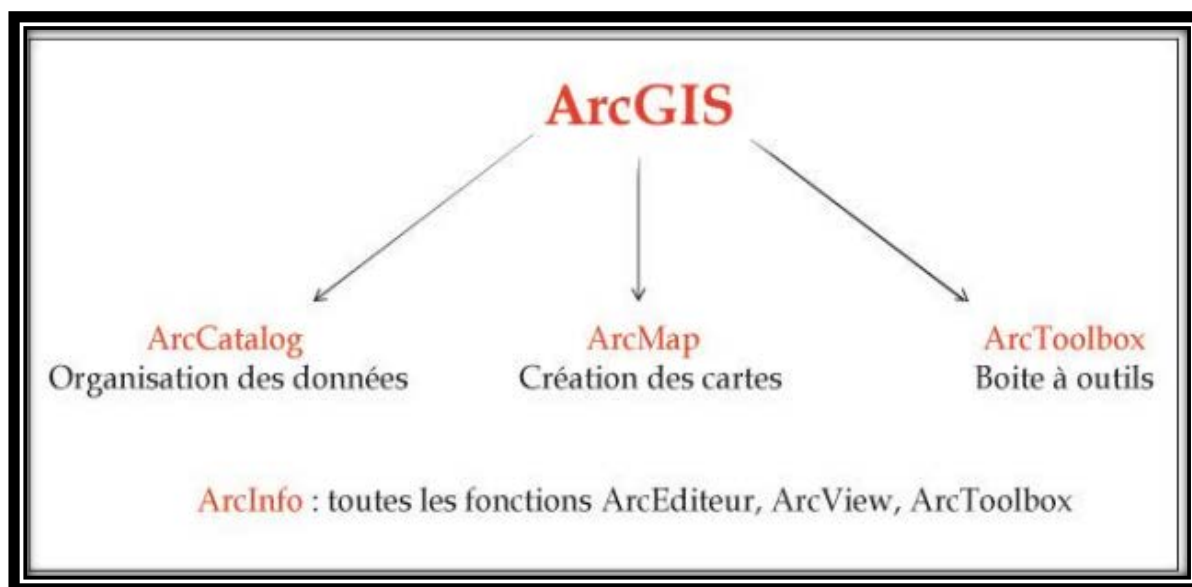


Figure 46 : Architecture générale de l'ArcGIS.

3.3 Principes de fonctionnement de l'ArcGIS (tout SIG) :

a. Acquisition des données :

Acquisition de la donnée non numérique : scan des cartes, géoréférencement, digitalisation et la création des tables attributaires.

Acquisition de la donnée numérique : importation de fichiers, Coordonnée GPS, ...

b. Analyse des données : Cette fonction est l'une des premières missions du SIG :

Requêtes : sélection toutes les zones à étudier.

Analyses spatiales ou géotraitement : création de zones tampon, calculs des surfaces.

c. Représentation des données :

Visualisation des données : une interaction avec la carte est possible (zoom, déplacement, ... ; Figure 46).

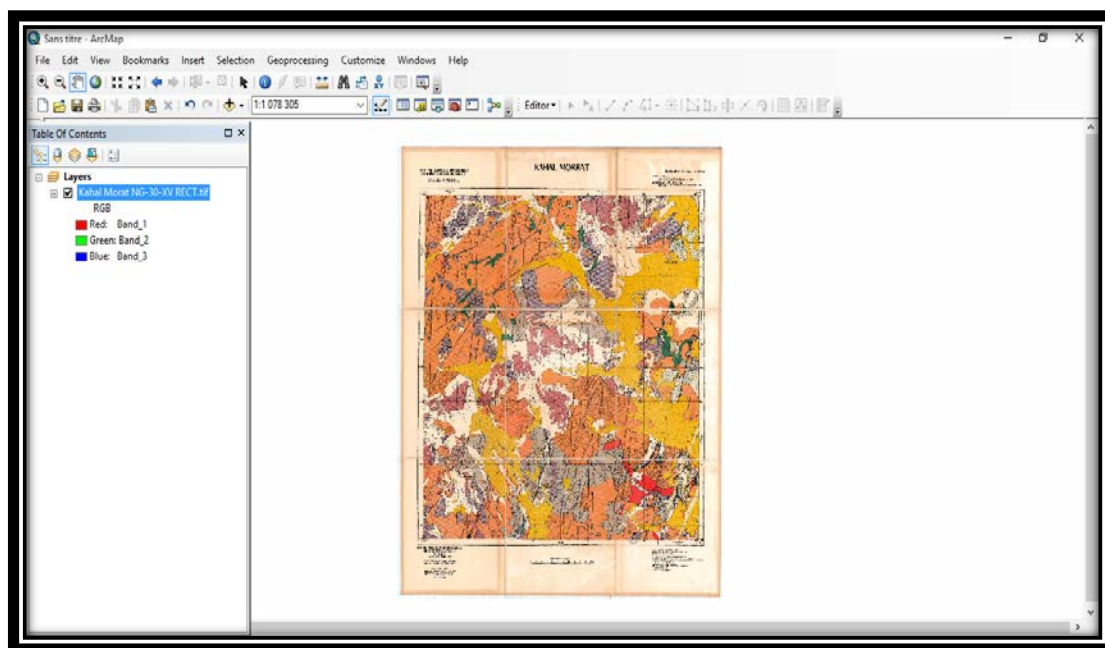


Figure 47 : Visualisation des données via l'interface ArcMap.

Calculs dans les tables attributaires : exemple : calculs des zones urbaines à partir des colonnes nombres de population par wilaya et surface de wilaya (cf. Infra).

- d. Cartographie thématique :** Elle traduit les relations spatiales d'un ou plusieurs thèmes, de phénomène.

3.4 Familiarisation du logiciel ArcGIS :

Pour ajouter, visualiser ou analyser la donnée on lance souvent ArcMap. En lançant ce dernier, on a créé automatiquement un document ArcMap, qui sera le lien vers les données qu'on y rajoute.

Le document ArcMap (.mxd) présente la face émergée du SIG. Les fichiers de document ArcMap contiennent la présentation des fichiers de forme, des détails sur les données IGS utilisées, les informations d'affichage (échelle, symbologies des données et étiquetage, ...) et d'autres éléments utilisés dans ArcMap. En réalité, dans le document ArcMap (.mxd) on ne stocke pas physiquement les données mais plutôt des chemins, d'où l'intérêt de ne pas déplacer les fichiers entre deux séances de travail. Dans le cas contraire, le chemin sera perdu lors de l'ouverture du document ArcMap (.mxd), et la donnée déplacée ou supprimée sera notée par un point d'exclamation dans la table des matières ArcMap (section légende).

Chaque document (.mxd) a besoin de plusieurs fichiers, dont les principaux sont (Figure 47) :

Fichiers de formes (min 3 fichiers ; .shx, shp, .dbf) : source des données brutes des couches en particulier géométrie et attributs.

D'autres fichiers sont créés au fur et à mesure d'ajouter des informations.








 BV.dbf	13/10/2011 18:50	Fichier DBF	1 Ko
 BV.prj	13/10/2011 18:50	Fichier PRJ	1 Ko
 BV.sbn	13/10/2011 18:50	Fichier SBN	1 Ko
 BV.sbx	13/10/2011 18:50	Fichier SBX	1 Ko
 BV.shp	13/10/2011 18:50	Fichier SHP	8 Ko
 BV.shp	13/10/2011 18:50	Document XML	9 Ko

Figure 48 : Fichiers composants une couche vecteur.

Première partie  BV : nom du fichier ici BV.

Deuxième partie après le point  .dbf désigne l'extension du fichier, dont les indispensables ou Fichiers de formes sont :

- .shp (shape) : contient la géométrie des entités (coordonnées X et Y).
- dbf (database file ou fichier de base de données) : contient les données attributaires des entités (caractéristique).
- shx (shape index ou index des formes) : ordre de lecture des données, assure le lien entre les données géométriques et données attributaires.



Il existe d'autres fichiers complémentaires :

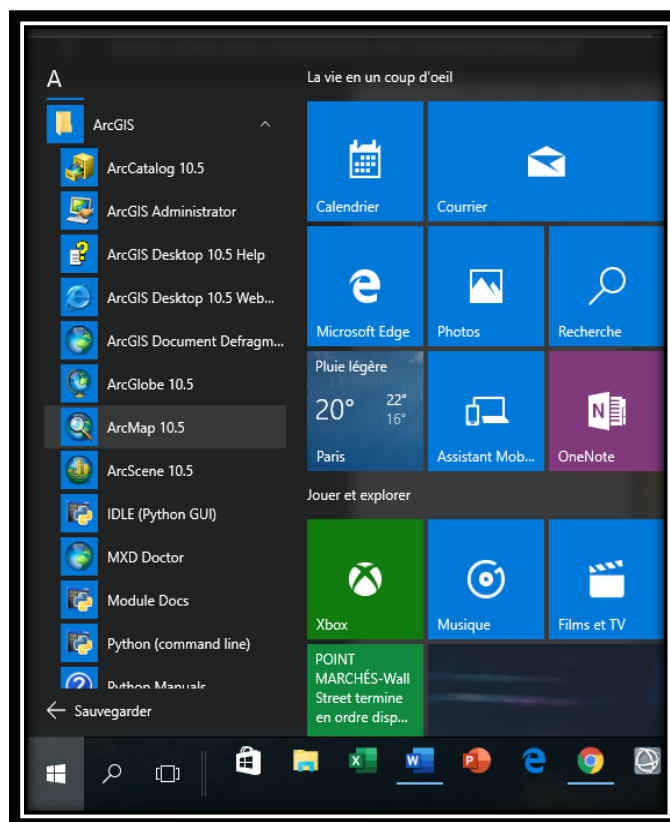
- .prj : projection.
- .sbn .sbx : index spatial, n'existe qu'après avoir fait une requête ou une jointure spatiale.

3.4.1 Découverte et familiarisation avec l'ArcMap :

3.4.1.1 Mise en route ou le lancement de l'ArcMap :

Selon les emplacements définis par l'utilisateur, l'ArcMap peut être démarré à partir de :

- Raccourci ArcMap sur le bureau .
- De l'épingler au niveau de la barre des tâches .
- Menu démarrer → Tous les programmes → ArcGIS ArcMap.



3.4.1.2 Création d'un document ArcMap :

1. File (Fichier)/New (Nouveau), on va sur l'onglet MyTemplates/ Blank Document puis OK. S'il y a un document déjà ouvert sur ArcMap, on aura éventuellement une demande d'enregistrer les modifications sur le document ouvert.

Nommer (ou renommer) : Clic droit sur layers/ Properties (Propriétés)/ General/Name (Nom ; Principal) / OK.

3.4.1.3 L'interface ArcMap :

Cette interface s'organise en deux possibles fenêtres d'affichage (Figure 48) :

Mode de Visualisation des données Data View

1. Une **barre de menu** comprenant un ensemble de fonctionnalités.
2. Des **barres d'outils**, permettant diverses opérations, en activant (ou désactivèrent) les outils selon le besoin. Les outils sont activés ou désactivés avec un clic droit sur la barre d'outils.
3. Une fenêtre principale est une fenêtre de **visualisation spatiale** des données ouvertes et sélectionnées dans la Table des matières.
4. **Table des matières** » « *Table of Contents* » reprenant la liste des fichiers ouverts dans le projet ArcMap.

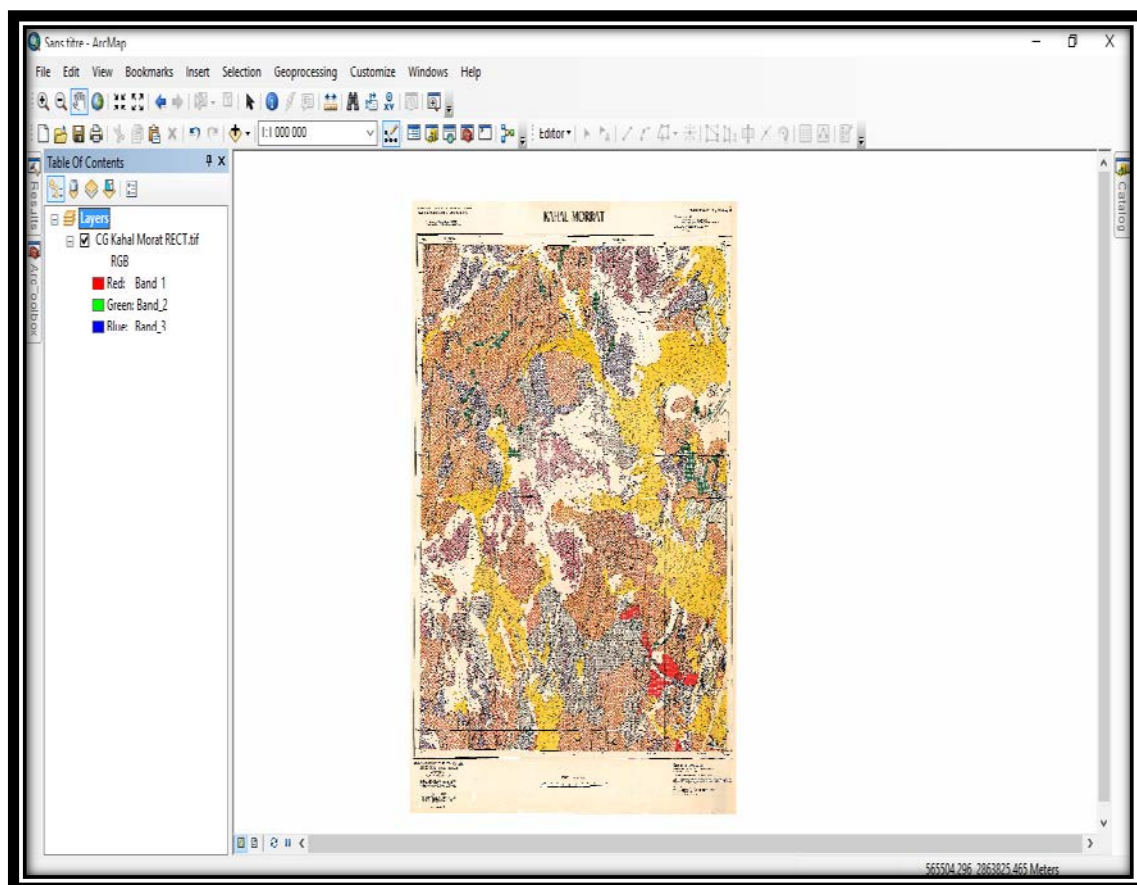


Figure 49 : Interface ArcMap en mode Data View: 1. Barre de menus, 2. Barre d'outils, 3. Fenêtre principale, 4. Table des matières.

Mode de Mise en page ou LayoutView

Ce mode permet d'éditer les documents cartographiques, en ajoutant aux documents, ouverts ou créés en mode Data View, les éléments constitutifs d'une carte (titre, orientation, échelle et légende...).

3.4.1.4 Ajouter, visualiser et créer de blocs de données :

Comme on l'a précisé un peu plus haut, en lançant l'ArcMap, On crée automatiquement un document ArcMap, qui sera le lien vers les données qu'on y rajoute. Pour y ajouter des données on a deux possibilités :



: ouvrir des documents ArcMap (.mxd)



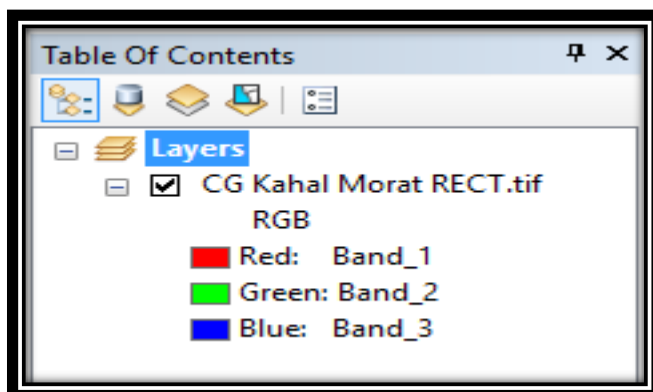
: ajouter des données



Ce symbole présente le bloc de données (datatram) dans la table des matières.

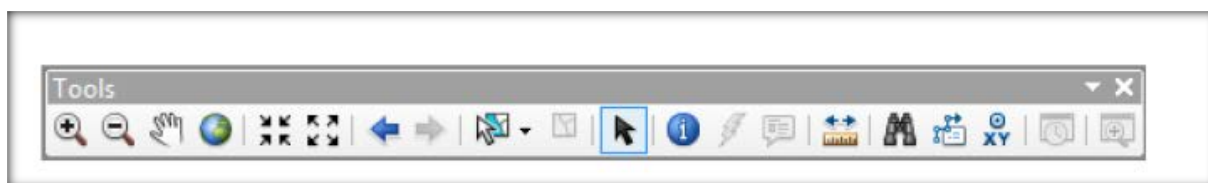
Le bloc de donnée peut regrouper plusieurs couches (Group Layer) d'une même carte. Sur une même page on peut trouver plusieurs groupes de couches.


CHAPITRE IV : SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE



La visualisation des données permet une interaction avec la carte (navigation, zoom, déplacement, ...).

Si l'outil dit Outil (Tools) n'est pas affichée, on doit alors l'activer : clic droit sur la Barre d'outils (Toolbars)/ activer l'Outils (Tools).




 Zoom avant et arrière


 Zoom avant et arrière constant


 Déplacement sur la carte


 Affichage de l'emprise totale de la carte

 Revenir (ou passer) à l'instant précédent

 Sélectionner le (les) entités. Une fois sélectionnées les entités apparaissent en surbrillance bleue.

 Sélectionner, redimensionner, et déplacer un test, des éléments graphiques et autres éléments dans la carte

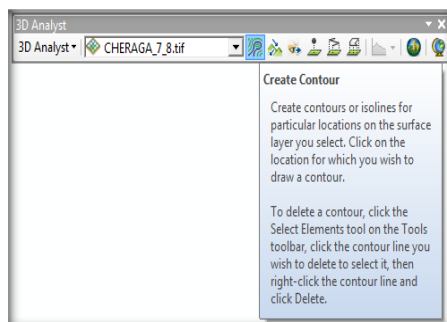
 Mesure de la longueur d'un ou de plusieurs segments sur la carte.

 Trouver des éléments grâce à leurs coordonnées X et Y

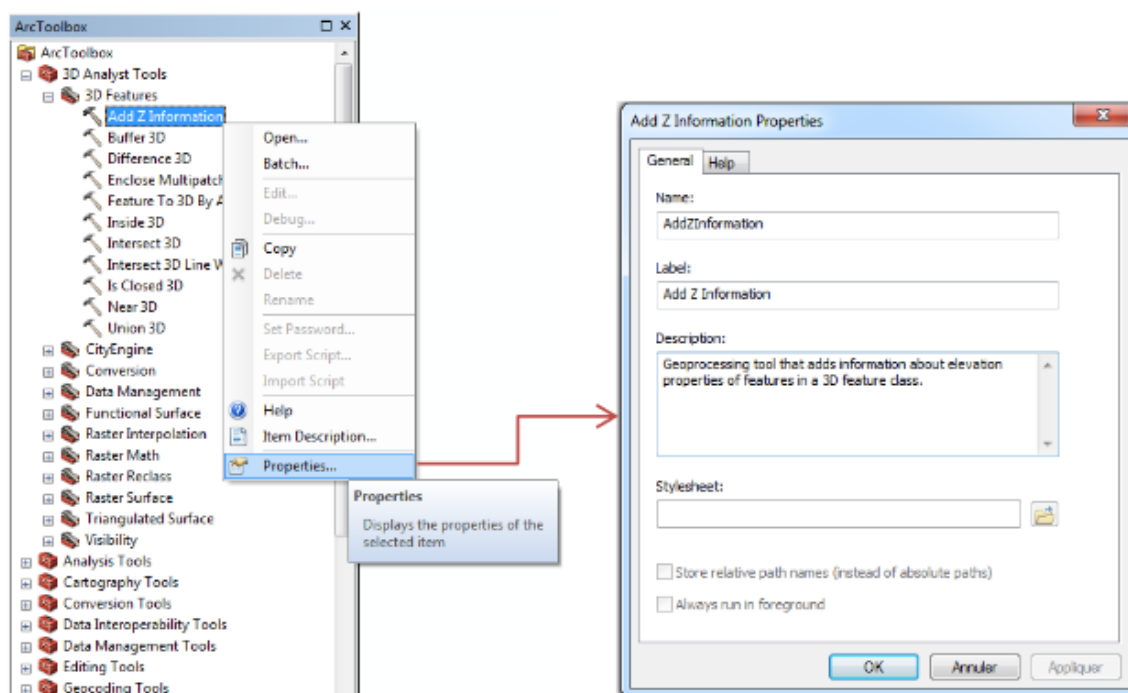
Ci-dessus, on a évoqué quelques fonctionnalités de l'outil Outils (*Tools*). ArcToolbox renferme des centaines d'outils, pour connaître leur fonction il y a deux moyens :

CHAPITRE IV : SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

Activer l'outil en question à partir de la Barre d'Outils, après il suffit de placer le curseur sur cette dernière pour que sa fonction apparaisse.



On peut consulter la fonction d'un outil donnée dans l'ArcToolbox. Dans ce cas il faut chercher l'outil /clic droit sur l'outil/ Propriétés les fonctionnalités sont mentionnées dans la partie Description.

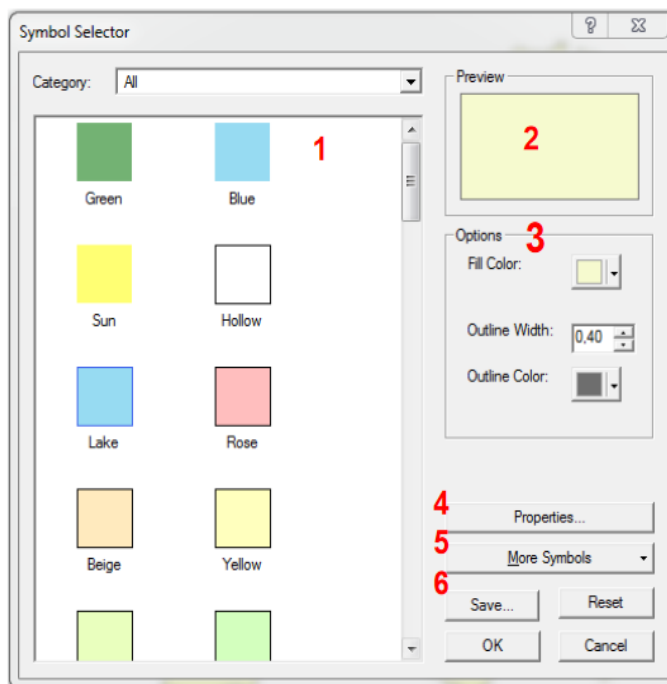


3.4.1.5 Modifier l'apparence des couches: l'interface ArcMap offre la possibilité de modifier l'apparence des couches de forme (donnée vecteur) :

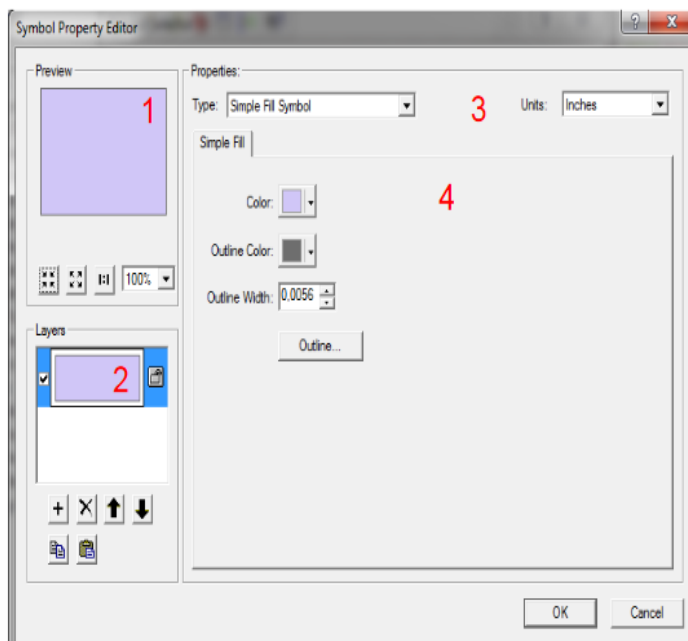
Modifier les couleurs :

Modification rapide: double clic ou bien clic droit sur le symbole dans la table de matière. Dont on peut changer la couleur et la texture du polygone; changer la couleur et de type de son contour :

CHAPITRE IV : SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE



1. Catégories de symbole.
2. Symbole actuel sur la carte.
3. Définir les caractéristiques principales du symbole (couleur de remplissage, largeur et la couleur des bords).
4. Propriétés : pousser plus loin la définition du symbole.
5. Plus de symbole : autres que la liste définie par défaut.
6. Symbole supplémentaires : enregistré le nouveau symbole défini grâce au



1. Aperçu finale.
2. Affiché, ajouté et supprimé des couches de motifs superposés.
3. Choix du type de motif.
4. Paramètres de la couche motif sélectionnée.

Grâce aux Symboles supplémentaires (le bouton Propriétés) on peut modifier la couleur et la texture en créant un nouveau motif de deux couches minimum (Simple Fill Symbol, Marker Fill Symbol).

3.4.2 Découverte et familiarisation avec ArcCatalog :



Comme on l'a évoqué un peu plus haut, l'ArcCatalog permet d'organiser et de gérer les fichiers (création, suppressions, modification du système de projection...). Cette partie

CHAPITRE IV : SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

permettra de connaître les modalités du lancement, d'afficher, d'exploiter des données sous ArcCatalog.

3.4.2.1 Mise en route ou le lancement de l'ArcCatalog.

Selon les emplacements définis par l'utilisateur, l'ArcMap peut être démarré à partir de:

- Raccourci ArcCatalog sur le bureau .
- De l'épingler au niveau de la barre des tâches .
- Menu démarrer → Tous les programmes → ArcGIS → ArcCatalog ».

L'interface d'ArcCatalog s'organise en cinq principales parties (Figure 49).

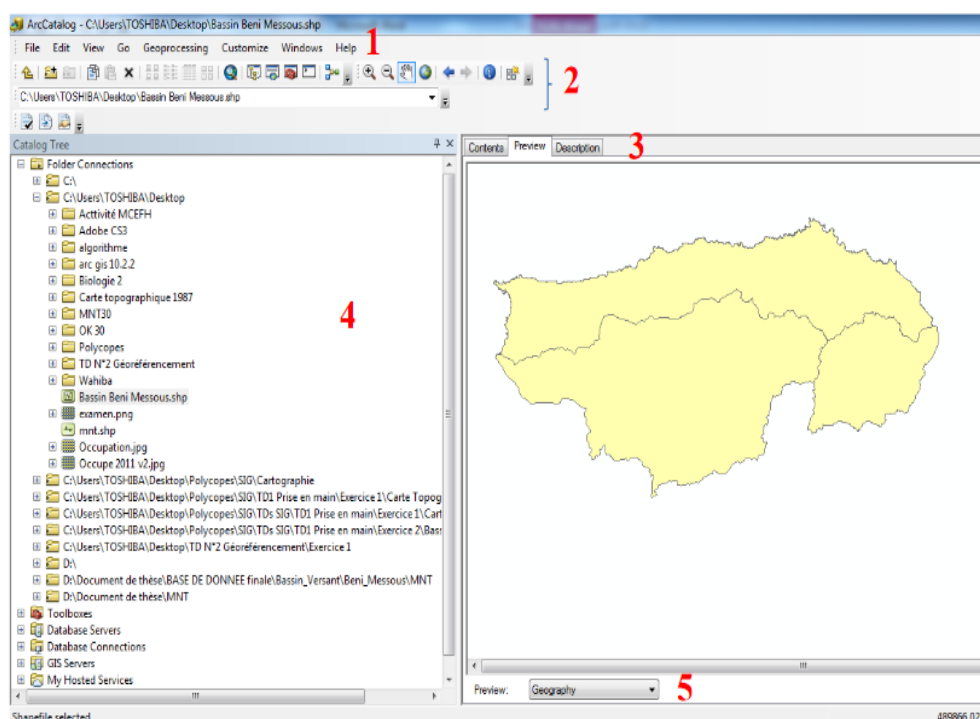




Figure 50 : Interface ArcCatalog: 1. Barre de menus, 2. Barre d'outils, 3. Fenêtre de visualisation 3.onglets: (Contents, Preview,Description ou les métadonnées),4.Fenêtre d'exploitation,5. Mode de prévisualisation (géographique, tabulaire).

3.4.2.2 Outils fréquemment utilisés dans ArcCatalog (également dans l'ArcMap) :

 **Analysis Tools** est l'un des outils les plus utilisés, il sert plus à manipuler des fichiers de forme (Features). Pour les rasters, on utilisera plutôt l'outil  **Spatial Analyst Tools** (Tableau 8).

CHAPITRE IV : SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE


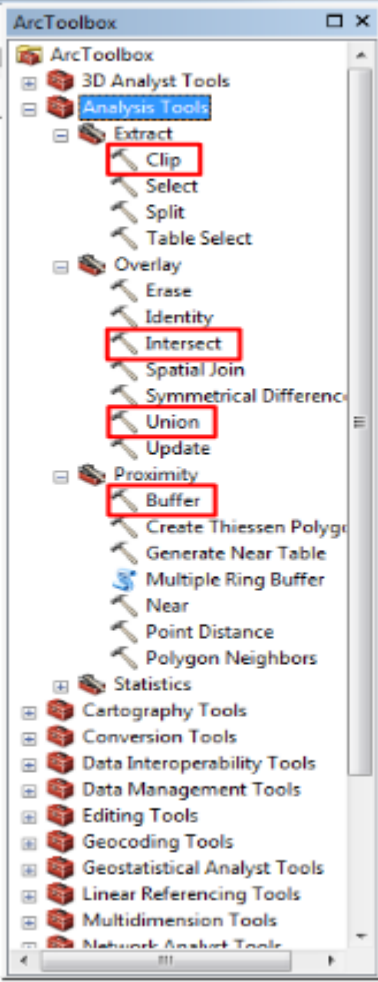
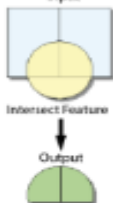
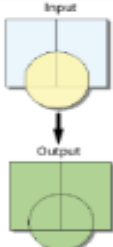

Outil	Fonction		Chemin dans l'ArcToolbox
Clip	Extraction des entités « input » qui superposent l'entité de coupe « Clip Features »		
Intersect	Intersection de deux (ou plusieurs) fichiers de formes, leur attributs seront écrits dans la classe d'entités de sortie.		Intersect
Union	Union de deux fichiers de formes ; leur attributs seront écrits dans la classe d'entités de sortie.		Union
Buffer	Création d'une zone tampon (polygone) autour d'une entité spatiale, à une distance spécifiée.		Buffer

Tableau 9 : Outils fréquemment utilisés dans ArcCatalog et dans l'ArcMap.

Chapitre V : Application SIG à la région d'étude

1 Introduction :

Le SIG (Système d'information géographique) est un outil informatique permettant de représenter et d'analyser toutes les choses qui existent sur terre ainsi que tous les événements qui s'y produisent. On l'utilise pour créer des cartes, pour intégrer tout type d'information, pour mieux visualiser les différents scénarios, pour mieux présenter les idées et pour mieux appréhender l'étendue des solutions possibles.

ArcGIS est le logiciel que nous avons utilisé dans ce travail à fin d'atteindre l'objet principal, qui est la cartographie SIG des cartes géologiques. La zone ciblée par cette étude est située dans la région des Eglabs orientaux renfermant trois cartes géologiques à l'échelle de 1/200 000, et son choix est motivé par l'insuffisance des cartes géologiques fortement demandées dans cette partie du pays vu son fort potentiel minéral.

Ce travail a été fait à partir des images des cartes géologiques de (SERMI, 1952), repris presque intégralement par l'ORGM en 2006 dans le but de comparer l'apport qualitatif des différents types de données de l'imagerie aérospatiale disponibles pour la réalisation d'une cartographie géologique de bonne qualité

La méthode consiste à numériser les cartes, puis vectorisation de chaque carte en ArcGIS, et finalement impression des cartes géologiques.

2 Étapes suivies pour la réalisation du travail :

2.1 Rappels et explications :

- Systèmes de coordonnées géographiques :

Coordonnées en :

- Latitudes (0 à 90° au Nord et au Sud de l'Equateur).
- Longitudes (0 à 180° à l'Est et à l'Ouest du méridien de référence).

La longueur des degrés de latitude et de longitude varie, et la représentation de la terre est déformée sur une carte ou écran d'ordinateur.

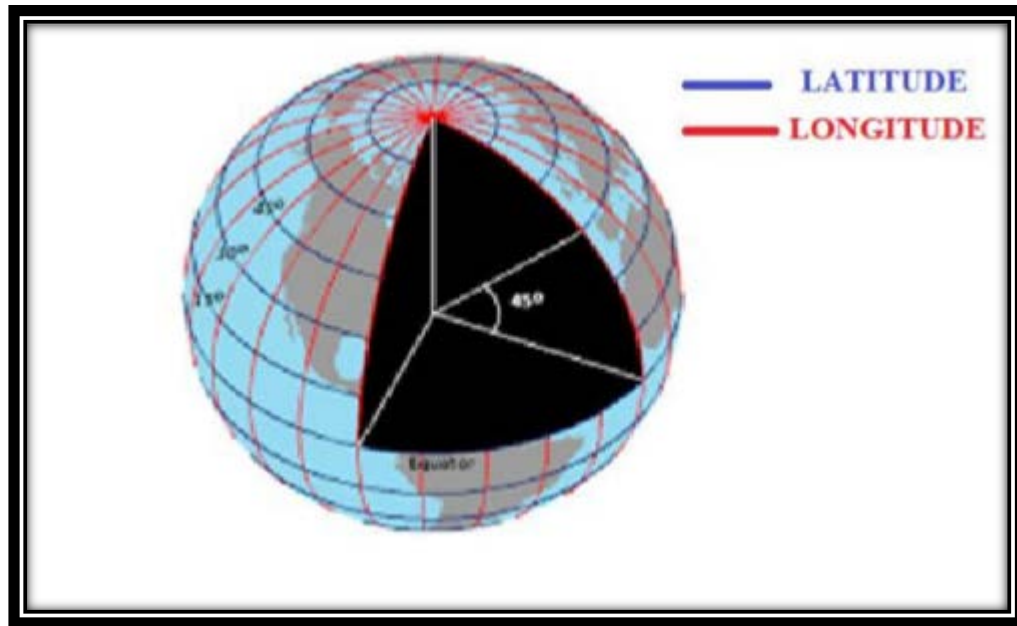


Figure 51 : Globe terrestre avec des latitudes et longitudes.

La terre (le géoïde) n'étant pas sphérique, il existe de nombreux ellipsoïdes (locaux ou globaux). On appelle DATUM, le système de coordonnées géographique défini par :

- Une unité angulaire.
- Un méridien de référence.
- Un ellipsoïde.

Une même position aura donc des coordonnées différentes selon son DATUM.

➤ Systèmes de coordonnées projetées :

Une projection est basée sur un système de coordonnées géographiques, elle permet aussi le calcul des distances et des surfaces. La projection UTM découpe la terre en 60 fuseaux de 6° de part et d'autre de l'équateur.

Ex : L'Algérie se situe en Nord Sahara 1959 UTM Zone 30(mais aussi 29,30 et 32).

2.2 Géoréférencement :

Géoréférencer une carte raster signifie faire entrer les coordonnées géographiques dans une projection définie et indiquer quels points de la carte correspond à ces coordonnées, il est indispensable de géoréférencer chaque carte raster avant de l'utiliser dans une base de données.

Pour que le travail soit correct et précis, il faudrait opter pour un système de projection unique, dans la mesure du possible, pour éviter les déformations sur les entités ainsi que les erreurs lors calculs d'analyses spatiales.

Pour mes cartes je vais utiliser le système de projection « UTM » Nord Sahara 30.

CHAPITRE V : APPLICATIONS SIG A LA REGION D'ETUDE

Les étapes suivies pour le géoréférencement d'une carte à l'aide d'ArcGIS 10.2 :

2.2.1 Démarrer le logiciel ArcGIS :

Il faut ouvrir ArcCatalog ainsi qu'ArcMap.

Ouvrir tout d'abord une carte SIG vierge. (Projet SIG).

2.2.2 Se connecter à un dossier :

Sur la fenêtre ArcCatalog s'affiche sur notre écran par clique gauche sur la flèche jaune de la barre d'outils ou Clique gauche sur Fichier après Connexion à un dossier : C'est pour se connecter avec le dossier ou la carte géologique en format raster est stockée dans l'ordinateur, il s'ouvre une interface qui montre tous les disques dans l'ordinateur donc c'est à l'utilisateur de chercher le dossier où il a stocké ses cartes scannées dans ordinateur.

Sur la fenêtre ArcCatalog le dossier choisi apparaît à gauche en première position dans l'arborescence du Catalogue, Clique gauche : on voit à droite la liste des cartes contenues dans ce dossier ainsi que leur extension (ici en format raster ; jeu de données raster).

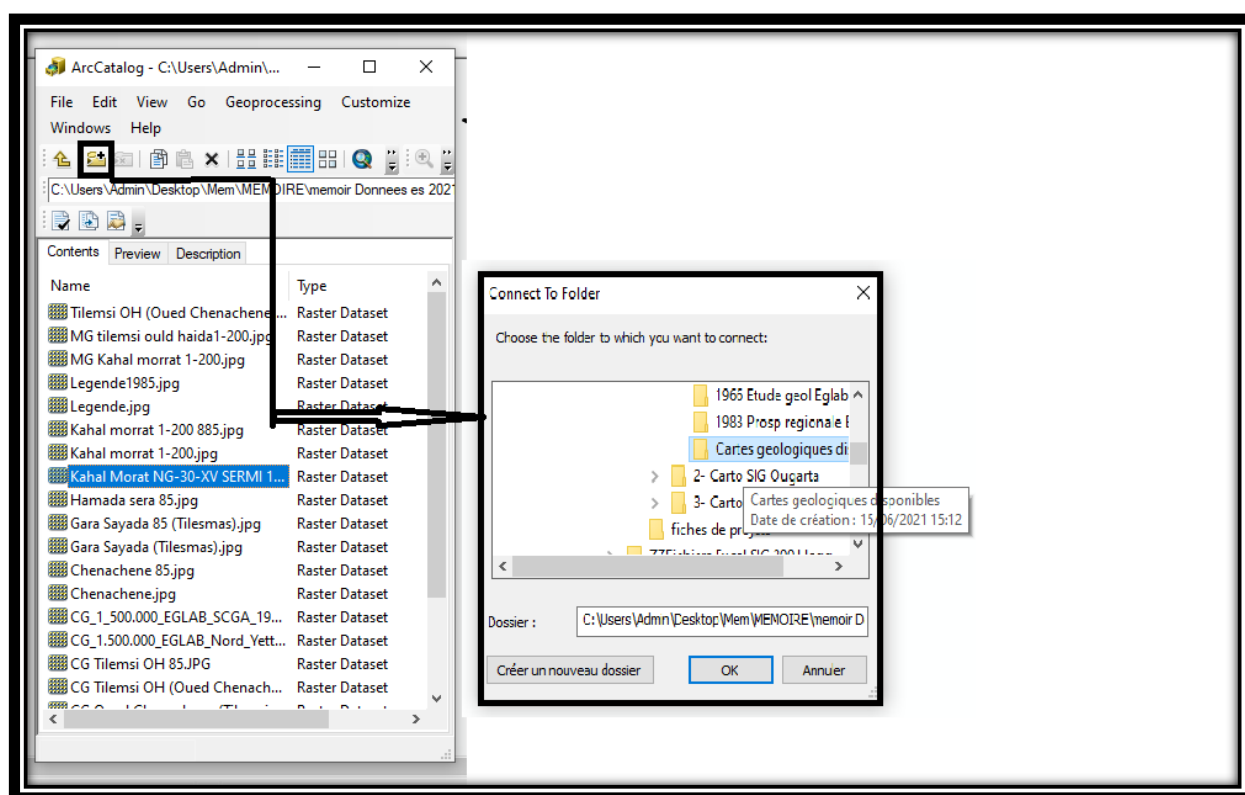


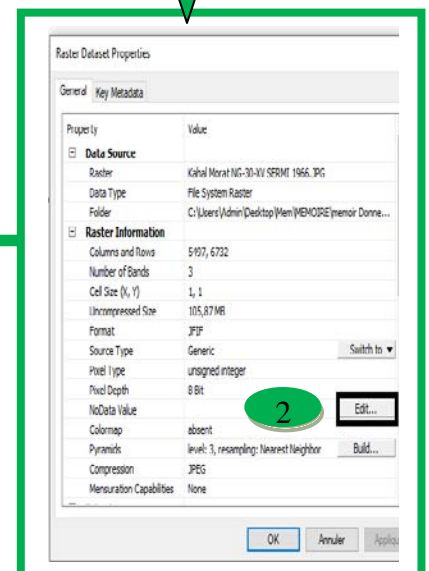
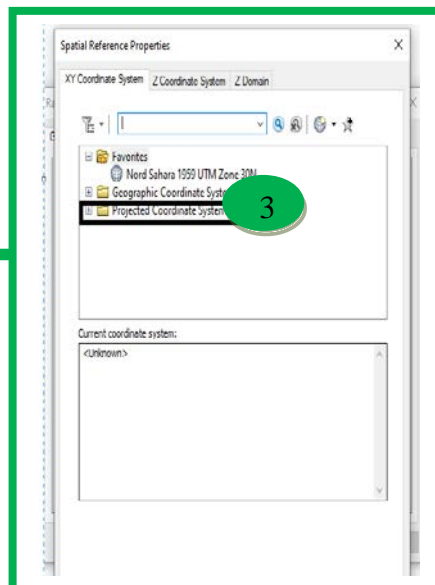
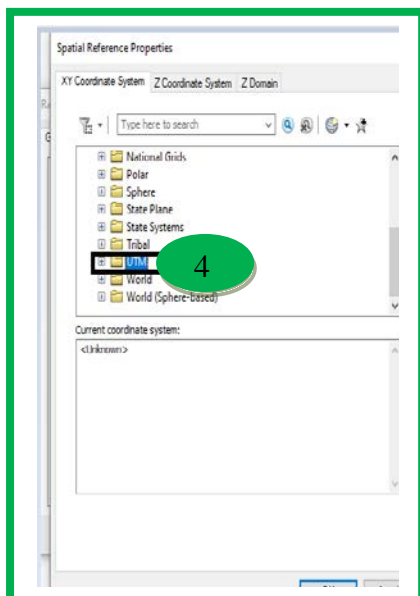
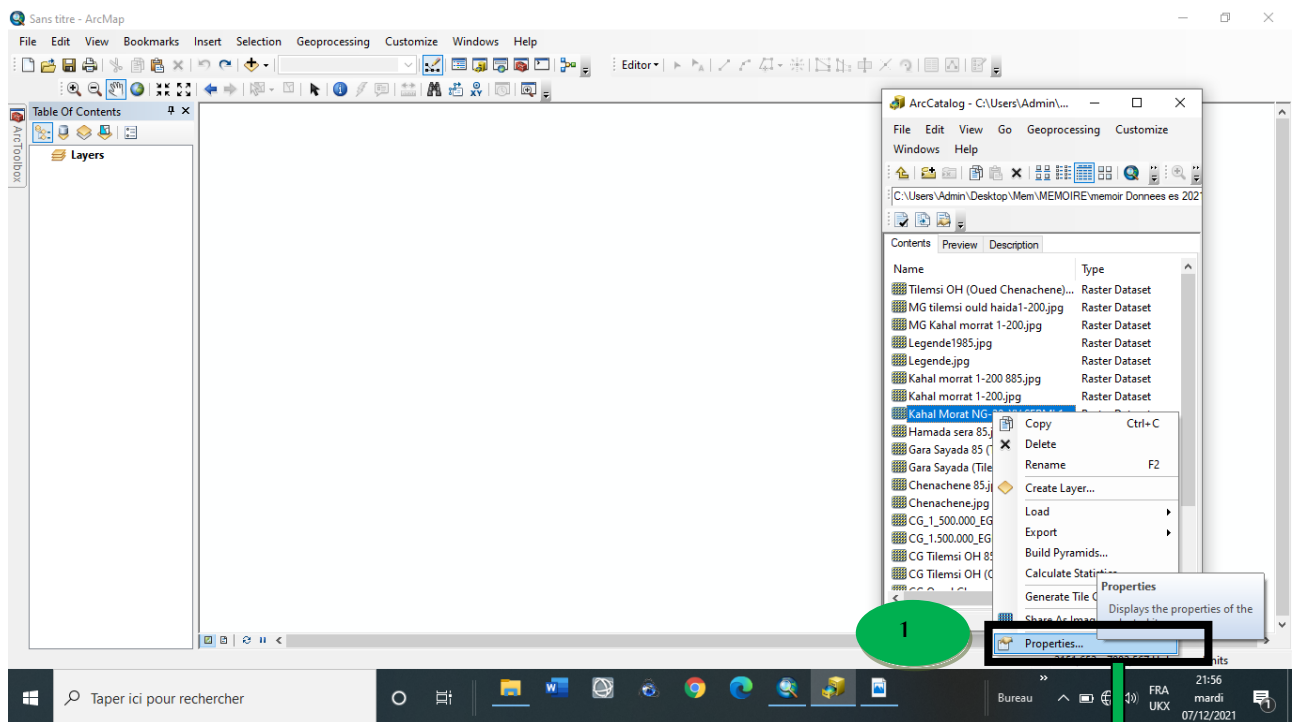
Figure 52 : Une présentation d'interface d'ArcCatalog montrant icone connexion à un dossier.

CHAPITRE V : APPLICATIONS SIG A LA REGION D'ETUDE

2.2.3 Attribution de la référence spatiale :

Après avoir connecté au dossier de la carte en format image on procède à l'attribution de la référence spatiale par clique droit de l'image de carte pour obtenir les options puis cliquer sur propriétés pour obtenir une interface du jeu de données raster pour la référence spatiale.

Les cartes géologiques de la région d'étude sont classées dans la zone 30 (Nord Sahara 1959UTM Zone 30N). Dans ArcCatalog : Clic droit sur la carte à Géoréférencer ➡ Propriétés Références spatiales ➡ Modifier ➡ Sélection ➡ références spatiales Système des coordonnées projetées ➡ UTM ➡ Afrique puis on va choisir le système qui convient à la carte ➡ Appliquer ➡ OK.



CHAPITRE V : APPLICATIONS SIG A LA REGION D'ETUDE

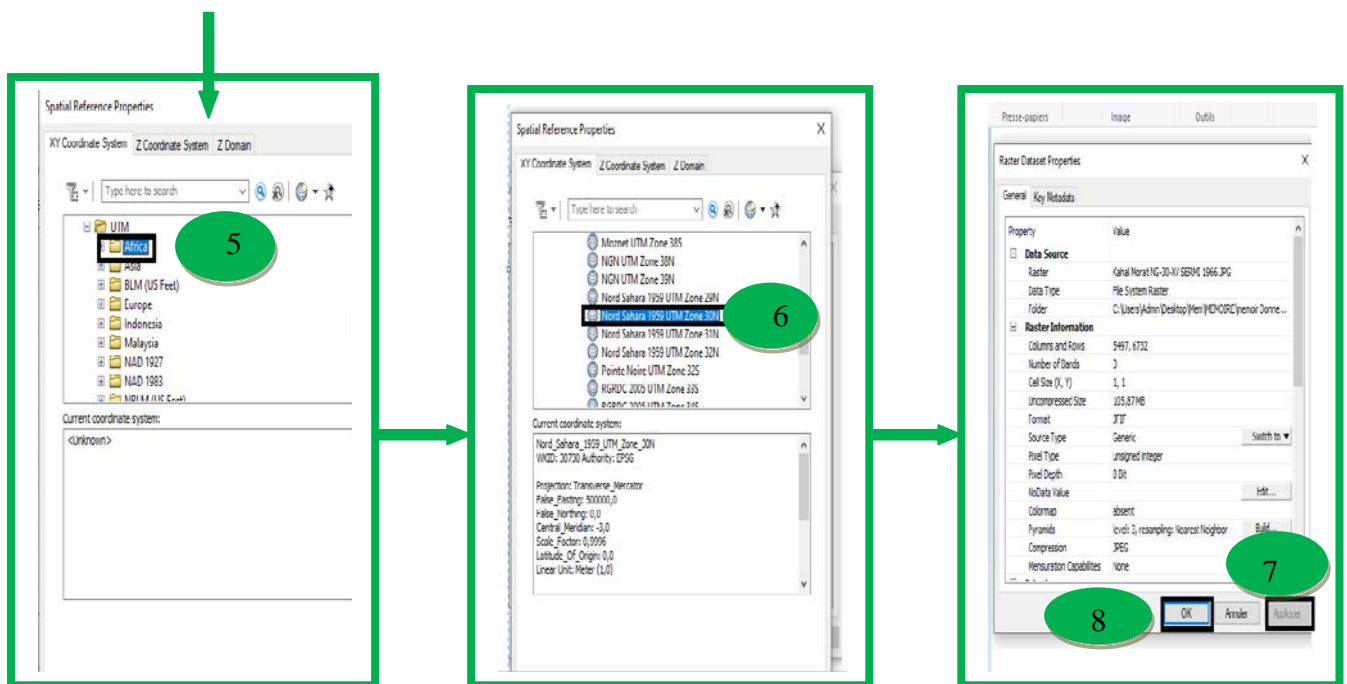


Figure 53 : La propriété de la référence spatiale dans ArcCatalog.

Choix du même système de coordonnées dans ArcMap :

A Gauche apparait le dossier « Couches »

Cliquez droite sur couche \rightarrow propriété \rightarrow Système de coordonnées
 Système de Coordonnées \rightarrow projetées \rightarrow UTM \rightarrow Afrique Nord Sahara
 1959UTM Zone 30N \rightarrow Appliquer \rightarrow OK.

CHAPITRE V : APPLICATIONS SIG A LA REGION D'ETUDE

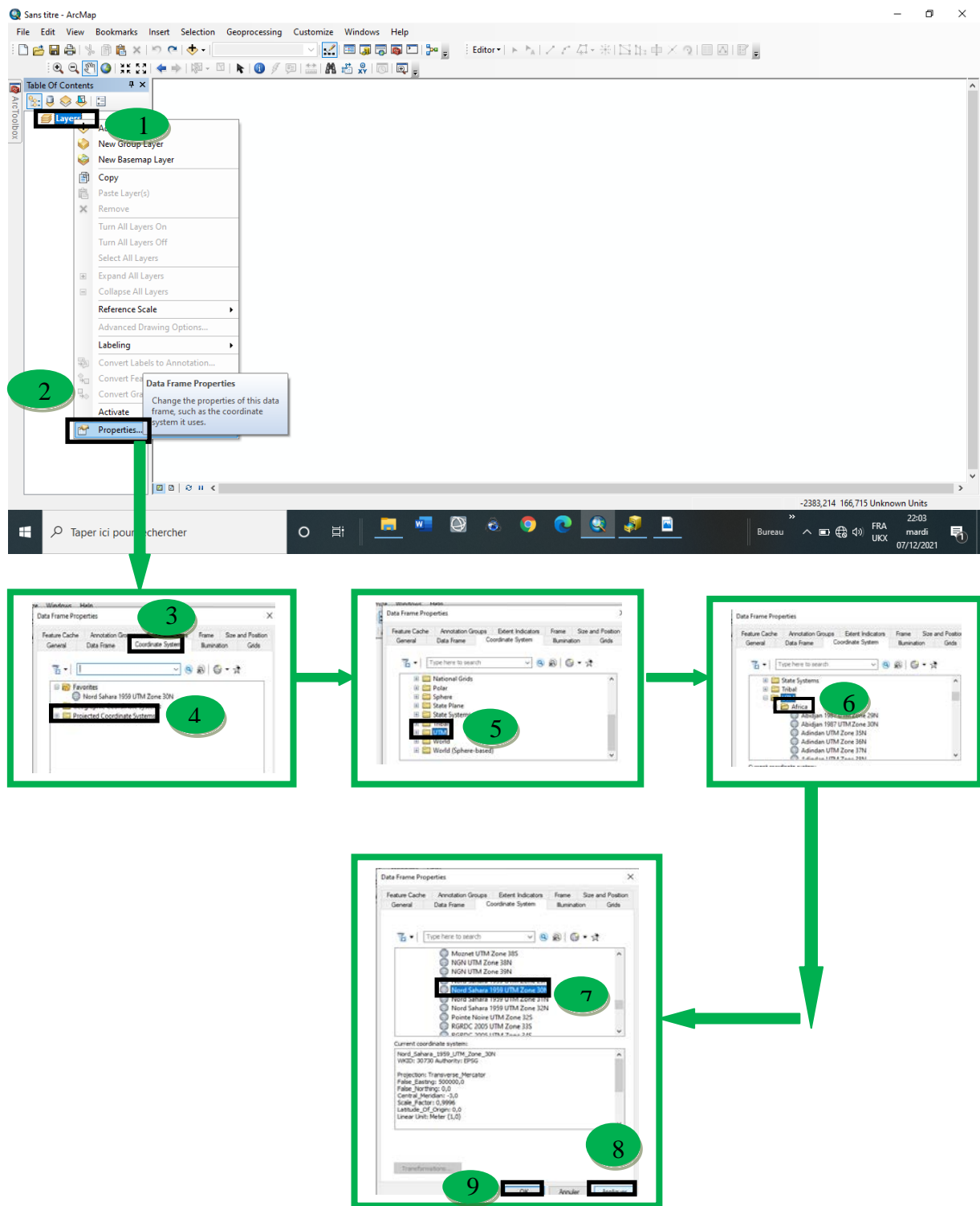


Figure 54 : La propriété de la référence spatiale dans ArcMap.

Après cette étape d'attribution de la référence spatiale, On déplace la carte référenciée d'ArcCatalog vers ArcMap (Copier glisser (clique Gauche maintenu sur le fichier carte et déplacer la carte dans l'écran d'affichage de la page de ArcMap)).

Une fenêtre s'ouvre et vous propose la création de pyramides, cliquer sur OK (La création de pyramide permet d'alléger la carte donc de rendre plus rapide les manipulations).

CHAPITRE V : APPLICATIONS SIG A LA REGION D'ETUDE

Après un certain temps la carte que vous voulez Géoréférencier s'affiche dans ArcMap. Dans la partie droite sous forme de carte et dans la partie gauche dans l'arborescence des couches.

2.2.4 Géoréférencement de 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 "Ajustement automatique".

On ajoute 4 (quatre) points de contrôle en utilisant l'outil «  Ajouter des points de contrôle »

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. (Figure 55) :

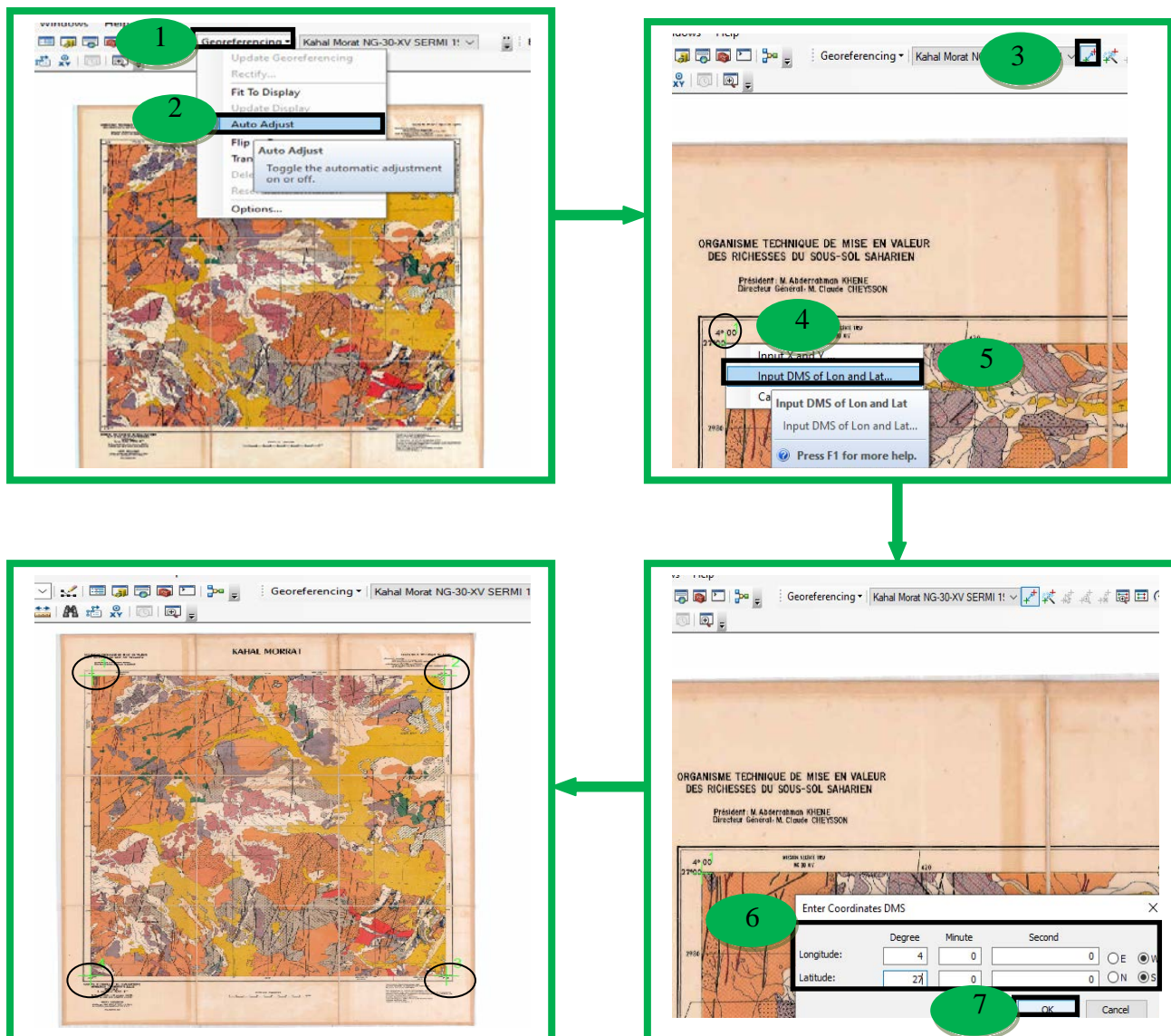






Figure 55 : Calage de la carte géologique.

CHAPITRE V : APPLICATIONS SIG A LA REGION D'ETUDE

Les quatre points ont été plantés, Cliquer sur « Ajustement automatique » puis OK. La carte disparaît, pour la réafficher cliquez  sur l'outil (Vue générale). Les  quatre points doivent apparaître sous forme de croix rouges.

➤ Rectifier la carte :

Clic gauche sur Géoréférencement  Rectifier  une boîte ouvre (Enregistrer sous) : nom, format puis enregistrer notre carte géoréférencée, Ajouter, fermer enregistrer. L'enregistrement va mettre un bon bout de temps. (Figure 56).

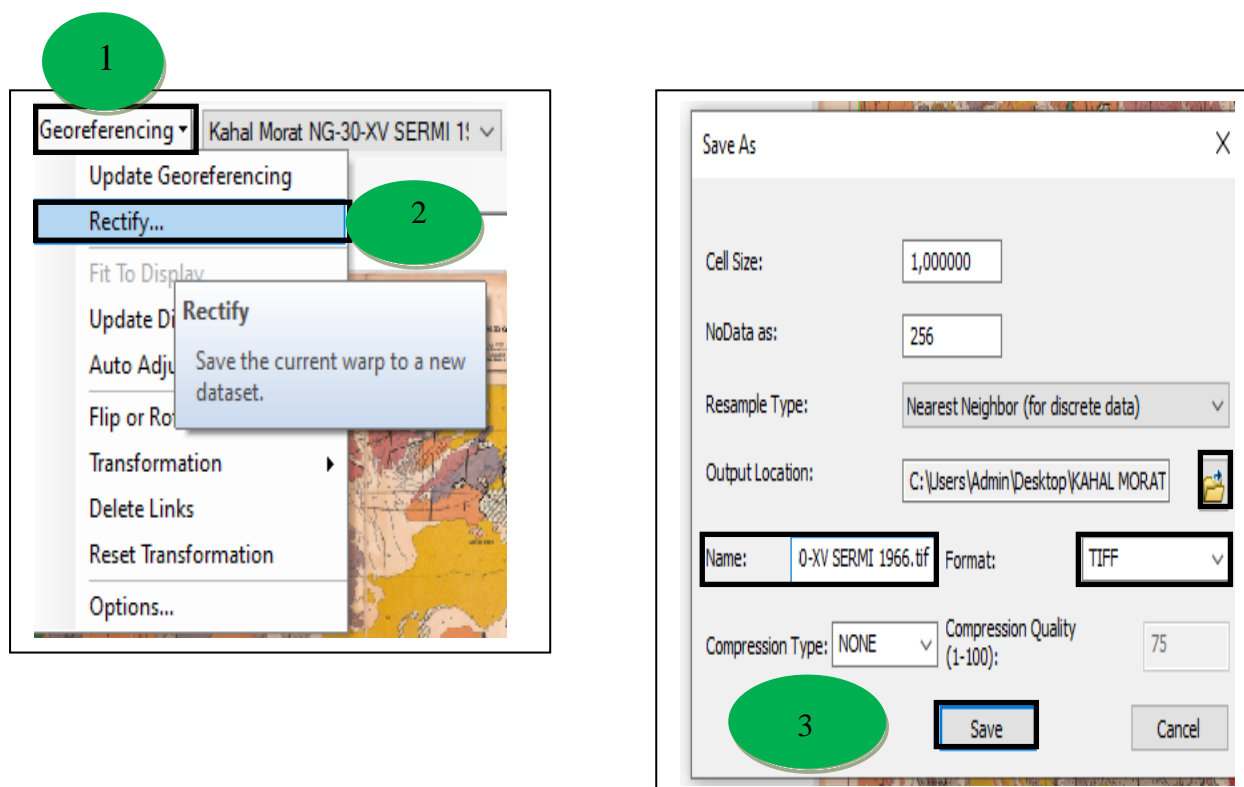


Figure 56 : La rectification d'une carte géologique.

Après le Géoréférencement et la rectification de la carte on peut procéder à une étape « Découpage de la carte », c'est une opération qui consiste à enlever l'habillage et ne garder que le fond de la carte.

2.3 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, point ou ligne, à l'aide d'ArcGIS.

Les éléments géométriques utilisés différents selon les types d'objet à vectorisés :

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

CHAPITRE V : APPLICATIONS SIG A LA REGION D'ETUDE

Le résultat sera une image en mode « vecteur ».

- Les étapes de la vectorisation d'une carte à l'aide d'ArcGIS 10.2 :
- ❖ Création d'une couche « fichier de formes » via ArcCatalog :
- Tout d'abord on va ouvrir ArcMap et on fait un clic droit sur la couche puis on choisit le système de coordonnées adéquat.
 - Ouvrir ArcCatalog et on cherche la carte raster qu'on veut vectorisée.
 - On copie et on glisse cette carte raster vers ArcMap, un clic droit sur le blanc de ArcCatalog et on va créer un nouveau fichier de forme.

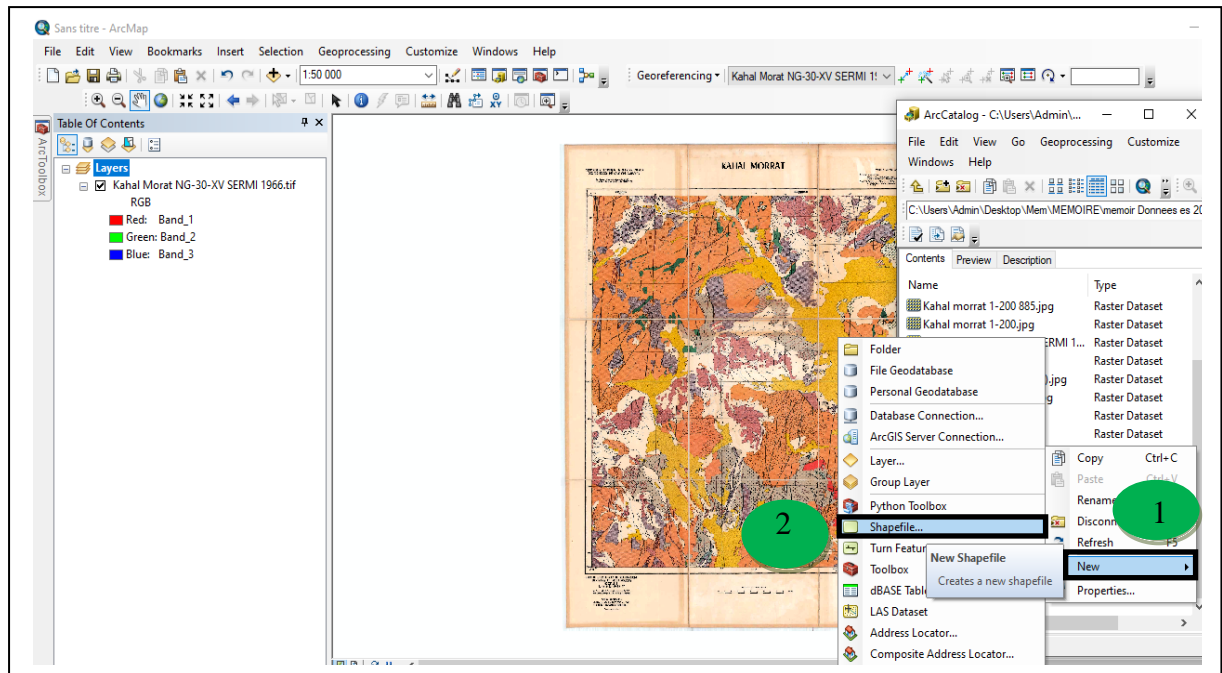
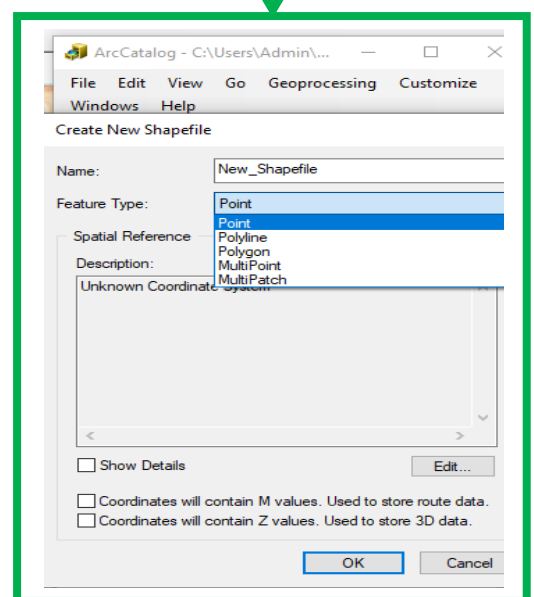


Figure 57 : Ouvrir un nouveau fichier de forme.

- On donne un nom à ce fichier de forme.
- On spécifie le type de couche (Polygone, Polyligne ou bien Point).
- On va attribuer le même système de coordonnées que nous avons donné à la couche dans ArcMap.
- On va copier et glisser le fichier de forme.

3



- On commence la vectorisation par l'activation de la barre d'outil *éditeur*.
- Un clic droit sur le blanc de la barre d'outil ArcMap et on va cocher Editeur l'outil apparait et on va le mettre dans la barre d'outil ArcMap.
- Aller à "Editeur" et ouvrir une session de mise à jour et on prend l'outil segment et vectorisé l'entité polygonal voulue.
- On commence à dessiner (on zoome sur la carte Géologique pour que le dessin soit précis : on peut dessiner tout en utilisant les outils pour qu'on se déplace sur la carte).
- Pour terminer le dessin d'un polygone, on clique sur l'outil « Terminer la construction » ou on fait un clic droit et choisir la commande « Finish Sketch » ou bien on fait un double-clic.
- Après avoir terminé la vectorisation (Digitalisation) on va enregistrer le travail, est aller à "Editeur" puis enregistrer les mises à jour.

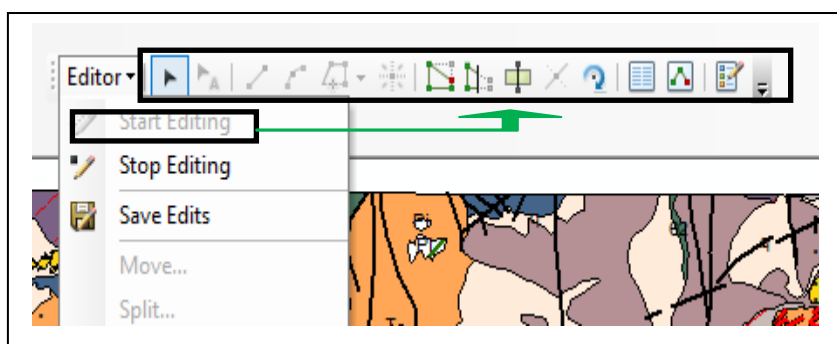


Figure 58 : Outil Editeur.

2.3.1 Vectorisation de l'information surfacique (Polygone) :

Le traitement des images satellitaires donne des réponses efficaces prêtes à être utilisées pour réaliser une carte géologique, ces résultats sont obtenus par plusieurs étapes on commence tout d'abord à faire une classification des images, en premier temps un traitement par la classification non supervisée qui donne des informations données par l'ordinateur, mais cette technique montre des résultats avec des corrélations fausses et non détaillées entre les faciès visés. C'est la raison pour laquelle on a décidé de faire une classification supervisée qui est mieux que la dernière avec des détails, et puisque cette classification se fait manuellement, l'utilisateur peut intégrer des erreurs, c'est pour cela on a choisi de faire un autre traitement qui sert à extraire le maximum d'information à partir du minimum des bandes, sans avoir plus d'effort sur l'analyste, ce traitement s'agit alors d'analyse par la composante principale qui accorde que chaque satellite fournit des informations utiles tout dépend de nombre des bandes qu'il contient .

Par exemple : « Feuille de Kahal Morat » :

- La composition colorée de traitement MNF d'images Landsat-8 formée des bandes 2-3-5, permet de faire de voir mieux les formations superficielles et de type HAMADIEN (Quaternaire et Néogène).

CHAPITRE V : APPLICATIONS SIG A LA REGION D'ETUDE

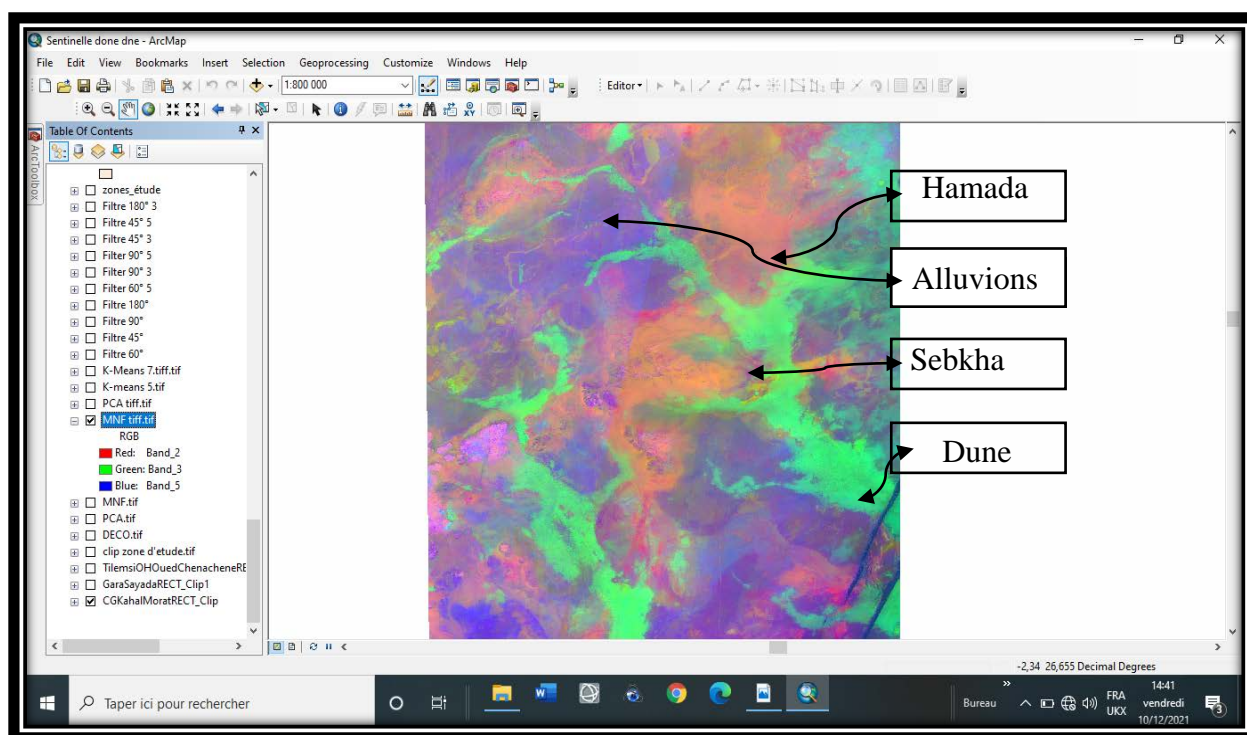


Figure 59 : Présentation des formations superficielles de type HAMADIEN à partir des images Landsat8 avec le traitement MNF.

- La composition colorée de traitement Decorrelation Stretch d'images Sentinel-2 formée des bandes 1-2-3, permet de faire de voir mieux les formations du volcanisme Eglab (acide et basique).

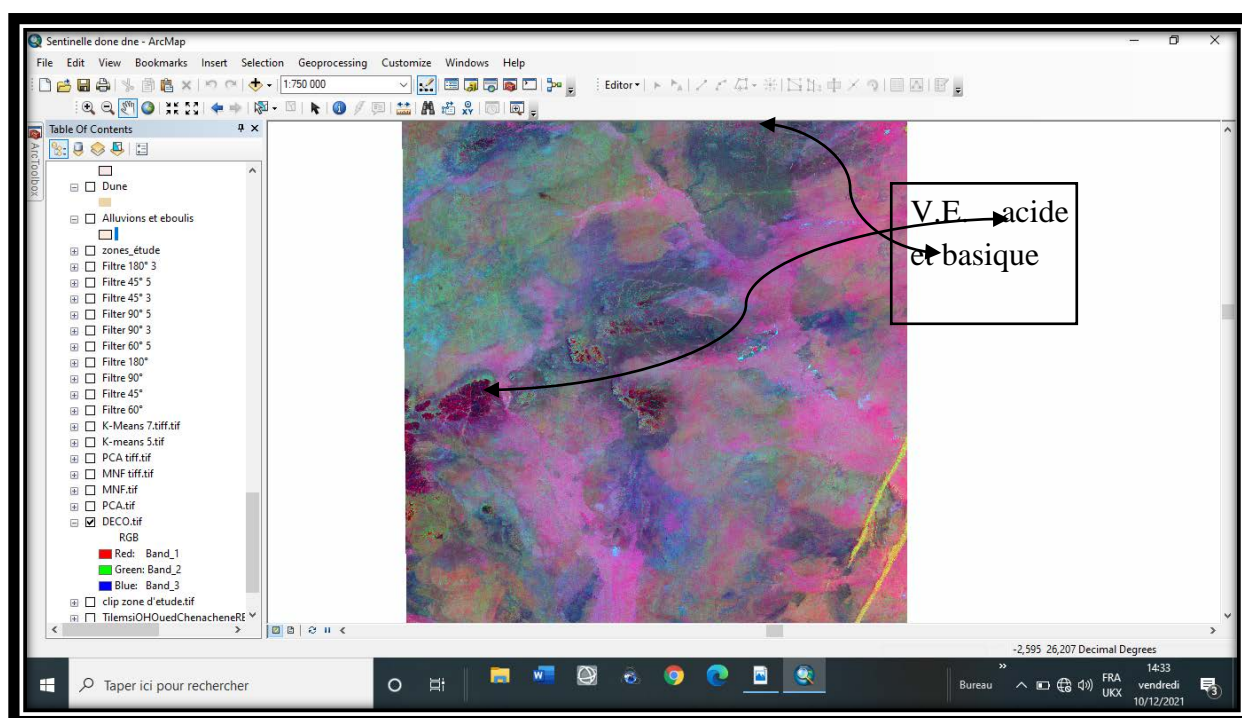


Figure 60 : Présentation des formations du volcanisme eglab à partir les images Sentinel-2 par le traitement de decorrelation Stretch.

CHAPITRE V : APPLICATIONS SIG A LA REGION D'ETUDE

- La composition colorée de traitement PCA d'images Sentinel2 formée des bandes 1_2_3, permet de faire de voir mieux les formations de la série de Hank qui sont de petites dimensions.

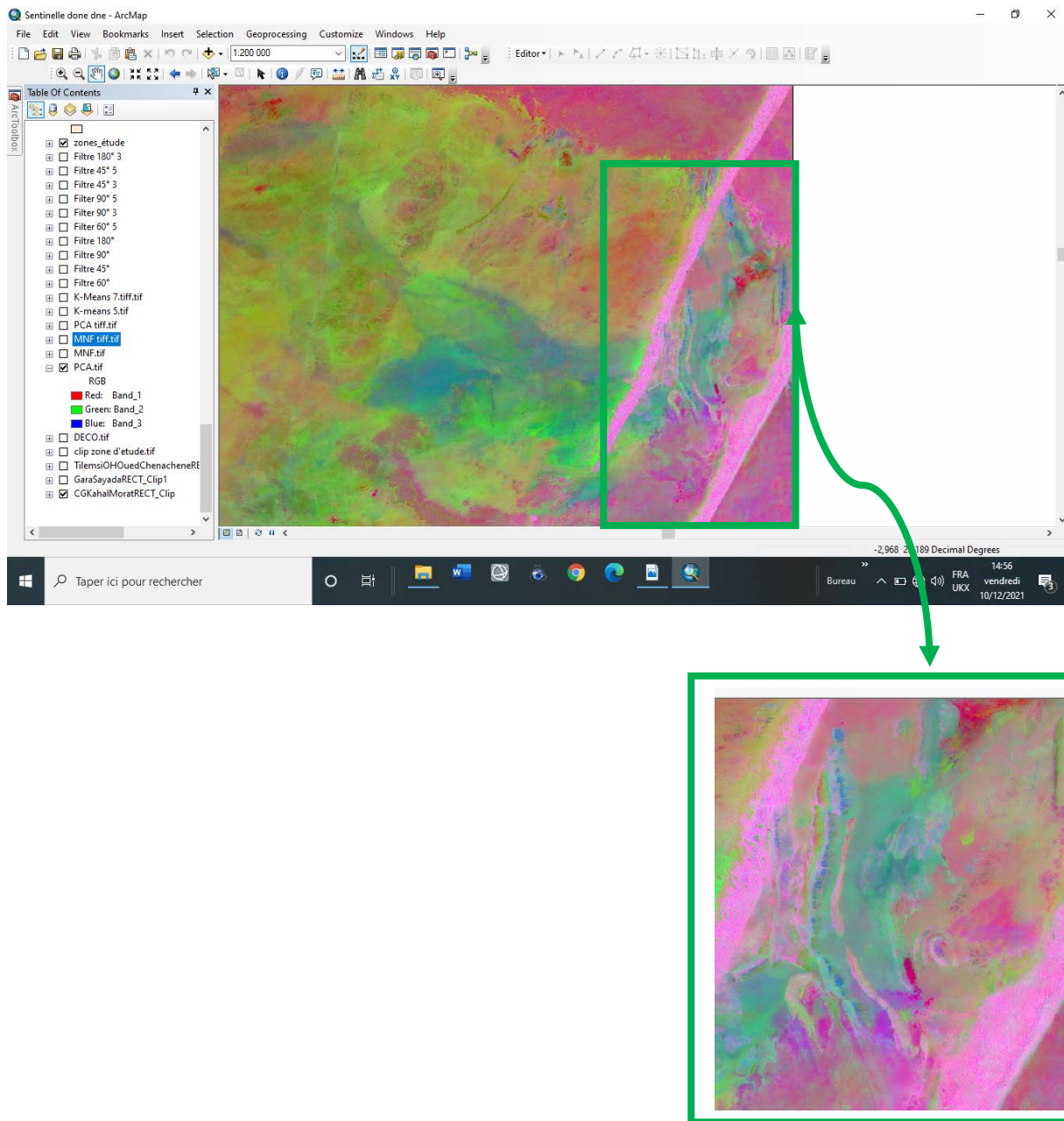


Figure 61 : Présentation des formations de la série de Hank à partir les images Sentinel-2 par le traitement PCA.

Le vectorisation commence comme suite :

✓ Litho-stratigraphique :

Pour l'application de ce travail, il faut passer d'une couche à une autre jusqu'à la fin, toutes les couches sont vectorisées en faisant attention de ne pas oublier de mettre la référence spatiale de chaque couche vectorisée, correspondant à la référence spatiale de la région de la carte.

CHAPITRE V : APPLICATIONS SIG A LA REGION D'ETUDE

Et tout ce travail se fera pour tous les trois autres cartes qu'on a :

- Kahal Morat.
- Tilemsi Ould Haïda.
- Garay Sayada.

On va prendre un exemple de la vectorisation de l'information lithologique (le dépôt des formations superficielles de type HAMADIEN (Quaternaire et Néogène)).

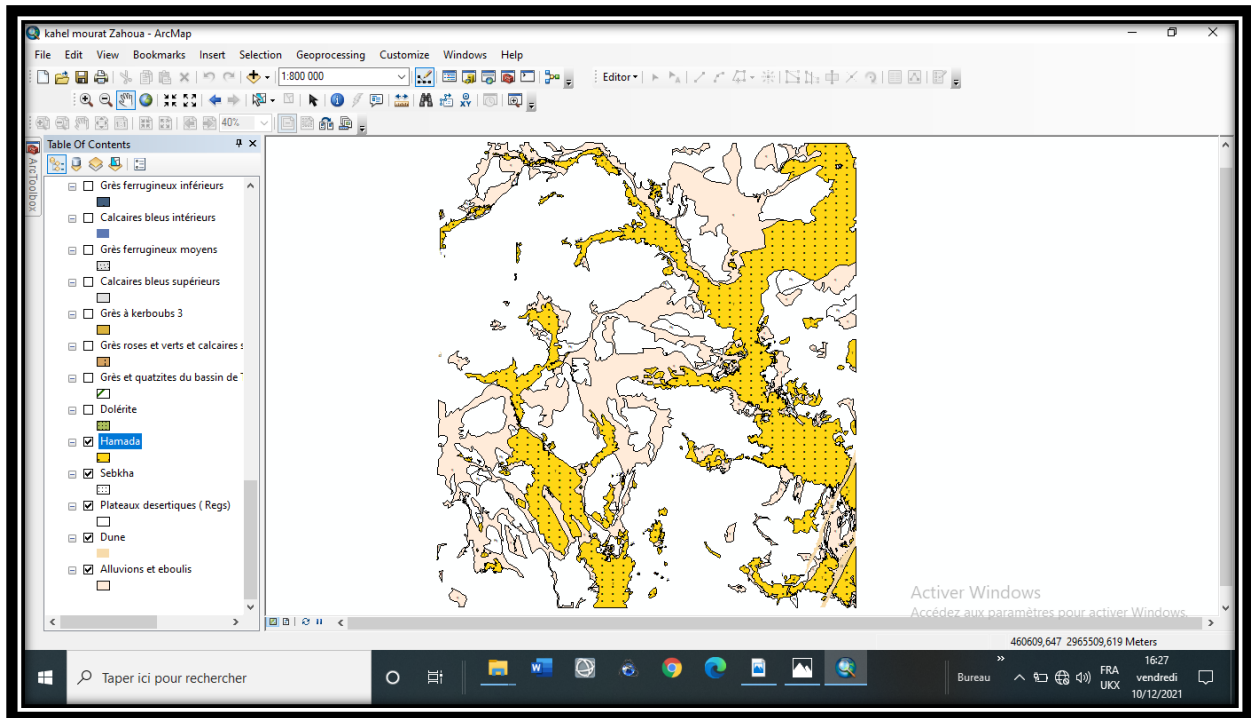


Figure 62 : Présentation des formations superficielles de type HAMADIEN de la feuille de Kahal Morat vectorisées à partir des images Landsat-8 avec le traitement MNF.

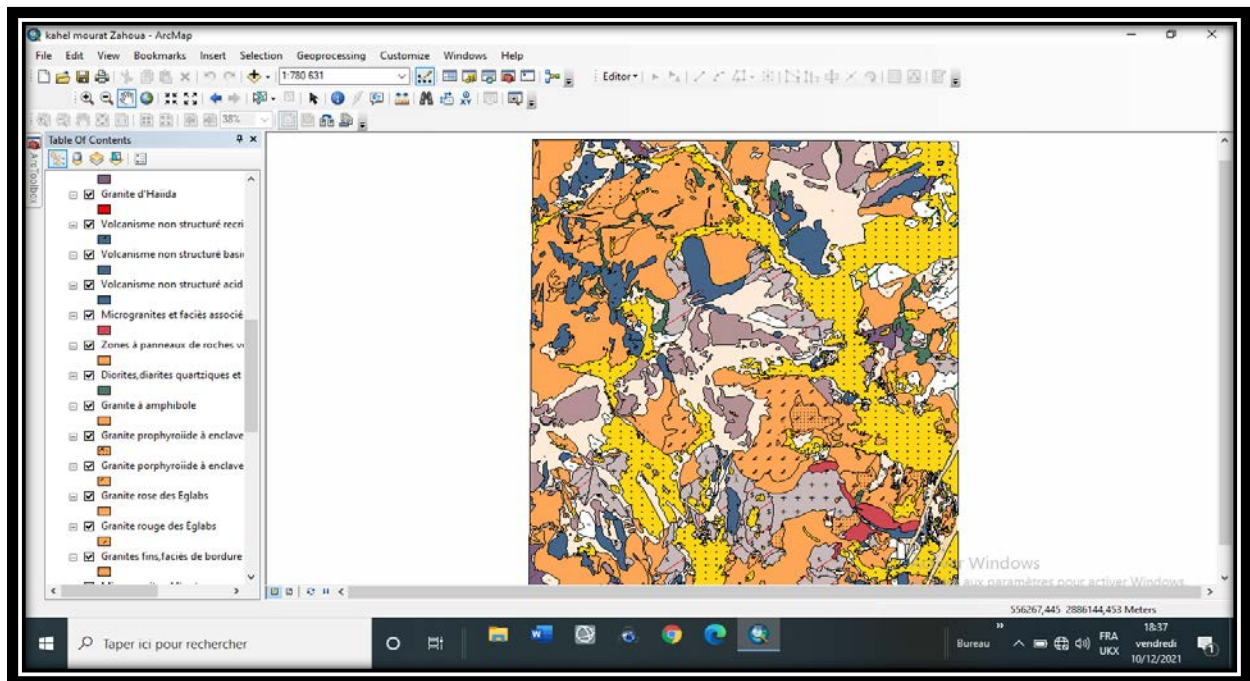


Figure 63 : Présentation de la feuille de Kahal Morat vectorisées à partir des images Raster Sentinel-2 et Landsat-8.

2.3.2 Vectorisation de l'information linéaire (Polyligne) :

Les entités polylignes permettent de représenter des objets linéaires et curvilignes dotés d'une longueur, mais sans surface. Dans ce travail nous l'avons appliqué pour vectoriser les accidents tectoniques.

✓ **Tectonique :**

Pour la vectorisation de la tectonique (failles, bancs de repères, les zones de déformation et les décrochements). Nous avons suivi les mêmes étapes que pour la vectorisation surfacique citée dans quelques pages auparavant, c'est-à-dire : suivre les mêmes étapes pour la création d'un nouveau fichier de formes, sauf qu'il faudrait changer le « Type d'entités » en « Polyligne ». Exemple de vectorisation des failles dans la feuille de Kahal Morat en utilisant le filtre directionnel 90° des images Landsat-8.

CHAPITRE V : APPLICATIONS SIG A LA REGION D'ETUDE

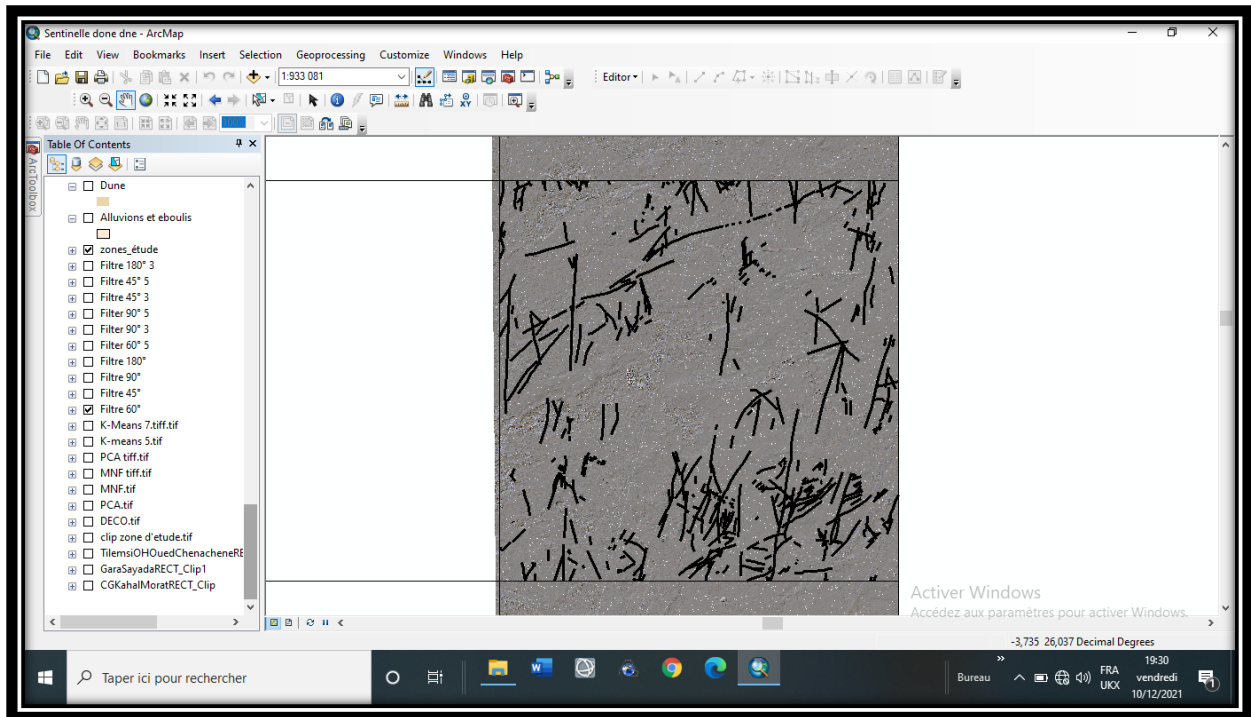


Figure 64 : Vectorisation des failles dans la feuille de Kahal Morat en utilisant le filtre directionnel 90° des images Landsat-8.

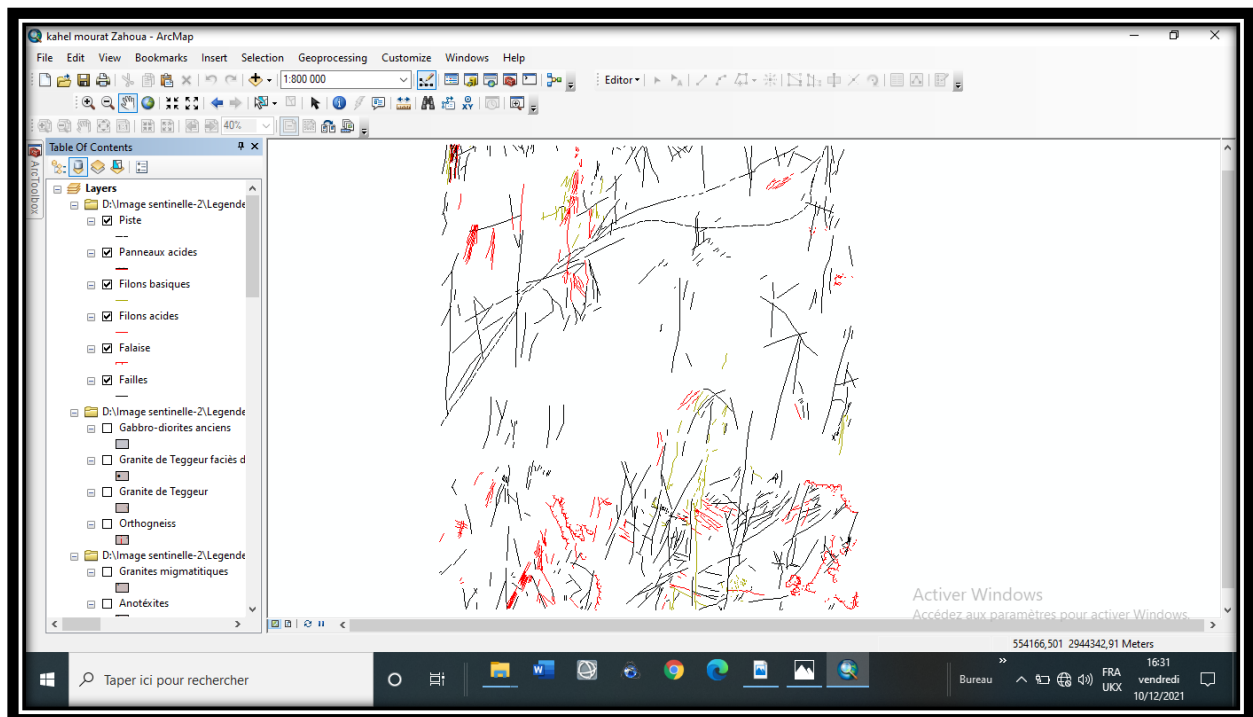


Figure 65 : Vectorisation des formations linéaires (failles) de la feuille de Kahal Morat.

La Cartographie manuelle dans montre cas consiste à préciser, rectifier et corriger les formations lithologiques et linéaires pour faire une meilleure carte géologique, pour ce, en a utilisées le maximum d'outils qui nous a permis de mieux visualiser cette limite sur les

CHAPITRE V : APPLICATIONS SIG A LA REGION D'ETUDE

images satellite ce sont : (le contraste, la luminosité, la transparence, la correction gamma et les filtres ...etc.). En plus les différentes combinaisons de bandes spectrales.

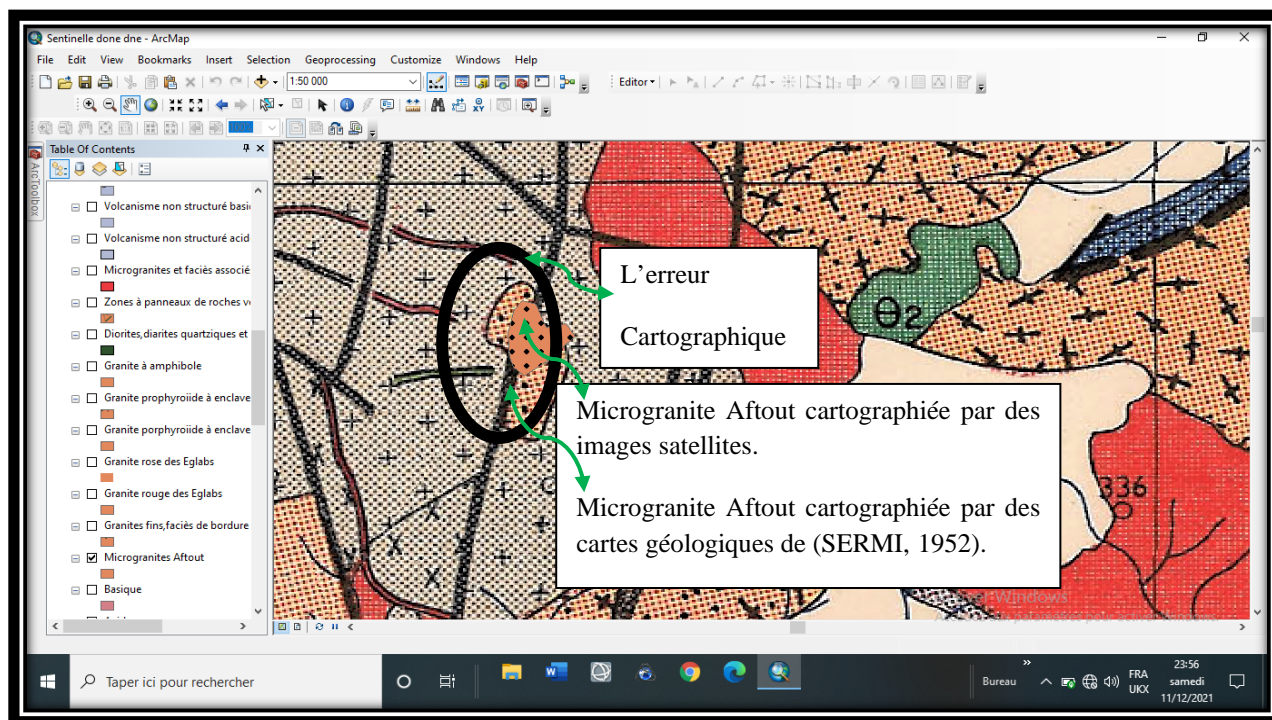
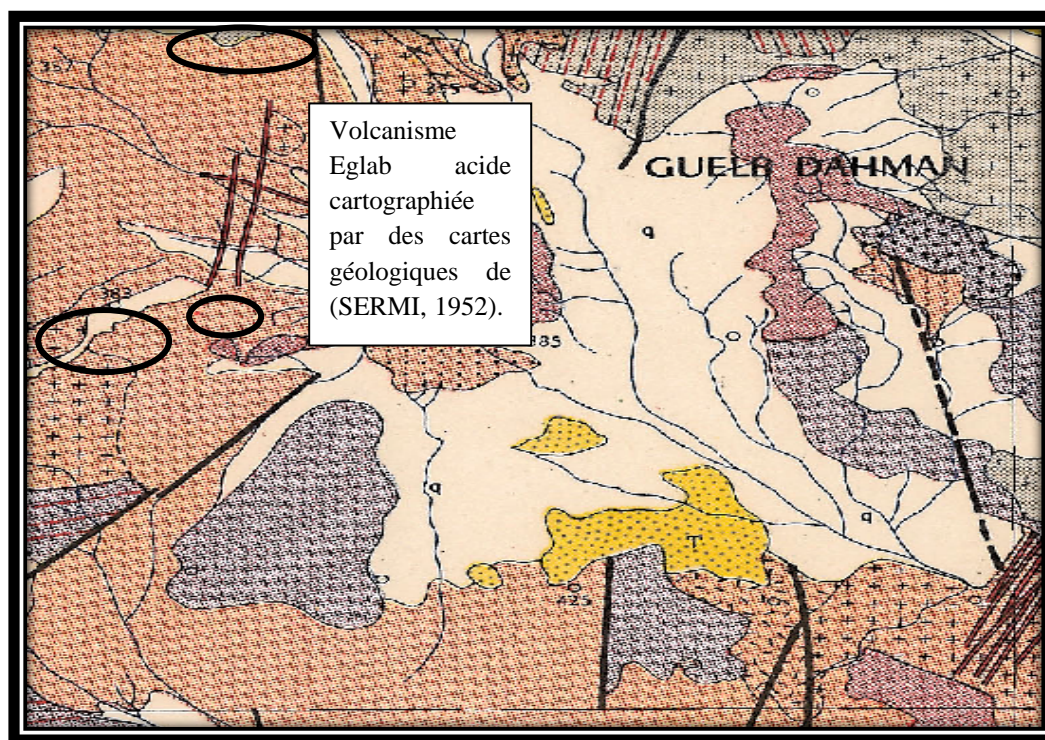


Figure 66 : Présentation d'une formation de Microgranite Aftout avant et après la correction.



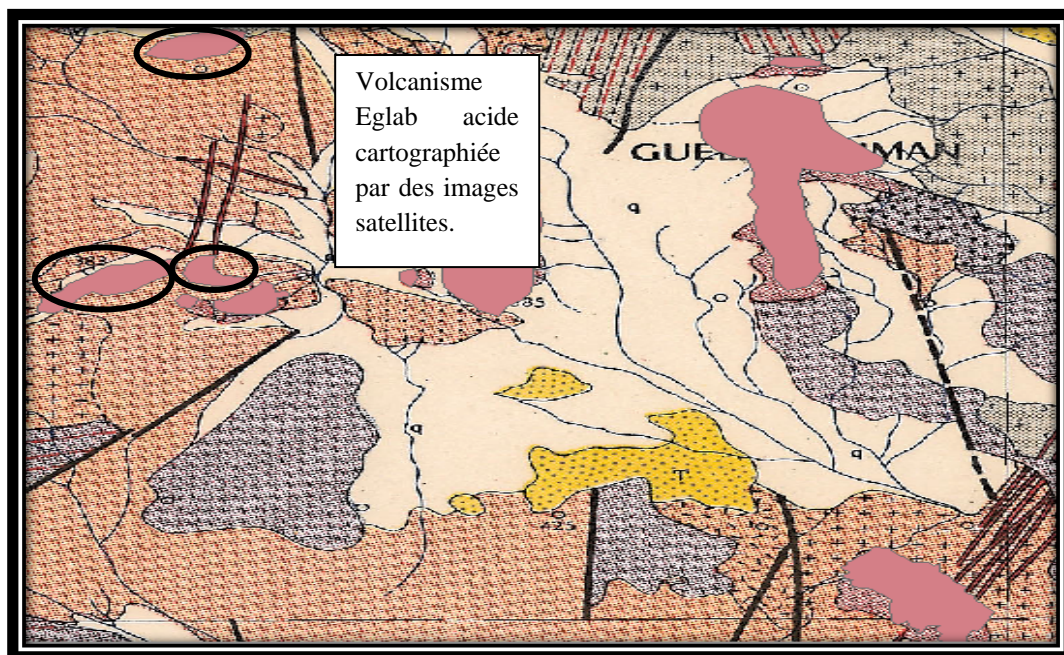


Figure 67 : Présentation d'une formation de volcanisme Eglab acide avant et après la correction cartographique.

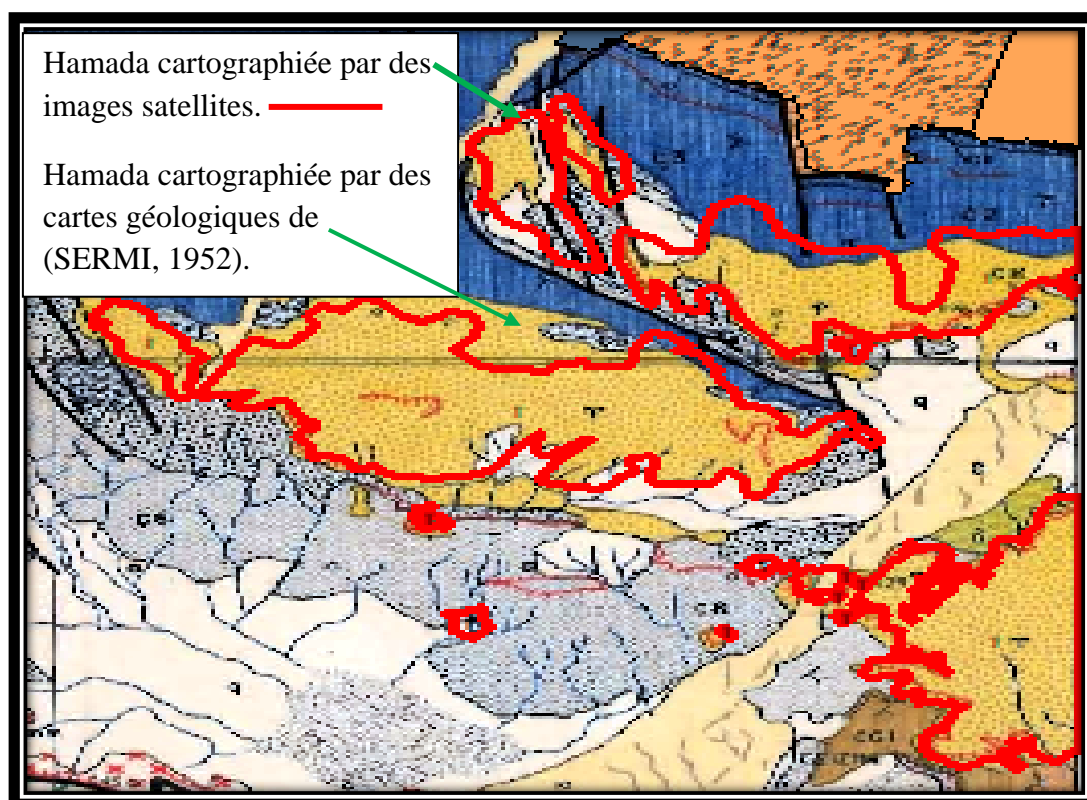


Figure 68 : Présentation de la formation hamada avant et après la correction cartographique

CHAPITRE V : APPLICATIONS SIG A LA REGION D'ETUDE

2.4 La mise en page :


ArcGis 10 nous permet de créer efficacement des mises en page qui peuvent être présentées à d'autres utilisateurs via une image imprimée ou un document PDF.

La mise en page d'une carte est une combinaison de plusieurs éléments nécessaires dans une carte, à savoir :

- Un titre.
- Une légende.
- Une flèche d'orientation Nord.
- Une échelle graphique et/ou numérique.
- Des cartes de localisation ou des grilles de coordonnées géographiques et/ou cartographiques.
- Une source : auteur(s), année...


Pour peaufiner le projet, on sélectionne la mise en page dans le menu :

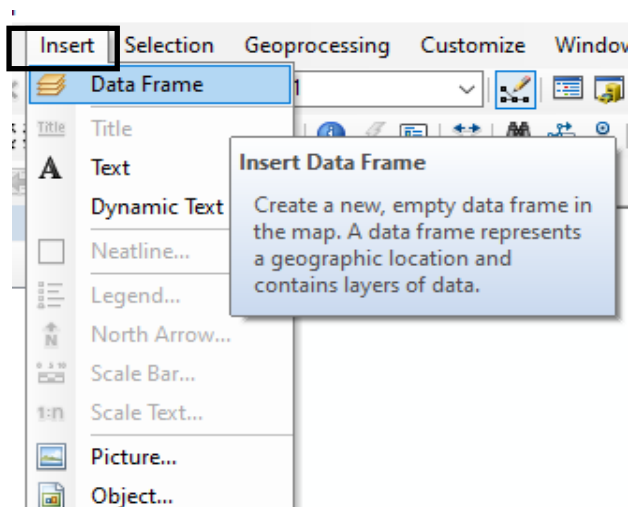
Affichage  Mode mise en page

 ou en cliquant sur le symbole de mise en page.



Pour ajouter des éléments indispensables à notre carte, il faut aller dans le menu, puis :

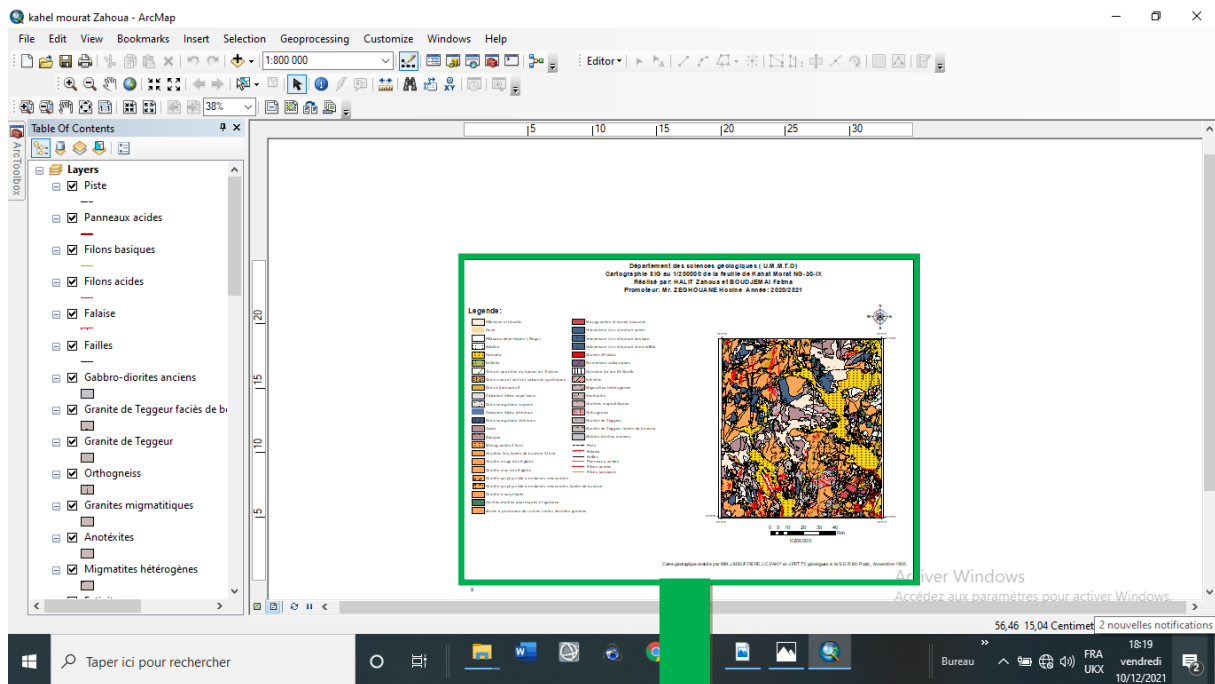
Insérer  ensuite sélectionné l'item désiré.



Lorsque la mise en page est terminée, on a le choix entre imprimer (menu fichier Imprimer) ou bien d'exporter cette mise en page afin de pouvoir l'insérer dans un document.

CHAPITRE V : APPLICATIONS SIG A LA REGION D'ETUDE

Pour exporter : menu fichier  Exporter la carte.



Département des sciences géologiques (U.M.M.T.O)
Cartographie SIG au 1/200000 de la feuille de Kahat Morat NG-30-IX
Réalisé par: HALIT Zahoua et BOUDJEMAI Fatma
Promoteur: Mr. ZEGHOUEANE Hocine Année: 2020/2021



Carte géologique établie par MM J.M.BUFFIERE, J.C.FAHY et J.PETTY, géologues à la S.E.R.M.I Paris_ Novembre 1965.

Figure 69 : Carte exporté de la feuille de Kahal Morat.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale :

Le massif des Eglab constitue le fragment Nord-Oriental du Craton Ouest Africain et l'extrémité Ouest de la Dorsale Reguibat. C'est un massif cristallin magmato-métamorphique cratonisé pendant l'orogénèse Ebournéenne (2000 - 1800 M.A.). Le domaine Eglab est séparé en 3 zones structurales par des accidents majeurs orientés N-S à NW-SE. Extension de la zone étudiée 28500 km².

Au terme de ce travail, on voudrait essentiellement faire ressortir l'intérêt de l'outil informatique « SIG » à la cartographie géologique au 1 /200 000 des feuilles de Kahal Morat, Tilemsi, Ould Haida, Gara Syada, et au traitement des données des images satellitaires Sentinel-2 et Landsat-8. Plusieurs étapes ont été nécessaires pour réaliser ce travail.

La première étape de ce travail a consisté à réaliser une recherche bibliographique, la documentation susceptible de contenir des informations concernant la cartographie et la description géologique de notre région d'étude.

La deuxième étape c'est la réalisation d'une synthèse géologique et gîtologique de la région d'étude.

La troisième étape, c'est la partie pratique où on a utilisé le logiciel ENVI et le logiciel ArcGIS 10. On a commencé d'abord les téléchargements sur site (Landsat.usgs.gov pour les images Landsat-8 et scieur.copernicus.eu pour les images Sentinel2), puis les traitements et l'interprétation de ces images sont faits dans le logiciel Envi, c'est ce qu'on appelle la télédétection. En effet, les différentes méthodes de traitements numériques appliquées telles que les compositions colorées (3-2-1//7-5-2//1-2-3) RGB, et l'analyse en composantes principales ACP (3-2-1//7-5-2//1-2-3) RGB, et la classification non supervisée avec les 7 classes et la fraction de bruit minimale MNF(3-2-1//7-5-2//1-2-3) RGB ont montré que la discrimination lithologique des différentes formations dans la région est possible. Les résultats montrent que la nature des lithologies de notre zone d'étude peut ressortir d'une façon très claire où on a pu remarqué que les formations géologiques de ces trois feuilles sont presque toutes décalées et déplacées de leurs place. On a pu déduire aussi qu'il y a des formations disparues et d'autres qui apparaissent. Le filtrage directionnel (45°,90° et 180°) permettent une assez bonne cartographie linéaire où nous avons pu répertorier plus de linéaments existant dans les anciennes cartes avec une direction subméridionale prédominante. Juste après on les importe en format raster dans le logiciel ArcGIS et lui attribuer ses références spatiales et enfin procéder à leur vectorisation c'est la cartographie géologique.

Après avoir élaboré une carte géologique sous ArcGis par la digitalisation des différents facies lithologiques et les formations linéaires, les cartes SIG obtenues peuvent être exportées puis imprimées sous forme de document en papier pour être utilisées par une société ou une campagne d'exploration minière.

Conclusion générale

On conclut que la télédétection représente, aujourd'hui, un appui très efficace et rapide pour la cartographie géologique avec un meilleur rapport qualité/prix.

Bibliographie :

Azzouni-Sekkal A. (1976). Les stocks plutoniques basiques de la jointure Yetti-Eglab. (Sahara occidental algérien). Thèse Doct. 3^{ème} Cycle, Univ., Alger, 100 p.

Abouchami W., Boher M., Michard A. and Albarède F. (1990). A major 2.1 Ga event of mafic magmatism in West Africa : an early stage of crustal accretion. *Journal of Geophysics Research*, vol.95, pp.17605-17629.

Buffière J.M., Fathy J.C. et Petey J. (1965a). Etude géologique de la partie orientale de la dorsale Reguibat, région des Eglab et secteur Nord du Yetti. Rapport Inédit de la SERMI, Paris, Déc. 1965, n° ALG. 63-09-IV, 230 p.

Buffière J.M., Fathy J.C. et Petey J. (1965b). Notice explicative de la carte géologique à 1/500.000 de la région des Eglab et de la bordure Nord du Yetti. S.E.R.M.I., Paris, 38 p.

Buffière J.M., Fathy J.C. et Petey J. (1966). Sur l'ensemble Yetti-Eglab et sur la couverture infratillitique en territoire algérien. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, t.262, pp.1513-1516.

Barrère J. (1969). Aperçus sur le métamorphisme et sur la migmatisation dans le Précambrien de l'Amsga (Mauritanie Sud-occidentale). *Bulletin de la Société Géologique de France*, (7), vol.11, pp.150-159.

Bessoles B. (1977). Géologie de l'Afrique : craton Ouest africain. Editions du BRGM, n° 88, 402 p.

Bertrand J.M.L., Caby R., Ducrot J., Lancelot J., Moussine-Pouchkine I. and Saadallah A. (1978). The late Pan-african intracontinental linear fold belt of the Eastern Hoggar (Central Sahara, Algeria): geology, structural development, U/Pb geochronology and tectonic implications for the Hoggar shield. *Precambrian Research*, vol. 7, pp. 349-376.

Boher M. (1991). Croissance crustale en Afrique de l'Ouest. *Mémoires du BRGM*.

Bertrand-Serfati J. et Moussine-Pouchkine A. (1992). Formation et comblement d'une dépression intraplaque engendrée par la croissance d'un biostrome stromatolitique, Protérozoïque supérieur, Sahara algérien. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, t.315, Série II, pp.837-843.

Black R. et Liégeois J.P. (1993). Cratons, mobile belts, alkaline rocks and continental lithospheric mantle : the Pan-African testimony. *Journal of the Geological Society*, London, vol.150, pp.89-98.

Baudin T. (1993). Rapport de la mission de terrain dans les Eglab et le Yetti. *Mémoires du Service Géologique de l'Algérie*, n°8, pp.53-60.

BERGER A., LACROIX P., LAVENU G., LESELLIER S., REYNAUD I., TOURNADRE G., & GONZALEZ O., 2005. ArcView 9 Niveau 1. Support de cours avec exercices pratiques et données. Edition ESRI France, Meudon, p. 388.

Benramdane 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. 120 p.

BONNET E, 2012. Support de cours MapInfo 7.5. Univ des sciences et technologie de Lille.

Cahen L. (1961). Review of geochronological knowledge in Middle and Northern Africa. Annual of New York Academy of Science, vol. 91, n°2, pp. 535-567.

Cahen L. (1963). Grands traits de l'agencement des éléments du soubassement de l'Afrique Centrale. Esquisse tectonique à 1/5 000 000. Annales de la Société Géologique de Belgique, vol.85, n°6, pp.183-195.

Caby R. (1965). Les formations Précambriennes de l'extrémité Orientale de l'axe Yetti-Eglab; Bull. de la Société Géologique de France, 7, VII, 341-352.

Choubert G., Faure-Muret A. et Charlot R. (1968). Le problème du Précambrien en Afrique Nord-occidentale. Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique, France, (2), n°4, pp.289-311.

Clifford T.N. (1970). The structural frame work of Africa in African magmatism and tectonics. Edited by Clifford and Cass, Edinburgh, pp.1-26.

Clauer N. and Bonhomme M. (1971). Preliminary Rb/Sr dating in the upper Precambrian near Atar (Mauritania). Colloque Européen de Géochronologie Bruxelles, 6-10 September 1971, Annales de la Société Géologique de Belgique, vol. 94, p.109.

Clauer N. (1973). Utilisation de la méthode Rb/Sr pour la datation des niveaux sédimentaires du Précambrien supérieur de l'Adrar mauritanien (Sahara Occidental) et la mise en évidence des transformations précoces de minéraux argileux. Réunion Annuelle des Sciences de la Terre, Paris, résumé p.134.

Choubert G. et Faure-Muret A. (1975). Atlas géologique du monde. U.N.E.S.C.O, Paris.

Chardon D. (1997). Les déformations continentales archéennes, exemples naturels et modélisation thermomécanique. Mémoires de Géosciences, Univ. Rennes, n°76, 257 pp.

CLARAMUNT G. 1991 IN OUHTI .Y.2006.

De Wit M. J., Bowring S. A., Ashwal L. D., Randrianasolo L. G., Morel V. P. I. and Rambeloson R. A. (2001). Age and tectonic evolution of Neoproterozoic ductile shear zone in southwestern Madagascar, with implications for Gondwana studies. Tectonics, 20, pp. 1-45.

Dr.Zeghouane.H. 2019 : Dates historiques de télédétection. Cour 2018 /2019.

ESRI France, 2004. La conférence francophone ESRI.

Gevin P. (1951). Sur la structure du massif cristallin Yetti-Eglab (Sahara occidental). Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, t.233, pp. 1129-1130.

Gevin P. (1951). Sur la structure du massif cristallin Yetti-Eglab (Sahara occidental). Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, t.233, pp. 1129-1130.

Gevin P. (1952). Mauritanie, le précambrien de la dorsale Réguibat (Ghallaman, Yetti, Iguidi, Karet). Rapport annuel du Service Géologique, A.O.F., Dakar, pp.22-26.

Gevin P. (1960). Etudes et reconnaissances géologiques sur l'axe cristallins « Yetti-Eglab » et des bordures sédimentaires. Bull. N°23 des publications des cartes Géol. Algérie.

Gevin P. (1973). La tillite « éocambrienne » du bassin de Taoudeni (Sahara Occidental). Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, t. 276, série D, pp.1115.

IAAT. 2003. Cahier méthodologique sur la mise en œuvre d'un SIG.

Kodjo T., 2008. Conception et réalisation d'une application de webmapping d'Analyse Territoriale sur des SIG et Bases de Données Open Source : Cas du territoire Camerounais, Mémoire de 3^{ème} cycle, Complexe Universitaire SIANTOU Yaoundé, PARIS, France, 75pp+annexes.

Lapadu-Hargues P. (1947). Quelques données préliminaires sur le massif des Eglab (Sahara occidental). Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, 225, pp.950-952.

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

Liégeois J.P., Latouche L., Boughrara M., Navez J. and Guiraud M. (2002). The Latea metacraton (central Hoggar, Touareg shield, Algérie) : behaviour of an old passive margin during the pan african orogeny. Journal of African Earth Sciences, n°37, pp. 161-190.

Lefort J.P., Jaffal M. et Kchikach A. (2003). Etude gravimétrique de la ceinture archéenne de roches vertes de Kuhmo (Finlande orientale). Comptes Rendus de Géoscience, Paris, t.335, 12, pp. 881-887.

Lefort J.P., Aifa T. et Bourrouilh R. (2004). Evidences paléomagnétiques et paléontologiques en faveur d'une position antipodale du craton Ouest-Africain et de la Chinedu Nord : conséquences paléogéographiques. Comptes Rendus de Géosciences, vol.336, issue2, pp.159-165.

Lillsand et Kiefer, 2019 : La télédétection.

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

Maguire D.J., Goodchild M.F., Rhind D.W., 1991. Geographical Information Systems. Longman Scientific & Technical.

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

Potrel A., Peucat J.J., Fanning C.M., Auvray B., Burg J.P. and Caruba C. (1996). 3.5 Ga old terranes in the West Africa Craton, Mauritania. Journal of the Geological Society, London, vol.153, pp.507–510.

Potrel A., Peucat J.J. and Fanning C.M. (1998). Archean crustal evolution of the West African Craton : example of the Amsaga Area (Reguibat Rise). U–Pb and Sm–Nd evidence for crustal growth and recycling. Precambrian Research, vol.90, pp.107–117.

Pourtier R. (2001). Afriques noires. Editions Hachette, Paris, 256 p.

Peucat J.J., Capdevilla R., Drareni A., Mahdjoub Y. and Kahoui M. (2005). The Eglab massif in the West African Craton (Algeria), an original segment of the Eburnean orogenic belt : petrology, geochemistry and geochronology. *Precambrian Research*, vol.136, pp.309-352.

Peucat J.J., Capdevilla R., Drareni A., Mahdjoub Y. and Kahoui M. (2005). The Eglab massif in the West African Craton (Algeria), an original segment of the Eburnean orogenic belt : petrology, geochemistry and geochronology. *Precambrian Research*, vol.136, pp.309-352.

Sabaté P. et Lameyre J. (1971). La jointure Yetti-Eglab dans la dorsale Réguibat. 6^{ème} Colloque International de Géologie Africaine, Leicester.

Sekkal A. (1972). Introduction à l'étude de quelques granitoïdes de la région Yetti-Eglab (Sahara occidental algérien). D.E.A., Univ. Oran, 75 p.

Sabaté P. and Lameyre J. (1973). Magmatism and metamorphism in the Yetti-Eglab Precambrian formations of the Reguibat Dorsale (occidental algerian sahara). VIIème Colloque de Géologie Africaine, Florence, Avril 1973.

Sabaté P. et Lomax K. (1975). Données stratigraphiques et paléomagnétiques de la région Yetti-Eglab (Sahara occidental algérien). *Bulletin du B.R.G.M., France, section II, n°4*, pp. 293-311.

Sabaté P. (1978). Données géochimiques et radiométriques sur les volcanites calco-alcalines précambriennes de l'Eglab (Sahara occidental algérien). Esquisse de leur évolution géotectonique. *Bulletin de la Société Géologique de France, n°1*, pp.81-90.

Torsvik T.H and Hartz E.H. (2002). Baltica upside-down : A new plate-tectonic model for Rodinia and the Iapetus Ocean. *Geology*, vol.30, n°3, pp.255-258.

Torsvik T.H. (2003). The Rodinia jigsaw puzzle. *Science*, 30, pp.1379-1381.

Tabeliouna M. (2009). Pétrologie et géochimie des roches magmatiques de la structure annulaire de Bled M'Dena, (Eglab Occidental, Dorsale Réguibat, SW Algérien). Thèse Doct., Univ. Oran, 203p.