



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



UNIVERSITE MOULOUD MAMMERRI DE TIZI OUZOU.

FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DES SCIENCES GEOLOGIQUES.

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER en géologie.

Option : Ressources Minérales Géomatériaux et Environnement.

Thème

**Cartographie SIG au 1/200.000 de la bordure externe nord
du massif du Hoggar, Algérie : Précision cartographique le
la jonction socle-couverture par traitement des données
imagées et minéralisation associe.**

Encadré par :
Dr. ZEGHOUANE. H

Réalisé par :
ABOUD Dihia

Soutenu publiquement le : 21/07/2019

Les membres du jury :

- | | | |
|---------------------------|-----------------|--------------|
| • Mr. MAKHLOUF A: | MCB, U.M.M.T.O | President |
| • M ^{me} IZRI.D: | MAA, U.M.M.T.O | Examinatrice |
| • Dr. ZEGHOUANE.H : | MCB, U .M.M.T.O | Promoteur |

REMERCIEMENTS

Tout d'abord je remercie le bon dieu de m'avoir donné la santé, le courage et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon encadreur Monsieur DR. ZEGHOUANE Hocine qui m'a proposé ce sujet et qui m'a encadré, et qui m'a aidé à réaliser ce travail. Je suis honoré de profiter de sa grande expérience.

Je tiens aussi à remercier l'ensemble de jury, un grand merci à Monsieur A. MAKHLOUF qui a accepté de présider ce jury ; Il a toujours fait preuve d'une grande générosité envers tout le monde et n'a jamais hésité à nous tendre la main, c'est un grand honneur pour moi. Et Madame D. Izri d'avoir acceptée d'examiner ce travail, j'espère qu'elle a trouvé à la hauteur.

Je remercie tous nos chers professeurs de département des sciences géologiques qui m'ont entouré durant tout mon cursus avec leur bienveillance, leur encadrement et leur dévouement.

Je remercie également toute l'équipe pédagogique du département des sciences géologiques U.M.M.T.O ainsi que mes camarades

.

Dédicace

Je tiens tout d'abord 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 mes chères sœurs souad, teleli ;

A mon cher frère jigourtha ;

A ma grande famille ;

A mon amie proche ainsi qu'une sœur pour moi nassima chikh ;

A mon ami proche Moussa Marouani ;

A mon oncle kaiss mouhamed ;

*A mes amis, T.Mariam, A.Nabila, CH.Lysa, M.Louisa,
B.Fatma, M.Kahina, B.Yamina, A.Dehbia, M.Samir,
M.Hanane, B.Zina, A.Khalidja, D.Mouhoche, G.Nadjib,
L.Hecen,*

A tous ceux et celles dont les noms n'ont pu être cités.

Résumé

Depuis l'avènement de l'outil informatique et les satellites, les systèmes d'information géographiques et la Télédétection sont devenus des outils puissants et incontournables de cartographie et d'affichage, d'analyse, de mise à jour des données géoréférencées et de traitement des images satellites pour mieux cartographier la réalité de terrains. Ce qui permet une meilleure compréhension des phénomènes qui se produisent à la surface du globe terrestre.

Dans le présent mémoire, j'ai réalisé un SIG géologique et minier de quatre feuilles aux 1 /200 000 du Hoggar qui sont : AIN TIDJOUBART, ARAK, KHANGUET EL HADID, IFETESSENE. Le travail a consisté à extraire et mettre sous forme de couches d'informations vectorielles l'ensemble des entités géologiques et géologiques (lithologie, tectonique et minéralisations), et faire de traitement des images Landsat8 qui m'ont permis à la fin de mieux déterminer la limite géologique socle-couverture.

Dans le but d'atteindre cet objectif, j'ai 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 ma région d'étude m'a 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 Landsat8 représente une nouvelle forme de données numériques, susceptibles d'être mis 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.

Mots clefs : Hoggar, système d'information géographique (SIG), géologie, Télédétection, ArcGIS, Landsat8.

Sommaire

INTRODUCTION GÉNÉRALE

1. But et objectif du travail.....	1
2. Présentation de la région d'étude.....	2

CHAPITRE I : GÉOLOGIE RÉGIONALE

I. Introduction.....	4
II. Géologie du Hoggar.....	6
II.1 Les trois grands domaines structuraux du Hoggar.....	8
A) Hoggar occidental.....	8
B) Hoggar central polycyclique.....	10
C) Hoggar oriental	11

CHAPITRE II : GÉOLOGIE DE LA RÉGION D'ÉTUDE

I. Introduction.....	12
II. Première partie : le socle.....	13
II.1 litho-stratigraphie.....	13
II.1.1 Antécambrien-Cambrien Inférieur.....	13
II.1.1.2 Socle	13
II.1.1.3 Les séries intermédiaires.....	13
II.2 Magmatisme	13
II.2.A Magmatisme Intrusif.....	14
II.2.1 Pré- Orogénique.....	14
II.2.2. Syn -Tardi- Orogénique.....	14

II.2.3 Post-Orogénique.....	14
II.2.B Magmatisme Effusif Basaltes Cénozoïques.....	14
II.2.1. Granites anatectiques.....	14
II.2.2. Les roches intrusives.....	15
II.3. Tectonique.....	16
II.4. Mineralisation.....	17
III. Deuxième partie : la couverture.	18
III.1 lithostratigraphie.....	18
III.1.1 Cambro-Ordovicien	19
III.1.1.1. Formations des Ajjers.....	19
III.1.2. Ordovicien.....	19
III.1.2.1 Formation d'In Tahouite.....	19
III.1.2.2 Formation Tamadjert.....	20
III.1.3 Silurien.....	20
III.1.3.1 Formation de l'Imirhou.....	20
III.1.4 Silurien à Dévonien inférieur.....	20
III.1.4.1 Formation de l'Asedjrad 1.....	20
III.1.5 Dévonien inférieur.....	21
III.1.5.1 Dévonien inférieur argilo-gréseux.....	21
III.1.5.2 Formation d'Oued Samène.....	21
III.1.5.3 Formations de Tamelrik et de l'Asedjrad 2	21
III.1.6 Dévonien moyen.....	22
III.1.6.1 Givétien.....	22

III.1.6.2 Eifélien (ou couvinien).....	22
III.1.7 Dévonien supérieur.....	23
III.1.7.1 Frasnien :.....	23
III.1.7.2 Famennien.....	23
III.1.8 Dévonien supérieur à Carbonifère	23
III.1.8.1 Famennien supérieur à Tournaisien inférieur.....	23
III.1.9 Carbonifère	24
III.1.9.1 Viséen supérieur et inférieur.....	24
III.1.9.2 Tournaisien.....	24
III.1.10 Cénozoïque.....	24
III.2 Tectonique.....	25
III.2.1 Les failles.....	26
III.2.2 Les décrochements	27
III.3 Minéralisation.....	29
 CHAPITRE III : SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE	
I. Généralités	30
I.1. Histoire sur le SIG.....	30
I.2. Définition de SIG.....	30
I.3 Les composantes d'un SIG.....	31
1) Logiciels.....	32
2) Matériel.....	32
3) Données.....	32
4) Les utilisateurs.....	33

5) Méthodes.....	33
I.4. Représentation des données dans un SIG.....	33
1) Mode raster.....	33
2) Mode vecteur.....	34
I.5 Comparaison des Modes vecteur et raster.....	35
I.6 Les domaines d'application du SIG.....	36
I.7 Les avantages d'un SIG.....	37
II. Les SIG et la Géologie.....	37
II.1 Construction du SIG géologique.....	37
II.2 Architecture du modèle spatial.....	38
II.3 Méthode de construction d'un SIG.....	38
III. SIG SOUS ArcGIS.....	39
III.1 Définition du logiciel Arc Gis.....	39
III.2 Présentation du logiciel Arc GIS 10.....	39
III.3 Le document MXD.....	44
 CHAPITRE IV : SIG DE LA RÉGION D'ÉTUDE	
I. Introduction.....	45
II. Étapes suivies pour la réalisation du travail.....	45
II.1 Rappels et explications.....	45
II.2 Géoréférencement.....	46
II.3 La vectorisation des différentes formations géologiques.....	51
➤ Les étapes de la vectorisation d'une carte à l'aide d' ArcGIS.....	52
II.3 La vectorisation des formations géologique.....	53

II.3.1 Vectorisation l'information surfacique (Polygone).....	53
❖ Lithostratigraphie.....	53
II.3.2 Vectorisation l'information linéaire (Polyligne).....	56
• Tectonique.....	56
II.3.3 Vectorisation l'information Ponctuelle (Point).....	57
II.4 Mise en page.....	59

CHAPITRE V : TELEDETECTION.

I. Introduction.....	62
II. Notions sur la teledetection.....	63
1. Définition de la télédétection	63
1.1. Quelques dates historiques.....	63
1.2. La télédétection et la géologie	64
2. Principe de base de la télédétection.....	65
3. Bases physiques de la télédétection.....	67
4. Les sept étapes clés de la télédétection.....	69
III. les données imagées du satellite "LANDSAT"	74
IV. Traitement et analyse des images	79
Conclusion Générale.....	95

BIBLIOGRAPHIE

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ANNEXES

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Cartographie SIG de la feuille au 1 /200 000 AIN TIDJOUBART.

Annexe 2 : Cartographie SIG de la feuille au 1 /200 000 ARAK.

Annexe 3 : Cartographie SIG de la feuille au 1 /200 000 KHANGUET EL HADID.

Annexe 4 : Cartographie SIG de la feuille au 1 /200 000 IFETESSENE.

Liste des figures

Fig. 1 :	Situation géographique de la zone d'étude.....	2
Fig. 2 (A) :	Carte Géologique simplifiée du bouclier Touareg.....	5
Fig. 2 (B) :	Carte Géologique simplifiée du bouclier Touareg.....	5
Fig. 3 :	la carte présenté la subdivision structurale de bouclier Touareg d'après Caby et al 1981.....	6
Fig. 4 :	Carte structurale présentant (A) la subdivision structurale du bouclier Touareg (Bertrand et Caby 1978. (B) les 23 blocs du bouclier Touareg (Black et al 1994)	8
Fig. 5 :	Cartogramme de la région d'étude.....	12
Fig. 6 :	Position tectonique du Hoggar au cours du panafricain.....	16
Fig. 7 :	Colonne litho-stratigraphique de la partie couverture de la région d'étude.....	25
Fig. 8 :	Carte structurale schématique de la zone d'étude.....	26
Fig. 9 :	une carte représenté les failles de couverture.....	26
Fig. 10 :	représenté les décrochements Nord-Sud de la secteur d'étude.....	28
Fig. 21 :	une carte représenté les différent sondage dans la partie couverture.....	29
Fig. 12 :	Base des données géographiques.....	31
Fig. 13 :	Les composants d'un SIG.....	31
Fig. 14 :	Taille/dimension de la représentation des données.....	33
Fig. 15 :	Exemple de donnée raster.....	34
Fig. 16 :	Exemple des données vecteurs.....	35
Fig. 17 :	les mondes de représentation de l'information géographique dans le SIG.....	35

Fig. 18	:	présentation	de	fenêtre	ArcMap.....	40								
Fig. 19	:	présentation	de	fenêtre	ArcCatalog.....	41								
Fig. 20	:	Fenêtre	ArcCatalog	à	travers	ArcMap.....	42							
Fig. 21	:				Fenêtre	ArcToolBox.....	43							
Fig. 22	:				Fenêtre	d'Enregistrer.....	44							
Fig. 23	:	Fenêtre	des	propriétés	de	la	carte.....	44						
Fig. 24	:	Globe	terrestre	avec	des	latitudes	et	longitudes.....	45					
Fig. 25	:	une	présentation	d'interface	d'ArcCatalog	montrant	icone	connexion	à	un	dossier.....	47		
Fig. 26	:	la	propriété	de	la	référence	spatiale	dans	ArcCatalog.....	48				
Fig. 27	:	La	propriété	de	la	référence	spatiale	dans	ArcMap.....	49				
Fig. 28	:	Calage	de	la	carte	géologique.....	50							
Fig. 29	:	La	rectification	d'une	carte	géologique.....	51							
Fig. 30	:	Ouvrir	un	neveu	fichier	de	forme.....	52						
Fig. 31	:	La	fenêtre	de	fichier	de	forme.....	52						
Fig. 32	:				Outil	Editeur.....	53							
Fig. 33	:	Présentation	de	dépote	de	Quaternaire	vectorisés	de	la	feuille	AIN	TIDJOUBAR.....	54	
Fig. 34	:	Présentation	de	socle	et	série	intermédiaire	vectorisés	de	la	feuille	d'ARAK.....	55	
Fig. 35	:	Présentation	d'information	lithologie	vectorisés	de	la	feuille	de	AIN	TIDJOUBAR.....	55		
Fig. 36	:	Vectorisation	des	formations	linéaire	"faille"	de	la	feuille	de	KHANGUET	EL	HADID.....	56
Fig. 37	:	Vectorisation	des	formations	linéaire	"Bancs	de	repères"	de	la	feuille	d'IFETESSENE.....	57	

Fig. 38 :	Vectorisation des formation ponctuelle "Sondage" de la feuille de AIN TIDJOUBAR.....	57
Fig. 39 :	Exemple d'un fichier Excel des Toponymie de la région de AIN TIDJOUBAR.....	58
Fig. 40 :	Vectorisation de Toponymie de la région de AIN TIDJOUBAR.....	59
Fig. 41 :	Carte exporté de la feuille de AIN TIDJOUBART.....	61
Fig. 42 :	le système de télédétection (E. Chuvico, 1990).....	66
Fig. 43 :	L'onde électromagnétique simple (monochromatique, plane).....	67
Fig. 44 :	Spectre du rayonnement électromagnétique.....	68
Fig. 45 :	les sept étape clé de la télédétection.....	69
Fig. 46 :	Interactions onde Electromagnétique sur une surface naturelle.....	71
Fig. 47 :	un satellite géostationnaire.....	72
Fig. 48 :	Satellites Héliosynchrone.....	73
Fig. 49 :	Principaux types de satellites Landsat.....	75
Fig. 50 :	Première génération.....	75
Fig. 51 :	Seconde Génération.....	75
Fig. 52 :	les étapes de traitement des images satellites.....	79
Fig. 53 :	comment télécharger les image satellites à partir de site Web de l'USGS.....	80
Fig. 54 :	les 14 fichiers d'un image landsat8.....	80
Fig. 55 :	connexion au dossier (workspace).....	81
Fig. 56 :	les 9 fichiers images *.tif dans ArcMap.....	82
Fig. 57 :	présenté fenêtre d'analyse d'image.....	82

Fig. 58	:	les étapes suivies pour enregistré une image composite.....	83
Fig. 59	:	découpage de l'arrière fond en noir.....	84
Fig. 60	:	Combinaison des bandes spectrales.....	85
Fig.61	:	fenêtre de copier raster.....	86
Fig.62	:	Création d'une mosaïque d'images composites.....	86
Fig. 63	:	résultats de l'opération mosaïque.....	88
Fig.64	:	résultats de l'opération découpage.....	88
Fig. 65	:	classification d'image.....	89
Fig.66	:	fenêtre de Gestion d'apprentissage des échantillons.....	89
Fig. 67	:	fenêtre d'enregistrement de fichier (*.gsg).....	90
Fig. 68	:	fenêtre de classification de vraisemblance maximale.....	90
Fig.69	:	présenté la limite socle-couverture qui déterminé à la fin de travail.....	93
Fig.70	:	présenté l'erreur cartographie.....	94

Listes des Tableaux :

Tableau 1	:	les coordonnées géographiques des feuilles de la zone d'étude.....	2
Tableau 2	:	Avantages et inconvénients des deux modes raster et vecteur.....	36
Tableaux 3	:	L'absorption du REM à divers effets.....	70

Tableaux 4	: représenté les bandes spectrales et leurs longueur d'onde.....	71
Tableaux 5	: les différents types des vecteurs.....	72
Tableau 6	: Caractéristiques et applications des bandes spectrales du capteur TM.....	76
Tableau 7	: les caractères des bandes Landsat 7 ETM+.....	77
Tableau 8	: Les bandes spectrales de l'instrument OLI.....	78
Tableau 9	: Bandes spectrales de l'instrument TIRS.....	78

INTRODUCTION GENERALE.

1. BUT ET OBJECTIF DU TRAVAIL :

La production manuelle ou automatisée d'une carte géologique est pénible en termes de temps et de ressource (humaine et matérielle), ce qui nous pousse à utiliser une approche plus simple voyant un système d'informations géographiques qui permet de transformer des cartes sous format raster en format vecteur passant par plusieurs stades (étapes) : géo-référencement, vectorisation, analyse des données et traitement des données imagées.

Le système d'information géographique (SIG) appliquée à la géologie et à la minéralisation associée de la bordure externe Nord du Hoggar à 1 /200.000 a été établie à partir des cartes et rapports géologiques du Hoggar et autres rapports de recherches systématiques et levées géologiques qui étaient réalisées par SONATRACH et BEICIP (1972).

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, dans le but de réaliser des cartes géologiques SIG qui sont très proches de la réalité par traitement des images satellites, appliqué aux formations géologique, tectoniques et gîtologiques.

L'étude concerne quatre feuilles au 1/200.000 de la zone de jonction Socle-Couverture de la bordure externe Nord du Hoggar qui sont les suivants :

***AIN TIDJOUBAR.**

***ARAK.**

***IFETESSENE.**

***KHANGUET EL HADID.**

INTRODUCTION GENERALE.

2. PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE :

A) SITUATION GEOGRAPHIQUE :

La limite socle-couverture est située au nord du Hoggar occidental, à plus de 500 km au Nord de la ville Tamanrasset, et à 2500 km au sud d'Alger la capitale. Elle est représentée par quatre feuilles à l'échelle de 1/200.000 ayant les coordonnées géographiques suivantes :

Régions	Longitude	Latitude
AIN TIDJOUBAR	3°- 4°	26°- 27°
ARAK	3°- 4°	24°- 25°- 26°
IFETESSENE	4°- 5°	25°- 26°
KHANGUET EL HADID	4°- 5°	26°- 27°

Tableau 1 : les coordonnées géographiques des feuilles de la zone d'étude.

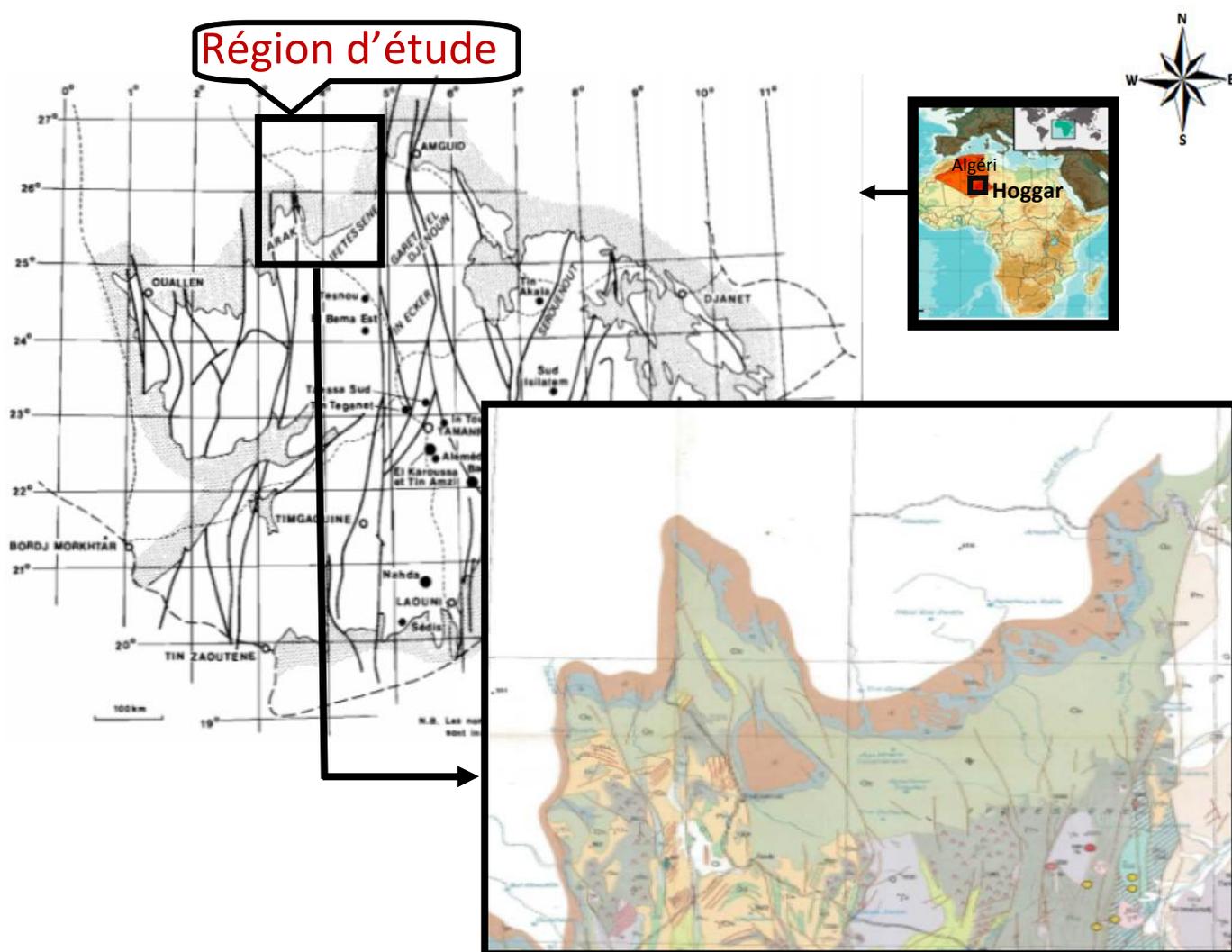


Fig. 1 : Situation géographique de la zone d'étude.

INTRODUCTION GENERALE.

B) CLIMAT :

Notre région d'étude est caractérisée par un climat désertique, aride et sec, avec des précipitations moyennes inférieures à 100 mm par année, la température varie avec l'altitude, dans les parties basses elles peuvent être véritablement torrides, l'été atteint environ de 40°C à 50°C et dans les montagnes la température est moins élevée. On notera que la sécheresse de l'air rend la chaleur plus facile à supporter que dans les zones humides, l'amplitude thermique entre le jour et la nuit qui peut être très importante en hiver. Les précipitations atmosphériques sont en général assez rares mais parfois dévastatrices à cause de l'absence de la végétation.

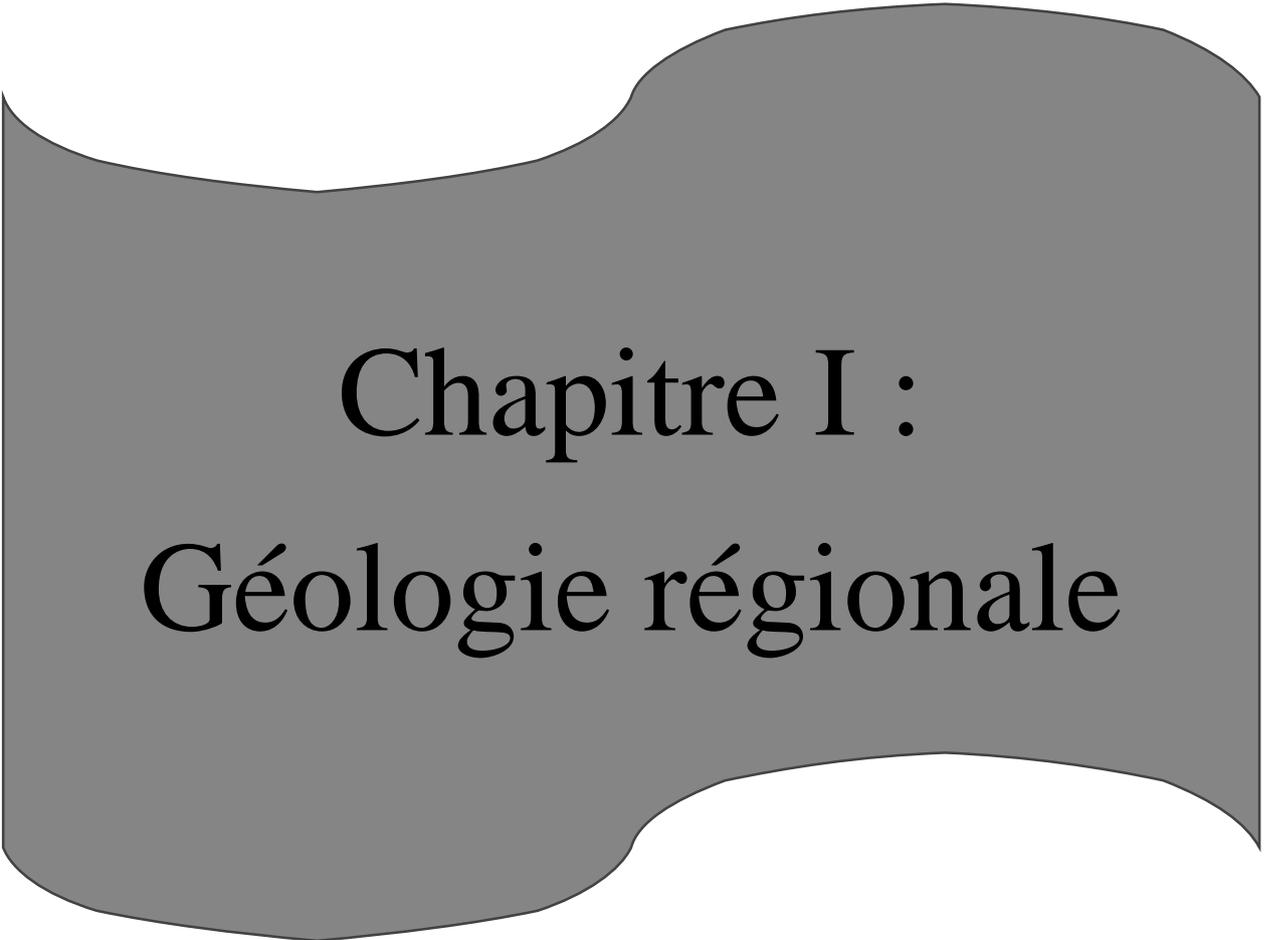
C) FAUNE ET FLORE :

La faune du Hoggar est typique des milieux désertiques, en général elle est représentée par les dromadaires, antilopes, gazelles et rares mouflons, les gerboises, scorpions, des guépards, des chacals, des fennecs, des chats sauvages et une grande variété d'oiseaux.

La flore est très pauvre, et pousse dans les lits d'oueds et certains points d'eau permanents. Mais très variés : myrte de nivelles, pistachier, acacias, les tamaris, les graminées sauvages, les peupliers et l'armoise.

La population qui compte au total entre 1.000.000 et 2.000.000 habitants se trouve répartis en différentes régions du Hoggar.

Le Hoggar présente un grand intérêt géologique, abritant l'un des plus importants ensembles d'art rupestre préhistorique du monde, plus de 15.000 dessins et gravures permettent d'y suivre, jusqu'à 6.000 ans.



Chapitre I :
Géologie régionale

CHAPITRE I : GEOLOGIE REGIONALE.

I. INTRODUCTION

Le Hoggar représente la partie centrale du bouclier Targui qui se prolonge au Sud-Ouest par l'Adrar des Iforas (Mali) et au Sud-est par l'Air (Niger) (Fig. 2 (A)). Est constitué d'une grande diversité de roches essentiellement d'âge Précambrien.

Le Hoggar couvre une superficie d'environ 550.000 km². Sa capitale économique Tamanrasset. La grande superficie, la diversité des formations géologiques et l'excellente qualité des Affleurements font du Hoggar un univers de recherches géologiques unique au monde.

Le Hoggar est le plus important massif précambrien de l'Algérie, la couverture discordante est formée de grès Ordoviciens formant les Tassilis n'Ajjer au Nord et les Tassilis du Hoggar au Sud. C'est un massif formé de roches cristallines et cristallophylliennes, il forme un segment de la chaîne panafricaine, qui est un terme proposé pour la première fois par Kennedy (1964) et utilisé ensuite pour caractériser un important et vaste épisode thermo-tectonique ayant évolué à la fin du Précambrien et au début du Paléozoïque (500±100 Ma) et qui a conduit à la différenciation de toute l'Afrique en cratons et zones mobiles.

Le bouclier touareg, est caractérisé par des shear-zones majeures orientées Nord-Sud séparant des blocs crustaux à géologie contrastée. Il peut être ainsi interprété comme une amalgamation des terrains, pris en tenaille entre le Craton Ouest Africain et le Craton Est Saharien, au cours de l'Orogenèse Panafricaine 850 - 550 Ma (Black et al., 1994 ; Liégeois et al., 2000). Cet événement correspond à la constitution du Gondwana central ceci s'est réalisé par une série de collisions entre plusieurs microcontinents et l'accrétion d'arcs insulaires.

Le modèle structural récent est hérité essentiellement de l'orogénèse panafricaine. Il se termine avec un événement ; qui est la mise en place des granites post-orogénique de type « Taourirts », à affinité alcali-calcique à alcaline (Boissonnas, 1973 ; Azzouni, 1989 ; Azzouni et al., 2003). Ces granites « Taourirts » se sont mis en place le long de shear-zone en régime de transtension, plus ou moins contemporains de la pénéplanation et du développement de bassins molassiques intracontinentaux contrôlés par les failles Nord-Sud (Bonin et al, 1998).

CHAPITRE I : GEOLOGIE REGIONALE.

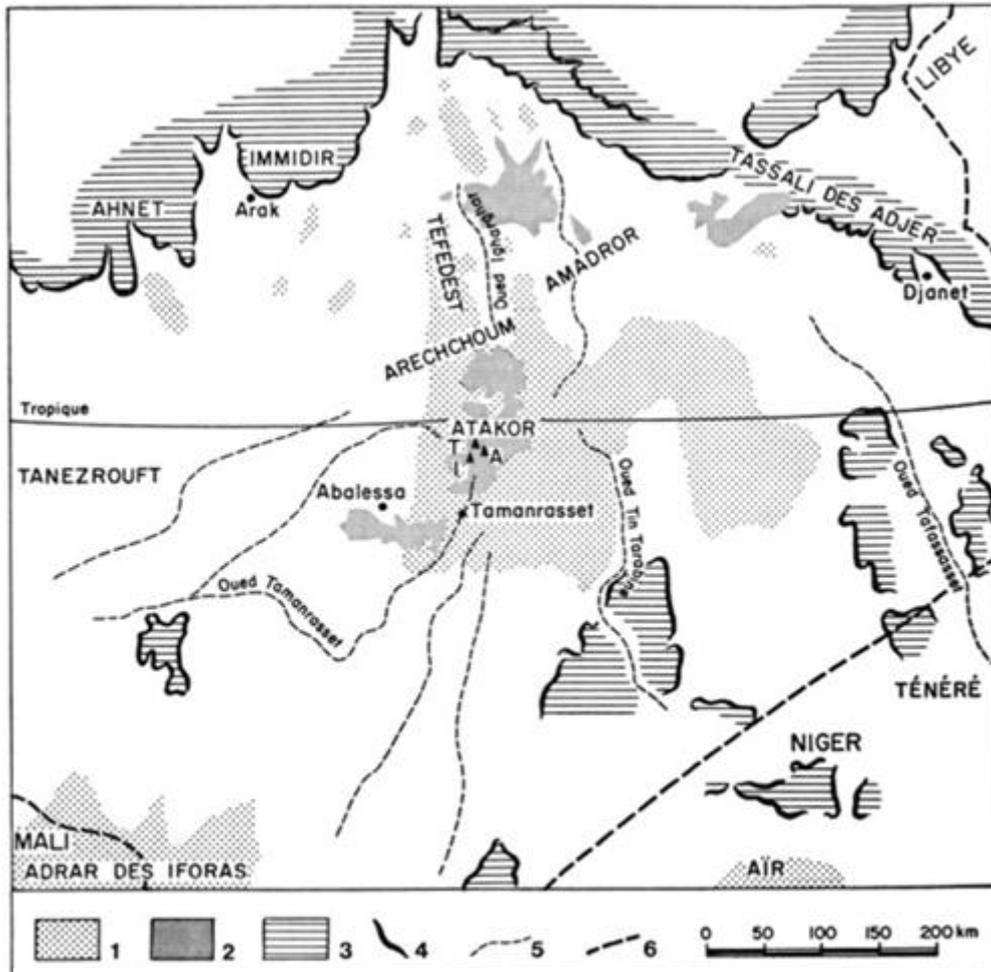


Fig. 2 (A) : Carte Géologique simplifiée du bouclier Touareg.

1. Massifs montagneux. — 2. Reliefs volcaniques. — 3. Tassili. — 4. Bordures des tassili. — 5. Oued. — 6. Frontière. — T. Tahat. — A. Assekrem. — I. Pic Ilamane. (Lire Tassili des Adjer).

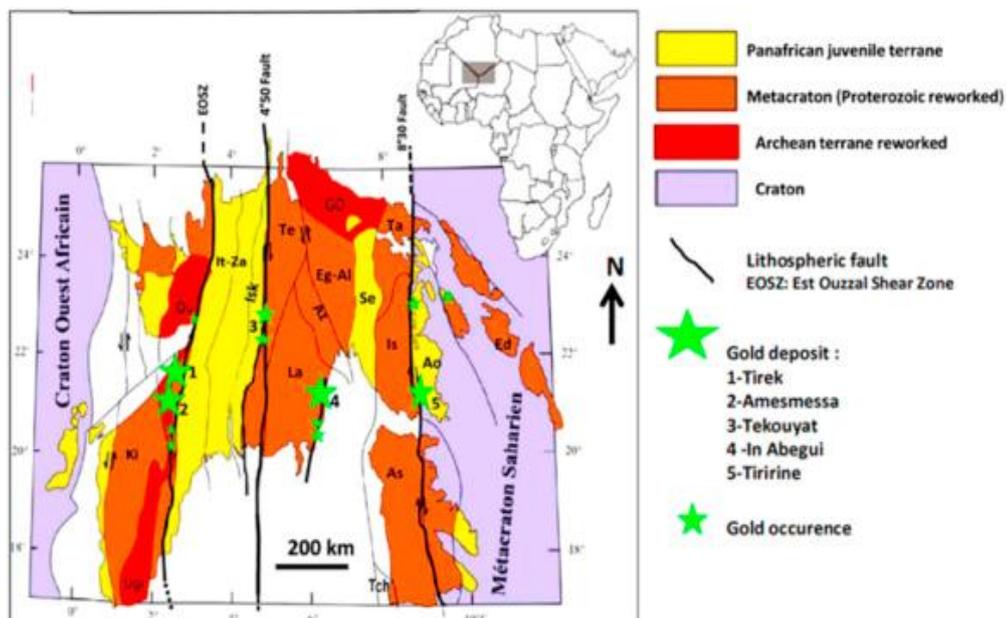


Fig. 2 (B) : Carte Géologique simplifiée du bouclier Touareg.

CHAPITRE I : GEOLOGIE REGIONALE.

II. GEOLOGIQUE DU HOGGAR :

Le Hoggar est la principale composante du bouclier Touareg et fait partie de la chaîne panafricaine transsaharienne (Cahen et al., 1984). Il est subdivisé en trois principaux domaines allongés Nord-Sud et présentant des caractéristiques structurales et lithologiques différentes : Le Hoggar occidental, le Hoggar central polycyclique et le Hoggar oriental. Ces trois domaines sont respectivement séparés par des accidents majeurs subméridiens : l'accident $4^{\circ}50'$ et l'accident $8^{\circ}30'$.

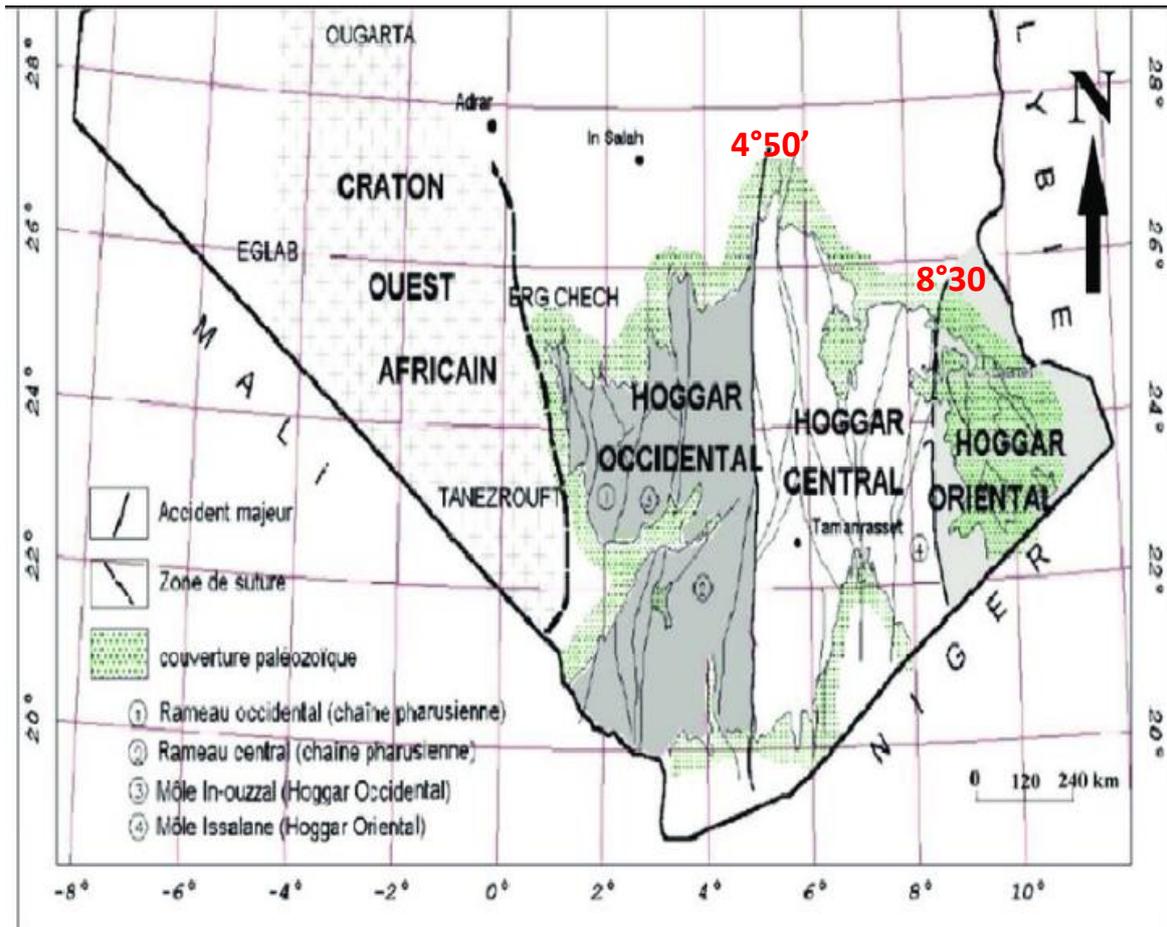


Fig. 3 : la carte présentée la subdivision structurale de bouclier Touareg d'après Caby et al 1981.

Une telle disposition de ces domaines résulte d'une compression Est-Ouest extrême durant le panafricain (600 Ma) du bouclier Touareg par deux plaques rigides : le Craton Ouest Africain (COA) et le Craton Est-Africain (CEA) (Bertrand et Caby., 1978, Black et al., 1979).

Le bouclier Touareg édité par déplacement, fusion et structuration des 23 blocs le long des grands décrochements Nord-Sud (Fig. 4), est le résultat de trois phases orogéniques panafricaine :

- La première est précoce (750 et 660 Ma) et correspond à une collision entre les terrains de l'Est du Hoggar et l'Aïr, avec le craton Est saharien vers 700 Ma.

CHAPITRE I : GEOLOGIE REGIONALE.

- La deuxième tardive (620-580 Ma), enregistre une deuxième collision entre la marge passive du craton Ouest africain et la marge active du bouclier touareg vers 600 Ma.
- Le stade tardif est marqué par une fracturation N-S d'importantes méga shear-zones communes à tout le bouclier Touareg.

De nouveaux travaux au Hoggar oriental (Fezaa et al., 2010) montrent que le Hoggar oriental a été le siège d'un événement orogénique entre 590 et 558 Ma suite à la collision intracontinentale entre le Hoggar oriental et le craton de Mursuq.

L'orogénèse panafricaine a donc sensiblement marqué le bouclier Touareg. Plusieurs conséquences y ont été enregistrées :

- Un magmatisme post-collisionnel caractérise les 23 blocs de façon variable, celui-ci prend naissance essentiellement le long des méga zones de cisaillements N-S en relation directe avec le déplacement des « terraines ». Il est accompagné par un métamorphisme régional de haute température et de l'intrusion de nombreux batholites calco-alcalins riches en potassium (K). (Black et al., 1994).
- Une fusion partielle régionale de la croûte inférieure au niveau du bloc d'Assodé accompagne la mise en place de batholites calco-alcalins datée entre 720 et 665 Ma dans les terranes de Barghot et Aouzegueur (Liégeois et al., 1994).
- La délamination lithosphérique du craton Est saharienne (ESC) lors de sa collision avec les terraines de l'Est du Hoggar et de l'Aïr (Black et Liégeois, 1993).
- Une transition au magmatisme alcalin particulièrement développé au niveau du fossé pharusien et de l'Adrar des Iforas est aussi remarquable. Elle caractérise de nombreux granitoïdes post-collisionnels, calco-alcalins et alcalins riche en potassium (K) (Liégeois et Black, 1987).
- L'orogénèse panafricaine se termine au Cambro-ordovicien par la mise en place de complexes alcali-calciques et alcalins annulaires, de faible profondeur : les « Taourirts » (Boissonnas., 1973 ; Azzouni-Sekkal., 1989 ; Azzouni-Sekkal et Boissonnas., 1993 ; Cheilletz et al., 1992 ; Bonin et al., 1998 ; Azzouni et al., 2003).
- Le magmatisme anorogénique alcalin se manifeste aussi au Dévonien dans les massifs de l'Aïr (Moreau et al., 1994) par la mise en place de complexes annulaires alcalins et hyperalcalins comme l'Adrar Bous.

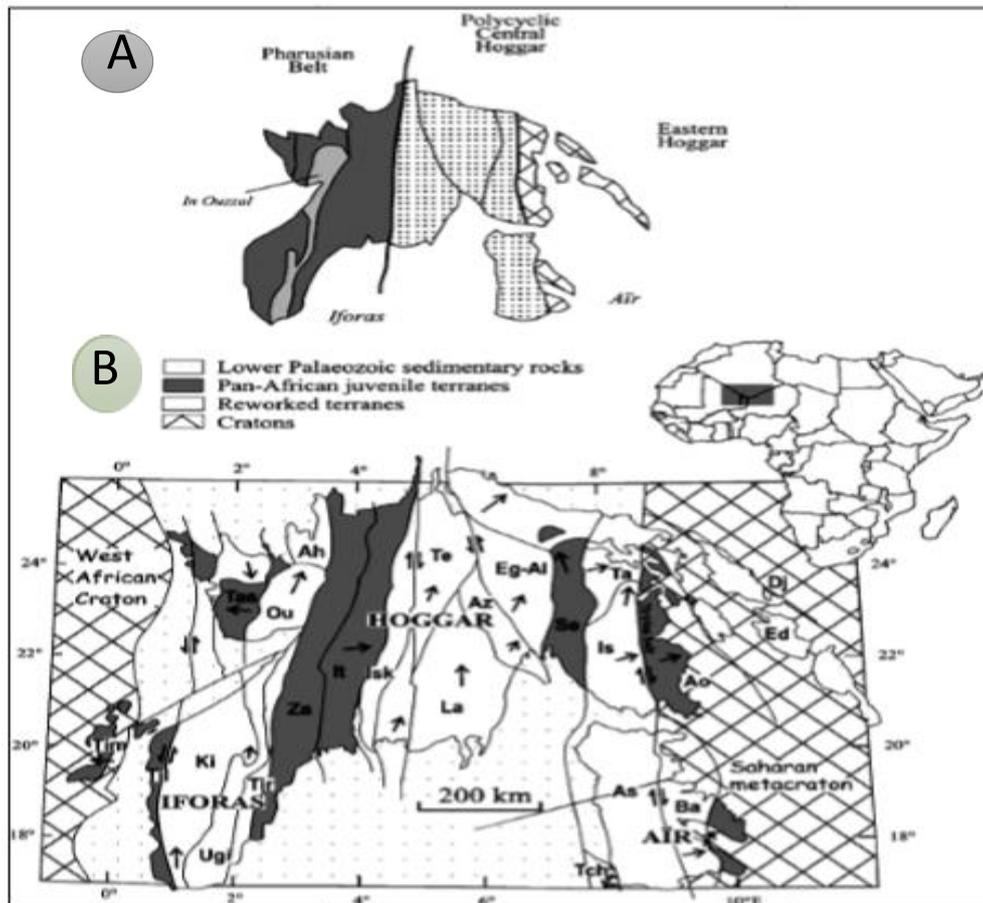


Fig. 4 : Carte structurale présentant (A) la subdivision structurale du bouclier Touareg (Bertrand et Caby 1978. (B) les 23 blocs du bouclier Touareg (Black et al 1994).

D'Est en ouest les 23 blocs (terrane) sont : Djanet(Dj) ; Edembo (Ed) ; Aouzegueur(Ao) ; Baghot(Ba) ; Assodé-Issalane(As-Is) ; Tazat(Ta) ; Sérouénout(Se) ; Tchilit(Tch) ; Egér-Aleksod(Eg-Al) ; Azrou-n-Fad(Az) ; Tefedest(Te) ; Laouni(La) ; Iskel(Isk) ; In Teidini(It) ; Tin zaouatene(Za) ; Tirek(Tir) ; Ahnet(Ah) ; In Ouzzal(Ou) ; Iforas granulitique unit(Ugi) ; Tassendjanet(Tas) ; Kidal(Kid) ; Tilemsi(Til) ; Timetrine(Tim).

II.1 LES TROIS GRAND DOMAINES STRUCTURAUX DU HOGGAR :

A) HOGGAR OCCIDENTAL :

Le Hoggar occidental est un vaste domaine où l'orogénèse panafricaine est la plus complète depuis les stades de dépôt, de magmatisme pré-orogénique, de déformation, métamorphisme et plutonisme syn-tectonique et post-tectonique jusqu'au dépôt de formations molassiques. Il est limité à l'Ouest par le craton Ouest-africain à noyaux d'âge Archéen. A l'Est, il est séparé du Hoggar central par l'accident subméridien 4°50'. Deux rameaux y sont distingués (Occidental et oriental, Caby., 1970 ; Black., 1978), séparés par le môle granulitique de In-Ouzzal, lequel est constitué de formations archéennes, structurées et métamorphisées à l'Eburnéen.

CHAPITRE I : GEOLOGIE REGIONALE.

- **Le rameau occidental** : (blocs Tirek (Tir) ; Ahnet (Ah) ; In Ouzzal(Ou) ; Unité granulitique d'Iforas (Ugi) ; Tassendjanet (Tas) ; Kidal (Kid) ; Tilemsi (Til) ; Timetrine (Tim)).

Il est constitué par un édifice tectonique complexe, polyphasé où des unités lithostratigraphiques sont mêlées, le plus souvent à la faveur de contacts anormaux précoces. Il comprend :

- Des fragments du socle Protérozoïque inférieur injectés par des granites syntectoniques Éburnéens (2090 Ma) (Allègre et Caby., 1972).
- La série à stromatolithes, métamorphisées dans le faciès amphibolitique, et constituée par des marbres, des amphibolites, des quartzites et des metabasites. Elle est discordante sur le socle précédent et est recoupée à sa base par des complexes basiques et ultrabasiques intrusifs, mis en place à environ 800 Ma (Clauer., 1976).
- Une unité, essentiellement quartzitique, d'âge Protérozoïque moyen (quartzites alumineux) recoupée par des intrusions alcalines pré-tectoniques datées à 1750 Ma en U/Pb sur zircon (Caby et Andreopoulos., 1987).
- La série verte (Caby, 1970), plus jeune que 780 Ma, comprenant des méta-sédiments et des volcanites métamorphisées dans le faciès schistes verts.
- La série molassique Eocambrienne/cambrienne discordante sur l'ensemble des séries précédentes. Elle contient plusieurs niveaux de matériel volcanique essentiellement rhyolitique daté à 520 Ma (Caby, 1970).

- **Le rameau oriental** ou « Fossé pharusien » (terrains de Tirek, Tin Zaouatene, In Teidini et d'Iskel).

Deux cycles magmato-tectono-métamorphiques (Pharusien I et II), séparés par une discordance majeure, ont été mis en évidence dans la région de Silet dans les formations du Protérozoïque supérieur. (Bertrand et al., 1966).

1. Les formations du Pharusien I :

Elles sont représentées par deux séries volcano-sédimentaires épi- à méso-zonales (Timesselarsine et le complexe de l'oued Edjedjou) affectées par des plis couchés précoces d'axes NE-SO (F1), puis reprises par une phase de déformation (F2) qui a engendré des plis subméridiens d'âge Panafricain (Gravelle et Chikhaoui., 1976). Ces terrains sont recoupés par des batholites calco-alcalins plurikilométriques associés à des stocks mafiques à ultramafiques.

2. Les formations du Pharusien II :

Les formations du Pharusien ne sont affectées que par une seule phase de déformation liée à l'orogénèse panafricaine, qui s'exprime par une schistosité (S2) sub-verticale. Ces séries à dominance détritique montrent des faciès épi-zonaux (Gravelle., 1969 ; Fabriès et Gravelle., 1977 ; Caby et al., 1982). Elles sont représentées au Nord par la série d'Amded, transgressive sur les formations du Pharusien I et le complexe volcanique d'Irellouchem. Au Sud, la série

CHAPITRE I : GEOLOGIE REGIONALE.

gréso-pélique est injectée de plusieurs générations de roches intrusives acides et basiques (complexe mafique d'Aguelmam, granites d'Imezzarène, Iskel et Tihoyarine).

➤ **Le môle In-Ouzzal :**

Pris entre les formations des deux rameaux pharusiens précédents, il est constitué de matériaux essentiellement à faciès granulitique d'âge Archéen et Protérozoïque inférieur. Il est limité à l'Est et à l'Ouest par des zones de cisaillement dont les derniers rejeux ont été acquis vers la fin de l'événement tectono-métamorphique panafricain.

➤ **Les formations Eocambrienne/cambrienne :**

Ces formations connues sous le nom de « Série Pourprée » sont entièrement molassiques et correspondent à l'ultime étape de l'orogénèse panafricaine. Composées à la base de conglomérats polygéniques et surmontées par des grès arkosiques, ces formations détritiques remplissent les bassins d'Ouallen et Egatalis.

B) LE HOGGAR CENTRAL POLYCYCLIQUE :

Il représente la partie médiane du bouclier, et est limité à l'Est et à l'Ouest par deux gigantesques accidents décrochant : $4^{\circ}50'$ et $8^{\circ}30'$, par opposition au domaine précédent, le Hoggar central comporte très peu de matériel sédimentaire ou volcanique d'âge Protérozoïque supérieur ne formant que des sillons étroits allongés N-S. Ce domaine est dominé par des formations d'âge protérozoïque inférieur et pro parte Archéen. Ce sont des migmatites et des gneiss rubanés de composition granodioritique à tonalitique associés à des orthogneiss ocellés (datés à environ 2000 Ma, Bertrand., 1974) et des formations méta sédimentaires contenant des gneiss variés, des marbres, des quartzites et des micaschistes, localement connus dans le faciès granulitique d'âge Eburnéen (Gour Oumelalen : Latouche et Vidal., 1974).

Dans l'ensemble de ces gneiss « suggariens », actuellement interprétés comme représentant du matériel d'âge Archéen à Protérozoïque inférieur ayant subi une déformation et un métamorphisme d'âge Eburnéen, on regroupe deux séries types. Ce sont la série de l'Arechchoum et la série de l'Aleksod :

- a. La série de l'Arechchoum :** Elle est composée d'orthogneiss tonalitiques ou granitiques, formant des gneiss rubanés et homogènes. Les roches dominantes sont des gneiss gris à grain fin, constitués de quartz, d'oligoclase et de biotite. (Bertrand, 1974).
- b. La série de l'Aleksod :** Elle surmonte en discordance majeure la précédente et représente une série métasédimentaire de plate-forme composée de quartzites, marbres, métapelites et roches volcano-détritiques, le tout associé à un grand volume de roches basiques et de migmatites granodioritiques. Cette série est déformée et métamorphisée dans les conditions du faciès amphibolite initialement daté aux environs de 930-1050 Ma (Bertrand, 1974).

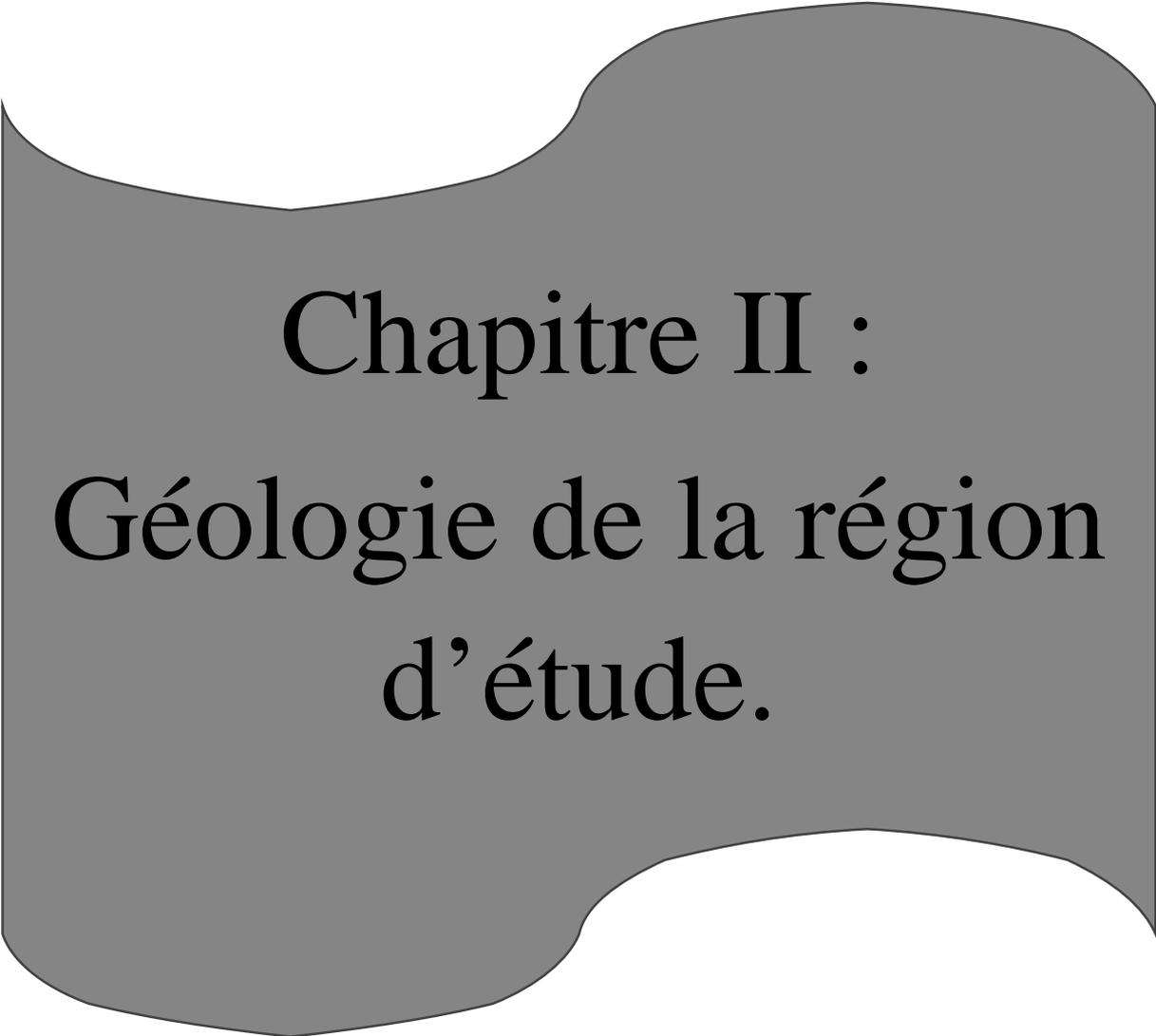
CHAPITRE I : GEOLOGIE REGIONALE.

- c. **Les formations volcano-détritiques du Protérozoïque supérieur** : Elles sont déformées et métamorphisées dans les conditions de faciès schistes verts en présentant les mêmes caractéristiques que celles de la série verte (Hoggar occidental).

C) LE HOGGAR ORIENTAL :

Le Hoggar oriental :(Barghot (Aïr), Djanet, Edembo et Aouzegueur.) Ce domaine se situe à l'Est du cisaillement 8°30' et comporte trois terraines et la chaîne Tiririnienne.

- a. **Aouzeguer** : Il est essentiellement formé de matériel juvénile océanique et d'un complexe ophiolitique (Bouillier et al., 1991).
- b. **Edembo** : Il est formé d'un socle métamorphisé dans le faciès amphibolite parfois migmatitique et recoupé par des granitoïdes.
- c. **Djanet** : Il est formé par des sédiments faiblement métamorphisés dans le faciès schistes verts et recoupé par des granitoïdes et un essaim de filons. Le Hoggar oriental a subi une phase panafricaine tardive entre 570 et 555 Ma. C'est une phase continentale transpressive qui s'accompagne d'un métamorphisme et de la mise en place d'un magmatisme calco-alcalin dans les terrains de Djanet et Edembo (épisode mourzoukienne fini Ediacarien, Fezaa, 2010).
- d. **La série de Tiririne** : Cette série (chaîne Tiririnienne) constitue un rameau orogénique linéaire sub-méridien et longe la bordure orientale de la zone de cisaillement 8°30'. Elle est constituée de dépôts détritiques de plus de 6000 m (Bertrand et Caby, 1978). La sédimentation combine des caractères molassiques (arkoses et conglomérats dérivant du socle oriental) et des caractères plus nettement orogéniques (faciès flyschoides), non déformée dans la partie méridionale, elle est recoupée par des sills de dolérites, micro granodiorites et microgranites.



Chapitre II :
Géologie de la région
d'étude.

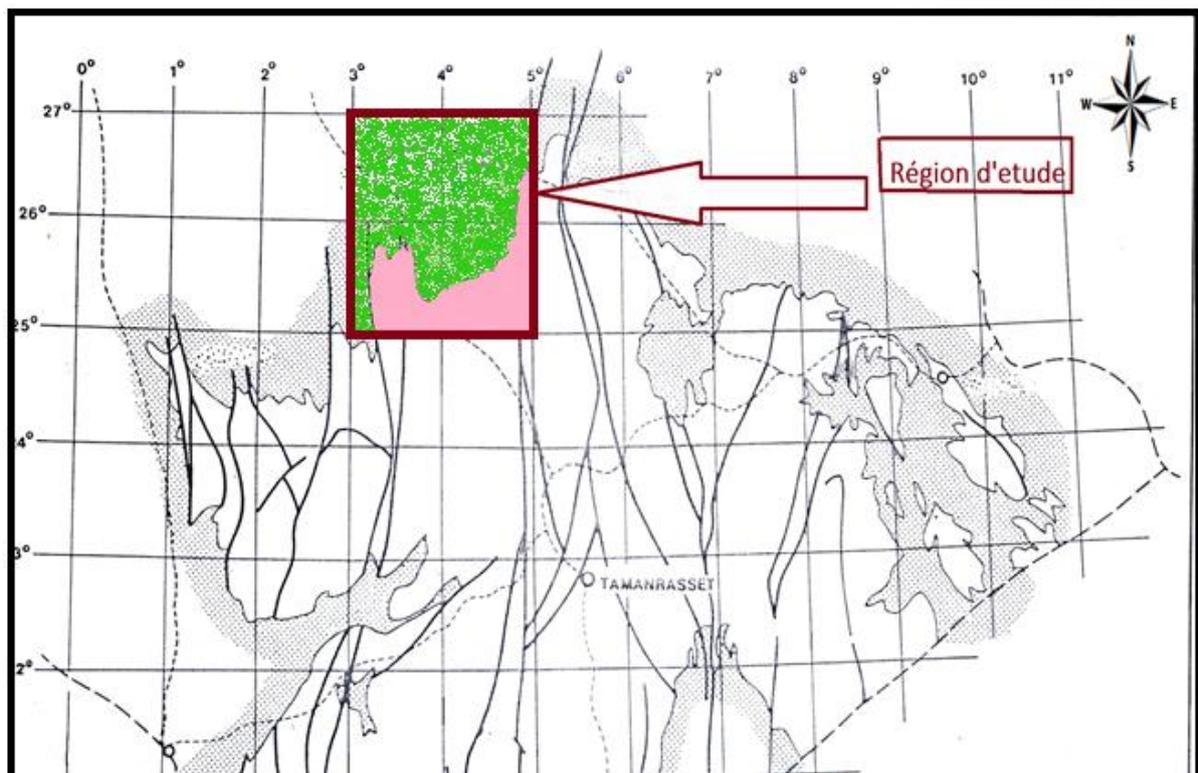
I. INTRODUCTION

La région d'étude est située au Sud de l'Algérie, elle fait partie de la bordure externe Nord du Hoggar et est composée de quatre feuilles au 1/200.000. Pour la description géologique de toute cette région on distingue deux parties : le socle et la couverture.

D'après les différents rapports et travaux de recherches géologiques systématiques, une synthèse sur les caractéristiques géologiques (litho-stratigraphie ; tectonique ; magmatisme ; minéralogique) a été faite pour les quatre feuilles : Ain Tidjoubar, Arak, Ifetessene, Khanguet el hadid.

Le territoire d'étude appartient au Hoggar Occidental, il est délimité par des coordonnées de 3° à 5° longitude et 24° à 27° altitude Nord. (Fig.5)

Fig. 5 : Cartogramme de la région d'étude.



II. PREMIERE PARTIE : LE SOCLE.

La structure géologique de la région d'étude est complexe et variée. La plupart du socle de cette région fait partie du Hoggar Occidental et comprend des formations litho-stratigraphiques d'âge Protérozoïque ainsi que plusieurs familles de plutonites qui leur sont associées.

II.1 LITHO-STRATIGRAPHIE :

Les formations litho-stratigraphiques du socle représentent près de 40% de la région d'étude. La synthèse effectuée sur les divers rapports de recherches systématiques et levées géologiques, de cette région nous a permis de les subdiviser comme suit :

II.1.1 Antécambrien-Cambrien Inferieur : cet étage est constitué essentiellement d'un socle métamorphique et de séries non ou peu métamorphiques dites « Séries intermédiaires ».

II.1.1.2 Le socle : il affleure au Sud- Est de la zone d'étude, il est composé d'une série métamorphique fortement schistosée, comprenant aussi gneiss et orthogneiss, magmatique et d'une série magmatique, constituée des roches acides et basiques. Le socle comprend des termes à dominante volcanique (rhyolites et andésites) surmontés en discordance par des termes grésopélitique. Ce socle est envahi par des massifs étendus de granites orogéniques, il n'est pas atteint par les sondages, recoupées par des intrusions volcaniques (Boudjemaa 1987). Le socle est de type Pharusien. Toutefois, sa nature est dans le détail différente sous l'Ahnet et Mouydir, de part et d'autre de l'axe d'ARAK (Beicip-Sonatrach, 1971). Le socle sous l'Ahnet, métamorphisé dans l'épizone, comprend à la base un puissant ensemble détritique marin (~3500 m), suivi d'importants niveaux (~350 m) de calcaires à stromatolithes, puis des complexes volcaniques acides et volcano-détritiques. Le socle sous le Mouydir, métamorphisé dans l'épizone_mésozone, comprend des termes à dominante volcanique surmontés en discordance par des termes grésopélitiques.

II.1.1.3 Les séries intermédiaires : ce sont des séries volcano-sédimentaires azoïques, peu ou pas métamorphiques généralement recouvertes en discordance stratigraphiques et angulaire par les dépôts cambro-ordovicien des Tassilis internes grés, ont été élaborées entre le Précambrien et le Cambrien, à partir de la destruction des reliefs panafricains. La série type de ce substratum, la première à être observée (Monod, in Bourcart et Monod, 1931-1932), est justement, la série pourprée de l'Ahnet, largement développée aux environs du secteur d'étude. Elle est répartie dans cinq bassins principaux subméridiens : Tagengant, Ouallen, In Semmen, Egatalis et Adafar. Ces dépôts occupaient vraisemblablement à l'origine une plus grande extension, et paraissent s'être accumulés dans des zones de forte subsidence entre le Craton Ouest Africain stable et la nouvelle chaîne panafricaine.

II.2 MAGMATISME :

Les formations intrusives se caractérisent par diversité de la composition pétrographique, des caractères pétrochimiques et géochimiques, de l'appartenance des formations et de l'âge. Les déterminations de l'âge absolu font défaut pour les formations intrusives de la région. Pour cette raison, une division des roches intrusives en complexe est basée sur leur position géologique et leurs relations réciproques, ainsi que sur les rapports avec les complexes stratifiés et par rapport aux principales phases de plissement et de métamorphisme. Lors de la différenciation des formations intrusives.

II.2.A - Magmatisme Intrusif :

II.2.1. Pré- Orogénique : La répartition des formations intrusives du complexe est contrôlée par de grandes failles subméridiennes. Elles sont localisées sur les flancs du "Fosse Pharusien". Sur son flanc Est, les intrusions du complexe interviennent dans la constitution d'un important pluton polyphasé (Adjerar), qui s'allonge vers le territoire de feuille Ifetessene. En général, le pluton est concordant par rapport à la structure plissée. L'encaissant est formé par des roches de la partie inférieure de la série volcano-sédimentaire du Protérozoïque supérieur.

II.2.2. Syn -Tardi- Orogénique :

Les formations intrusives, regroupées dans le complexe, jouissent d'une large extension et interviennent dans la constitution de gros batholites (Moujdir et Tazouni). Au point de vue spatial, elles se localisent dans des fosses à puissant développement du volcanisme, où se trouvent la proximité de ces dernières. Les formations encaissantes stratifiées sont représentées par des roches de la série volcano-sédimentaire du Protérozoïque supérieur.

Dans l'ensemble ces intrusions sont concordantes et conformes par rapport aux structures plissées majeures de la région et leur axe le plus long présente une direction subméridienne.

II.2.3. Post-Orogénique :

Le complexe post-orogénique est représenté par des massifs intrusifs forts discordants par rapport à la structure plissée de la région, dont la répartition est contrôlée par les intersections des failles de mise en place profane. Selon la terminologie de S. Belov (1990), elles (intrusions) consistent en deux types morphologiques : diapirs-plutons et calceiras-plutons.

II.2. B- Magmatisme Effusif Basaltes Cénozoïques :

Par rapport à d'autres complexes magmatiques, l'extension des roches magmatiques du Protérozoïque sur le territoire étudié est insignifiante et tout à fait irrégulière, les roches intrusives et leurs dérivés filoniens ont rarement la valeur subordonnée ; ils sont représentés par les petites intrusives des granites, des granodiorites, des gabbro-diorités et par les dykes de roches basiques et neutres et des filons de quartz.

II.2.1. Granites anatectiques :

Dans la limites de la feuille d'ARAK on voit que les granites migmatitiques sont plus abondants que les granites mixtes. Les derniers sont observés dans les parties centrales des massifs des granites migmatitiques renferment généralement beaucoup de « restes » de roches encaissantes et se caractérisent par les passages mutuels (de la périphérie au centre du massif) : migmatite-granite migmatitique-granite mixte.

II.2.2. Les roches intrusives :

Ce groupe de roches magmatique est représenté par quelques petites intrusions des granites à biotite, hornblende et leuco-Crates qui se localisent aux terrains des roches granitisées dans la série volcano-sédimentaire. Une intrusion relativement grande des granites à biotite, située au Sud –Est de la feuille d'ARAK et Sud de la feuille d'Ifetessene.

Les granites à biotites et les granites porphyres : sont peu répandus au Sud-Est de la feuille d'ARAK et Sud de la feuille d'Ifetessene sous forme de petites intrusions isométriques et circulaires, les granites sont à grains fines et gros, gris, gris-rosâtre, gris-foncé, ils sont constitués par le feldspath potassique.

Les minéraux accessoires sont : zircon, columbite(niobite), monazite, ortite, magnétite.

La structure des roches est de hypidiomorphe-grenue à porphyrique, les contacts des granites avec les granites migmatiques et mixtes encaissantes sont bien accusés, mais sans traces de métasomatisme et de traitement hydrothermal des roches.

♦ Granites de types de Taourirts :

C'est un complexe des granites très particulier tant du point de vue de morphologie des massifs que de mode de gisement et de composition pétrographique et chimique.

Les granites de Taourirts, on les rencontre dans les limites de la feuille d'ARAK. Les granites et les granosyénitee sous forme d'alpité et d'alaakite. Ces roches sont peu répandues et se caractérisent par la présence de petits corps linéaires et allongés, attribués aux zones des accidents tectoniques. Selon le caractère des relations avec les roches métamorphiques et magmatiques encaissantes, ce groupe de granites se rapporte aux formations intrusives plus récentes et le temps probable de leur déposition est celui de l'achèvement de l'action magmatique dans le Précambrienne postérieur.

II.2.3 Roches intrusives de composition neutre et basique :

Dans les limites de la feuille d'ARAK, cet ensemble de roches est peu développé. Dans le plan les massifs ont la forme positive du relief. Elles sont représentées par les diorites quartzifère, les diorites, les gabbro-diorites, les gabbros et les gabbro-diorites altérés.

Les contacts des massifs avec la roche encaissante de la série volcano-sédimentaire du Pharusien sont habituellement bien accusés, néanmoins, dans la zone de contact intérieur des massifs, on voit souvent la « contamination » importante qui s'est manifestée dans la chloritisation, l'épidotisation, l'amphibolitisation et la silicification des roches.

II.3 TECTONIQUE :

Le socle avait connu une évolution durable et complexe qui se traduit par la diversité des styles tectoniques. Les plissements majeurs affectant le socle à volume et extension considérable. Les unités (zones tectoniques, failles) et les éléments structuraux (blocs, déformations, fractures) sont généralement méridiens. La structure générale de la région est formée à la suite des événements du cycle panafricain.

Le socle et la base de la couverture supportent en transgression et discordance angulaire et azimutale bien accusée les autres dépôts de la couverture. C'est, probablement, à partir du Néogène que la région se trouve englobé dans un soulèvement général (Girod.,1971). De nombreux déplacements tectoniques positifs n'ont pas notablement modifié l'architecture générale panafricaine du socle. Ces déplacements d'amplitude variable, suivis de phénomènes d'érosion, conditionnent le relief actuel en chainons et collines avec des fragments de la pénéplaine ancienne.

La phase panafricaine est à l'origine de la création d'un important réseau de fracturation à rejet horizontal de l'ordre d'une centaine de Kilomètres, qui est souligné par des mylonites (Caby, 1968). Ces accidents forment un réseau de failles conjuguées d'orientation Nord-est Sud-ouest pour les décrochements dextres Nord-ouest et Sud-est pour les décrochements sénestres. Ce système est interprété comme le résultat d'une contrainte compressive maximale horizontale de direction Est-Ouest expliquée par le poinçonnement du bouclier Touareg (le Hoggar) plastique par le craton Ouest africain rigide (Fig.6).

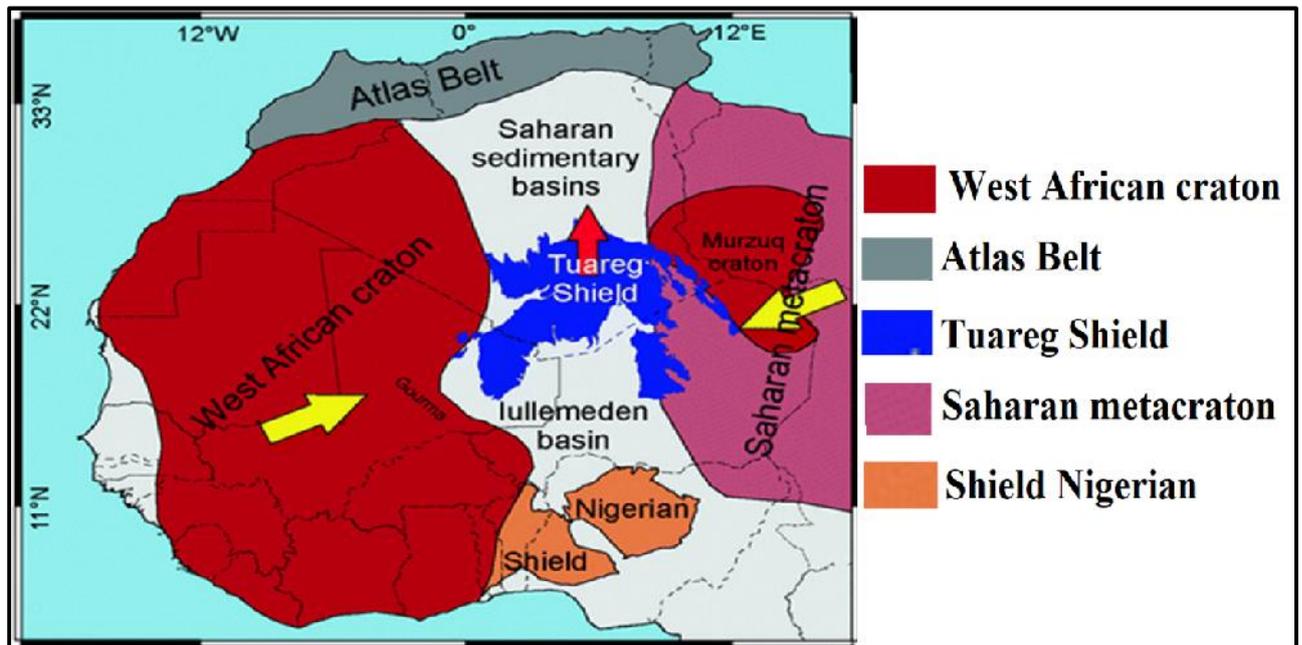


Fig. 6 : Position tectonique du Hoggar au cours du panafricain.

II.4 MINERALISATION :

La minéralisation de la région d'étude est très variée dans les feuilles d'ARAK et d'IFETESSENE, elle est constituée de :

◆ L'Or :

Prélevés dans les formations éluvio-déluvienne sur la surface de développement des granites et des migmatites où sont largement répandus les filons de quartz, formant localement les grands champs quartzo-filoniens.

Le champ filonien de TEKOUYAT dans la feuille d'IFETESSENE contient de l'or qui est lié aux filons quartzeux ; il est généralement accompagné par la galène - pyrite - chalcoppyrite. Les filons quartzeux sont fortement redressés, simples ou ramifiés, isolés ou constituant des champs.

◆ Le Cuivre :

Sont représentés par la chalcosine, la covelline, la malachite, la chalcoppyrite et la tétraédrite, les filons de quartz servent de source du démantèlement des minéraux de Cu.

◆ La Fluorine :

Prélevés dans les roches effusives migmatisées avec les filons de quartz et les zones de silicification qui servent de source du démantèlement.

◆ La Baryte :

On la voit en trace isolées sur la surface des roches volcano-sédimentaires migmatisées, parmi lesquelles on n'observe que les failles de direction méridionale.

◆ L'Etain :

Forme sur la feuille d'ARAK les anomalies locales à petite intensité, occupant une étendue peu importante.

III. DEUXIEME PARTIE : LA COUVERTURE.

Le contraste topographique entre les plaines à inselbergs du Hoggar et les plateaux de grès primaires qu'on appelle les Tassilis est un des plus connus de la morphologie saharienne. Mais on n'a peut-être pas suffisamment insisté sur l'étonnante continuité de la falaise qui marque ce contact. Sans entrer dans le détail des sinuosités, on constate en effet, que cette falaise se déroule, sans autre interruption que les trois ou quatre gorges extrêmement étroites, sur près de 2.000 km au Nord du Hoggar depuis l'Ahnet jusqu'au Djado. Au Sud, elle est beaucoup moins élevée et plus morcellée, mais elle se suit sur près de 1.000 km.

III.1 LITHOSTRATIGRAPHIE :

Les formation litho-stratigraphiques du couverture représentée 60% de la zone d'étude leur subdivision stratigraphique est la suivent :

- ❖ **Cambro-Ordovicien :**
 - Formations des Ajjer.

- ❖ **Ordovicien :**
 - Formation d'In Tahouite.
 - Formation de Tamadjert.

- ❖ **Silurien :**
 - Formation de l'Imirhou.

- ❖ **Silurien a Dévonien Inférieur :**
 - Formation de l'Asedjrad 1.

- ❖ **Dévonien Inférieur :**
 - Dévonien Inférieur argilo-gréseux.
 - Formation de Oued Samène.
 - Formations de Tamelrik et de l'Asedjrad 2.

- ❖ **Dévonien Moyen :**
 - Givétien.
 - Eifelien.

- ❖ **Dévonien Supérieur :**
 - Famennien.
 - Frasnien.

❖ Dévonien Supérieur à Carbonifère :

- Famennien supérieur à Tournaisien inférieur.

❖ Carbonifère :

- Viséen supérieur (Viséen moyen et supérieur) et le Viséen inférieur.
- Tournaisien supérieur (Tournaisien moyen à supérieur).

❖ Cénozoïque :

- Formations Post-Paléozoïques.

III.1.1 Cambro-Ordovicien :

Les dépôts Cambro-Ordovicien sont très répandus sur le territoire des feuilles ARAK, IFETESSENE, KHANGUET EL HADID. Les dépôts du cambro-ordovicien débutant par des conglomérats quartzeux à la base reposent en discordance régionale sur les termes du Protérozoïque. Ils sont essentiellement constitués de grès à feldspath, à stratification oblique. La puissance du Cambro-ordovicien est de l'ordre de 200 m.

III.1.1.1 Formations des Ajjers :

Elle se repose en discordance sur le socle et les séries intermédiaires. La datation de cette formation est encore mal définie, elle correspond soit au Cambrien supérieur ou à l'Ordovicien inférieur. Cette formation est subdivisée en trois unités :

L'unité I : (grès conglomératiques de base) : On attribue à cette formation un âge Cambrien, elle est constituée par des grès à grains grossiers conglomératiques, à stratifications obliques, elle s'est déposée dans un milieu fluviatile à une influence marine vers le sommet.

L'unité II : elle regroupe la zone d'alternance, les argiles d'El Gassi et les grès d'El Atchane. Son absence au Sud de l'Ahnet s'expliquerait probablement par un non dépôt.

L'unité III : (Quartzite de Hamra) : elle est d'âge Arénigien, constituée d'une barre quartzitique assez homogène à Tigillites et des grès à grain fins à moyens, durs et quartzitiques.

III.1.2 Ordovicien :

Les dépôts Ordovicien sont plus répandus le territoire des feuilles d'ARAK, IFETESSENE et KHANGUET EL HADID. Les affleurements des roches ordovicien forment une bande sublatitudinale de relief en cuestas.

Les dépôts Ordovicien d'après leur composition lithologique et leur position dans la coupe sont subdivisés en : formation d'In Tahouite et Formation Tamadjert.

III.1.2.1 Formation d'In Tahouite : Cette formation argilo gréseuse témoigne d'un épisode marin transgressif d'âge Lianvirnien. Elle comprend une partie inférieure, essentiellement argileuse (argiles de Tiferouine, argiles d'Azzel déposées en milieu marin), surmontée par les grès de OuedSaret dont la limite supérieure est marquée par la discordance taconique (ravinement glaciaire).

III.1.2.2 Formation Tamadjert :

Elle comprend de bas en haut : « Les grès d'El Goléa ». « Les argiles microconglomératiques ». La dalle de M'Kratta. Cette unité s'est déposée dans un environnement complexe glacio-marin afluviomarin avec des variations d'épaisseurs très importantes. Les formations de Tamadjert reposent sur diverses formations jusqu'au socle grâce à une surface d'érosion très intense.

III.1.3 Silurien :

Les dépôts du Silurien sont largement répandus au Nord des feuilles ARAK et IFETESSENE et au Sud de la feuille KHANGUET EL HADID. Le contact entre le Silurien et le Cambro-Ordovicien est marqué par un niveau de galets, de grès quartzeux avec des galets des roches du socle. Les dépôts siluriens sont regroupés en une seule formation de l'Imirhou.

III.1.3.1 Formation de l'Imirhou :

Les dépôts de cette formation affleurent sur le palier des Tassilis externes et ont une épaisseur de 10 à 50 m. elle est plus répandue dans la partie Nord-Ouest de la feuille IFETESSENE et aussi au Nord-Est de la feuille d'ARAK.

La formation est composée d'argilites grises, grisbleuâtre et gris verdâtre, à stratifications fines, massives, contenant dans la partie supérieure et moyenne de la coupe des passées de siltstones gris verdâtre et de gris ou plus rarement, des passées fines de marnes et de calcaire argileux. Les argilites sont colorées souvent en rouge violacé par des hydroxydes de fer surtout, suivent les fissures et les contacts des passées sableuses. Les argilites livrent une faune riche en Graptolithes à prédominance de Monograptus.

III.1.4 Silurien à Dévonien inférieur :

Elle est représentée par une série argilo-gréseuse avec une épaisseur moyenne de 150m, les argiles sont parfois schisteuses en quelques niveaux ou bien formées de petites lentilles irrégulières, comme on rencontre des intercalations grèsocalcaires.

Le dépote silurien à dévonien inférieur comprend une seule formation : formation de l'Asedjrad1.

III.1.4.1 Formation de l'Asedjrad 1 :

Cette formation, appelée aussi « Zone de passage », correspond sur le plan sédimentation à phénomène de régression générale à l'échelle saharienne, puisque les argiles à Graptolites sous

Jacentes font place progressivement à des grés argileux, des siltstones, des grés et traces de remaniement à galets d'argiles. Traduisant une régression progressive.

Sa limite inférieure est prise à l'apparition de niveaux gréseux et argileux à stratifications dans l'Ahent et le Bled el Mass, passant latéralement à l'Est, entre les môles d'ARAK et d'AMGUID, à une barre de grés fins, souvent quartzitiques à niveaux carbonatés, datée du Wenlockien et correspondant à un épandage détritique généralisé. Le toit de la formation de l'Asedjrad 1 est assez mal défini, si bien qu'une partie supérieure de cette formation pourrait être dévonienne.

Du point de vue lithologique, surmontant le niveau gréseux repère, cette formation est constituée dans le Mouydir d'argiles grises, des siltstones et des grés fins, puis d'un ensemble de grés à stratifications obliques, ripple marks, Scolites, avec intercalations de niveaux silteux et argileux. A partir du môle d'ARAK et vers l'Ouest, le premier niveau à argiles grises, siltstones et grés fins est surmonté par des grés argilo-ferrugineux oolithiques, puis par des grés lumachelliques à brachiopodes.

III.1.5 Dévonien inférieur : (Beuf et al.,1971, Beicip-Sonatrach,1972)

Le Dévonien compose les tassilis externes. Le Dévonien inférieur (Gédinnien, Siegénien et Emsien) est subdivisé en trois formation : le Dévonien inférieur argilo-gréseux, la formation d'Oued Samène et la formation de l'Asedjrad 2 et de Tamelrik.

III.1.5.1 Dévonien inférieur argilo-gréseux :

Correspond aux séries situées au toit de la formation d'Oued Samène et limitées au sommet par le dévonien moyen daté. Il est considéré comme étant emsien, bien que sa base contienne une faune siegénienne – emsienne. Il est formé par des grés argileux lités, des siltstones et passées argileuses, avec parfois un conglomérat à la base, marquant la limite avec la formation d'Oued Samène.

III.1.5.2 Formation d'Oued Samène :

Elle correspond à un épandage sableux sur l'ensemble de la région en relation avec une émergence généralisée, accompagnée de rejeux synsédimentaires de certains axes hauts, générant des variations d'épaisseur notables.

Le faciès reste homogène, avec à la base des niveaux ferrugineux en cendriers, à lentilles de matériel grossier, surmontés par des grés à stratifications obliques très régulières (lauzes) à rares niveaux silteux, se chargeant au sommet en niveaux argileux.

III.1.5.3 Formations de Tamelrik et de l'Asedjrad 2 :

Dans le Mouydir jusqu'à la bordure Est du môle d'ARAK, la Tamelrik comprend de bas en haut :

- Des grés en traces organiques, parfois à stratifications oblique ;
- Un horizon de grés grossiers ruiniformes à stratifications oblique ;
- Des niveaux argilo-gréseux à lentilles de grés grossiers à conglomératiques.

A partir du môle d'ARAK la formation de l'Asedjrad 2 comprend de bas en haut :

- Des argiles et siltstones à passées de grés fins à Scolites ;
- Un ensemble argilo-gréseux à nombreuses lentilles de grés grossiers et ferrugineux ;
- Des grés fins à ripple marks et Spirophyton, consignés dans l'Ahnet.

III.1.6 Dévonien moyen : (Beuf et al., 1971, Beicip-Sonatrach, 1972)

La présence d'une faune abondante permet de distinguer le Givétien et l'Eifélien. La séquence eifélo-givétienne la plus complète, globalement transgressive, est présente à l'Ouest de la région d'étude.

III.1.6.1 Givétien :

Le maximum de transgression est atteint dans l'Ahnet et le Mouydir au Givétien, se traduisant globalement par des calcaires. Il comporte de bas en haut :

- Des calcaires plus ou moins argileux biodétritiques sombres, alternent avec des marnes et argiles-calcaires, contenant des restes de macrofaunes, notamment des Goniatites de grande taille (Werneroceras crispiforme, Subanarcestes macrocephalus, Agoniatites, Paroceras). La présence de Werneroceras crispiforme permet d'attribuer un âge Givétien inférieur à cette série ;
- Des marnes à bancs calcaires contenant, entre autres faunes, une association de Goniatites pyriformes très caractéristiques du Givétien supérieur, mais aussi des Tétracoralliaires, Trilobites, Gastéropodes, Encrines.

Au Nord de l'Ahnet et du Mouydir (Azzel Matti, Djebel Azaz) se développent des biohermes pouvant atteindre 80 m d'épaisseur, construits sur un plancher de l'Eifélien supérieur (Djebel Azaz) ou du Givétien inférieur. Ils sont formés par des calcaires massifs à Stromatactis, Brachiopodes, Encrines, Goniatites, Polypiers etc. passant latéralement à un faciès périrécifal représenté par des calcaires bioclastiques à Encrines du Givétien supérieur. Au Djebel Azaz, des biohermes existent également entre les niveaux du Givétien supérieur et les calcaires à Styliolines du Frasnien, néanmoins de tailles plus réduites (5 à 10 m).

III.1.6.2 Eifélien (ou couvinien) :

L'Eifélien comprend de bas en haut :

- Des grés grossiers et conglomérats à éléments ferrugineux surmontés par des argiles gréseuses et grés fins pouvant appartenir à l'Emsien ou à l'Eifélien inférieur, puis par un

horizon calcaire lumachellique à *Paraspirifer cultrijugatus*, *Leptaena rhomboidalis*, *Schelwienella*. *Umbracula* caractérisent l'Eifélien inférieur.

- Des silts puis des grés fins reflétant une régression, surmontés par des grés grossiers, argiles et grés fins, une lumachelle contenant la même faune et une série d'argiles feuilletées verdâtres.
- Un horizon de calcaires noirs biodétritiques à Ptéropodes et argiles calcaire, contenant *Pinacites jugleri*, caractérisant l'Eifélien supérieur.

L'Eifélien supérieur réduit à quelques mètres, repose alors directement sur le Dévonien inférieur argilo- gréseux.

III.1.7 Dévonien supérieur : (Beuf et al., Beicip-Sonatrach,1972)

Il comprend la série de Meden Yahia, surmontée par la série de Khenig, correspondant en gros au Frasnien et au Famennien respectivement.

III.1.7.1 Frasnien :

Représentée par la série de Meden Yahia qui contient de la base au sommet :

- Horizon calcaire en plaquettes à *Pharciceras* et *Koenites*, *Goniatites* caractérisant la base du Frasnien ;
- 200 à 350 m d'argiles noires pyriteuses à nodules calcaires, parfois à intercalations de silts et grés, et une riche faune à lamellibranches, Ptéropodes et *Goniatites* ;
- Les grés de Meden Yahia : grés fins, argileux, lenticulaires, d'épaisseur variable, contenant une riche faune à Brachiopodes.

III.1.7.2 Famennien :

Il est caractérisé par une épaisseur variant entre 46.5 m à 660m, il est généralement représenté par un ensemble argileux homogène, feuilleté, tendre avec de rares petites passées de calcaires. La variation d'épaisseur est expliquée par le fait que la formation est érodée sous la discordance hercynienne.

III.1.8 Dévonien supérieur à Carbonifère :

Elle est très répandue dans la feuille de AIN TIDJOUBAR et un peu dans la feuille de KHANGUET EL HADID. Et comprend la formation de Famennien supérieur à Tournaisien inférieur.

III.1.8.1 Famennien supérieur à Tournaisien inférieur :

Elle comprend la série de Khenig qui contient de bas en haut :

- 300 à 400 m d'argiles à rares intercalations silteuses et nodules ferrugineux appartenant au Famennien inférieur.
- 1 à 3 m d'oolithes ferrifères ou de grés ferrugineux (les grés noirs).

- Des argiles chargées en silts et grès (150 à 300 m), à Rhynchonella et Bivalves, appartenant probablement au Famennien moyen-supérieur ;
- Les grès de khenig : grès fins à moyens, à ripple marks, pistes et terriers, en bancs plus ou moins épais, alternant avec des argiles gréseuses à perforations verticales, admettant localement (Mouydir méridional) des grès grossiers, des (micro)conglomérats et des végétaux flottés, donnant un caractère plus régressif aux grès. Des lentilles d'oolithes ferrugineuses sont fréquentes. L'âge de ces grès couvrirait le Famennien supérieur et le Strunien, voire une partie du Tournaisien.

III.1.9 Carbonifère :

Cette série est largement érodée et n'affleure que dans les deux feuilles AIN TIDJOUBAR et KHANGUET EL HADID. Elle comprend uniquement le Viséen supérieur, inférieur et le Tournaisien.

III.1.9.1 Viséen supérieur et inférieur :

Il est formé d'argiles silteuses, parfois légèrement carbonatées abioclastes (Crinoïdes, débris de Lamellibranches et de Brachiopodes), avec des bancs centimétriques de grès fins à très fins, légèrement micacés. Dans la partie supérieure, les intercalations gréseuses deviennent nombreuses.

III.1.9.2 Tournaisien :

Il débute par des couches de grès fins, compacts, légèrement carbonatés, avec un ciment siliceux, parfois quartzitique et de fines passées d'argiles dans la partie médiane de ces couches. Vers le sommet de cette formation, les épaisseurs des niveaux carbonatés et argilo-gréseux augmentent.

III.1.10 Cénozoïque :

Le Cénozoïque se caractérise par des formations Post-Paléozoïque qui est très répandus dans les deux feuilles AIN TIDJOUBAR et KHANGUET EL HADID.

Le Cénozoïque est dominé par des formations continentales conglomératiques discordantes sur les terrains plus anciens. Les discordances majeures visibles dans ces régions se situent entre :

- L'unité des Ajjers et le socle métamorphique de haut grade (discordance infra-tassilienne) ;
- L'unité d'In Tahouite et celle de Tamadjert ;
- Le Paléozoïque et les séries du Mésozoïque qui les surmontent ;
- Le Crétacé et le Tertiaire.

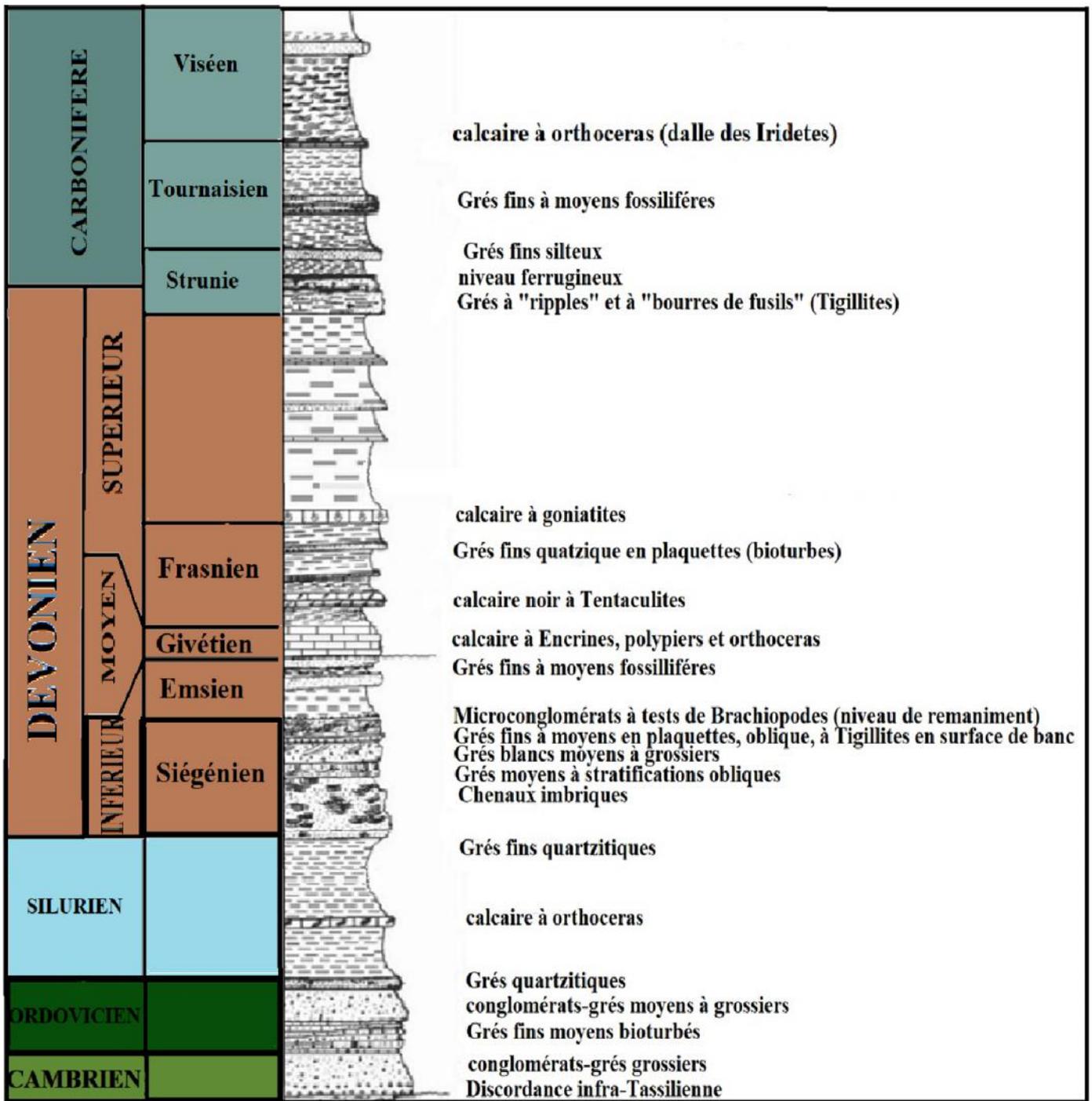


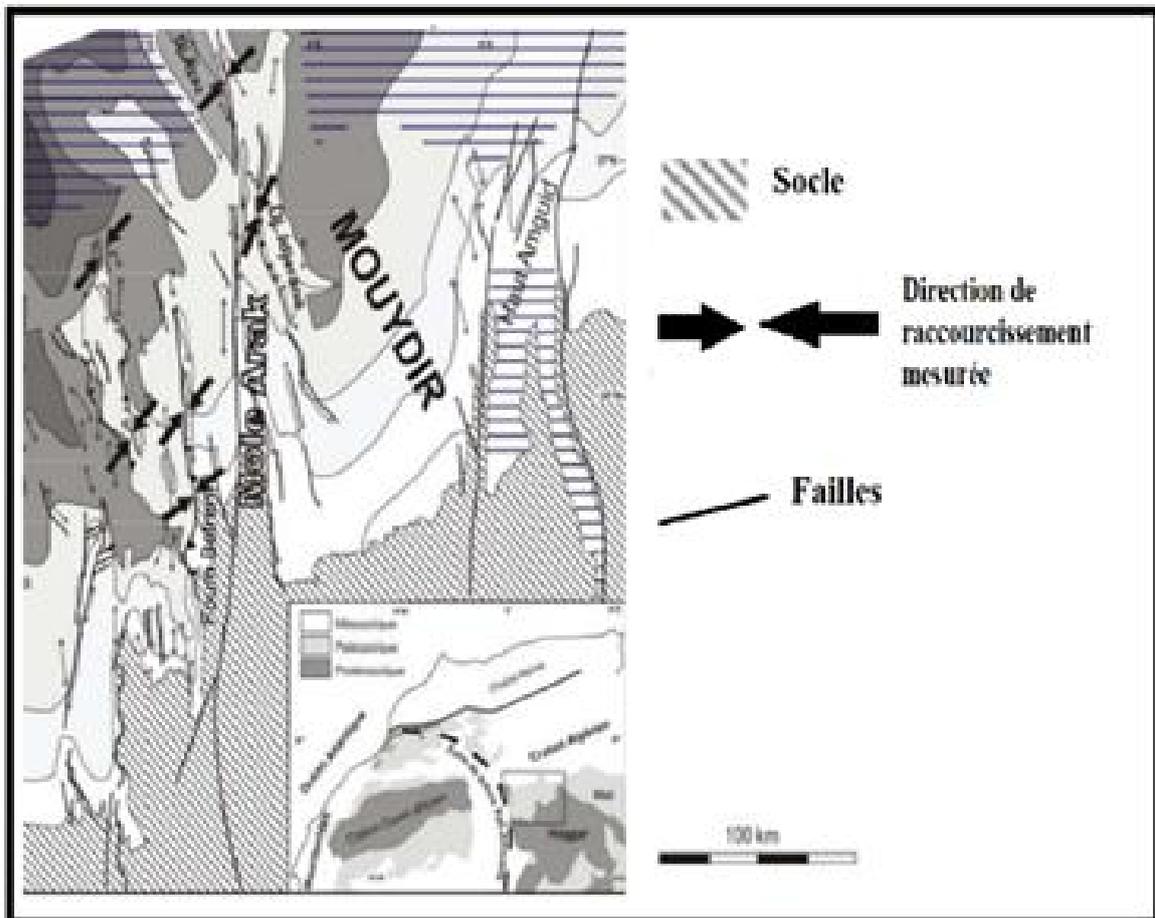
Fig. 7 : Colonne litho-stratigraphique de la partie couverture de la région d'étude.

III.2 TECTONIQUE :

Sur le secteur d'étude (partie couverture), les éléments structuraux observés dans les séries du Paléozoïque des différents terrains : AIN KAHLA, DJEBEL AZAZ, DJEBEL IDJERANE, MADEN YAHIA) la succession des événements tectonique ayant façonné la couverture selon image actuellement observable. La couverture comprend deux types des éléments structuraux :

III.2.1 Les failles :

Plusieurs failles orientées NNW-SSE à N-S affectent le paléozoïque de la zone d'étude. Elles s'expriment bien dans la partie inférieure cassante de la série et tendent à s'amortir dans les argiles du Dévonien supérieur. Elles plongent vers l'Ouest ou vers l'Est. L'une des plus



importantes de ces failles est celle responsable de la formation du djebel Idjerane, les profils de sismique réflexion montrant qu'elle plonge vers l'Est. Des failles mineures, montrant des rejets de quelques mètres à quelques dizaines de mètres, sont fréquentes. Elles peuvent être aussi transpressives, avec un jeu inverse et décrochant. (*Haddoum et al.,2001.*)

Fig. 8 : Carte structurale schématique de la zone d'étude.

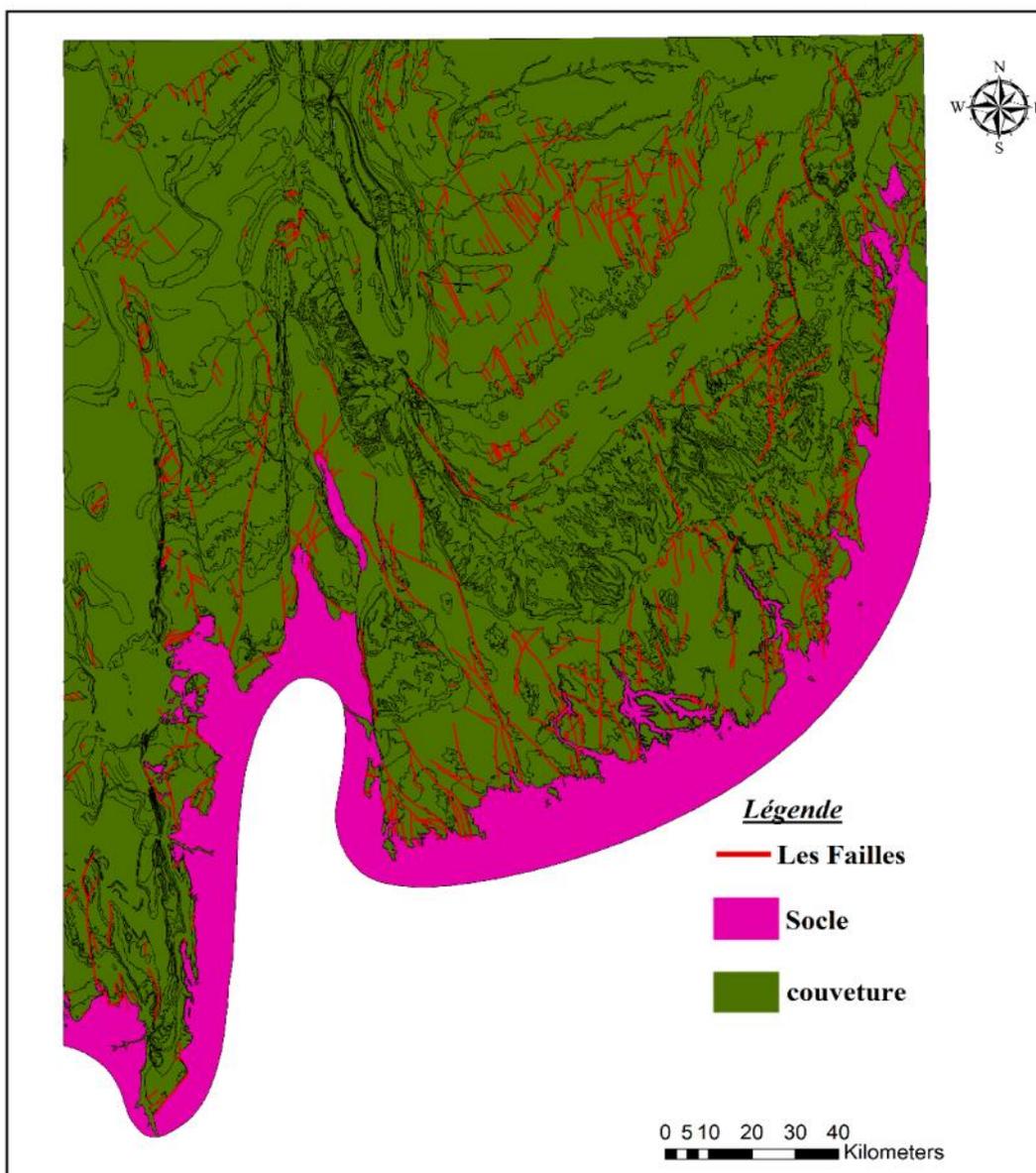


Fig. 9 : une carte représenté les failles de couverture.

III.2.2 Les décrochements :

Le plus important accident décrochant N-S dans la région est celui séparant l’Ahnet du Mouydir, l’accident d’ARAK. Il est constitué dans le détail par un ensemble de décrochements importants généralement verticaux, ayant joué tantôt en dextre tantôt en sénestre, accompagnés de plis d’entraînement. Localement ces accidents évoluent en failles inverses, attestent d’une compression Locale (Haddoum et al., 2001). Cet accident délimite plus au sud le môle d’In Ouzzal vers l’Est.

L’accident de Bled et Mass, délimitant le bassin de l’Ahenet à l’Ouest, est un autre accident important dans la région. Il est accompagné de plis d’entraînement impliquant des mouvements transcurrents. Ces deux accidents importants, le long desquelles la déformation est la plus importante, correspondent à un rajeunissement de sutures panafricaines. Enfin, les décrochements dextres sont localement soulignés par une géométrie en queue de cheval (Haddoum et al., 2001).

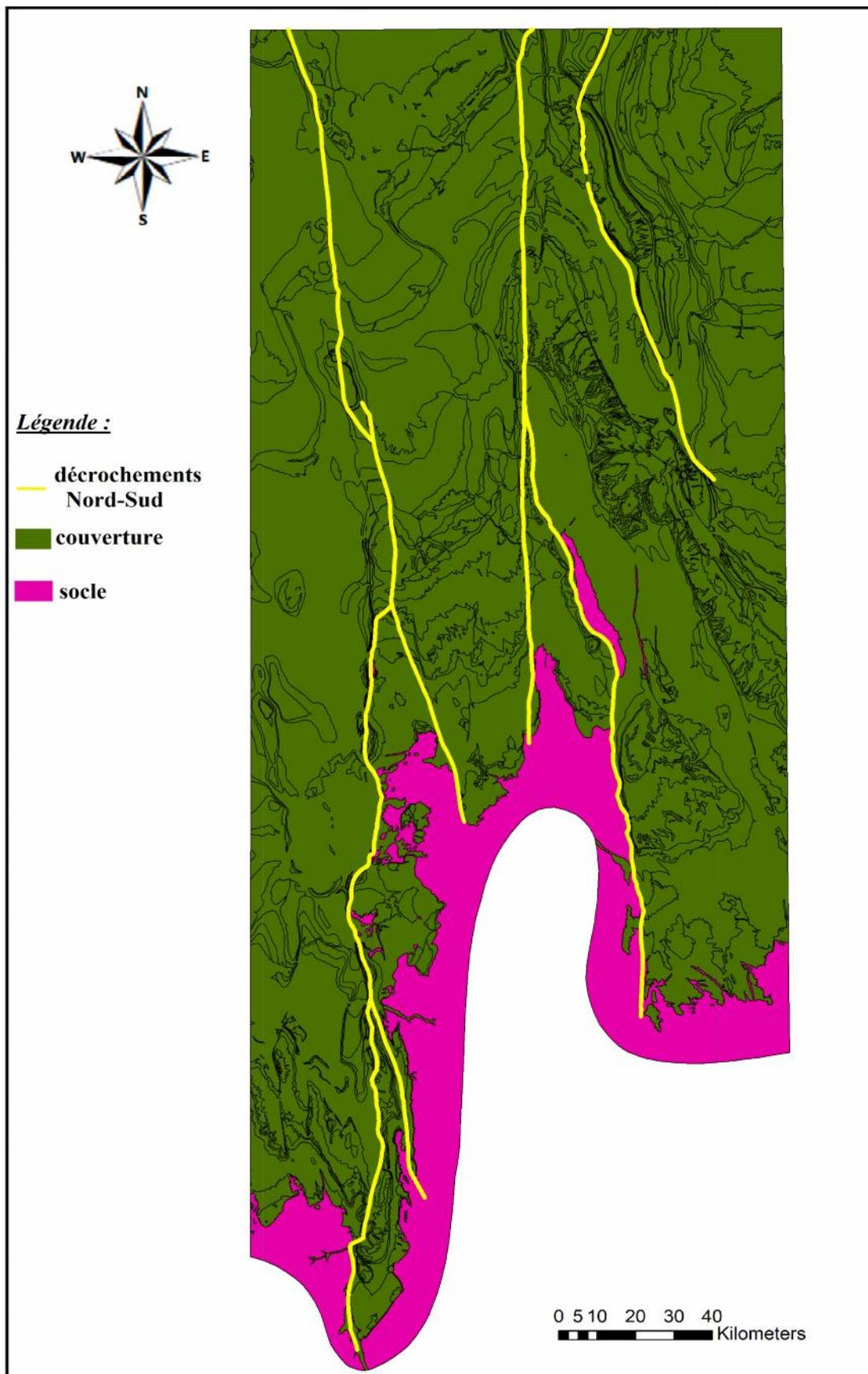


Fig. 10 : représenté les décrochements Nord-Sud de la secteur d'étude.

III.3 MINERALISATION :

La minéralisation a été absente dans la partie couverture, mais on a la présence des sondages pétrolier (Md101) qui ont été fait par SONATRACH sur les formations des Dévonien supérieur à Carbonifère en vue de prospecter cette partie de la couverture paléozoïque et son potentiel en hydrocarbures.

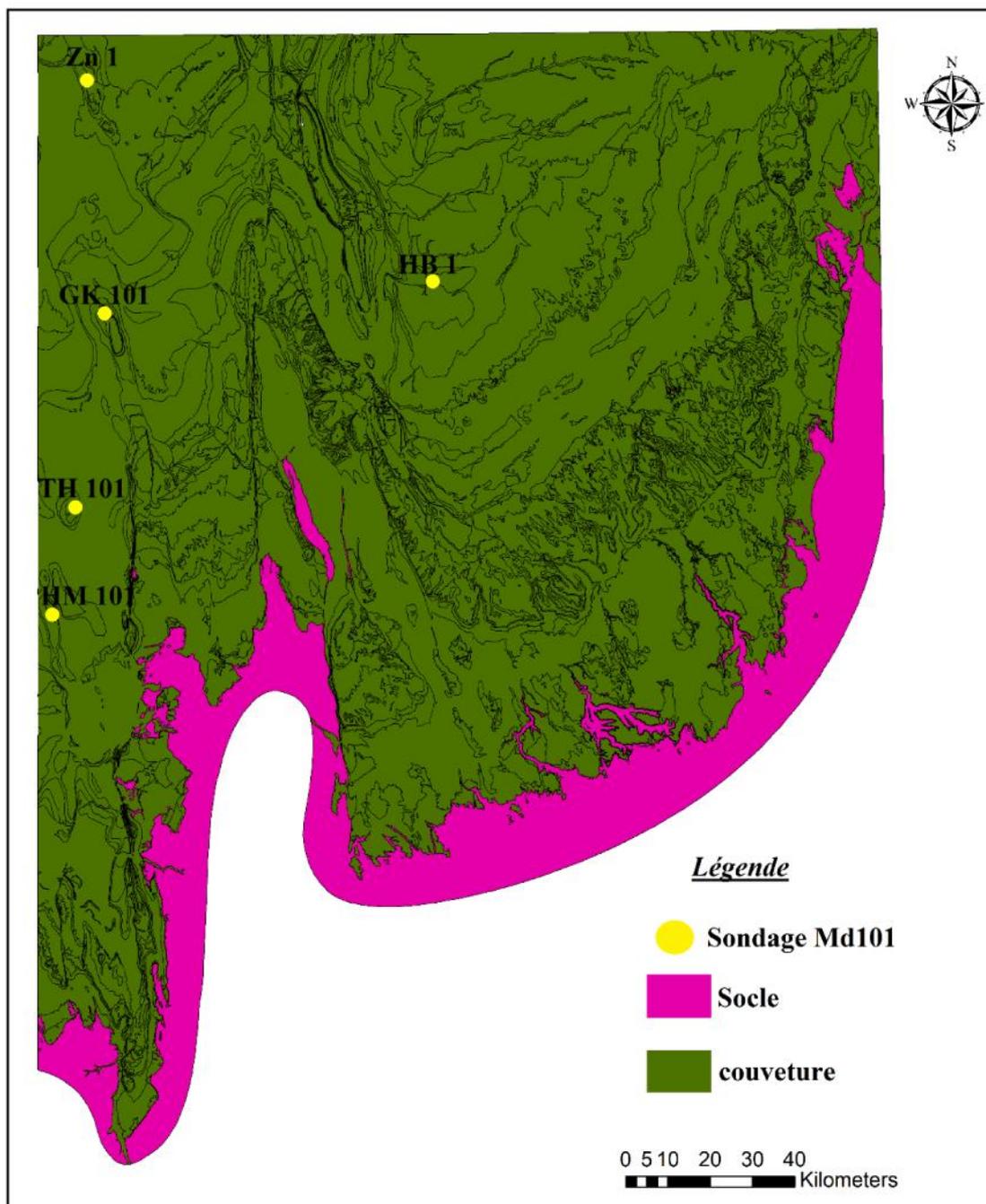
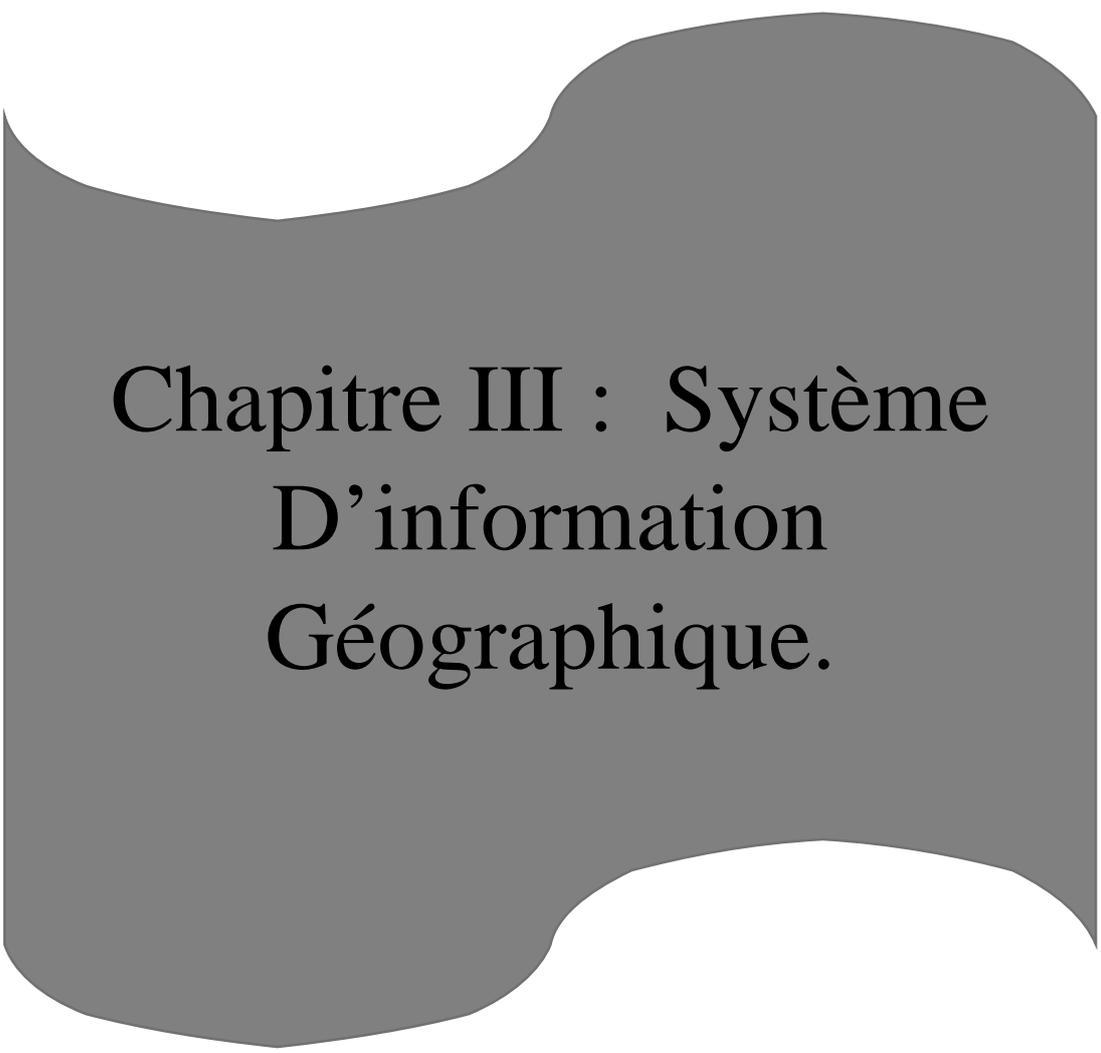


Fig. 11 : une carte représenté les différent sondage dans la partie couverture.



Chapitre III : Système
D'information
Géographique.

I. GENERALITES :

La nécessité de mettre en place des instruments de surveillance et de gestion de notre territoire et milieu géographique paraît chaque jour comme une tâche incontournable. Comme le souligne Caloz (1997) gérer c'est prévoir, et prévoir l'évolution d'un phénomène suppose que l'on connaisse sa dynamique, donc les paramètres qui le déterminent et leurs rôles respectifs. Cette gestion nécessite des opérations qui représentent un volume de données, sur le territoire, considérable et des capacités de traitement de même ordre. C'est ce qui a donné naissance aux SIG (Systèmes d'information géographique).

I.1 Histoire sur le SIG :

Les premiers SIG opérationnels sont apparus dans les années 1960 au Canada et aux Etats Unis (au 1963 il est, ils sont proposés par le topographe canadien R.F. Tomlinson). Le pionnier est indiscutablement le Canadian Geographic Information System (1964) qui rassemble des informations relatives à l'usage du sol, et des données concernant l'environnement, sur une grande partie du territoire canadien. Deux autres réalisations avant-gardistes méritent d'être mentionnées : le New York Land Use Information System (1967) et le Minnesota Information System (1969). Depuis cette époque, les coûts et les difficultés techniques ont considérablement diminué.

I.2 Définition de SIG :

Système d'Information Géographique est un système d'information pour lequel la Terre est l'objet de référence fondamental. C'est un ensemble d'équipements informatiques, de logiciels et de méthodologies pour la saisie des données, dont la majorité est spatialement référencée, destiné à la simulation de comportement d'un phénomène naturel.

Pour transformer un objet réel en une donnée à référence spatiale, on décompose le territoire en couches thématiques (lithologie, magmatisme, tectonique...) structurées dans des bases de données numériques. (Fig. 12)

Les bases de données qui alimentent les SIG doivent être géoréférencées, c'est-à-dire partager un cadre commun de repérage appelé système de projection. Ces cadres Communs sont fixés régulièrement.

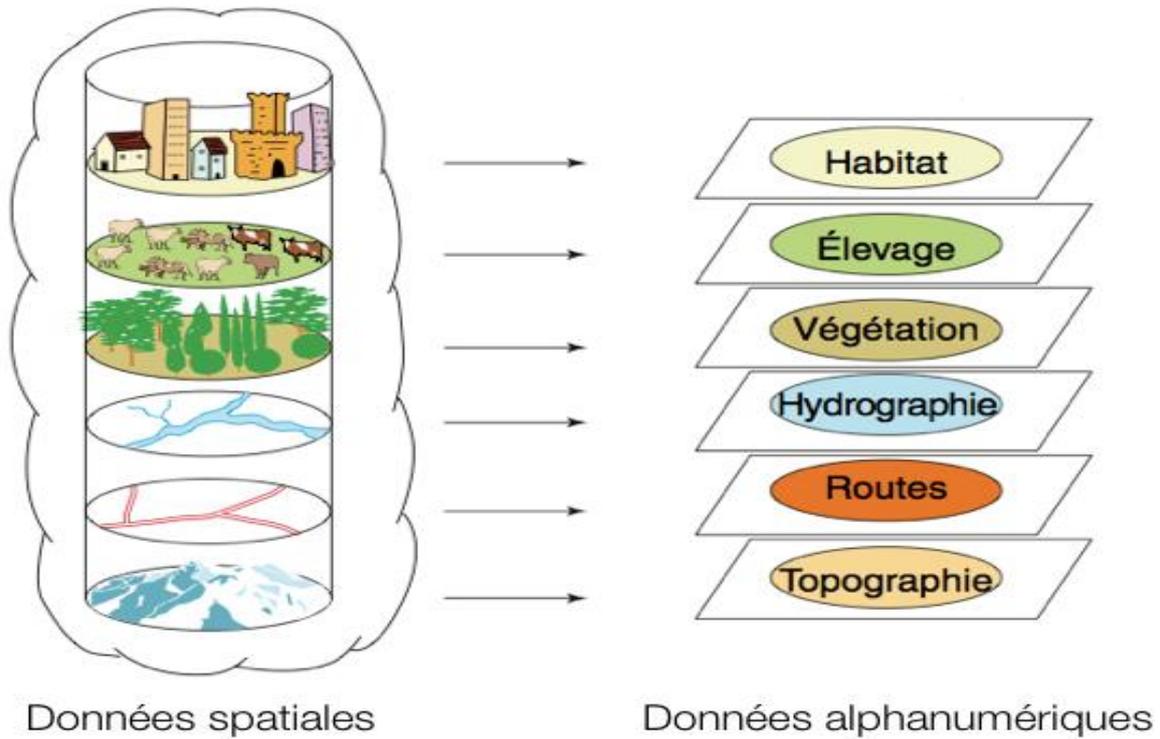


Fig. 12 : Base des données géographiques.

I.3 Les composant d'un SIG :

Un système d'information géographique est constitué en général par cinq composants majeurs : Logiciels, Matériels, Données, Utilisateurs et Méthodes (qui sont représentés dans la

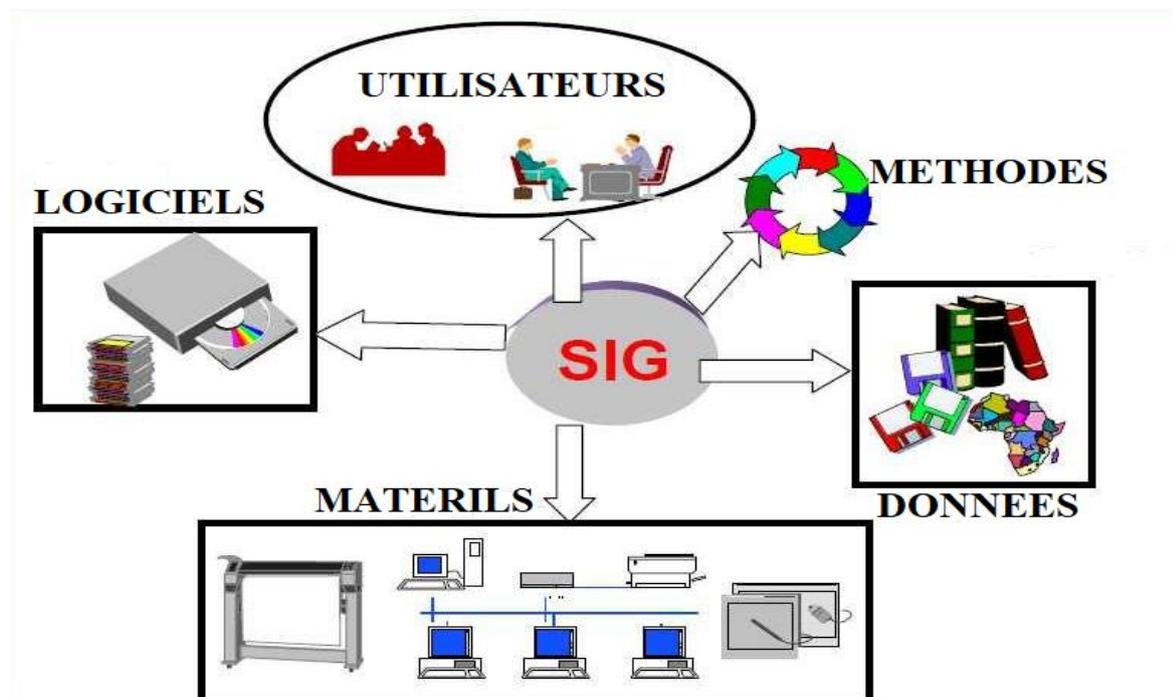


Fig. 13 : Les composants d'un SIG.

Fig. 13).

1) Logiciels : ils offrent les fonctions élémentaires suivantes :

- **Acquisition :** saisie, intégration et échange des informations géographiques sous forme numérique.
- **Archivage :** structuration et stockage de l'information géographique sous forme numérique.
- **Analyse :** manipulation et interrogation des données géographiques (calculs liés à la géométrie des objets, croisement de données thématiques...)
- **Affichage :** représentation et mise en forme, notamment sous forme Cartographique avec la notion d'ergonomie et de convivialité.
- **Abstraction :** représentation du monde réel. (RAVALET & PANET, 2001).

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

3) Données : Les données sont les composants les plus intéressantes du SIG :

- **Données géographiques:**(Our spéciales)

Les données géographiques sont importées à partir de fichiers ou saisies par un opérateur. Une donnée est dite « géographique » lorsqu'elle fait référence à un (ou plusieurs) objet(s) localisé(s) à la surface de la Terre. Ses coordonnées sont définies par un système géodésique (ou système de référence spatiale). Elles sont deux composantes :

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

- **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. Les données attributaires sont reliées à la géométrie de l'objet.

- **Métadonnées :**

Ce sont les données associées telle que la date d'acquisition, le nom du prioritaire, la méthode d'acquisition, les limites d'utilisation.

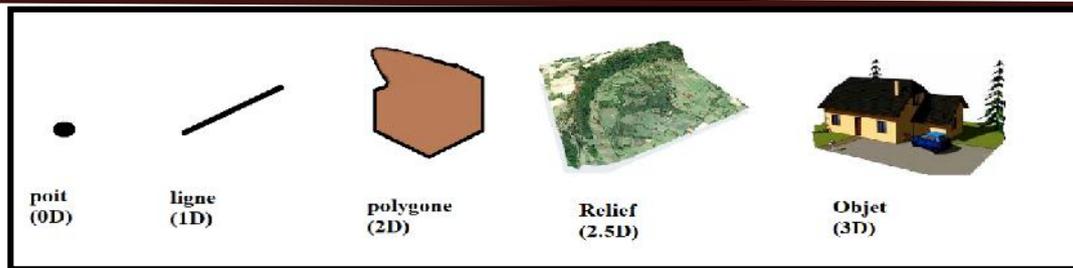


Fig. 14 : Taille/dimension de la représentation des données.

4) Les utilisateurs :

Les utilisateurs des systèmes d'informations géographiques ne sont pas forcément des spécialistes. Un tel système propose une série de boîtes à outils que l'utilisateur assemble pour réaliser son projet. N'importe qui peut, un jour ou l'autre, être amené à utiliser un SIG. Le niveau de Compétences requis pour la conduite des opérations les plus basiques est, Généralement, celui du technicien supérieur. Mais afin d'assurer une bonne qualité d'interprétation des résultats de l'analyse des données et des opérations avancées, celles-ci sont généralement confiées à un ingénieur disposant d'une bonne connaissance des données manipulées et de la nature des traitements effectués par les logiciels. Enfin, des spécialistes sont parfois amenés à intervenir sur des aspects techniques Précis (MARTIN, 2004).

5) Méthodes :

Les méthodes de travail englobent les processus d'utilisation du SIG Mais également les méthodes de conception et mise à jour des données Géographiques et alphanumériques ainsi que les méthodes à modélisation SIG.

I.4 Représentation des données dans un SIG : on distingue deux modes : le mode raster et le mode vecteur.

1) Mode Raster :

Le mode raster ou mode matriciel décrit l'image sous la forme d'une matrice de pixels. Chaque matrice représente une couche d'information. Les données raster proviennent soit d'un scannage d'une carte, soit d'une image numérique telle que les images satellites.

Le mode raster est intéressant pour les réalités continues (plage de couleur, paysage...) mais de par la taille des cellules, le rendu est souvent imprécis et de qualité esthétique médiocre, en particulier après un zoom. La combinaison des différentes couches d'information se limite à une simple superposition des matrices et les attributs sont faciles d'accès malgré une forte demande en mémoire pour le stockage.

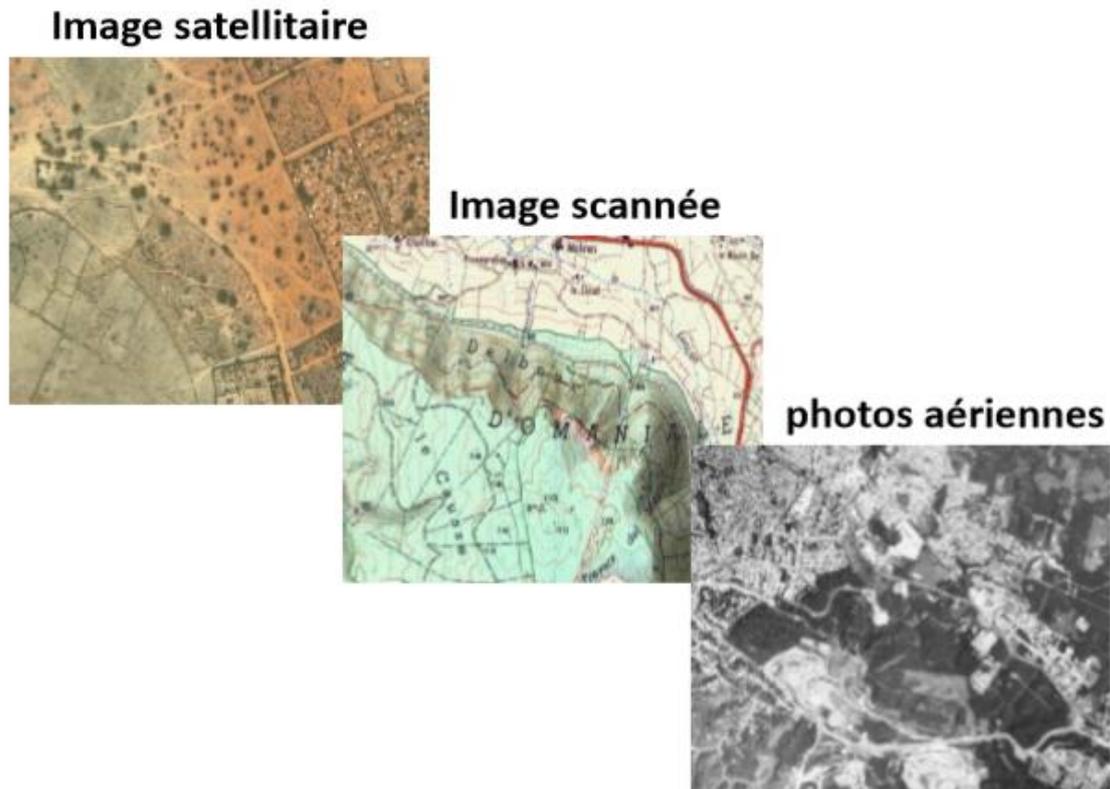


Fig. 15 : Exemple de donnée raster.

2) Mode vecteur :

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

✓ Les points :

Ils définissent des localisations d'éléments séparés pour des phénomènes géographiques trop petits pour être représentés par des lignes ou des polygones, ou par des éléments qui n'ont pas de surface comme des points cotés.

✓ Les lignes :

Les lignes représentent les formes des objets géographiques trop étroits pour être décrits par des surfaces (ex : rue ou rivières) ou des objets linéaires qui n'ont qu'une longueur, comme les courbes de niveau.

✓ Les polygones :

Ils représentent la forme et la localisation d'objets homogènes comme des pays, des parcelles, des types de sols...

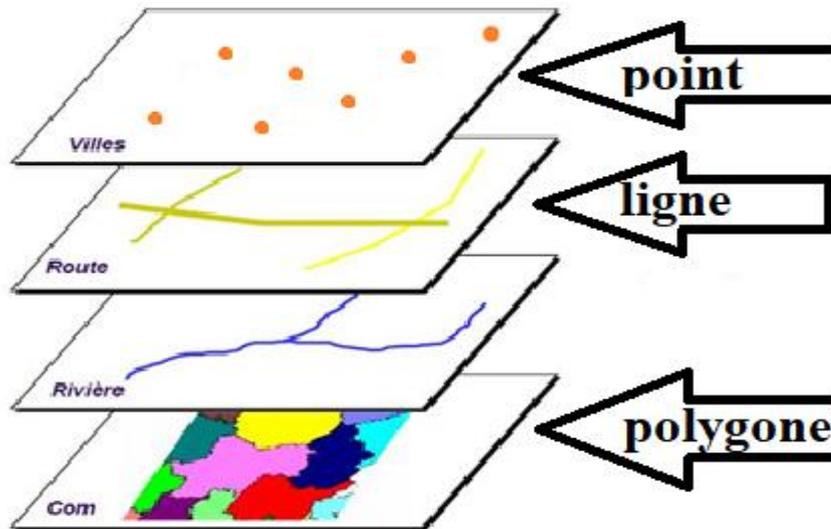


Fig. 16 : Exemple des données vecteurs.

I.5 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.

On rajoute que les informations modelées des deux modes peuvent être converties d'un mode

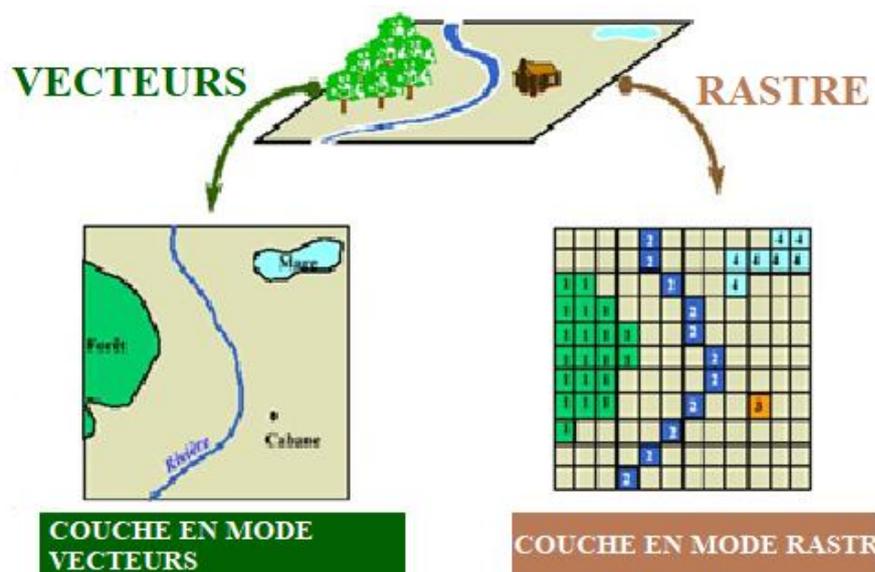


Fig. 17 : les mondes de représentation de l'information géographique dans le SIG.

CHAPITRE III : LE SYSTEM D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE.

vers un autre et vice versa.

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

	Le mode raster	Le mode vecteur
Les avantages	<p>-Meilleure adaptation à la représentation des détails surfaciques.</p> <p>-Acquisition des données à partir d'un scanner à balayage.</p> <p>-Meilleure adaptation à certains types de traitements numériques: filtres, classifications</p>	<p>-Une meilleure adaptation à la description des entités ponctuelles et linéaires.</p> <p>- Une facilité d'extraction de détails.</p> <p>- Une simplicité dans la transformation de coordonnées.</p>
Les inconvénients	<p>- Mauvaise adaptation à la représentation des détails linéaires.</p> <p>- Obligation de parcourir toute la surface pour extraire un détail.</p> <p>- Impossibilité de réaliser certaines opérations topologiques, la recherche du plus court chemin dans un réseau par exemple.</p>	<p>-Les croisements de couches d'information sont délicats et nécessitent une topologie parfaite.</p>

Tableau 2 : Avantages et inconvénients des deux modes raster et vecteur.

I.6 Les domaines d'application du SIG :

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

- Géologie (prospection minière) ;
- Hydrologie ;
- Tourisme (gestion des infrastructures, itinéraires touristiques) ;
- Marketing (localisation des clients, analyse du site) ;
- Planification urbaine (voirie, réseaux assainissement) ;
- Protection civile (gestion et prévention des catastrophes) ;
- Transport (planification des transports urbains, optimisation d'itinéraires) ;
- Forêt (cartographie pour aménagement, gestion des coupes et sylviculture) ;

- Biologie (études du déplacement des populations animales) ;
- Télécoms (implantation d'antennes pour les téléphones mobiles).

I.7 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).

II. 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.

II.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 terme de cout de production.
- Mettre à disposition un outil a 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.

II.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.

II.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.

CHAPITRE III : LE SYSTEM D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE.

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.

III. SIG SOUS ArcGis :

III.1 Définition du logiciel Arc Gis 10 :

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

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

Différentes couches d'informations spatiales peuvent être manipulées offrant la possibilité d'analyser une ou plusieurs couches sous le contrôle des autres. Le seul lien entre les différentes couches est le lien spatial, c'est-à-dire, l'appartenance au même espace géographique et ayant le même système de coordonnées.

III.2 Présentation du logiciel ArcGIS 10 :

Le logiciel  ArcGIS10 comprend trois applications principales :ArcMap, Arc Catalog et ArcToolbox.

❖ ArcMap :

ArcMap montre, questionne, édite, crée ou analyse des données, sous forme de tables ou de cartes.

ArcMap facilite la disposition des cartes lors de la mise en page pour l'impression, l'intégration dans d'autres cartes et l'édition de documents électroniques. L'application est présentée ci-dessous (fig. 18) :

CHAPITRE III : LE SYSTEM D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE.

Barre
général
d'outil

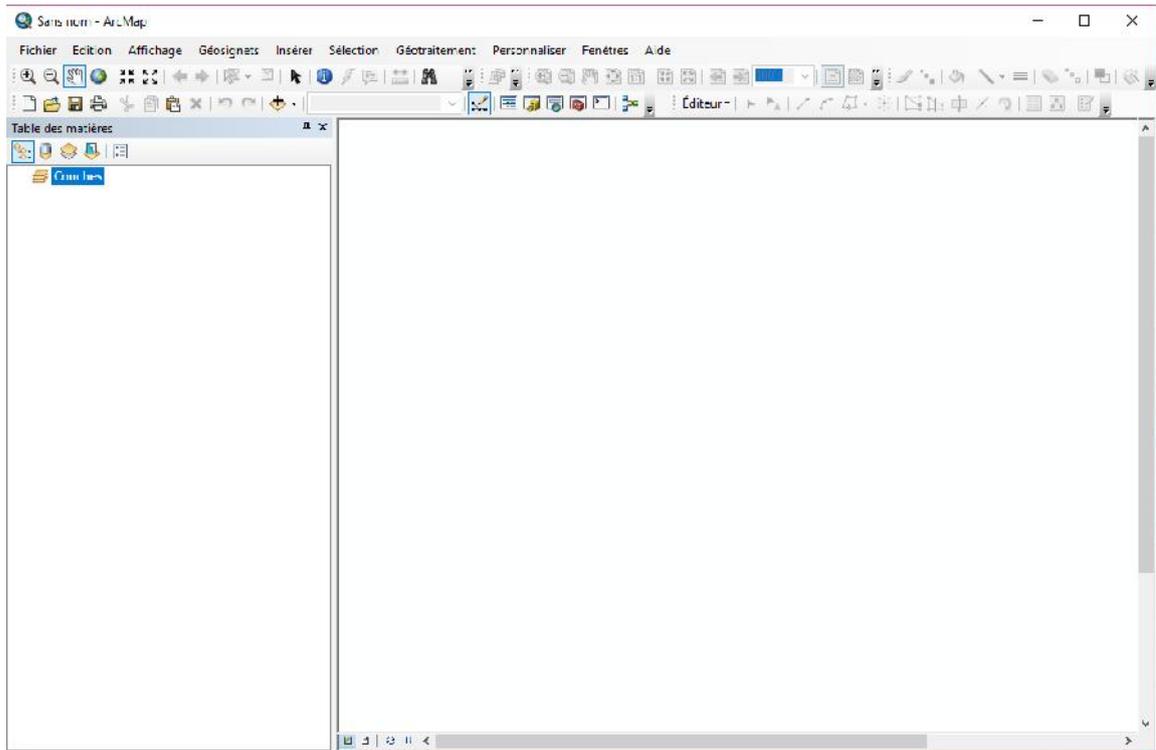


Fig. 18 : présentation de fenêtre ArcMap.

La barre d'outils renferme les outils de navigation sur les données graphiques des couches, ainsi que les outils d'affichage rapide de données sémantiques (attributaires) liées aux entités graphiques.

❖ Arc

Affichage des
noms des
couches
superposées

Affichage des
couches

ArcCatalog permet de passer en revue, d'organiser, de distribuer et de modifier les éléments de votre projet des données géographiques et cela en employant des méthodes graphiques ou textuelles (fig. 19) :

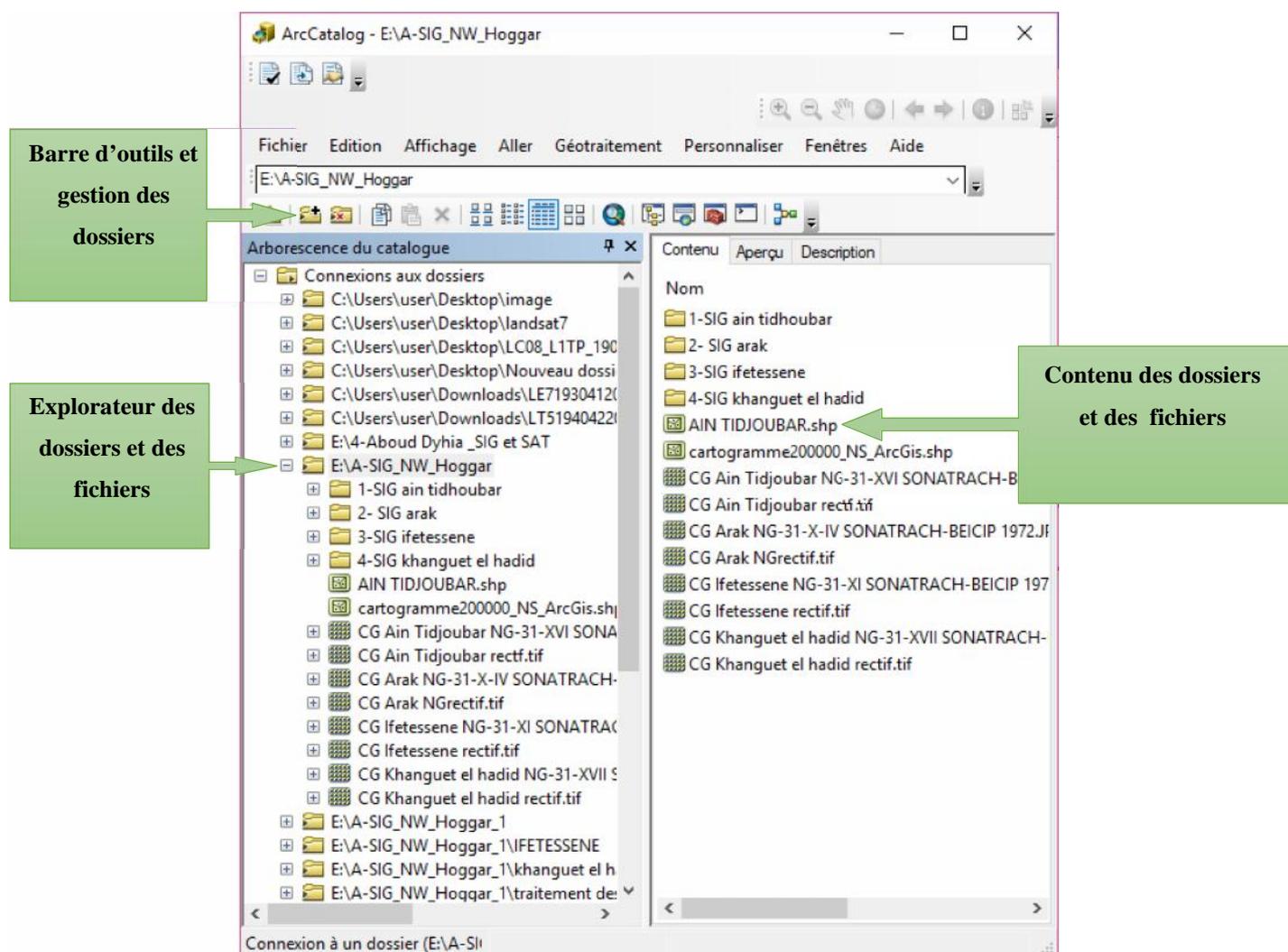


Fig. 19 : présentation de fenêtre ArcCatalog.

C'est idéalement dans cette interface que l'on exécute les actions suivantes :

- ✓ Créer de nouvelles données (couches/shapefiles, géodatabases ...) où supprimer une couche (soit l'ensemble des fichiers correspondants ou shapefile).
- ✓ Attribuer un système de coordonnées lorsqu'il n'est pas reconnu par le logiciel, ou non renseigné.
- ✓ Avoir un aperçu géographique ou attributaire d'une couche donnée.

Précisons qu'ArcCatalog est aussi disponible au travers d'ArcMap, ce qui facilite grandement la gestion des fichiers. (Fig. 20) :

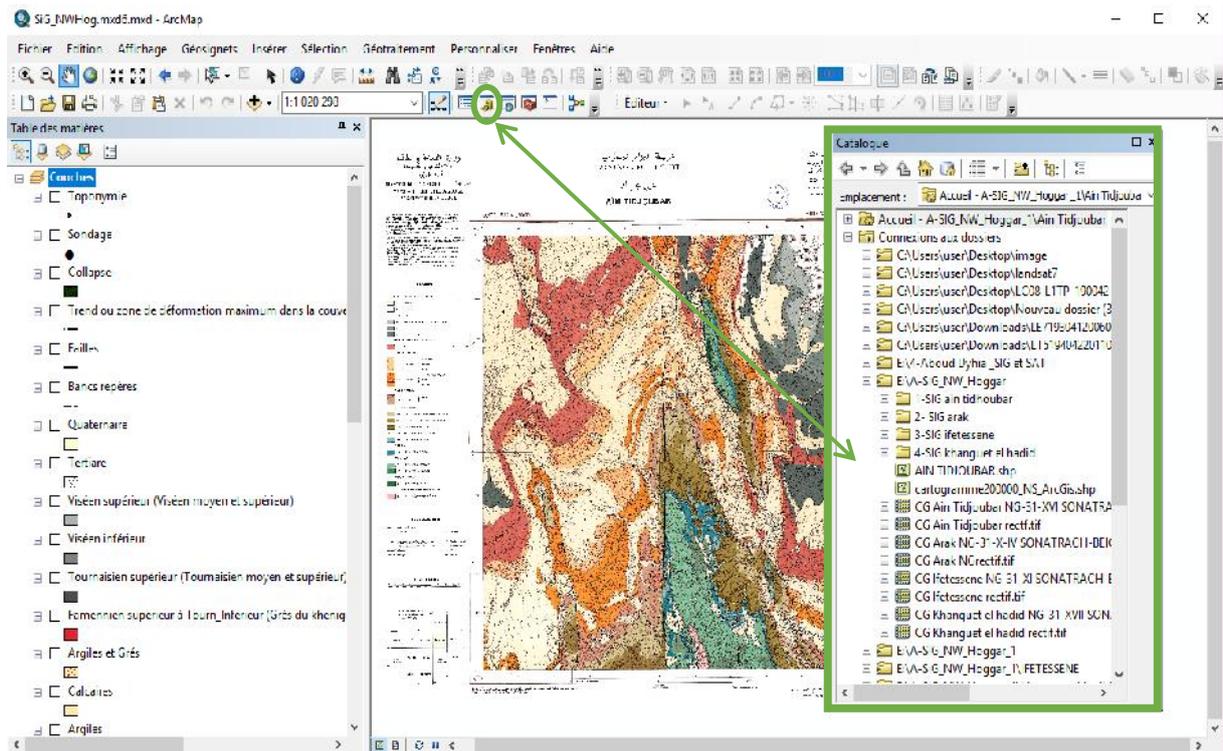


Fig. 20 : Fenêtre ArcCatalog à travers ArcMap.

❖ ArcToolbox :



ArcToolBox est le module qui nous permet d'accéder à toutes les fonctionnalités de traitement et d'analyse.

La boîte à outils fournit un ensemble très riche de fonctions de géotraitement. Il convertit aussi les formats de données pour l'importation ou l'exportation de fichiers, ainsi que les changements de projection.

On peut ouvrir la fenêtre ArcToolBox à l'aide du bouton Afficher/Masquer la fenêtre  ArcToolBox qui se trouve sur la barre d'outils standard, ou en sélectionnant Géotraitement>ArcToolBox.

En cliquant sur un outil, une fenêtre correspondant à ce dernier s'ouvre, nous permettant de le paramétrer.

Le contenu de la fenêtre ArcToolBox est enregistré avec notre document, ceci est peut-être la caractéristique la plus utile de la fenêtre, elle nous permet de personnaliser le contenu pour inclure seulement les boîtes à outils dont nous avons besoin pour notre projet en cours.

CHAPITRE III : LE SYSTEM D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE.

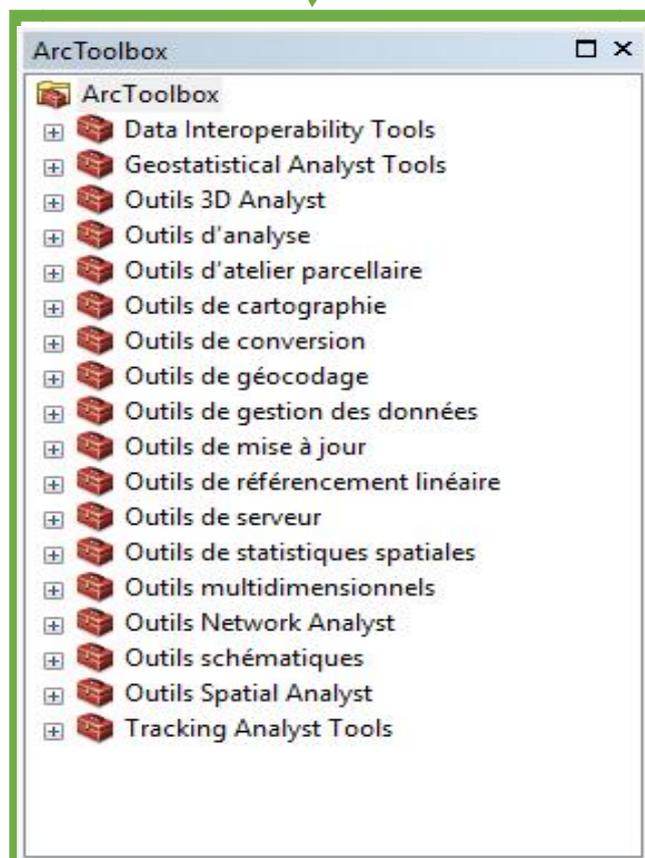
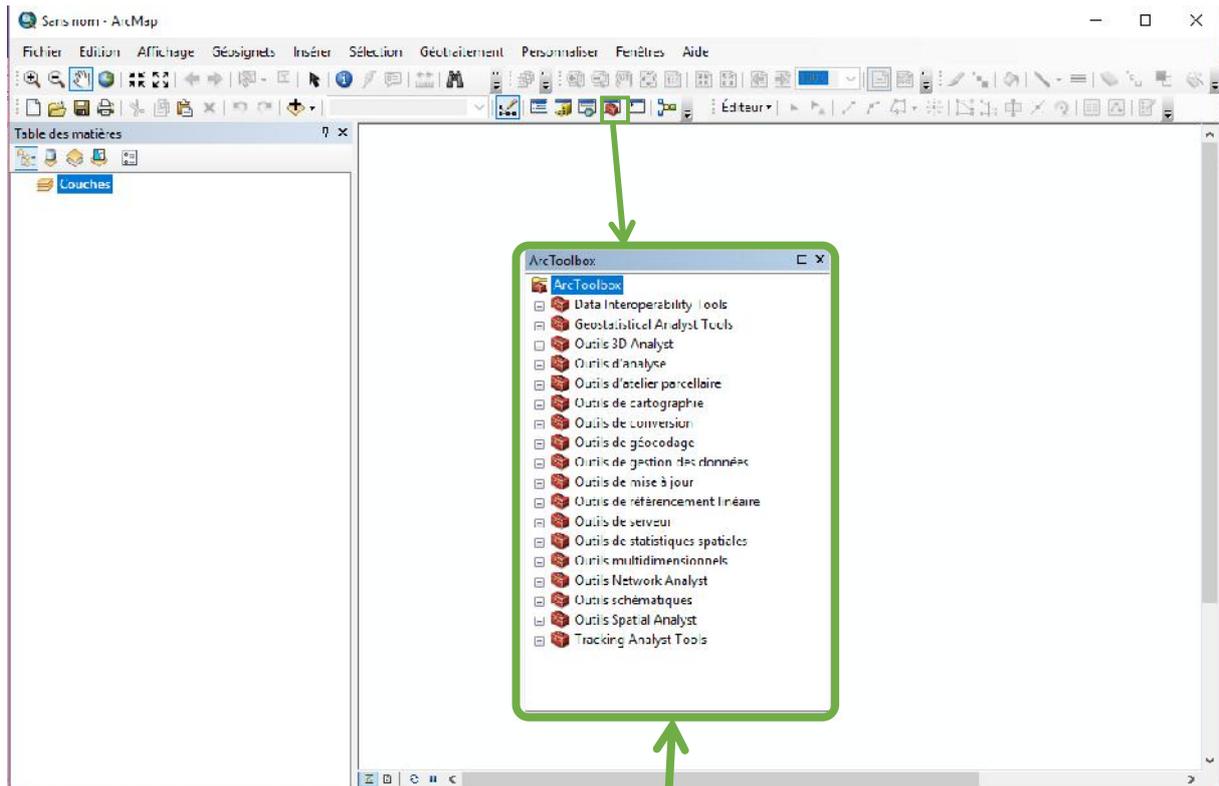


Fig. 21 : Fenêtre ArcToolBox.

CHAPITRE III : LE SYSTEM D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE.

III.3 Le document MXD : La mise en forme des fenêtres, la mise en page, le choix des styles pour les objets cartographiques, le positionnement des étiquettes, etc... Sont autant d'opérations qu'on aimera sauvegarder pour ne pas avoir à les reproduire à chaque ouverture d'ArcMap. Le document de travail (. MXD) nous permet de sauvegarder une session de travail.

Afin d'enregistrer l'état d'avancement de notre travail, il suffit d'aller dans le menu >Fichier>Enregistrer sous... (Entrer le nom du fichier). Il est aussi possible d'enregistrer le « chemin relatif » des couches utilisées. (Fig. 22) :

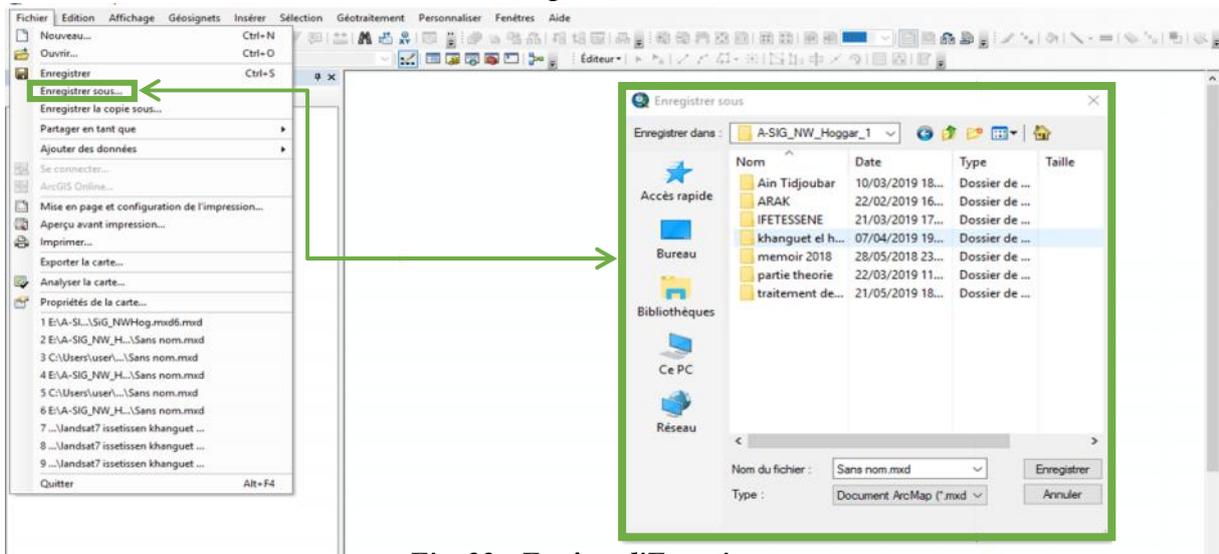
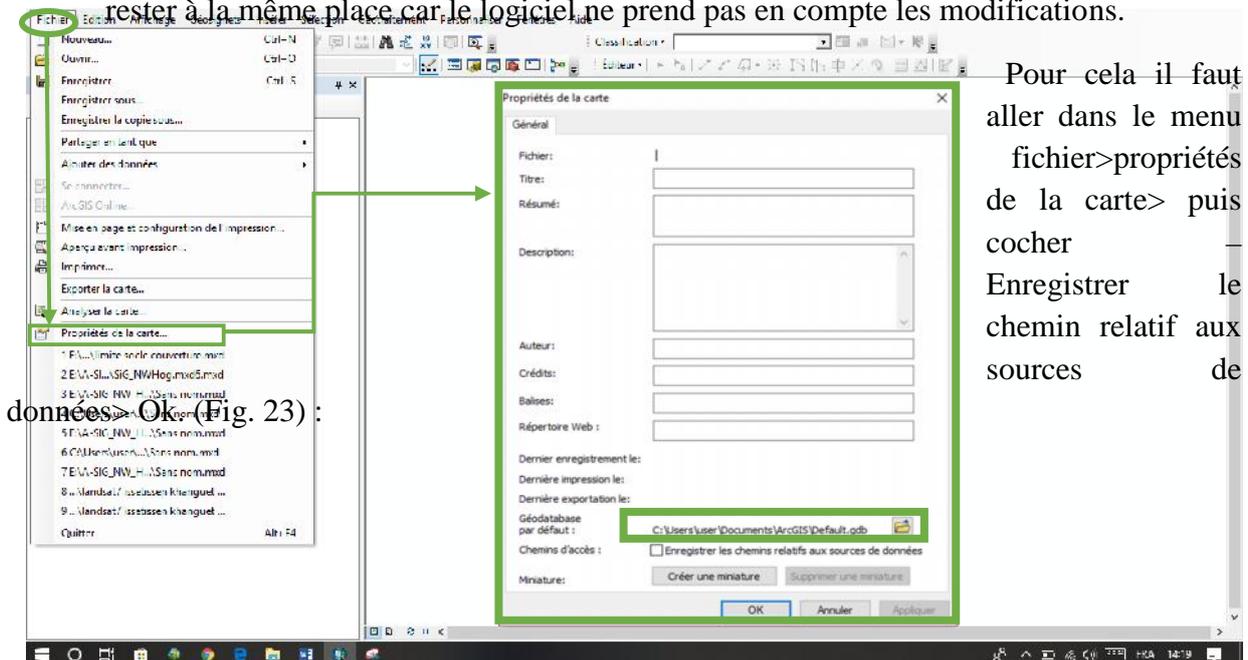


Fig. 22 : Fenêtre d'Enregistrer.

Ceci nous permet de déplacer tout notre dossier de travail et de pouvoir rouvrir notre document après le déplacement, sans encombre. Le document et les couches utilisées doivent rester à la même place car le logiciel ne prend pas en compte les modifications.



données. Ok (Fig. 23) :

Pour cela il faut aller dans le menu fichier>propriétés de la carte> puis cocher Enregistrer le chemin relatif aux sources de

Fig. 23 : Fenêtre des propriétés de la carte.



Chapitre IV : SIG de la
région d'étude.

CHAPITRE IV : SIG DE LA REGION D'ETUDE.

I. INTRODUCTION :

ArcGIS est un logiciel que nous avons utilisé dans ce travail à fin d'atteindre l'objet principal, qui est la cartographie SIG des cartes géologiques de la région de bordure externe Nord-Ouest du massif du Hoggar. Ce travail a été fait à partir des images des cartes géologiques de SONATRACHE_BEICIP 1972.

La région d'étude est subdivisée en deux parties renfermant quatre cartes géologiques à l'échelle de 1/200 000. La 1^{ère} partie c'est le socle et la 2^{ème} partie représente la couverture du Hoggar.

La méthode consiste à numériser les cartes, puis vectorisation de chaque carte, préparation d'un fichier Excel pour les toponymies, intégration du fichier Excel dans le logiciel ArcGIS, et finalement impression des cartes géologiques.

II. Étapes suivies pour la réalisation du travail :

II.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.

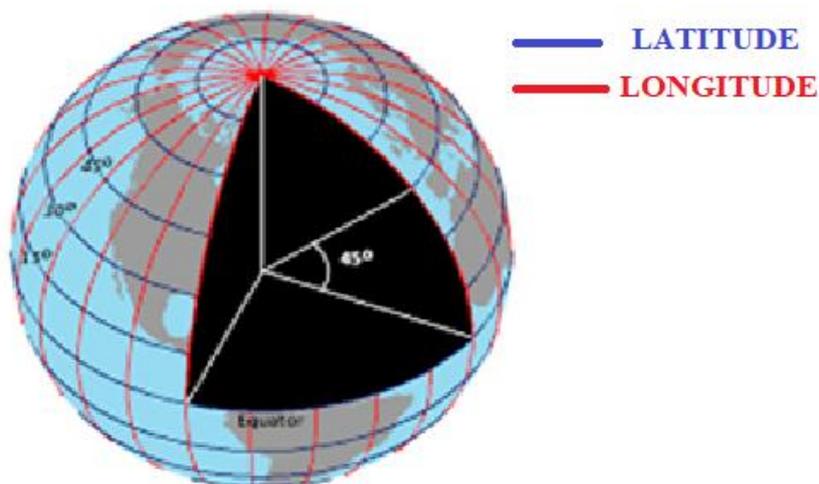


Fig. 24 : Globe terrestre avec des latitudes et longitudes.

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 :

CHAPITRE IV : SIG DE LA REGION D'ETUDE.

- ✓ 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 31 (mais aussi 29,30 et 32).

II.2 Géoréférencement :

Géoréférencier une carte raster signifie faire entrer les coordonnées géographiques dans une projection définie et indiquer quels points de la carte correspondent à ces coordonnées, il est indispensable de géoréférencier 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 31.

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

II.2.1 Démarrer le logiciel ARCGIS :

Il faut ouvrir ArcCatalog ainsi qu'ArcMap.

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

II.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).

CHAPITRE IV : SIG DE LA REGION D'ETUDE.

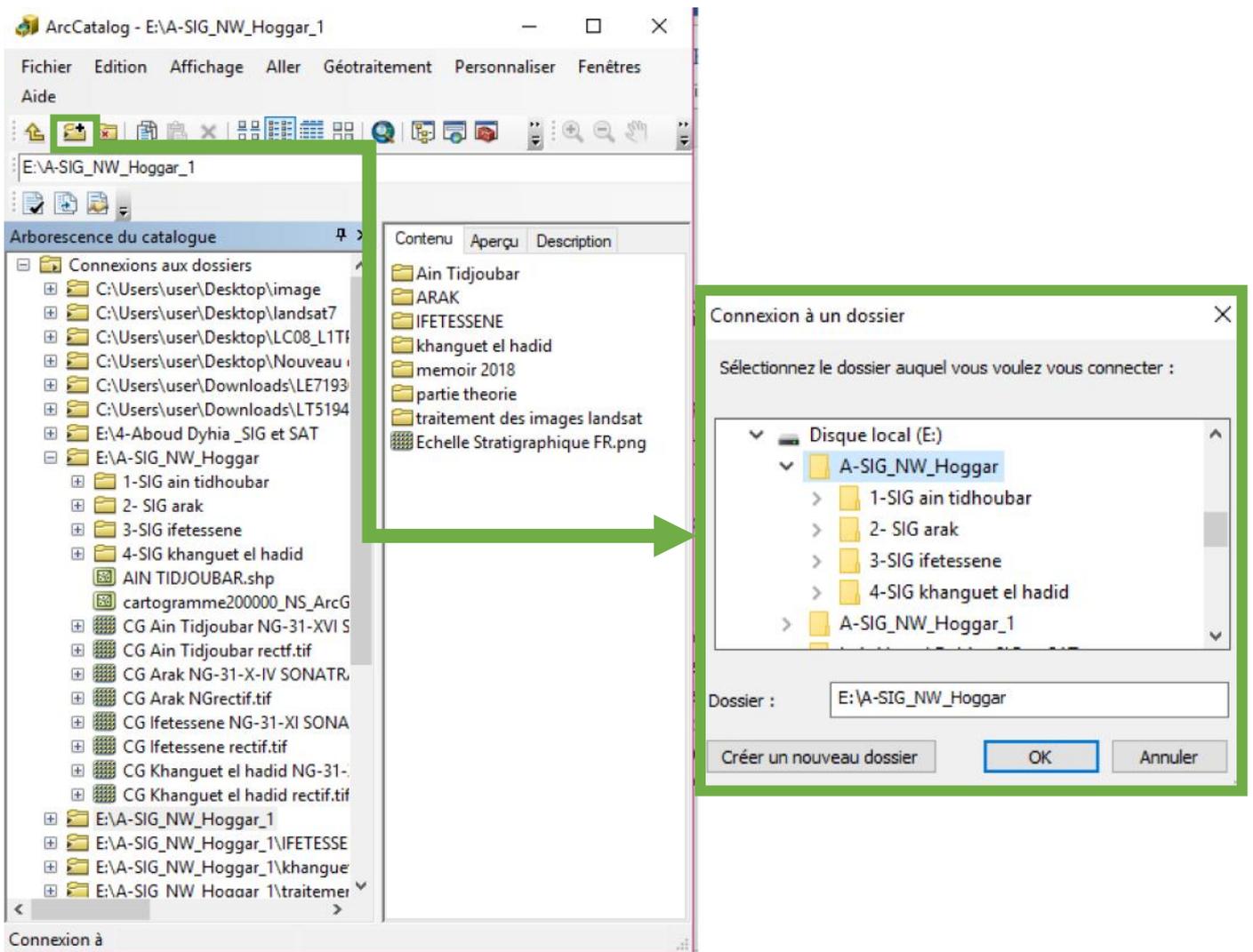


Fig. 25 : une présentation d'interface d'ArcCatalog montrant icone connexion à un dossier.

II.2.3 Attribution de la référence spatiale :

Après avoir connecté au dossier la carte en format image on procède à l'attribution de la référence spatiale par clique droite 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 31 (Nord Sahara 1959UTM Zone 31N) Dans ArcCatalog : Clic droit sur la carte à Géoréférencier → 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 IV : SIG DE LA REGION D'ETUDE.

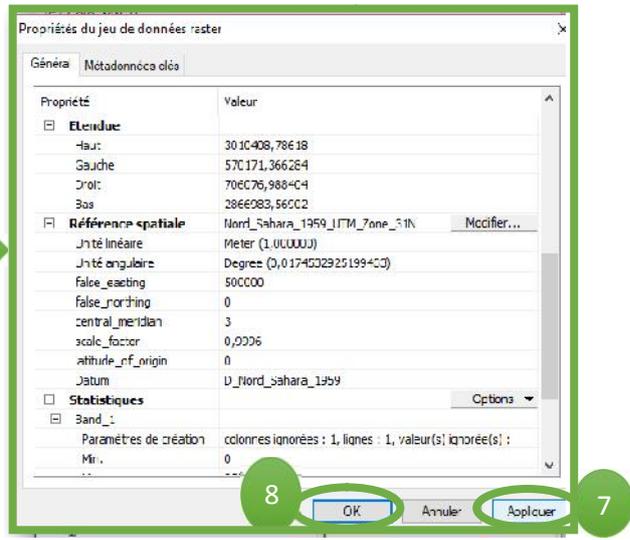
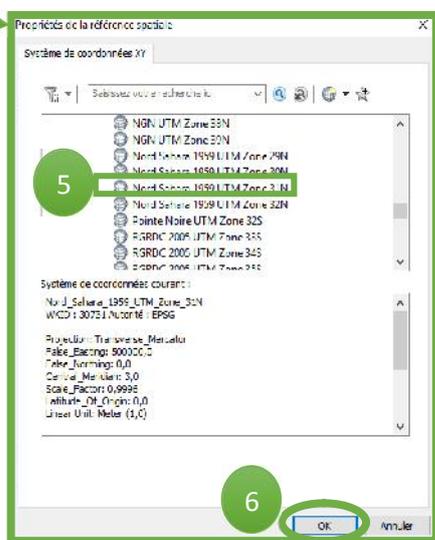
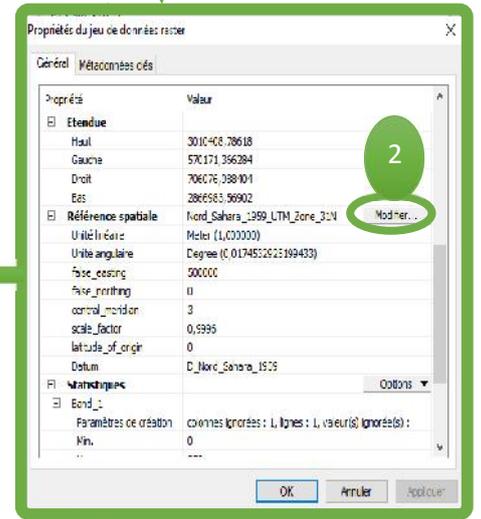
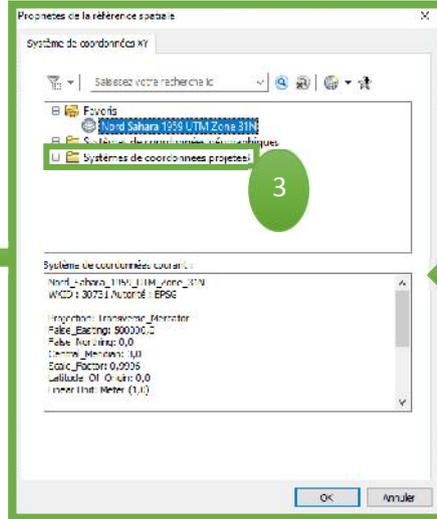
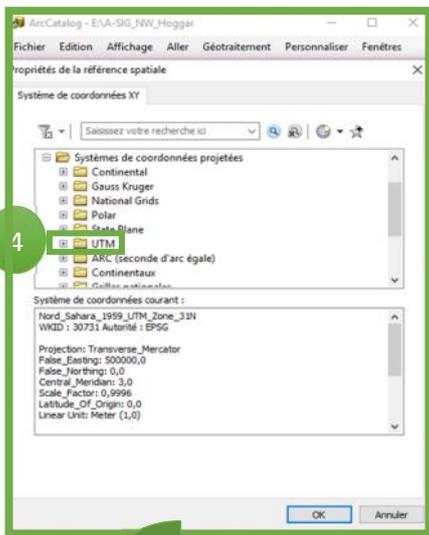
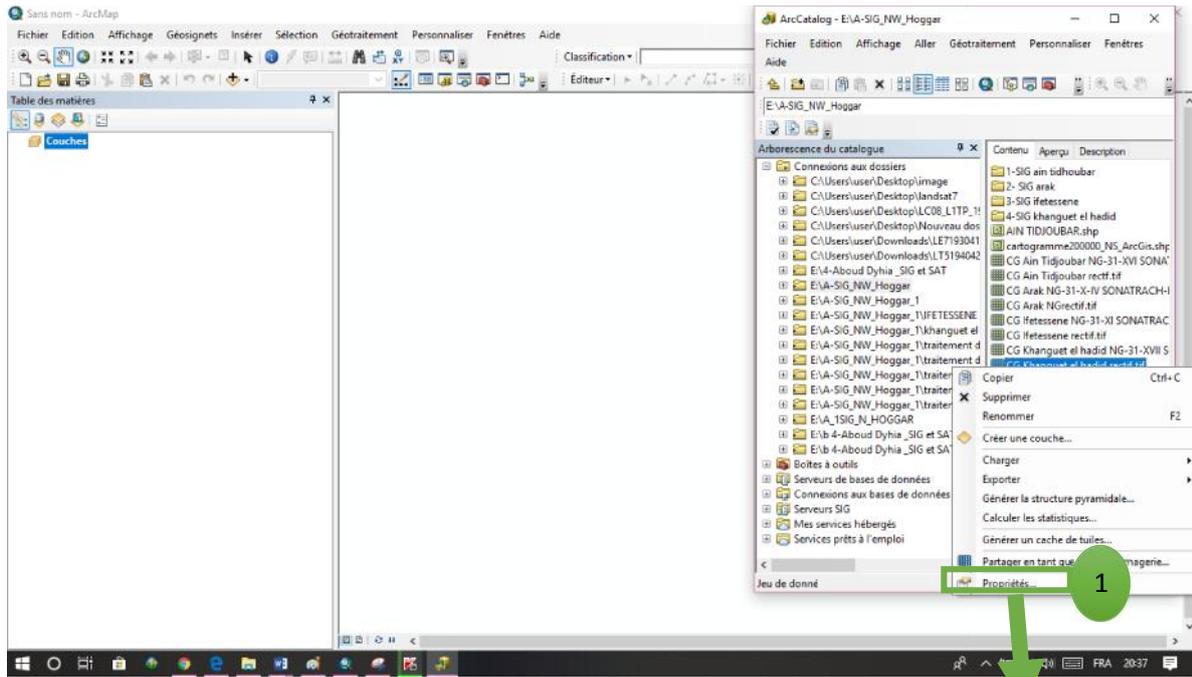


Fig. 26 : la propriété de la référence spatiale dans ArcCatalog.

CHAPITRE IV : SIG DE LA REGION D'ETUDE.

➤ Choix du même système de coordonnées dans ArcMap

A Gauche apparait le dossier « Couches »

Clique droite sur couche ➡ propriété ➡ Système de coordonnées ➡ Système de Coordonnées projetées ➡ UTM ➡ Afrique ➡ Nord Sahara 1959 UTM Zone 31N ➡ Appliquer ➡ OK.

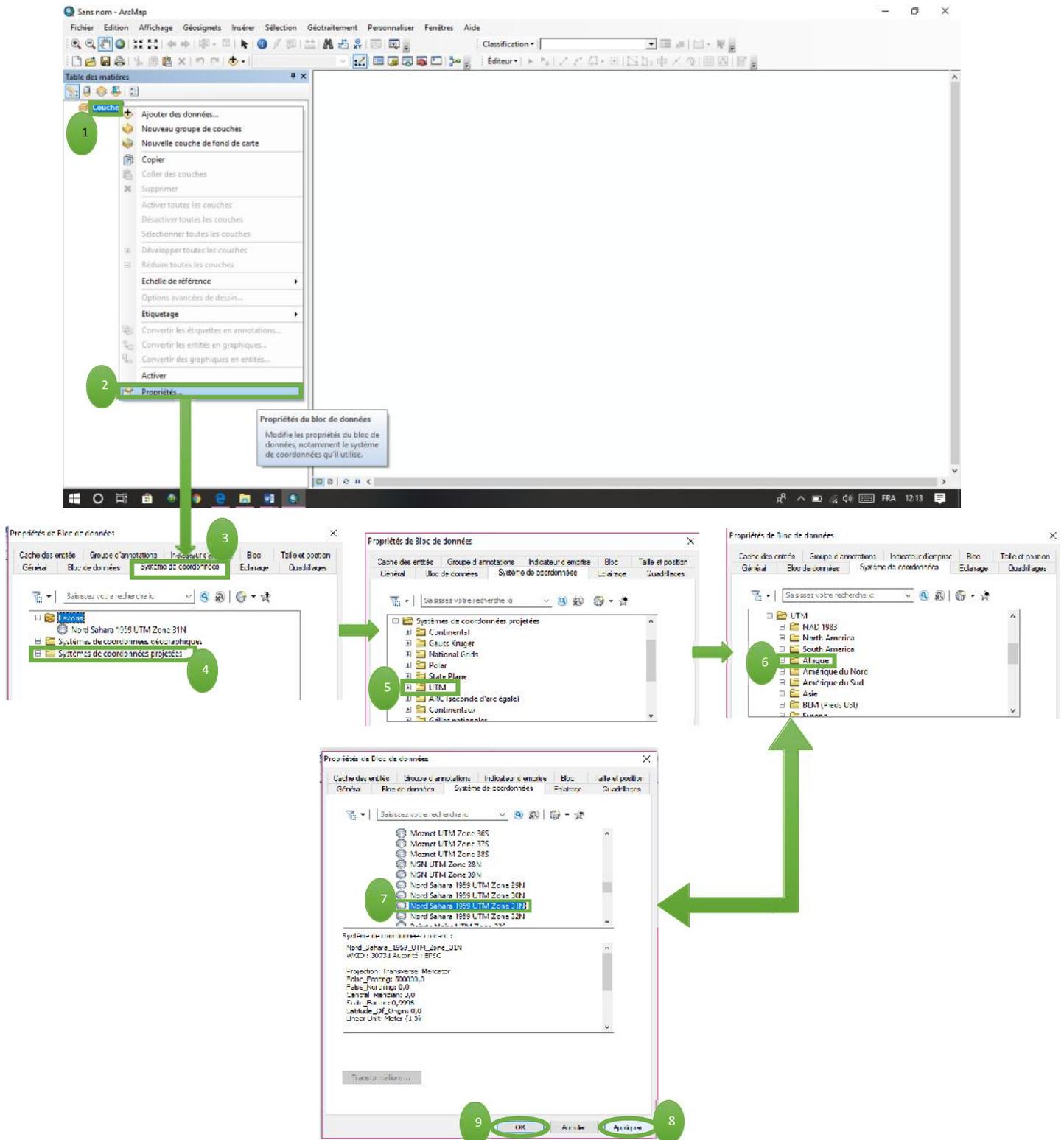


Fig. 27 : La propriété de la référence spatiale dans ArcMap.

CHAPITRE IV : SIG DE LA REGION D'ETUDE.

Après cette étape d'attribution de la référence spatiale, On déplace la carte référenciée d'ArcCatalog vers ArcMap (Copier glisser (clique G 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.)

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.

II.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. (Fig. 28) :

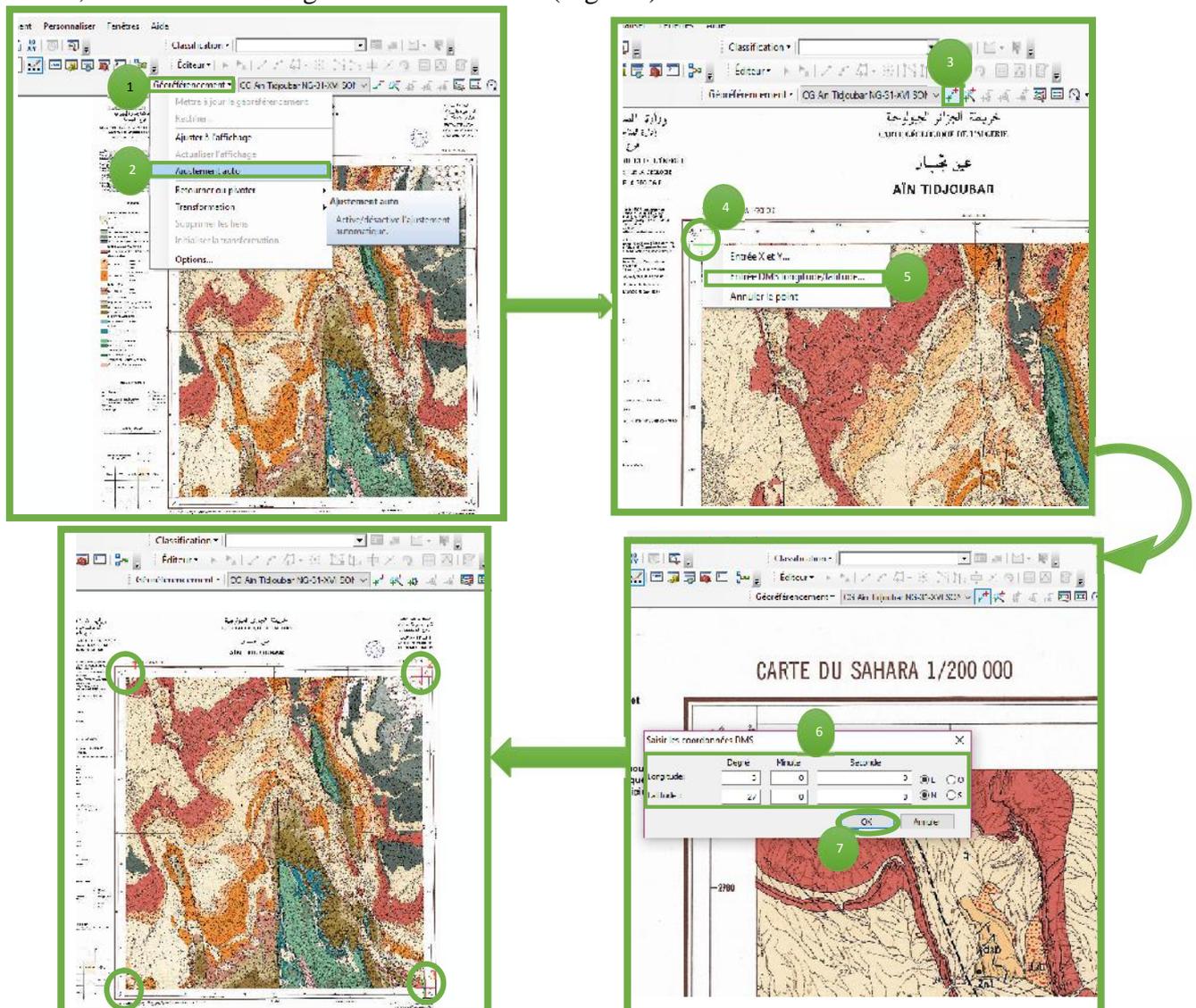


Fig. 28 : Calage de la carte géologique.

CHAPITRE IV : SIG DE 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. (Fig. 29)

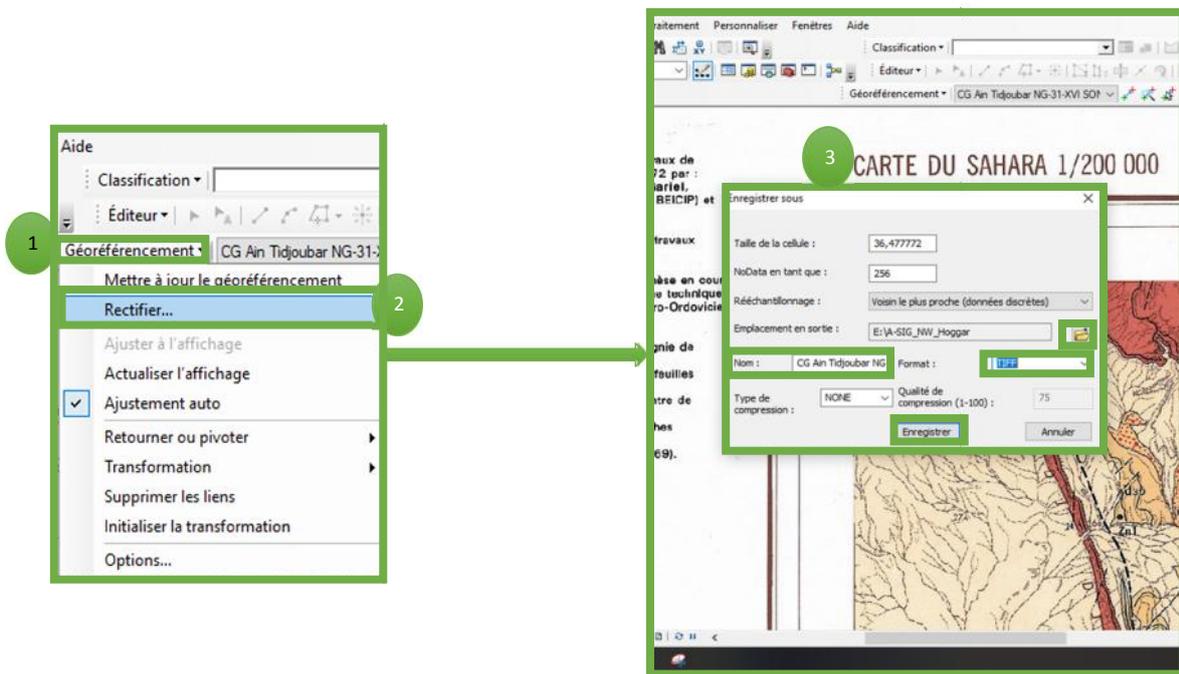


Fig. 29 : La rectification d'une carte géologique.

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.

II.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 diffèrent selon les types d'objet à vectorisés :

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

CHAPITRE IV : SIG DE 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 :

- o Tout d'abord on va ouvrir ArcMap et on fait un clic droit sur la couche puis on choisit le système de coordonnées adéquat.
- o Ouvrir ArcCatalog et on cherche la carte raster qu'on veut vectorisée.
- o 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.

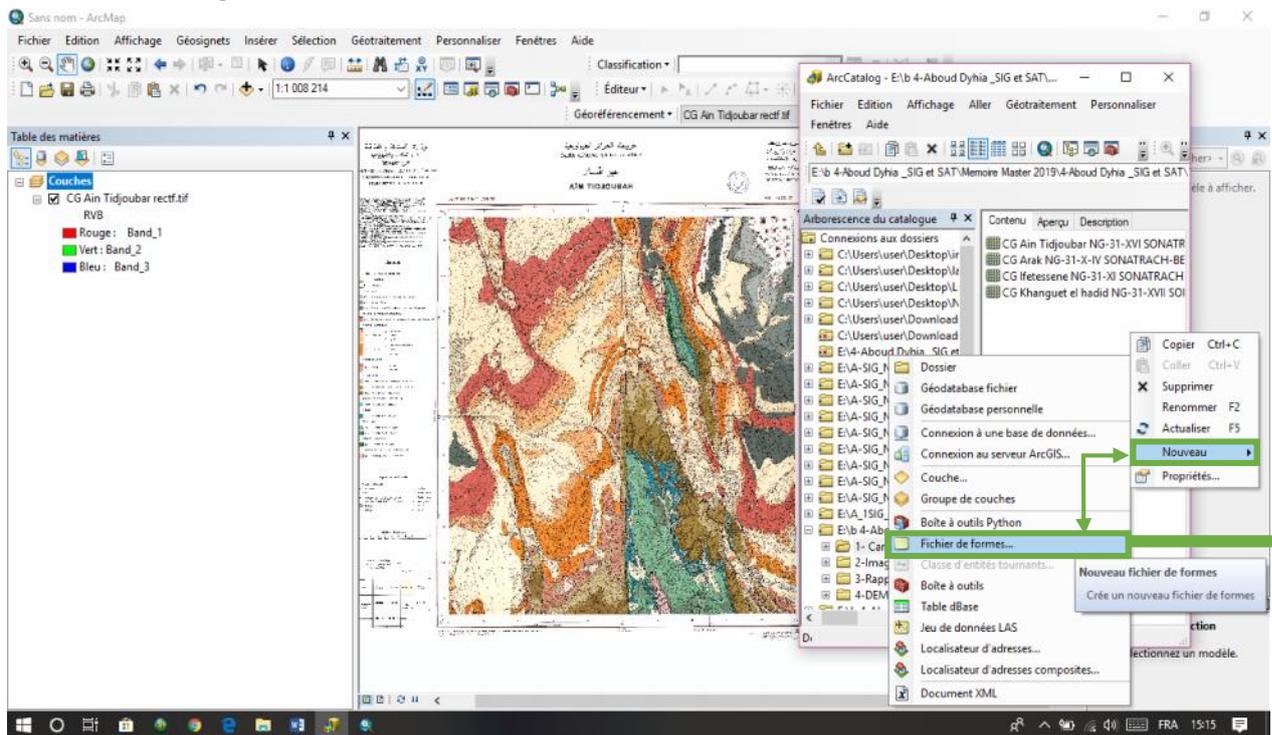
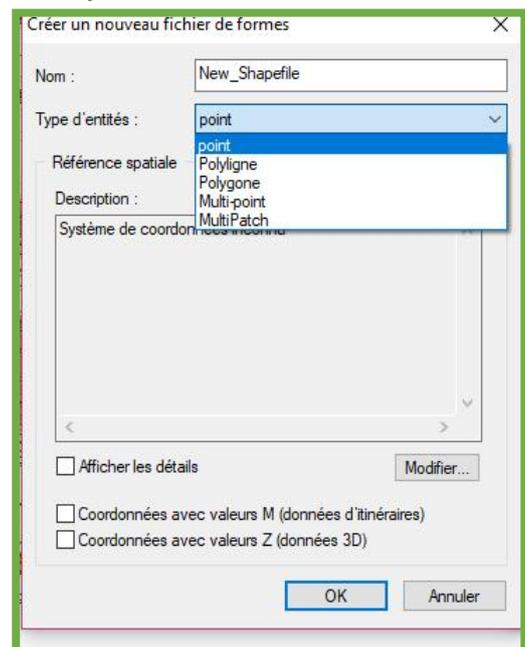


Fig. 30 : Ouvrir un nouveau fichier de forme

- 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.



CHAPITRE IV : SIG DE LA REGION D'ETUDE.

- ✓ 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.

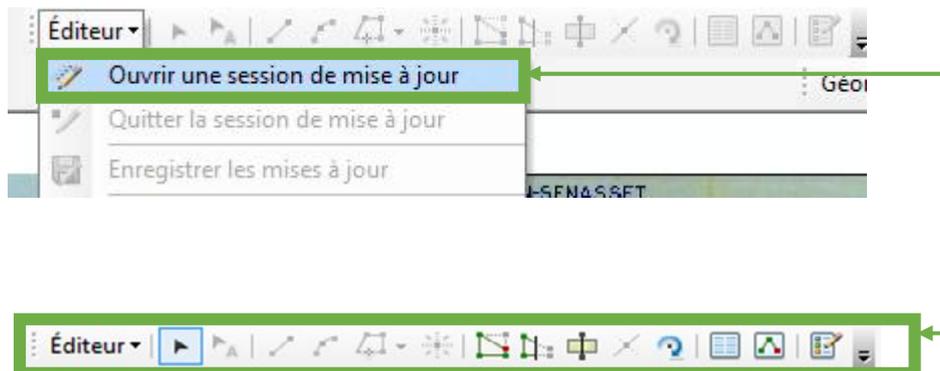


Fig. 32 : Outil Editeur.

II.3 La vectorisation des différentes formations géologique :

II.3.1 Vectorisation de l'information surfacique (Polygone) :

❖ 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.

On va prendre un exemple de la vectorisation de l'information lithologique (le dépôt

Fig. 31 : La fenêtre de fichier de forme.

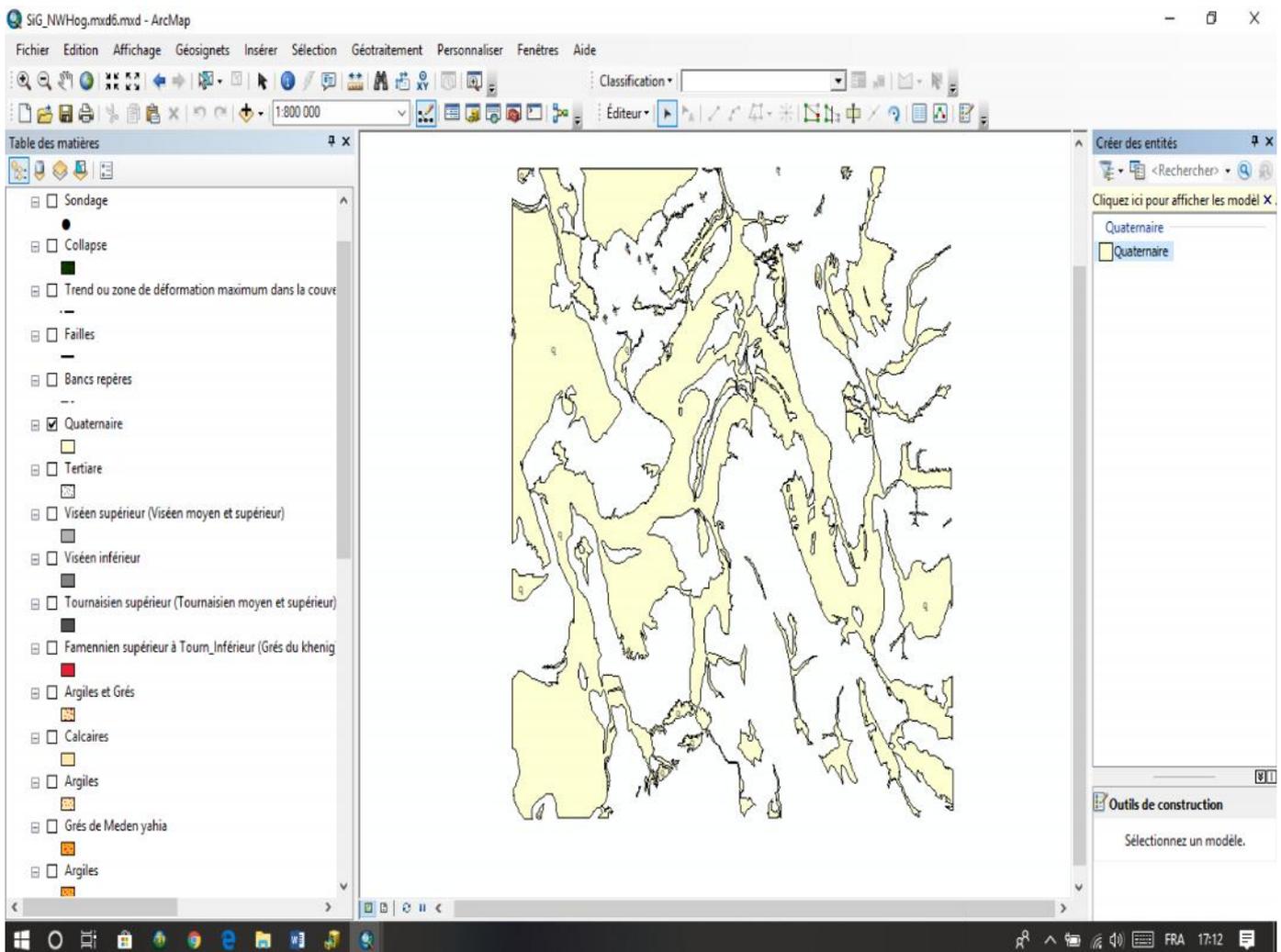
CHAPITRE IV : SIG DE LA REGION D'ETUDE.

Quatenaire de la feuille de AIN TIDJOUBAR et le socle de la feuille d'ARAK).

En procédant de la même manière pour toutes les entités lithologiques qui constituent la région d'étude, nous avons obtenu les 23 formations lithologiques, qu'ont été transformés en couches d'informations vectorielle dans la feuille de AIN TIDJOUBAR.

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

❖ ARAK ;



❖ IFETESSENE ;

❖ KHANGUET EL HADID.

CHAPITRE IV : SIG DE LA REGION D'ETUDE.

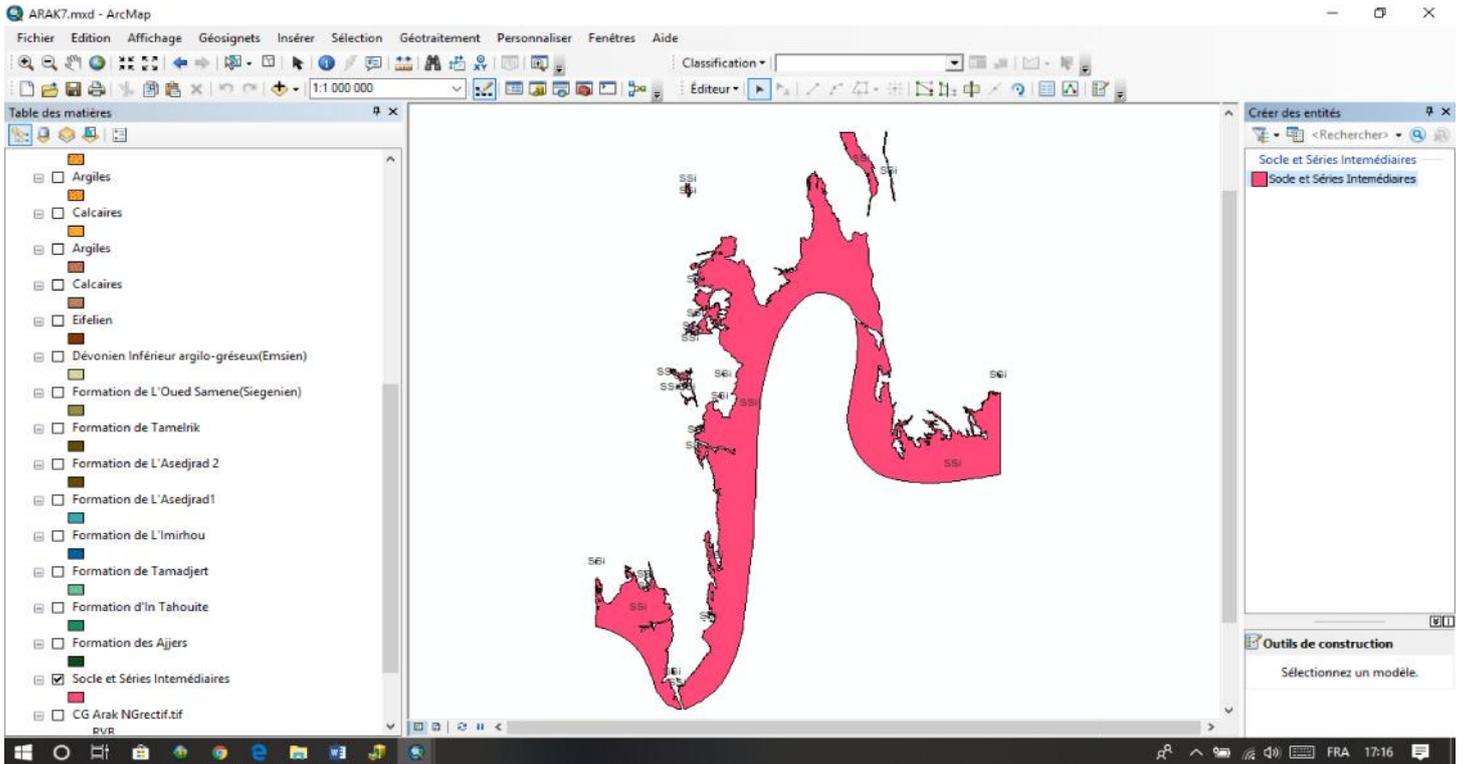
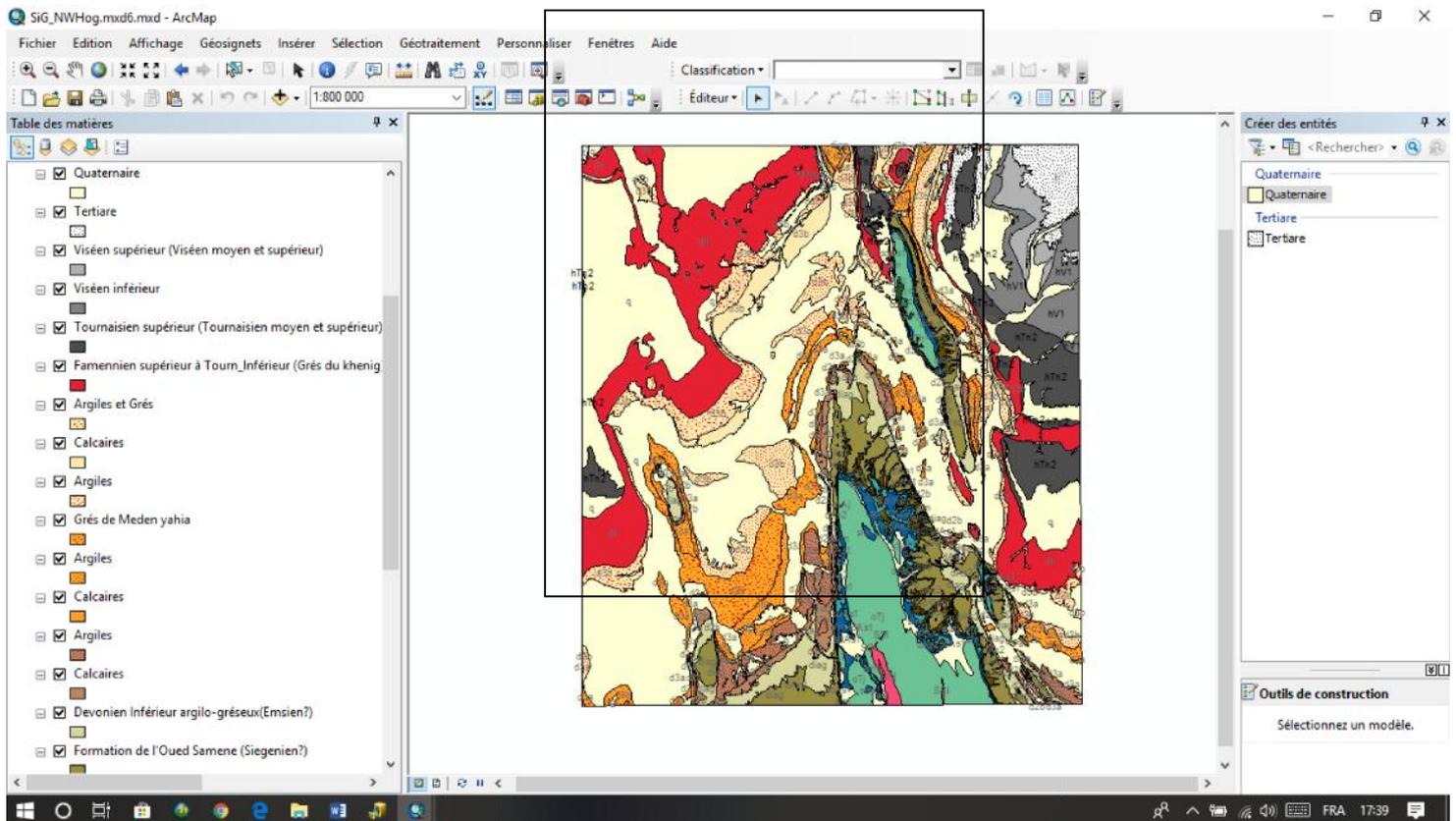


Fig. 34 : Présentation du socle et série intermédiaire vectorisés de la feuille d'ARAK.



CHAPITRE IV : SIG DE LA REGION D'ETUDE.

II.3.2 Vectorisation de l'information linéaire (Polyligne) :

Les entités polygones 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 KHANGUET EL HADID (Figure 29), les bancs de repères dans la feuille d'IFETESSENE (Fig. 36) :

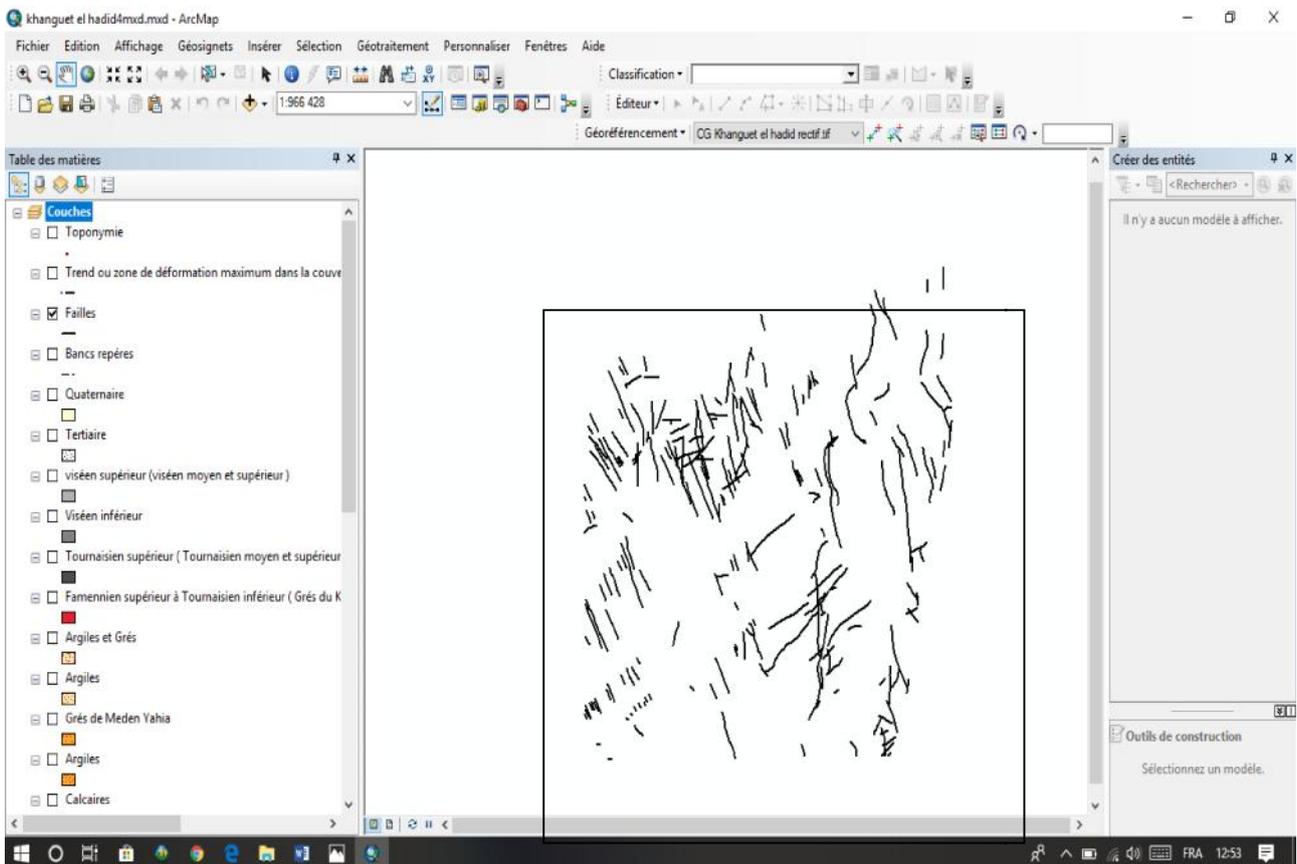
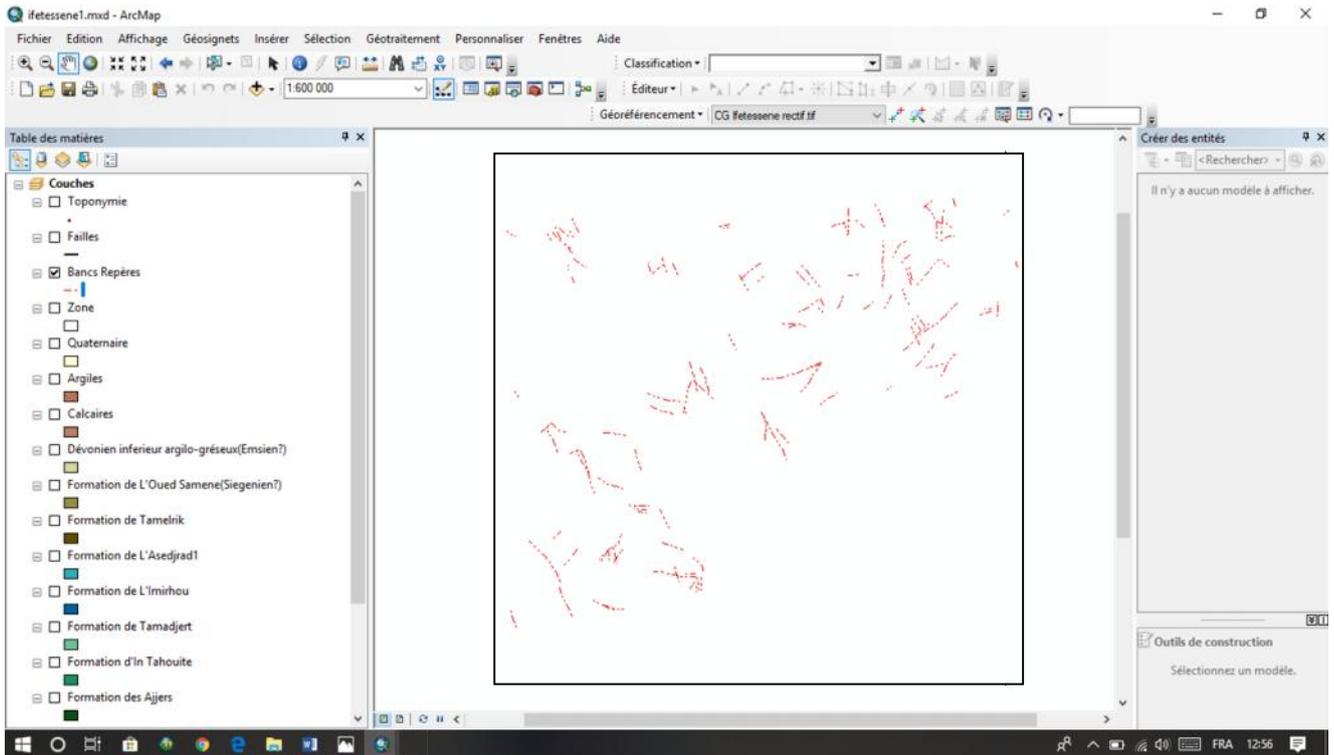


Fig. 36 : Vectorisation des formations linéaires (failles) de la feuille de KHANGUET EL HADID.

CHAPITRE IV : SIG DE LA REGION D'ETUDE.



II.3.3 Vectorisation de l'information Ponctuelle (Point) :

Pour la vectorisation ponctuelle, nous l'avons divisé en deux parties :

- La 1^{ère} partie de la vectorisation des sondages suit les mêmes étapes que la

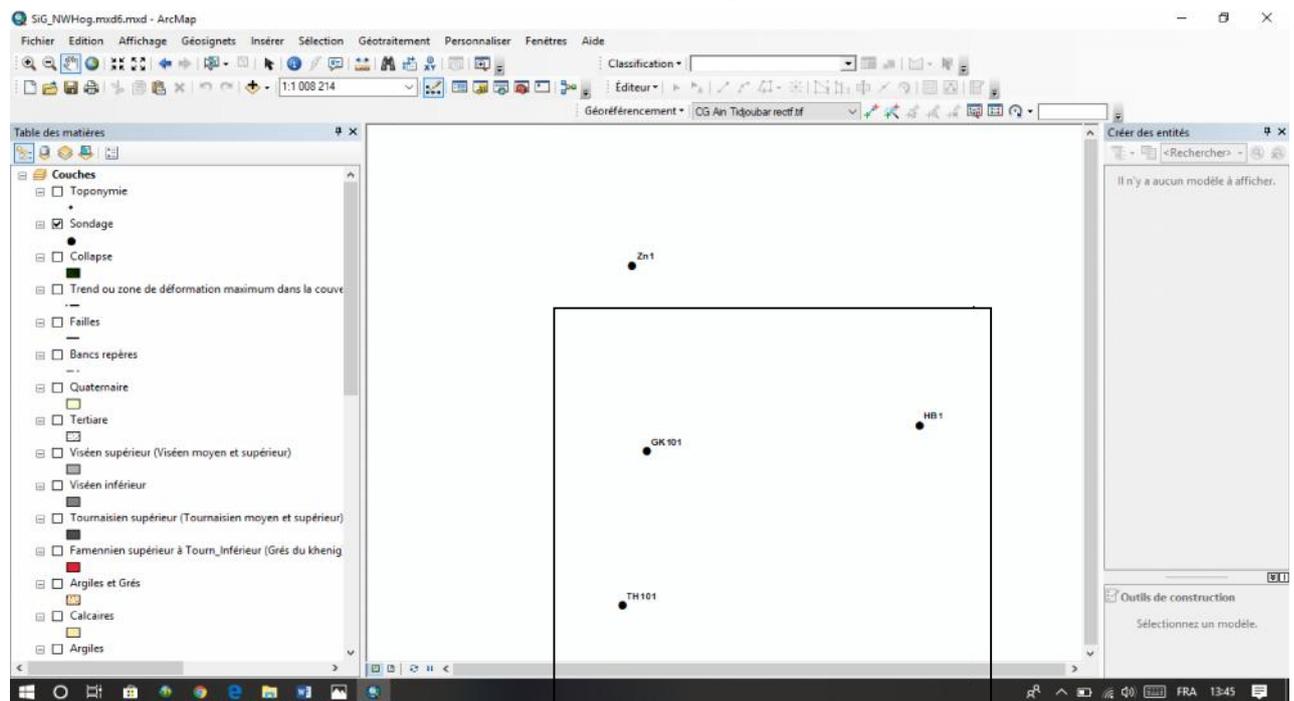
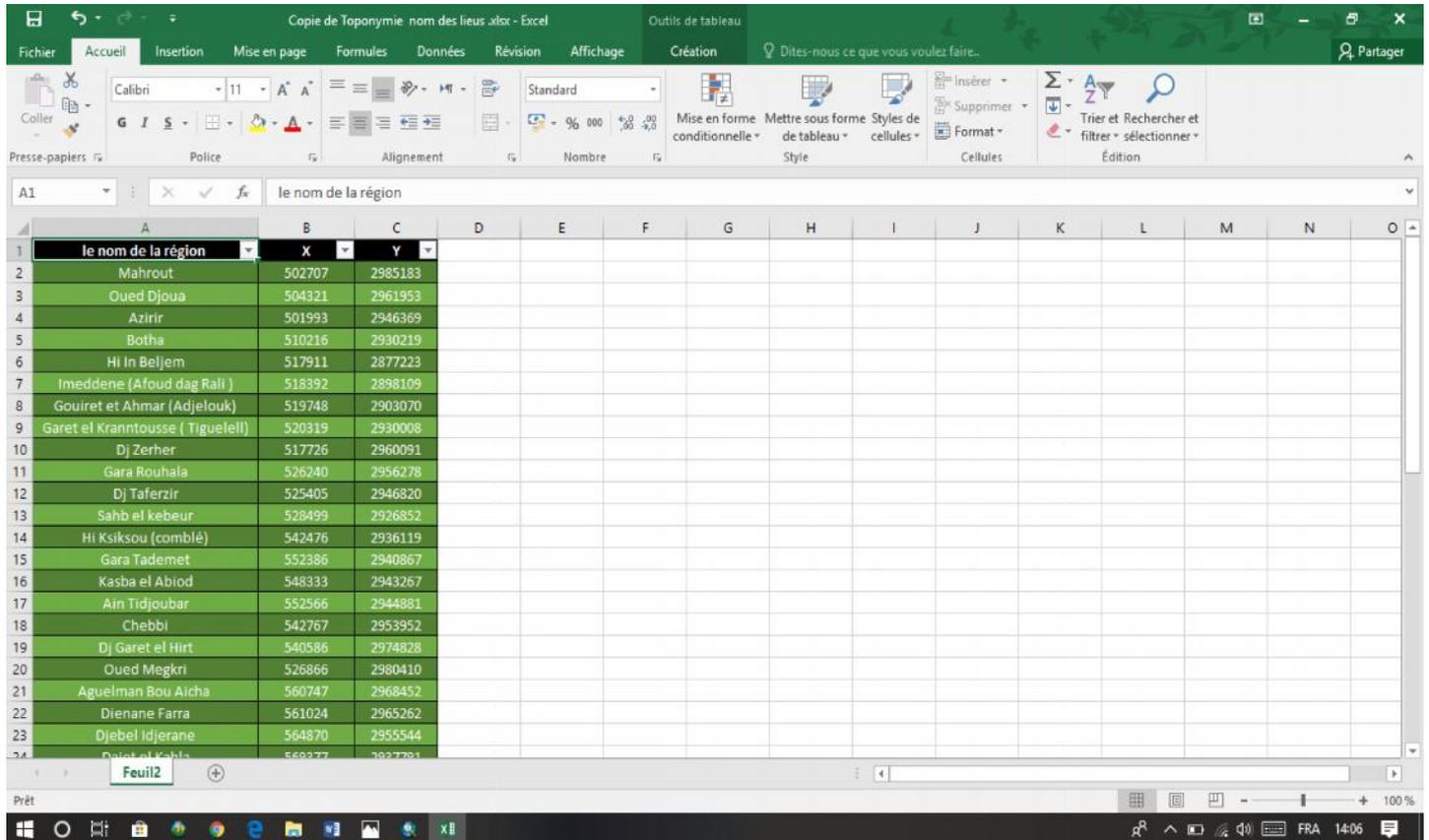


Fig. 38 : Vectorisation des formations ponctuelles (Sondage) de la feuille de AIN TIDJOUBAR.

CHAPITRE IV : SIG DE LA REGION D'ETUDE.

vectorisation linéaires (les mêmes étapes pour la création d'un fichier de forme sauf qu'il faudra changer le type d'entités en point). (Fig. 38) :

- La 2^{ème} partie de la vectorisation des Toponymie : dans cette partie il fallait d'abord



The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

le nom de la région	X	Y
Mahrout	502707	2985183
Oued Djoua	504321	2961953
Azirir	501993	2946369
Botha	510216	2930219
Hi In Beljem	517911	2877223
Imeddene (Afoud dag Rali)	518392	2898109
Gouiret et Ahmar (Adjelouk)	519748	2903070
Garet el Kranntousse (Tiguelell)	520319	2930008
Dj Zerher	517726	2960091
Gara Rouhala	526240	2956278
Dj Taferzir	525405	2946820
Sahb el kebeur	528499	2926852
Hi Ksiksou (comblé)	542476	2936119
Gara Tademet	552386	2940867
Kasba el Abiod	548333	2943267
Ain Tidjoubar	552566	2944881
Chebbl	542767	2953952
Dj Garet el Hirt	540586	2974828
Oued Megkri	526866	2980410
Aguelman Bou Aicha	560747	2968452
Dienane Farra	561024	2965262
Djebel Idjerane	564870	2955544
Djebel Kaha	569277	2927791

préparer un fichier Excel dans lequel sont mentionnées les positions géographiques des Toponymies de la région d'étude. (Fig.39) :

Fig. 39 : Exemple d'un fichier Excel des Toponymie de la région de AIN TIDJOUBAR.

- Après la préparation des fichiers Excel, il est intégré dans ArcMap, suivant les méthodes propres et finales, les points de localisation géographiques de chaque élément principal affichés en ArcMap.
- Ce dernier doit être exporté sur ArcGIS sous format shapefile, ce qui sera interprété par le logiciel SIG comme des entités vectorielles (points) représentant les Toponymies de la carte au format vecteur réalisée sur une base raster publiée. Dans le but de convertir le fichier Excel en fichier shapefile, il faut suivre les étapes ci-dessous :

Fichier ➡ Ajouter des données ➡ Ajouter des données XY... ➡
Choisir la table ➡ modifier la référence spatial en choisissant « système de coordonnées projeté ». ➡ ok.

CHAPITRE IV : SIG DE LA REGION D'ETUDE.

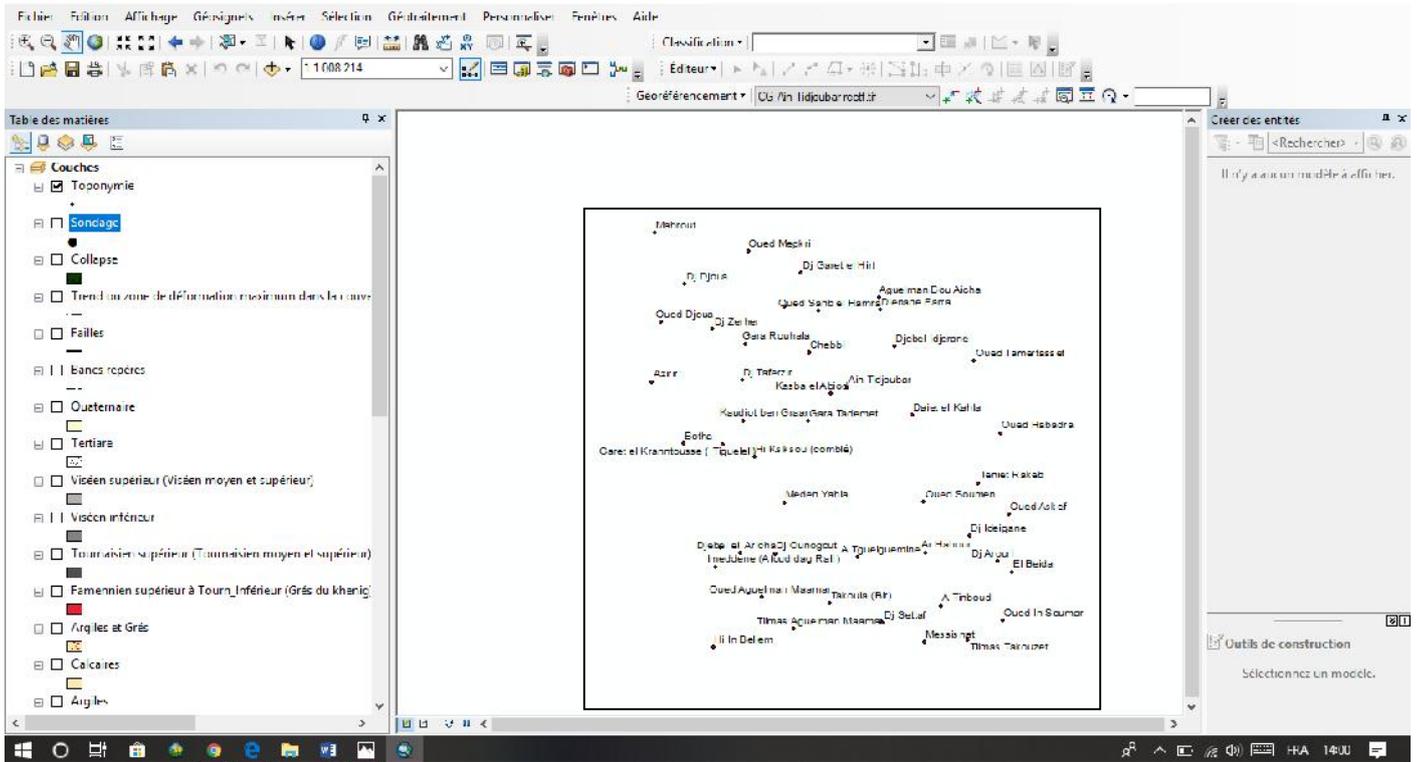


Fig. 40 : Vectorisation de Toponymie de la région AIN TIDJOUART.

II.4 Mise en page :

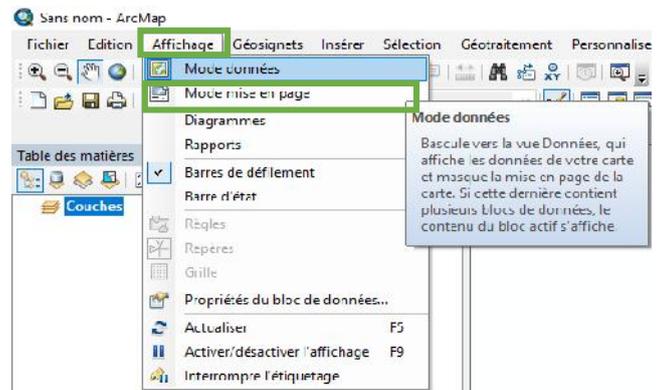
ArcGis 10 nous permet de créer efficacement des mises en page qui peuvent être présentées à d'autres utilisateurs via une image imprimée ou un document PDF.

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 :

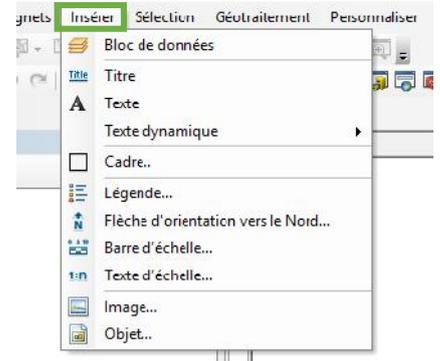
Affichage → Mode mise en page → ou en cliquant sur le symbole de mise en page.



CHAPITRE IV : SIG DE LA REGION D'ETUDE.

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

insérer  et 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.

Pour exporter : menu fichier  Exporter la carte.

CHAPITRE IV : SIG DE LA REGION D'ETUDE.

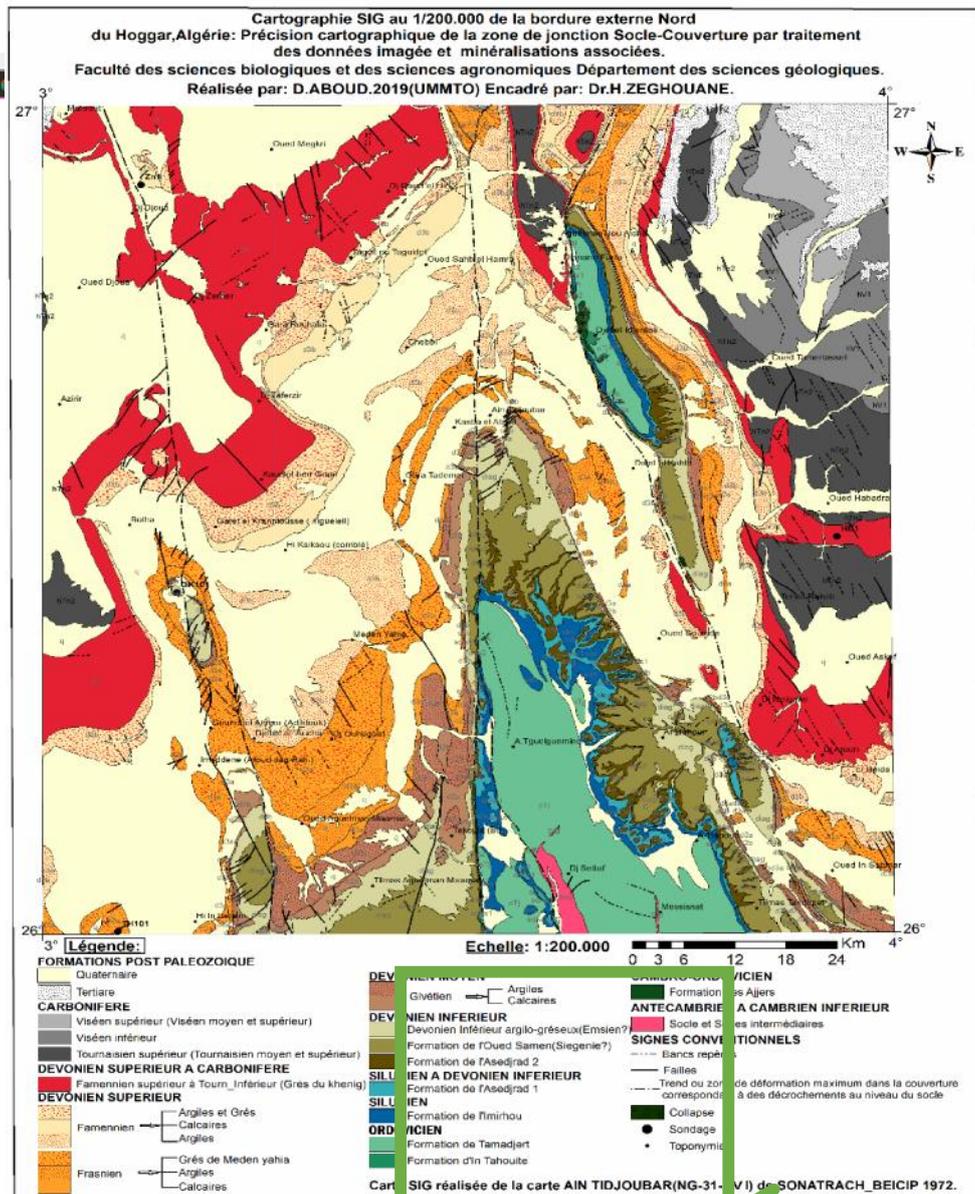
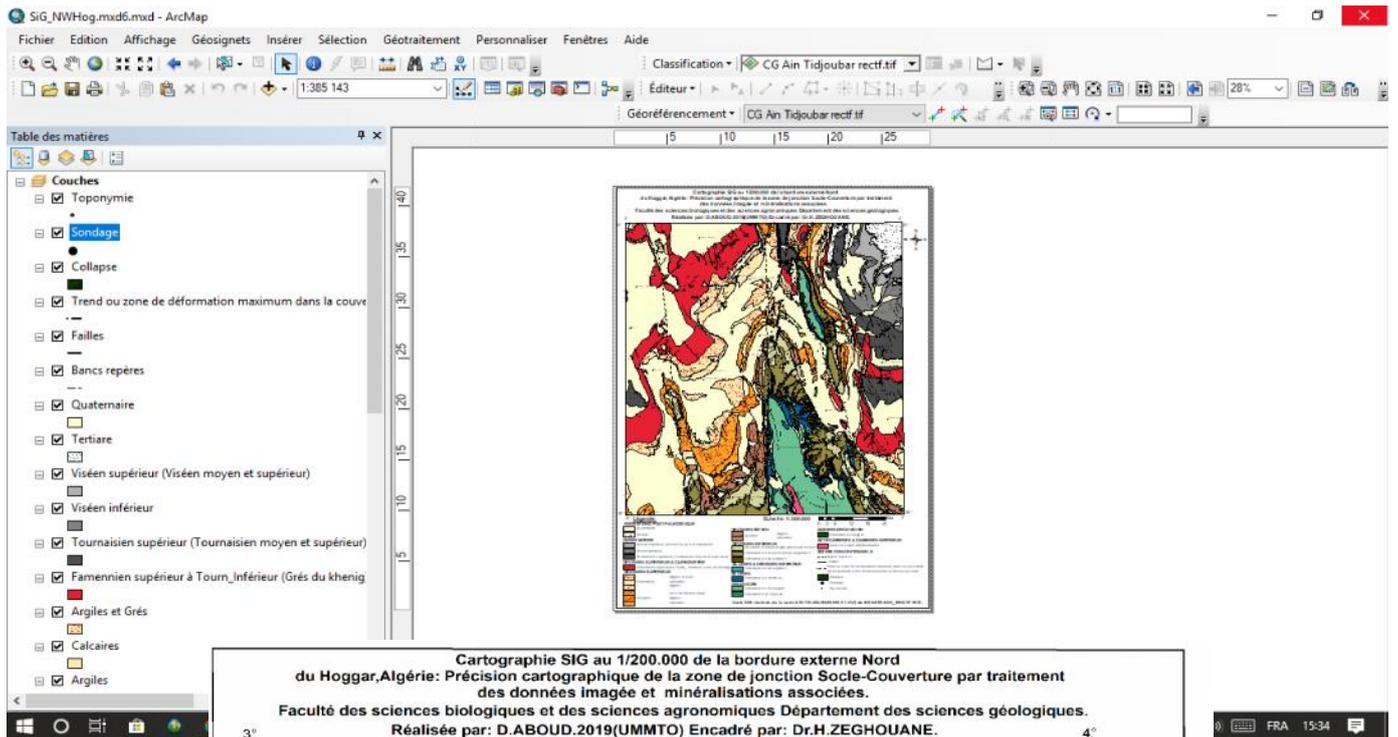


Fig. 41 : Carte exporté de la feuille de AIN TIDJOUBART.

I. INTRODUCTION

Les traitements des images satellites notamment en géologie, comme dans d'autres domaines (l'agriculture, la foresterie, la surveillance côtière, le mouvement des glaces océaniques, l'aménagement du territoire ...) ne cessent de se développer. Grâce aux nouvelles technologies, ces méthodes d'investigation gagnent de plus en plus en précision.

La cartographie géologique est d'une importance extrême pour le géologue, il est donc indispensable de maîtriser toutes les méthodologies et techniques modernes de confection de cartes géologiques. Ces dernières années, la cartographie assistée par ordinateur, notamment la télédétection et le traitement des images satellites 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 cartographier en zones arides et désertiques où les affleurements sont souvent inaccessibles compliquant le travail cartographique classique.

Dans un tel contexte géographique, comme c'est le cas de notre zone d'étude, la bordure extrême de nord du Hoggar, le présent travail s'inscrit en utilisant les nouvelles techniques de cartographie dans le sud, ce qui est relativement récent, notamment l'imagerie satellite et la cartographie sous SIG. Le but étant de contribuer à la reconnaissance géologique dans le Hoggar par l'évaluation de l'apport de la télédétection multi-spectrale à haute résolution et particulièrement l'utilisation des images Landsat8 OLI/TIRS C1 Level-1 pour représenter la limite socle (précambrien) couverture (paléozoïque) par rapport aux résultats des études classiques. Et la mise en place d'une base de données, sous système d'information géographique (SIG) permettant d'individualiser et de croiser des informations géologiques variées.

II. NOTIONS SUR LA TELEDETECTION

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 ...etc. Alors de quoi s'agit-t-il ?

1. Définition De La Télédétection :

Traduit de l'anglais « remote sensing », Télé signifie « à distance » et détection veut dire « découvrir » ou « déceler ». Le néologisme « remote sensing » fait son apparition aux Etats-Unis dans les années soixante, lorsque des capteurs nouveaux viennent compléter la traditionnelle photographie aérienne. Le terme de télédétection a été introduit officiellement dans la langue française en 1973 et sa définition officielle est la suivante : « Ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci. » (Commission interministérielle de terminologie de la télédétection aérospatiale, 1988).

Ces techniques se différenciant les unes des autres par le type de vecteur (avion, satellite ou navette spatiale), le mode d'acquisition (analogique ou numérique, actif ou passif), la résolution spatiale, la gamme spectrale utilisée et la surface observée (Lillsand et Kiefer, 1994).

Cette définition très vaste, la télédétection peut se pratiquer de la surface de la Terre vers l'atmosphère ou vers l'espace, comme de l'espace vers la Terre. Mais ce travail concerne plus précisément les techniques de la télédétection aérospatiale, qui a pour but l'étude de la surface de la Terre à partir des satellites, en utilisant les propriétés du rayonnement électromagnétique émis, réfléchis ou diffusés par les corps ou surfaces que l'on étudie. Une définition plus précise, et pour nous plus opérationnelle, de la télédétection est la suivante : « La télédétection est l'ensemble des techniques qui permettent, par l'acquisition d'images, d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre, sans contact direct avec celle-ci. La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et analyser l'information qu'il représente, pour ensuite mettre en application cette information. ».

1.1. Quelques dates historiques (cours de D.M. ZEGHOUANE ; 2019).

- ◆ **1783** : Première ascension en ballon par les frères Montgolfier
- ◆ **1839** : Invention de la photographie (NIEPCE, DAGUERRE).
- ◆ **1844** : Premières photos aériennes réalisées depuis un ballon dit NADAR (G.F. Tournachon).
- ◆ **1856** : La première fois qu'un appareil photographique a été installé à bord d'un ballon. Le même NADAR permet la prise de photographies aériennes verticales.
- ◆ **1858-1898** : LAUSSEDAT expérimente l'utilisation des photos aériennes en cartographie.

CHAPITER V : TELEDETECTION.

- ◆ **1909** : Premières photographies depuis un avion (WRIGHT).
- ◆ **1914-1918** : Utilisation intense des photos aériennes comme moyen de reconnaissance militaire.
- ◆ **1919** : Mise au point du premier restituteur stéréoscopique utilisé en topographie.
- ◆ **1919-1939** : utilisation des photos aériennes dans l'exploration pétrolière (Moyen-Orient).
- ◆ **1919-1945** : Développement généralisé de la photographie aérienne.
- ◆ **1940** : Apparition des premiers radars en Grande-Bretagne (bataille d'Angleterre).
- ◆ **1945- 1957** : Développement de la photographie aérienne comme outil de cartographie et de surveillance de l'environnement. Perfectionnement des appareils photos et des émulsions IR.
- ◆ **1957** : Lancement de Spoutnik 1, premier satellite. Entrée de la télédétection dans l'ère moderne.
- ◆ **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 muni de caméras de télévision pour le suivi des masses nuageuses.
- ◆ **1964-1969** : Embarquement d'appareils photographiques à bord d'engins spatiaux habités.
- ◆ **1972** : Lancement d'ERTS (USA), rebaptisé Landsat 1, premier satellite spécialisé de télédétection des ressources terrestres.
- ◆ **1974-1978** : 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 de capteurs et 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) par la France, Belgique et Suède. Début de l'exploitation commerciale des images (Société Spotimage).
- ◆ **1991** : Lancement du satellite européen ERS-1, équipé de plusieurs capteurs passifs et actifs pour l'étude de l'environnement global de la planète.
- ◆ **1999** : Lancement du satellite IKONOS par la société privée Space Imaging Corp. Offrant des images à très haute résolution spatiale (1m).
- ◆ **2007** : lancement du satellite géostationnaire AlSat 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.

1.2. 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

CHAPITER V : TELEDETICTION.

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.

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

2. Principe De Base De La Télédétection :

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

- **La cible** : étant la portion de la surface terrestre observée par le satellite, et dont la taille peut varier de quelques dizaines à plusieurs milliers de kilomètres carrés.
- **La source d'énergie** : l'élément qui "éclaire" la cible d'une onde électromagnétique (flux de photons).

Il s'agit généralement du soleil, ou de l'énergie solaire stockée et réémise par la cible (considérée - dans ce cas- comme source d'énergie) sous forme de chaleur (infrarouge thermique). Dans les deux cas, le satellite ne fait que capter le rayonnement réfléchi, on parle de télédétection passive. Toutefois, la technologie RADAR nécessite qu'un émetteur soit

CHAPITER V : TELEDETECTION.

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

- **Le vecteur** (ou plate-forme) : de télédétection mesure l'énergie (rayonnement électromagnétique) réfléchi par la cible, puis un émetteur renvoie l'image sur Terre vers des systèmes de collecte et analyse de données. Le vecteur peut-être un satellite ou un avion, dominant la cible de quelques centaines de mètres à 36 000 kilomètres. En fonction de la distance au sol on distingue différents types de vecteurs :
 - Vecteurs opérant à quelques mètres du sol : grues, véhicules munis de radiomètres ou appareils photographiques ;
 - Vecteurs opérant entre la dizaine de mètres et la dizaine de kilomètres : avion, hélicoptère, ballon.
 - Vecteurs opérant entre la dizaine et la centaine de km : ballons stratosphériques.
 - Vecteurs opérant entre 200km et 36 000 km : satellites.

Les étapes qui couvrent le processus de la télédétection et qui nouent les trois éléments fondamentaux -que sont la source d'énergie, le vecteur et la cible- sont les suivantes (Fig. 42)

- Emission d'un rayonnement électromagnétique à partir d'une source, soit naturelle (le soleil), soit artificiel (en radar) « 1 ».
- Interaction avec la cible et la réflexion du rayonnement incident « 2 ».
- Réception, enregistrement du rayonnement réfléchi et émission de données vers des stations au sol « 3 ».
- Traitement des données par des moyens électroniques « 4 ».
- Interprétation et application des résultats «5 ».

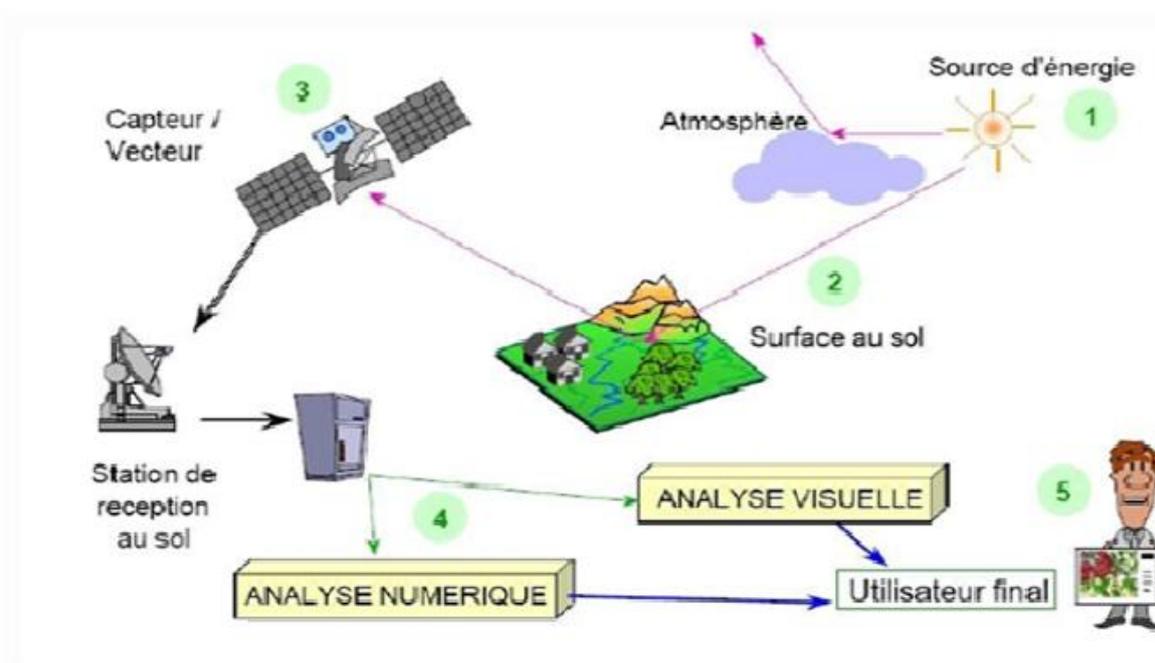


Fig. 42 : le système de télédétection (E. Chuvico, 1990).

3. 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.

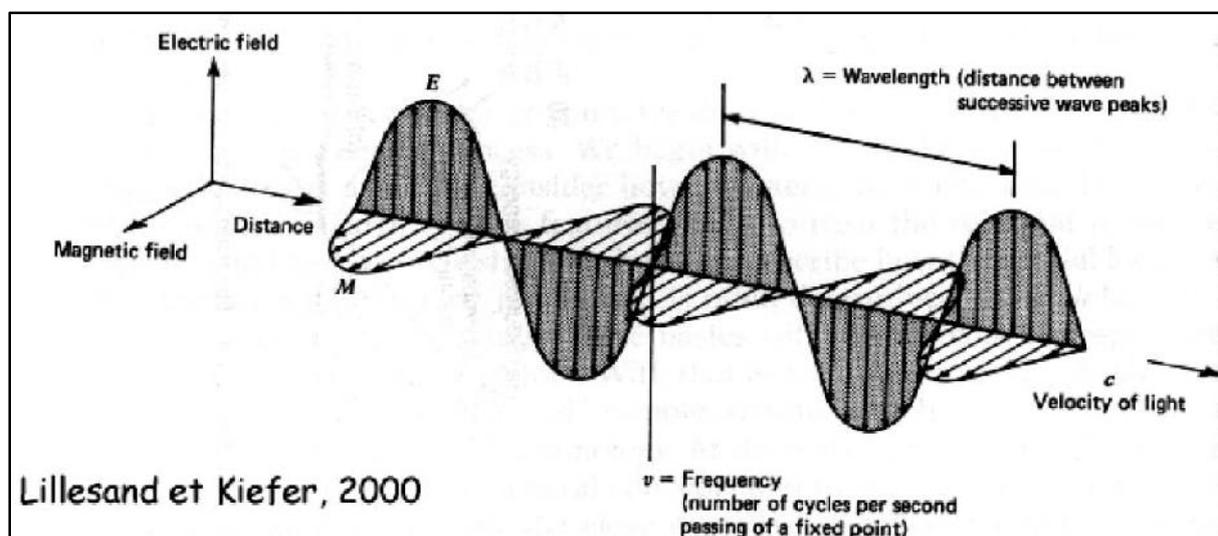
➤ Le rayonnement électromagnétique : (REM)

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 (fig. 43). Elle se caractérise par :

- ✓ **Période T** : le temps au bout duquel le champ électrique ou magnétique effectue un cycle : ($T = 1/f$).
- ✓ **La fréquence** : (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** : (m, μ m) 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 $c = \lambda \cdot f = \lambda / T$ { $c(\text{ms}^{-1}) = (\text{m}) (\text{Hz}) = \lambda / T$ }.

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



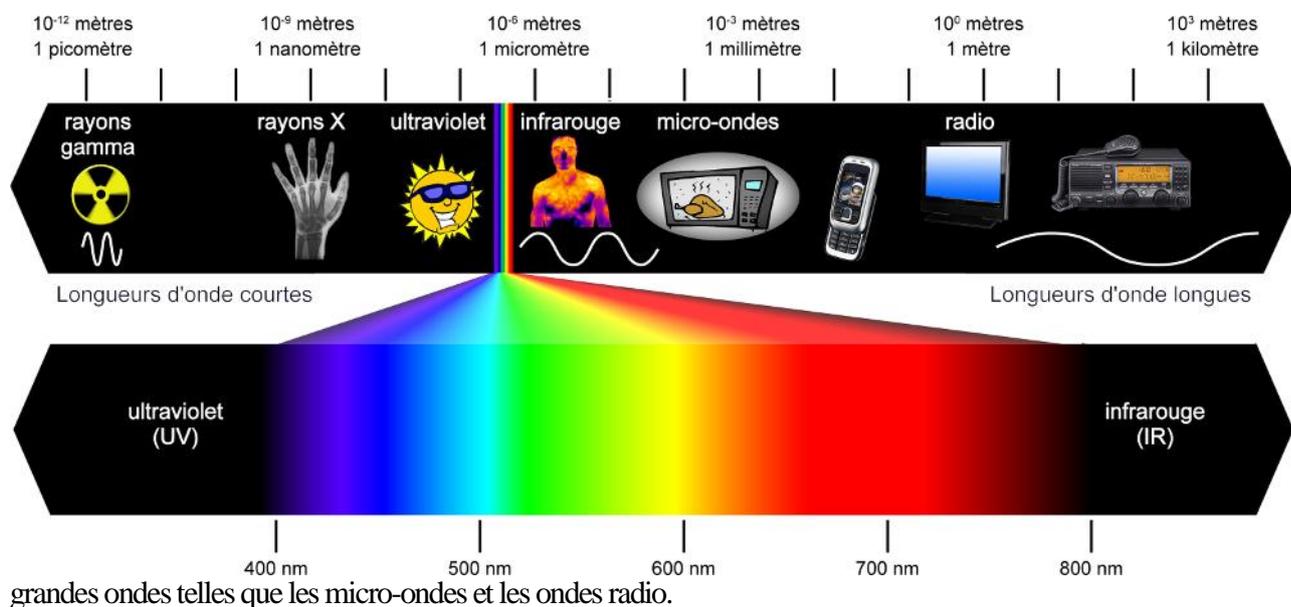
CHAPITER V : TELEDETECTION.

des particules appelées photons.

Fig. 43 : L'onde électromagnétique simple (monochromatique, plane).

➤ Le Spectre Electromagnétique :

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.

Fig. 44 : Spectre du rayonnement électromagnétique.

La télédétection utilise plusieurs régions (ou morceaux) de ce spectre électromagnétique.

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

Violet	=	0.400 - 0.446 μm
Bleu	=	0.446 - 0.500 μm
Vert	=	0.500 - 0.578 μm
Jaune	=	0.578 - 0.592 μm
Orange	=	0.592 - 0.620 μm
Rouge	=	

CHAPITER V : TELEDETECTION.

= 0.620-0.700 μ m

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

4. 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

C - interaction avec la cible

D - enregistrement de l'énergie par le capteur

E - transmission, réception et traitement

F - interprétation et analyse

G - application

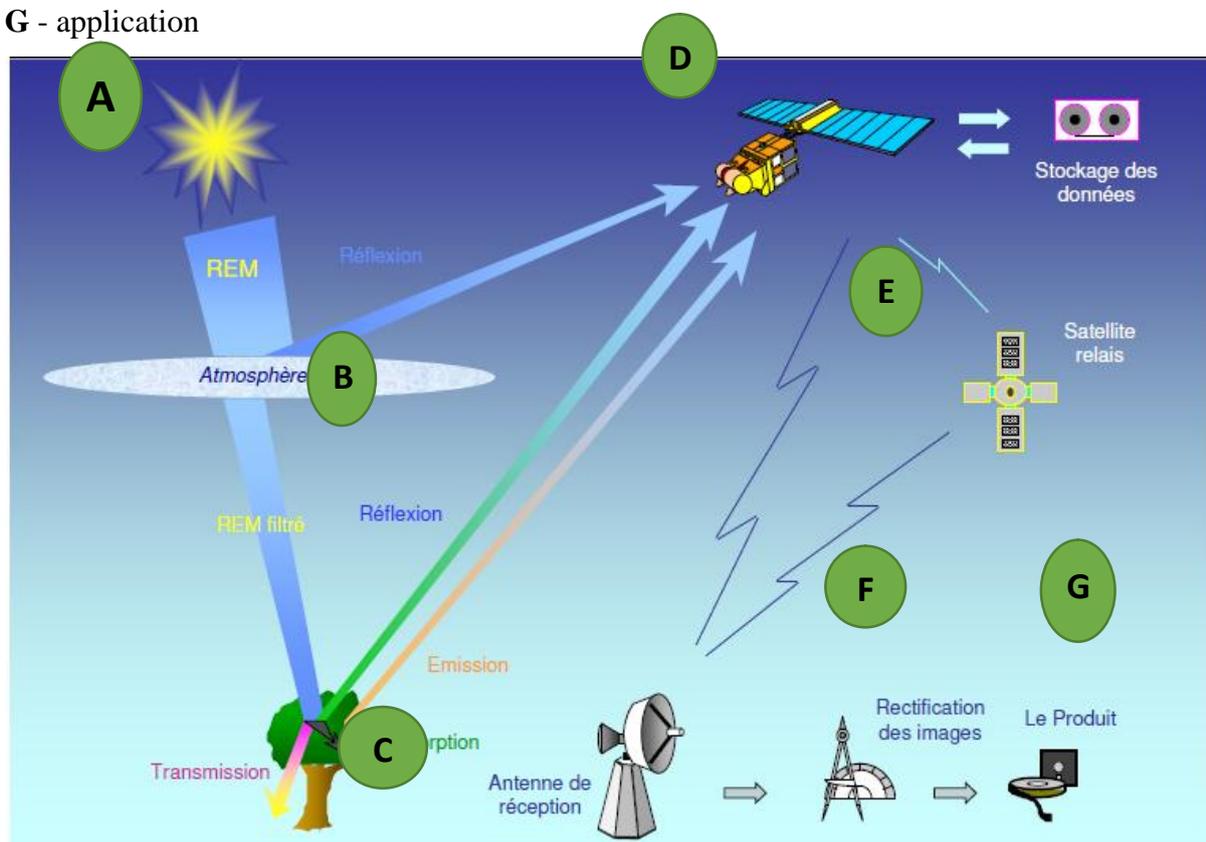


Fig. 45 : les sept étape clé de la télédétection.

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 type 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**.

- ❖ **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 a 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.

Tableaux 3 : L'absorption du REM à divers effets.

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

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

Tableaux 4 : représenté les bandes spectrales et leurs longueur d'onde.

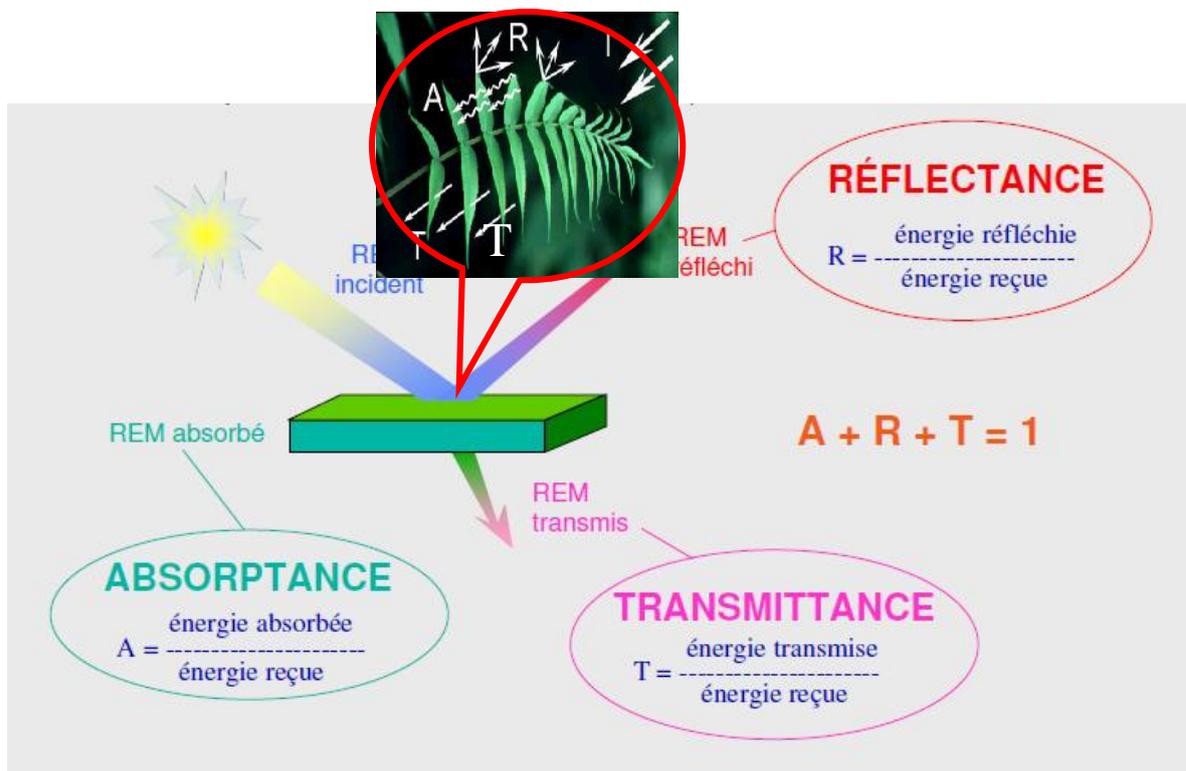
3) Etape C : Interaction Rem – Cible

Quand elle atteint la cible, l'énergie interagit avec la surface de celle-ci. La nature de cette interaction dépend des caractéristiques du rayonnement et des propriétés de la surface de la cible. Trois types d'interactions sont observés : transmission, réflexion, absorption.

L'absorption (A) : se produit lorsque l'énergie du REM est absorbée par la cible.

La transmission (T) : lorsque l'énergie du rayonnement passe à travers la cible.

La réflexion (R) : lorsque la cible redirige l'énergie du rayonnement.



CHAPITER V : TELEDETECTION.

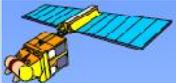
Fig. 46 : Interactions onde Electromagnétique sur une surface naturelle.

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 réfléchié par la surface de l'objet.

➤ Les vecteurs :

En générale on a : les avions, ballons, navette spatiale et les 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

Tableaux 5 : les différents types des vecteurs.

➤ Les captures : (les satellites)

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

1) 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.

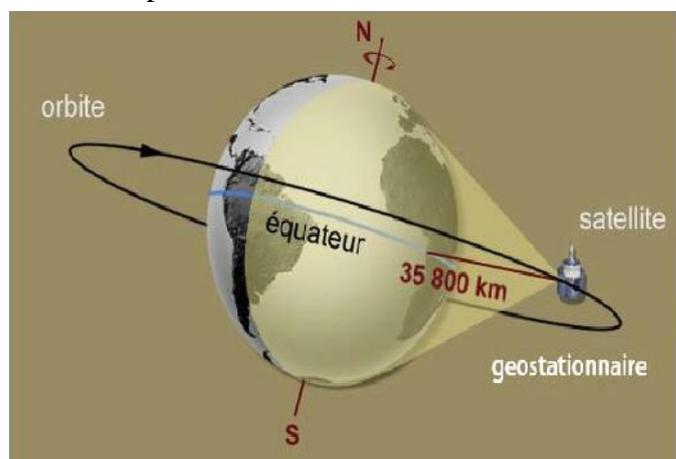
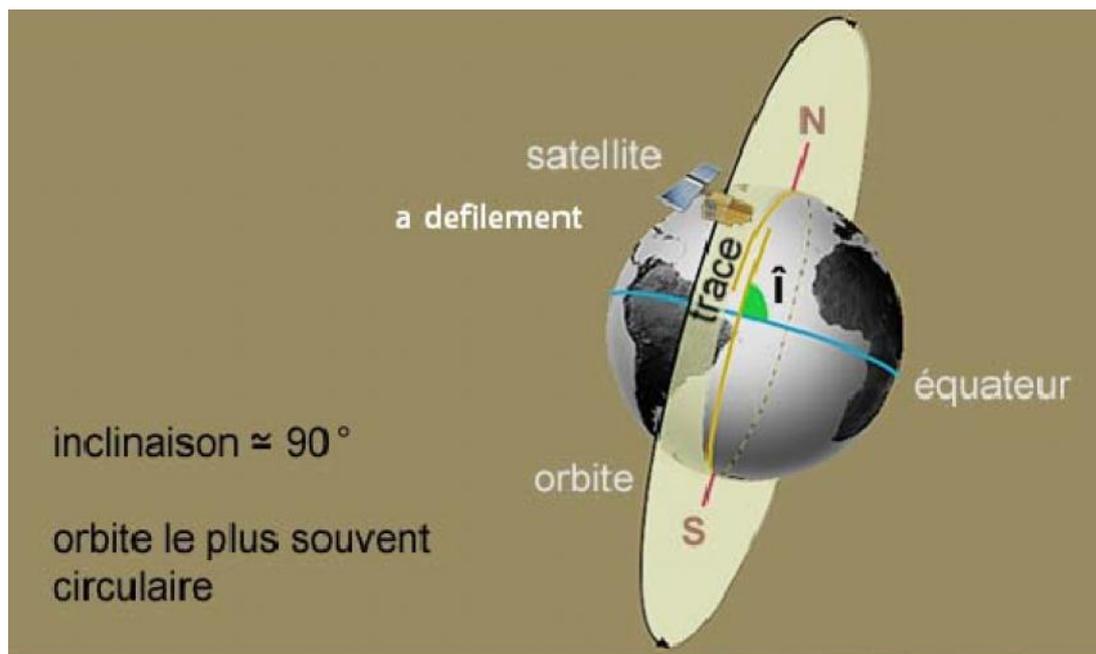


Fig. 47 : un satellite géostationnaire

2) 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 7,77 km/s et sa périodicité est de 1h30, mais la durée de vie du satellite est de quelques mois.

Fig. 48 : Satellites Héliosynchrone.

- 3) **Satellites A Orbite Circulaire Quelconque** : ils offrent un grand avantage ; celui de passer à la même altitude au-dessus d'un point de la terre mais à des heures différentes. Orbite circulaire : ellipse à excentricité nulle. Exemple : Les satellites **TIROS**, **NOAA** et **ERS-1**.

- **Résolution des captures** : une capture caractérise par quatre types de résolution :
- a- **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.
 - b- **Résolution Spatiale** (combien capter : dimensions= scanner) : 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.

CHAPITER V : TELEDETECTION.

- c- 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.
- d- 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 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.
- Corrections des effets perturbateurs atmosphériques.
- Corrections des effets directionnels.

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.).

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.).

III. LES DONNEES IMAGEES DU SATELLITE "LANDSAT"

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

CHAPITER V : TELEDETECTION.

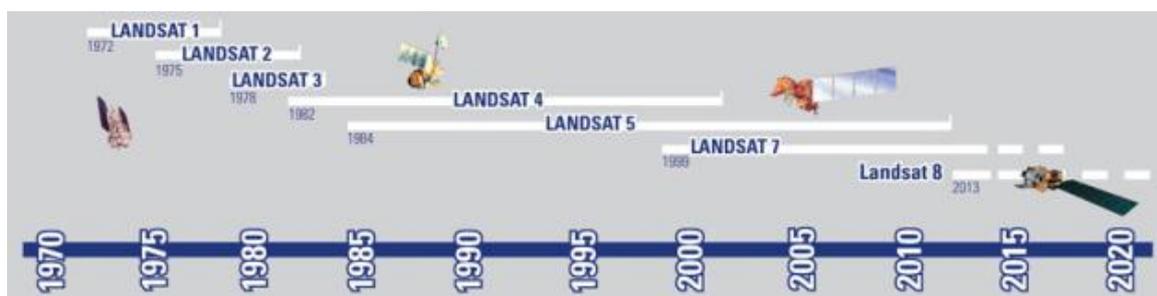
jour). Il parcourt donc une distance de 643.000km/jour. En 16 jours ce satellite aurait couvert toute la Terre et il aurait effectué 244 rotations et parcouru 8.776.000km.

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 Principales Générations Du Satellite Landsat

Jusqu'à présent 8 générations ont été lancées, 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 décembre 2020.

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) :

Fig. 49 : Principaux types de satellites Landsat.

Les principales générations des Landsat :

A -Première génération : Il représente la première génération permis de fournir des images à 4 bandes spectrales avec une résolution spatiale de 80m (Taille du pixel). Il a été baptisé le MSS (Multi Spectral Scanner)

LANDSAT 1 : 23 juillet 1972.

LANDSAT 2 : 22 janvier 1975.

LANDSAT 3 : 5 mars 1978.

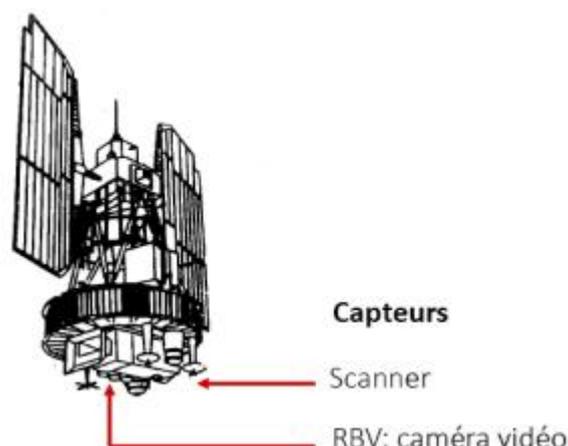
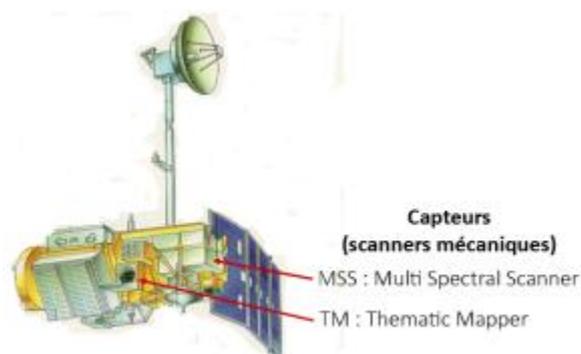


Fig. 50 : Première génération.

Seconde génération



CHAPITER V : TELEDETICTION.

LANDSAT 4 : 16 juillet 1982 appelé aussi Landsat ETM 7 bandes spectrales de 30m de pixel. Thermal infrared visible et reflected infrared.



LANDSAT 5 : 1 mars 1984 mort-né, ses images n'ont servi que pendant très peu de temps.

LANDSAT 6 : 5 octobre 1993 et écrasé en mer lors du lancement.

Fig. 51 : Seconde Génération

LANDSAT 7 : lancé avec succès le 15 Avril 1999. Tous deux équipés de nouveaux capteurs : le Thematic Mapper (TM) et l'Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+).

CHAPITER V : TELEDETECTION.

Les images TM sont beaucoup plus précises que les MSS grâce à leur résolution spatiale, spectrale et radiométrique, mais aussi au nombre de bandes plus élevé (tableau 1). L'instrument ETM+ de Landsat 7 dispose de 8 bandes de fréquences.

Tableau 6 : Caractéristiques et applications des bandes spectrales du capteur TM.

Bandes	Domaine Spectral (μm)	Résolution	Application
TM 1	0,45 - 0,52 (bleu)	30 m	Discrimination entre le sol et la végétation, bathymétrie /cartographie côtière; identification des traits culturels et urbains
TM 2	0,52 - 0,60 (vert)	30 m	Cartographie de la végétation verte (mesure le sommet de réflectance); identification des traits culturels et urbains
TM 3	0,63 - 0,69 (rouge)	30 m	Discrimination entre les espèces de plantes à feuilles ou sans feuilles; (absorption de chlorophylle); identification des traits culturels et urbains
TM 4	0,76 - 0,90 (proche IR)	30 m	Identification des types de végétation et de plantes; santé et contenu de la masse biologique; délimitation des étendues d'eau; humidité dans le sol
TM 5	1,55 - 1,75 (IR de courte longueur d'onde)	30 m	Sensible à l'humidité dans le sol et les plantes; discrimination entre la neige et les nuages
TM 6	10,4 - 12,5 (IR thermique)	120 m	Discrimination du stress de la végétation et de l'humidité dans le sol relié au rayonnement thermique; cartographie thermique
TM 7	2,08 - 2,35 (IR de courte longueur d'onde)	30 m	Discrimination entre les minéraux et les types de roches; sensible au taux d'humidité dans la végétation

CHAPITER V : TELEDETECTION.

Bandes de fréquence de l'instrument ETM+	Bandes spectrales	Résolution spatiale	Longueur d'onde
Bande 1	Bleu (visible)	30m	0,45-0,5 µm
Bande 2	Vert (visible)	30m	0,52-0,6 µm
Bande 3	Rouge (visible)	30m	0,63-0,69 µm
Bande 4	IR proche	30m	0,75-0,9 µm
Bande 5	IR moyen	30m	1,5-1,7 µm
Bande 6/1	IR Thermique/ lointain	60m	10,4-12,5 µm
Bande 6/2		120m	
Bande 7	IR moyen	30m	2,08-2,35 µm
Bande 8	Panchromatique (vert-rouge-IR)	15m	520-900nm

Tableau 7 : les caractères des bandes Landsat 7 ETM+

LANDSAT 8 : Le satellite Landsat-8/LDCM (Landsat Data Continuity Mission), qui a été lancé le 11 février 2013 par une fusée Atlas V 401, est entièrement différent de la génération précédente. Sa masse au lancement est de 2 623 kg et il emporte 386 kg d'hydrazine.

La capacité d'enregistrement des données de LANDSAT-8 est insuffisante pour permettre au satellite d'observer toutes les terres émergées à chaque passage.

◆ 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 le 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 12, 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.

CHAPITER V : TELEDETECTION.

1- Les bandes spectrales de l'instrument OLI

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

Bande spectrale	Longueur d'onde	Résolution
Bande 1 - Aérosols	0,433 - 0,453 μm	30 m
Bande 2 - Bleu	0,450 - 0,515 μm	30 m
Bande 3 - Vert	0,525 - 0,600 μm	30 m
Bande 4 - Rouge	0,630 - 0,680 μm	30 m
Bande 5 - Infrarouge proche	0,845 - 0,885 μm	30 m
Bande 6 - Infrarouge moyen 1	1,560 - 1,660 μm	30 m
Bande 7 - Infrarouge moyen 2	2,100 - 2,300 μm	30 m
Bande 8 - Panchromatique	0,500 - 0,680 μm	15m
Bande 9 - Cirrus	1,360 - 1,390 μm	30 m

Tableau 8 : Les bandes spectrales de l'instrument OLI.

2- Les bandes spectrales de l'instrument TIRS (Thermal Infrared Sensor)

L'instrument TIRS est un radiomètre multi-spectral infrarouge à deux canaux qui fournit des données dans des longueurs d'ondes utilisées par les anciens satellites Landsat mais non repris dans l'instrument OLI. L'objectif est d'assurer la continuité des mesures effectuées par le passé. Ces bandes sont également appelées "Infrarouge thermique".

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

Tableau 9 : Bandes spectrales de l'instrument TIRS.

3- La bande QA (Quality Assessment)

Les données obtenues depuis l'instrument OLI de Landsat 8 contiennent une bande QA pour Quality Assessment (évaluation de la qualité). Chaque pixel de la bande QA contient une valeur décimale qui, transformée en nombre binaire à 16 bits, permet de traduire un certain nombre d'états relatifs à la surface du sol, à l'atmosphère et au capteur et pouvant affecter l'utilisabilité du pixel considéré. Par exemple, les bits 10 et 11 qui traduisent la présence de neige au sol peuvent prendre 4 valeurs (00, 01, 10 et 11) correspondant au fait que l'algorithme d'analyse n'a pas pu déterminer l'état de la surface (00) ou bien en a une confiance limitée (01), une confiance moyenne (10) ou une confiance élevée (11).

IV. TRAITEMENT ET ANALYSE DES IMAGES :

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 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.

a) Prétraitements des images :

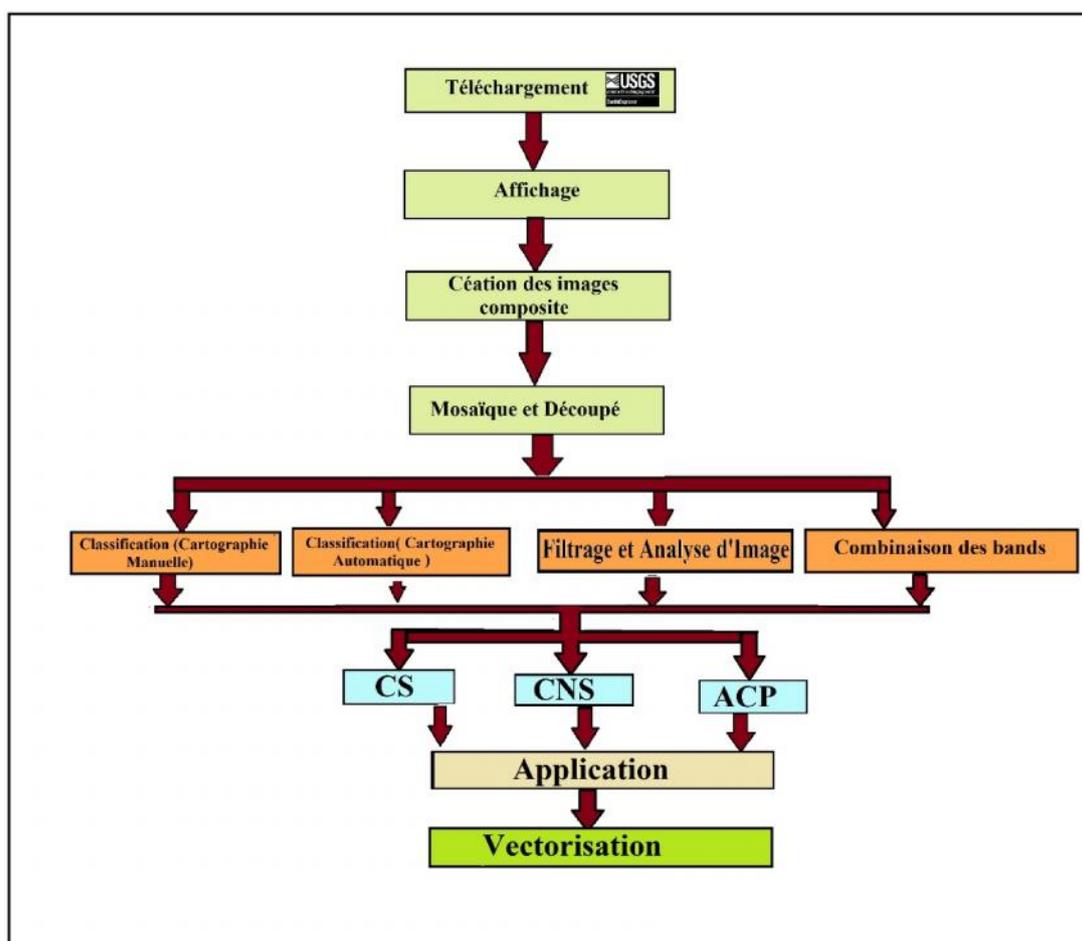
Le prétraitement d'image est une étape importante dans la télédétection, il vise à obtenir des bonnes valeurs de l'énergie réfléchie ou émise sur un point quelconque de la surface terrestre.

Les traitements les plus fréquents sont :

- ◆ Corrections géométriques.
- ◆ Corrections radiométriques.
- ◆ Corrections atmosphériques.

b) Traitement d'image :

Pour faire le traitement des image satellites il faut d'abord passer par plusieurs étapes qui sont



résumées dans le schéma suivant :

Fig. 52 : les étapes de traitement des images satellites.

CHAPITRE V : TELEDETECTION.

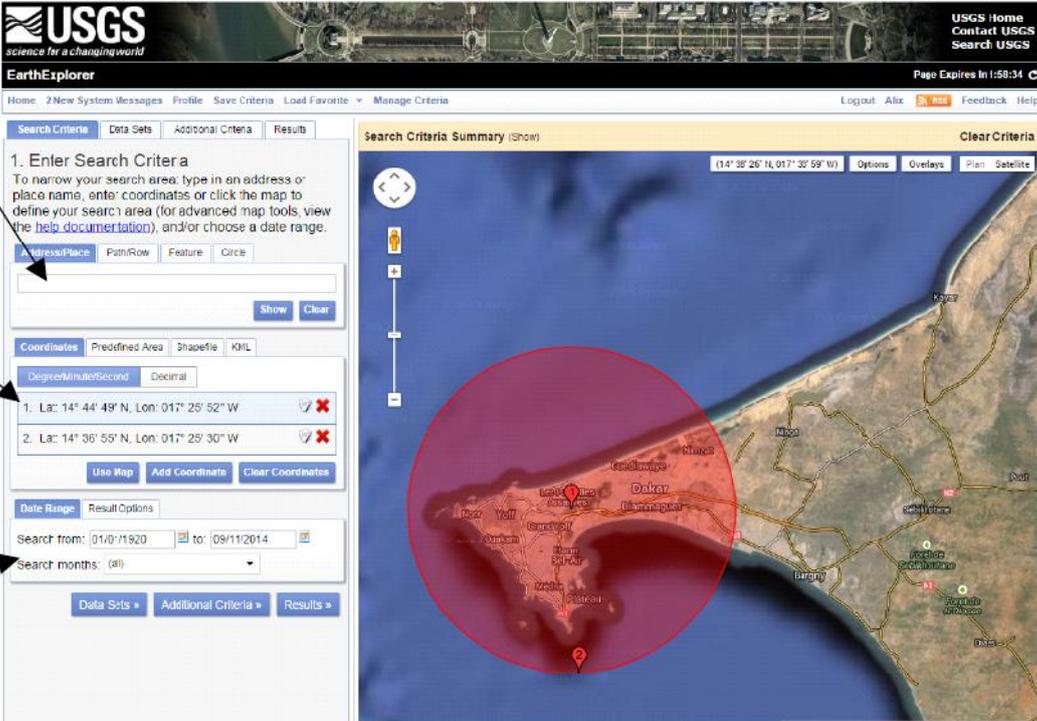
1) Téléchargement :

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.

On peut, également faire une recherche par adresse

Lorsque l'on a dessiné un polygone, ou un cercle, les coordonnées s'inscrivent ici....

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



The screenshot shows the USGS EarthExplorer interface. On the left, there are search criteria sections: '1. Enter Search Criteria' with an 'Address/Place' field, 'Coordinates' with 'Degree/Minute/Second' and 'Decimal' options, and 'Date Range' with 'Search from' and 'Search months' fields. On the right, a 'Search Criteria Summary' section shows a map with a red circular search area over a coastal region. The map includes a scale bar and a 'Clear Criteria' button.

<http://glovis.usgs.gov/>. <http://eoedu.belspo.be/fr/satellites/landsat.htm>.

Fig. 53 : comment télécharger les image satellites à partir de site Web de l'USGS.

CHAPITER V : TELEDETICTION.

Remarque : les données imageries télécharger sous forme dossier Zipper,

alors en va Dé-zipper et stocker ces données dans un workspace (Un dossier de travail). Une image Landsat 8 = 14 fichiers).

Fig. 54 : les 14 fichiers d'un image landsat8.

2) Affichage d'une image Landsat sous ArcGIS 10.2 :

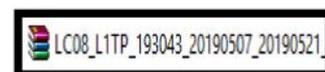
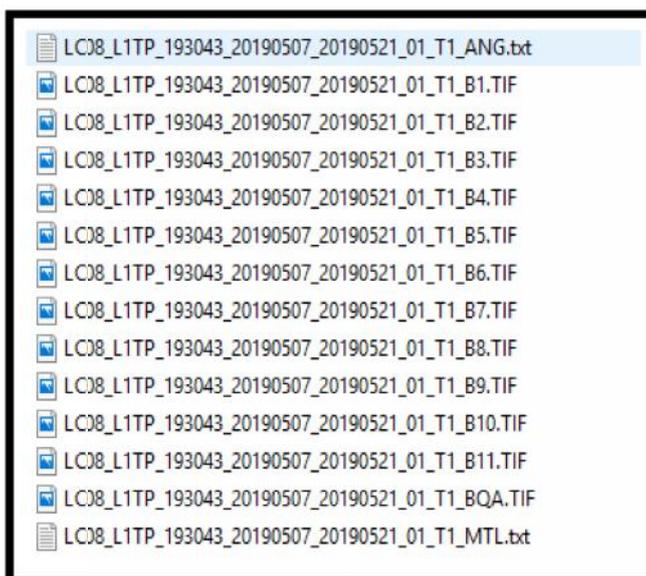
Une image satellite du type "Landsat" est une image multi-spectrales, composée donc de plusieurs bandes spectrales qu'on appelle aussi "Canaux". Les données imagées LandSat8 sont composées de 9 bandes : 10, 20, 30, 40, 50, 61, 62, 70 et 80. Chaque fichier image possède une résolution spectrale spécifique.

Pour affichée l'image landsat8 sur ArcGIS 10.2 on va passer par les étapes suivantes :

1- Dans le disque D workspace (un travail) et l'attribuez

2- Chercher la Landsat déjà est normalement au (zippée : un seul la et coller la dans le workspace.

3- Dézipper cette donnée imagée workspace. Vous fichiers images extension «.Tif » et fichier. Met (géoréférencement de l'image).



ou E Créer un dossier de un nom.

donnée image téléchargée qui format winzipp fichier), copier dossier de votre

(décompresser) dans votre devez avoir 9 ayant une en plus un autre

CHAPITRE V : TELEDETECTION.

4- Démarrer ArcMap et ArcCatalog et connectez-vous à votre workspace.

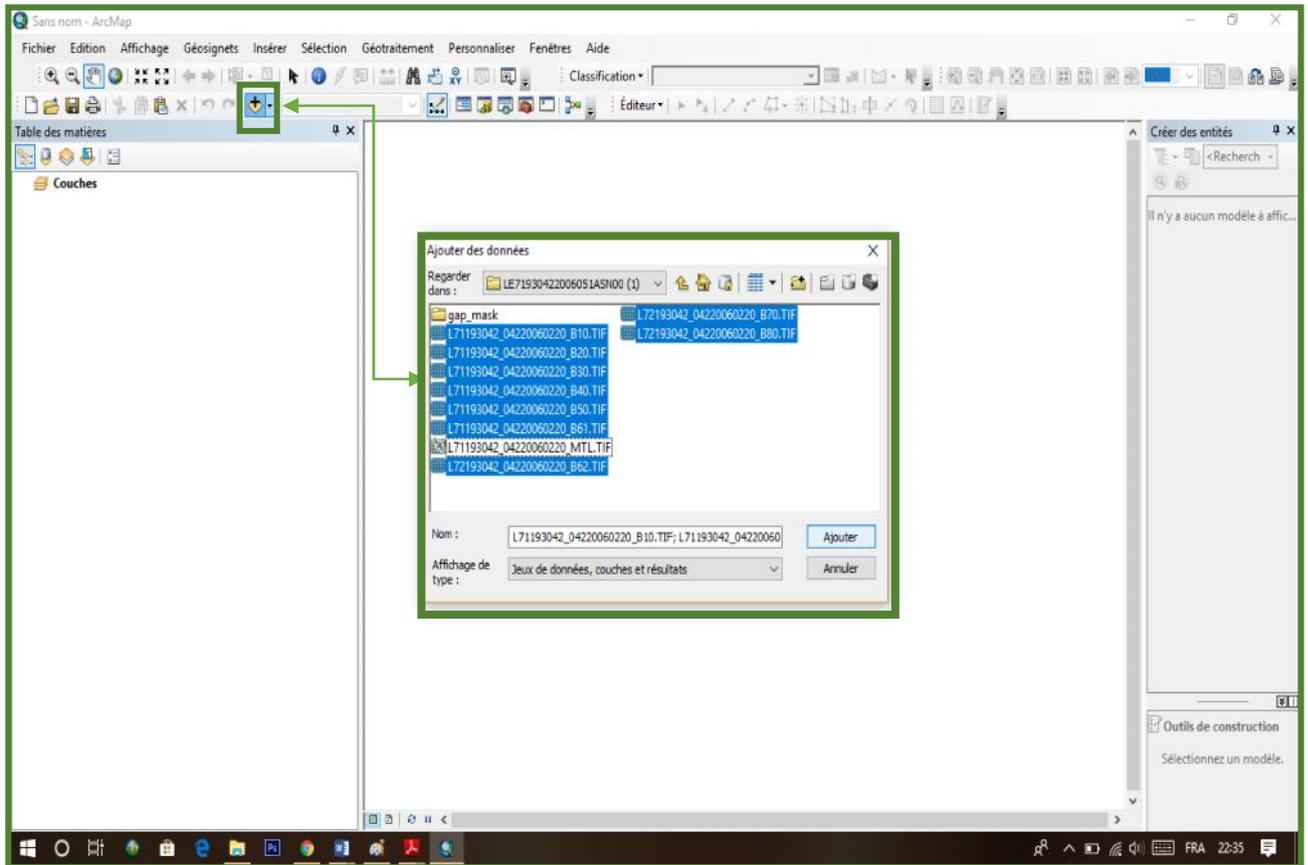


Fig. 55 : connexion au dossier (workspace).

5- Ajouter les 9 fichiers images *.tif dans ArcMap qui doivent s'afficher dans l'espace de travail ArcMap et dans sa table des matières.

CHAPITRE V : TELEDETECTION.

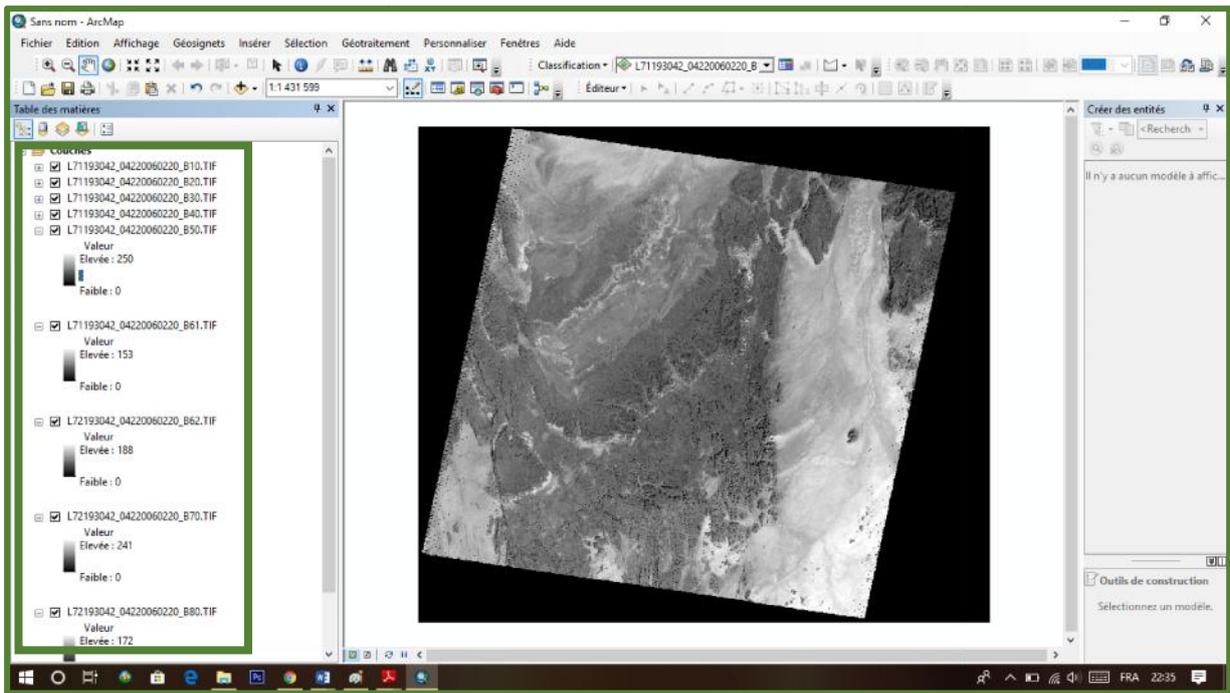


Fig. 56 : les 9 fichiers images *.tif dans ArcMap.

L'image va s'afficher en niveau de gris sur un arrière fond noir. Elle sera légèrement inclinée (orientée NNE-SSW). Cette légère inclinaison est due au déphasage de la rotation de la Terre dans le sens des aiguilles d'une montre par rapport au satellite Landsat qui est un satellite polaire du type "héliosynchrone" et qui tourne en allant du Nord au Sud sur la face du soleil. Cela est dû donc au déphasage entre les deux rotations (Terre et Satellite).

3) Création et Enregistrement d'une image composite :

À partir des 9 fichiers images précédents on va créer un seul fichier image qu'on appelle "image composite" (ou image en composition colorée) et qui sera donc une image couleur (RVB). Ensuite cette image sera enregistrée comme un fichier permanent.

Sur ArcMap dans la barre "Menus" allez à :

Fenêtre → Analyse d'image → Sélectionner tous les canaux en utilisant Clic shift.

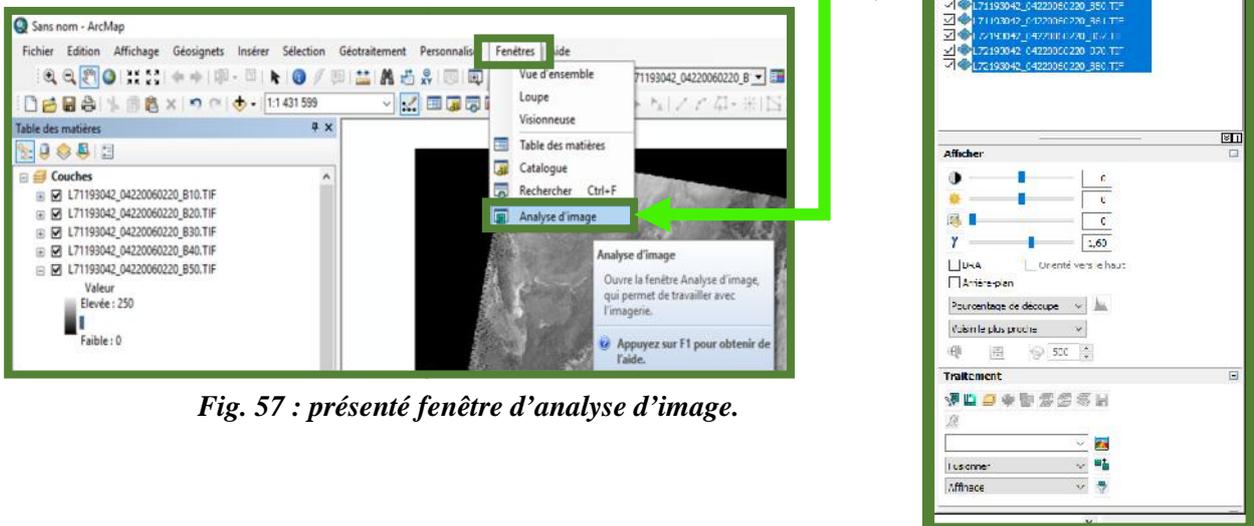


Fig. 57 : présenté fenêtre d'analyse d'image.

CHAPITRE V : TELEDETECTION.

Clic sur l'icône "Canaux composites" (icône jaune située juste au-dessous de "Traitement")
L'image composite apparaît immédiatement dans la partie supérieure de la fenêtre "Analyse d'image" ainsi que sur la table des matières ArcMap. L'image apparaît cette fois-ci en couleur (RVB).

Pour enregistrer l'image composite :

Fenêtre analyse d'image → Enregistrer (fig.58 Étape 4) Une fenêtre s'ouvre (Fig.58 Étape 5).

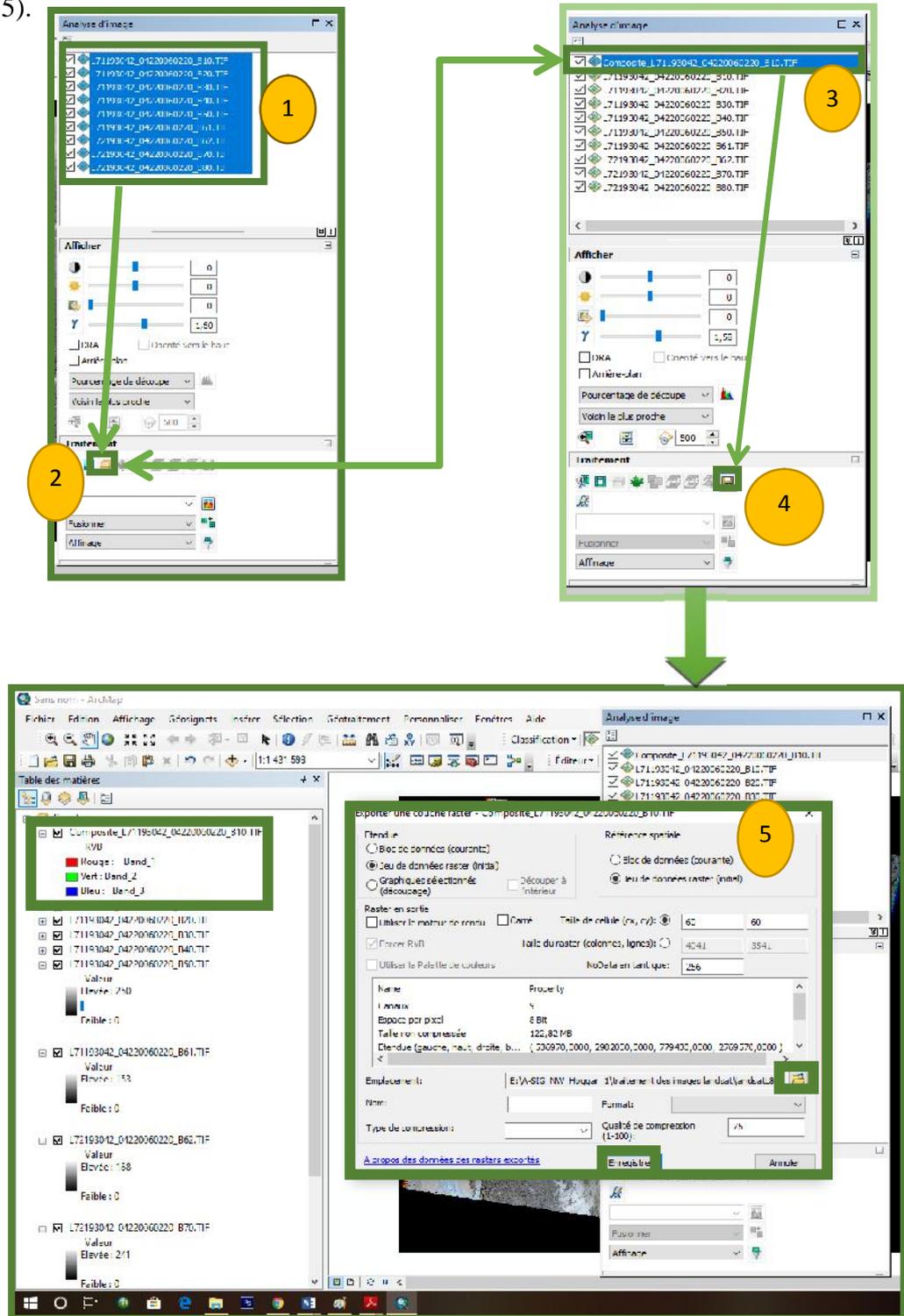


Fig. 58 : les étapes suivies pour enregistrer une image composite.

CHAPITER V : TELEDETECTION.

Pour faire disparaître l'arrière fond en noir qui représente la zone No data (Absence de données), Cochez la case "Arrière-plan" située dans la fenêtre du menu "Analyse d'image"

On utilise aussi l'outil copier l'image :

ArcTool box ➡ outils de gestion de données ➡ Raster ➡ Jeu de données raster

➡ Copier un raster.

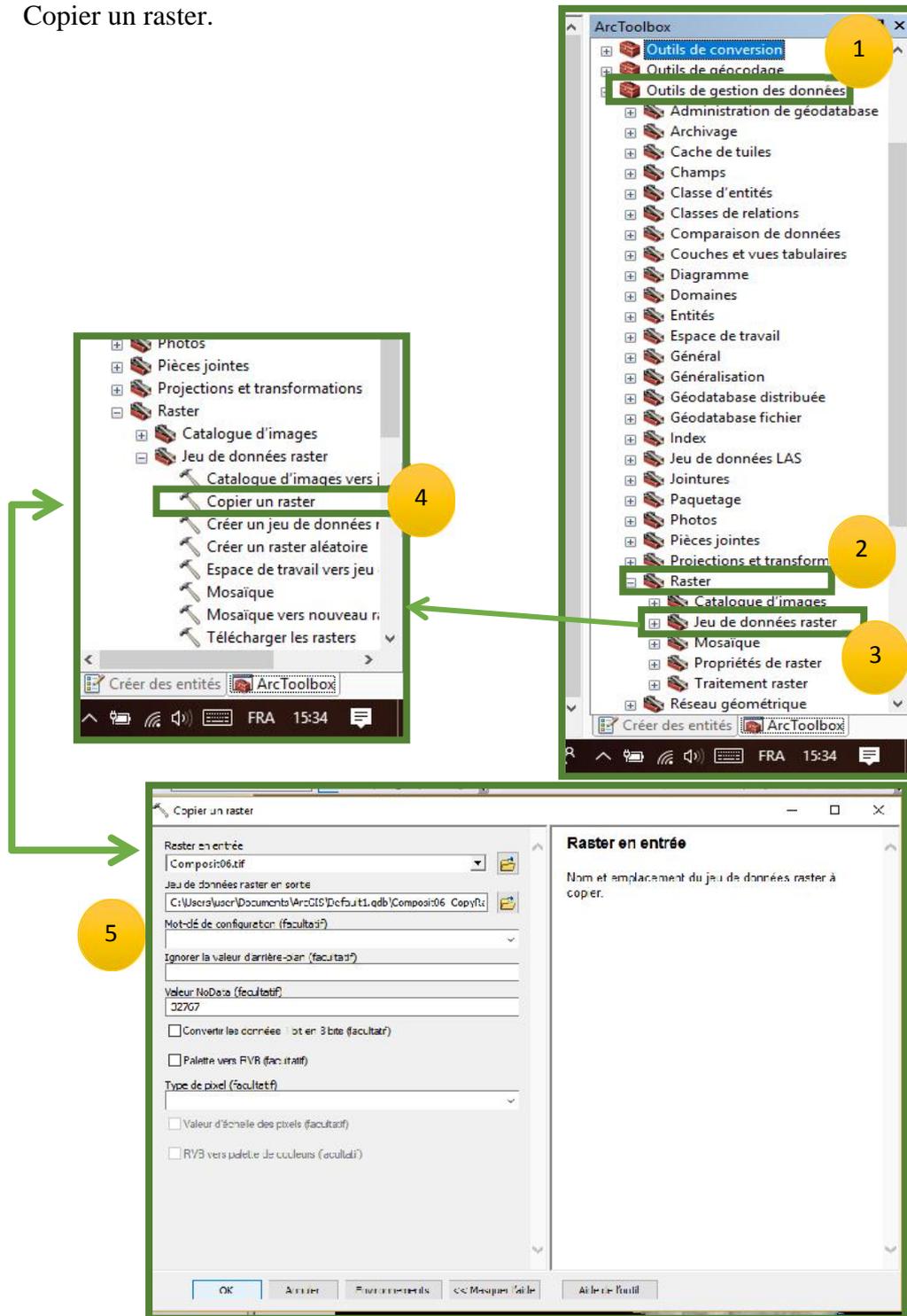


Fig. 59 : découpage de l'arrière fond en noir.

CHAPITRE V : TELEDETECTION.

5) Mosaïque et découpage d'images composites : a) - 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 composites. Pour créer une mosaïque d'images nous avons besoin de deux étapes :

Etape 1 : Copier toutes les images composites à mosaïquer une à une dans un dossier spécifique dans workspace et lui donner un nom. Pour ce, Allez à :

Arctool box ➡ Outil de gestion des données
Raster ➡ jeu de données raster

➡ Copier raster. Une fenêtre s'ouvre :

Raster en entrée : sélectionner l'image à copier

Jeu de données raster : nommer votre image à copier

Ignorer la valeur d'arrière-plan : 0

No data : 0

Type de pixel : 16 bits

Ok.

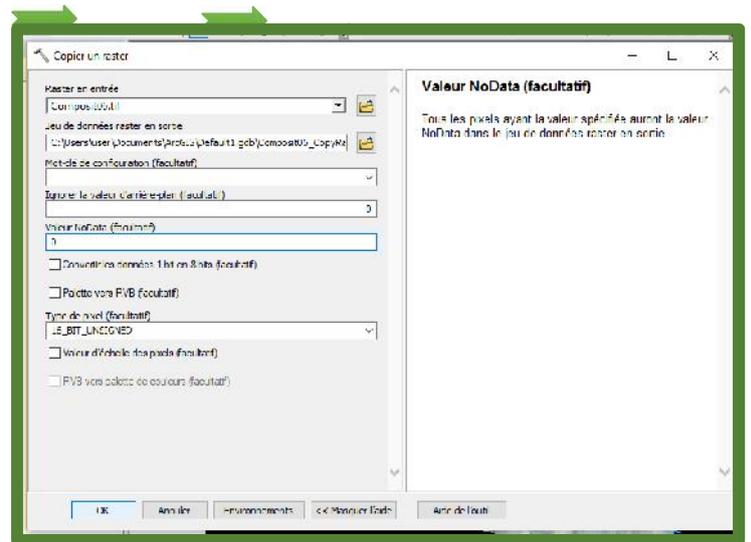


Fig.61 : fenêtre de copier raster.

Etape 2 : Création d'une mosaïque d'images composites.

Arctool box ➡ Outil de gestion des données ➡ Raster ➡ jeu de données raster

➡ Mosaïque vers un nouveau raster. Une fenêtre s'ouvre :

-Raster en entrée : Ajouter toutes les images à mosaïquer

-Raster en sortie : spécifier le dossier où vous voulez mettre votre mosaïque

-Nom de jeu de données raster avec extension : Donner un nom à votre mosaïque + son extension : *.tif

-Référence spatiale du raster : (exemple : Nord_Sahara_1959_UTM_31N).

-Nombre de bandes : 11

-Ok.

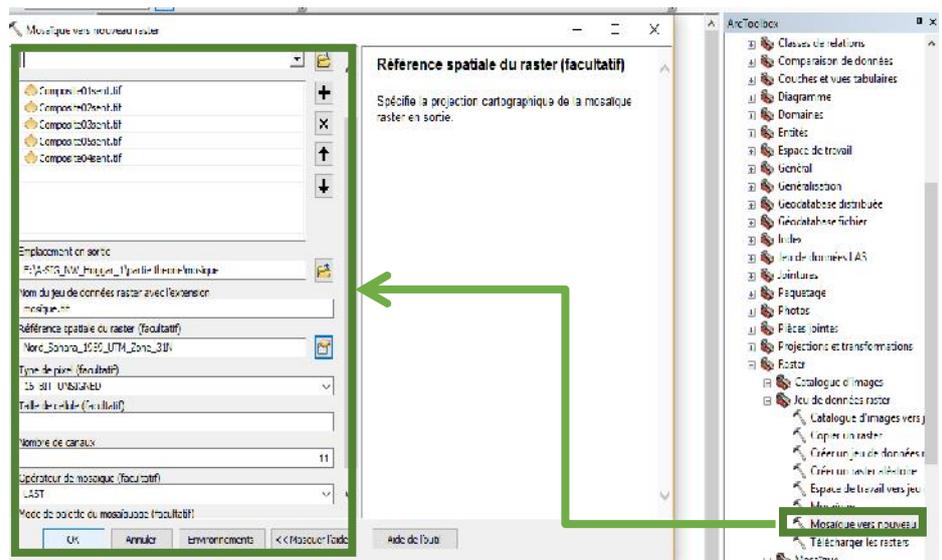


Fig.62 : Création d'une mosaïque d'images composites.

CHAPITER V : TELEDETECTION.

b) découpage : pour découper une image satellite nous avons besoins des étapes suivantes :

- dans ArcCatalog on va créer un fichier de forme :

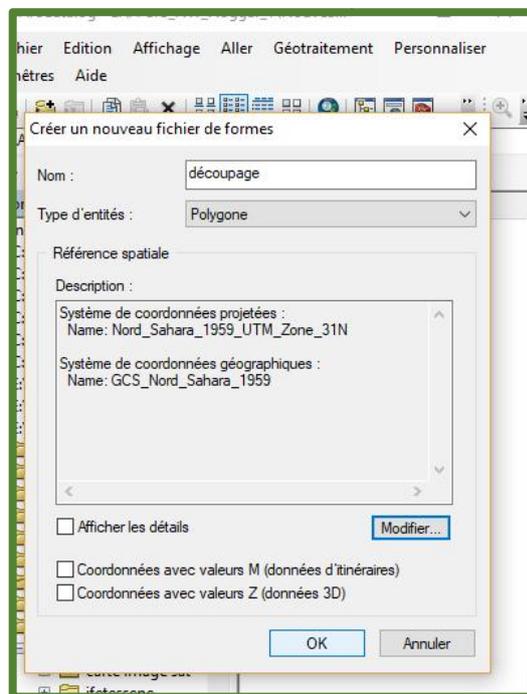
Clique Droite ➡ Nouveau ➡ Fichier de forme ➡ fenêtre s'ouvre :

Nom : donné un nom a votre fichier de forme.

Type d'entité : polygone.

Référence spatiale : (exemple : Nord_Sahara_1959_UTM_31N).

Ok.



Ouvrir ArcMap et copier-glisser le fichier de forme créé dans la page ArcMap. La couche s'affiche dans l'arborescence d'ArcMap.

Dans ArcMap, Aller à « Editeur » Cliquez sur « ouvrir une session de mise à jour » Avec le zoom+ et l'outil construction (forme d'un crayon à tête rouge) délimiter la zone à découper (un clic par point sauf pour le dernier point cliquez deux fois) ; un trait bleu apparaît sur le pourtour du fond de la carte.

Arctool box ➡ Outil de gestion des données Raster traitement raster

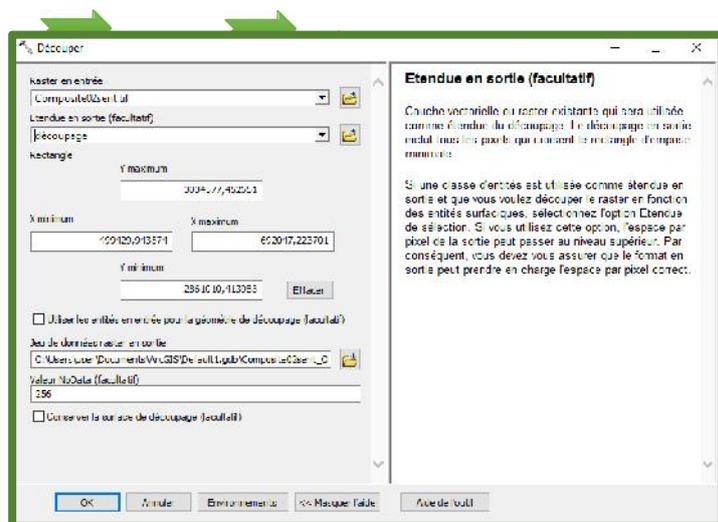
➡ Découpage, une fenêtre apparaît.

- Raster en entrée : l'image satellite.

- Etendue en sortie (facultatif) : fichier de forme.

- Cocher d'abord la case (Utiliser les entités en entrée...)

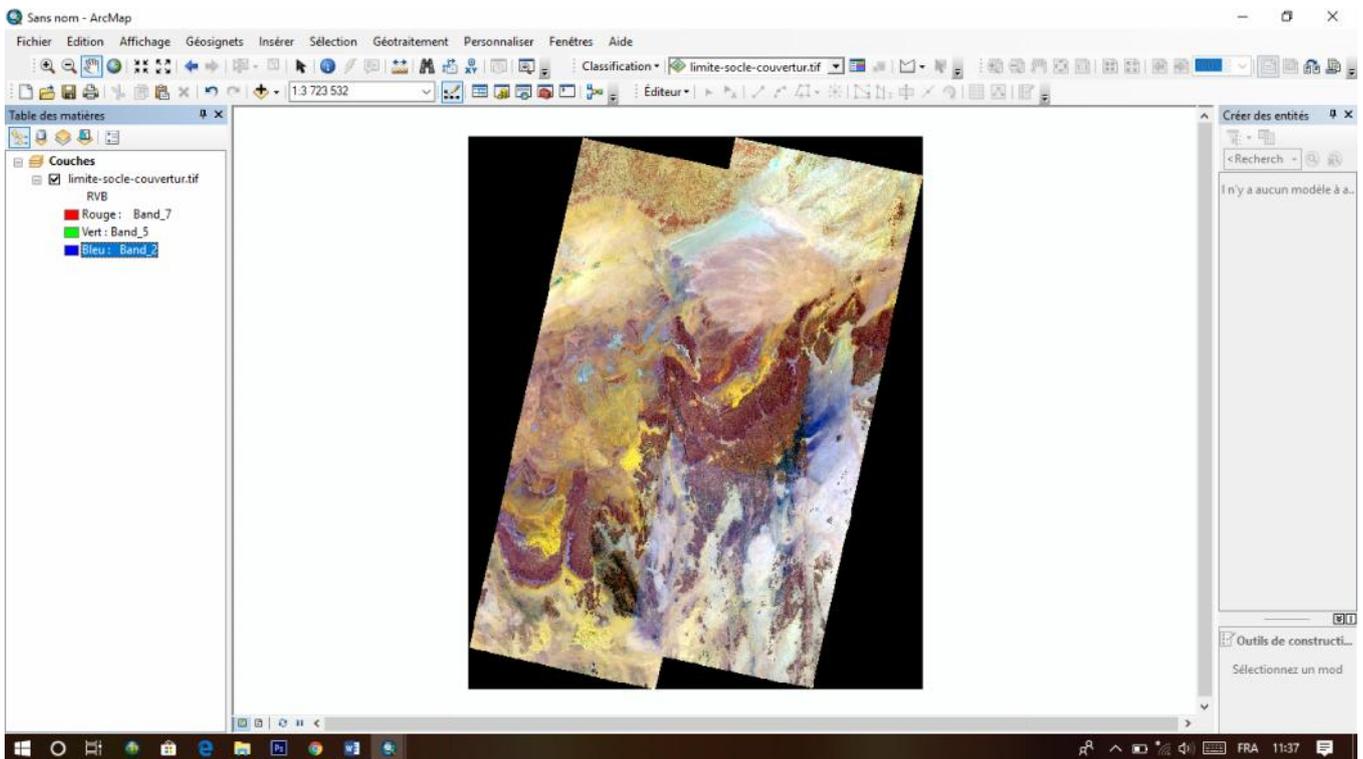
- Sélectionner un à un et supprimer toutes les valeurs de X max et X min et de Y max et Y min puis enregistrer et donner un nom à votre image



OK.

CHAPITER V : TELEDETICTION.

Une fenêtre indiquant l'exécution s'ouvre et fait un bon bout de temps pour exécuter les



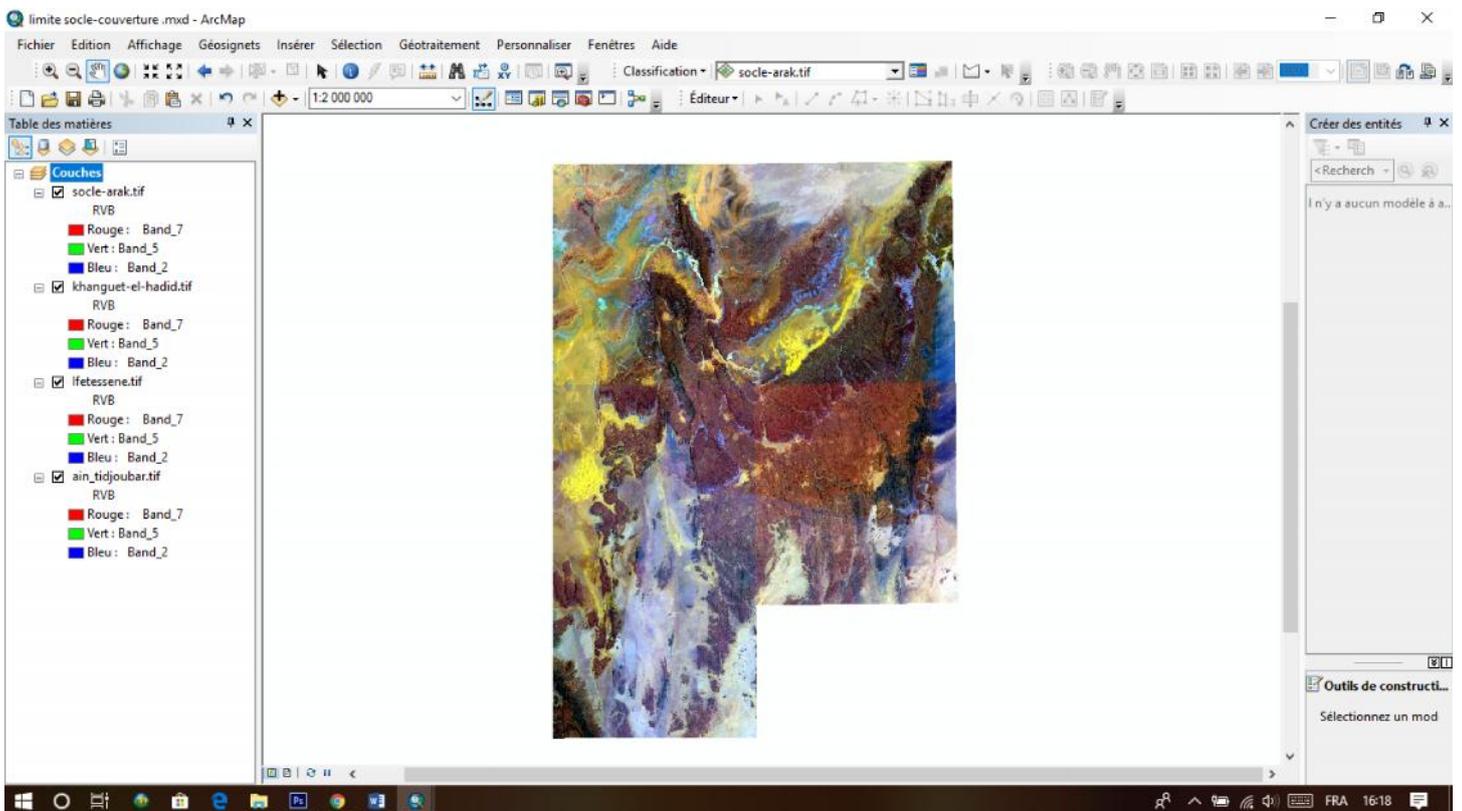
commandes, Patienter un peu.

Les figures suivantes présentent les résultats finals de découpage et mosaïque :

Fig. 63 : résultats de l'opération mosaïque

CHAPITER V : TELEDETICTION.

Fig.64 : résultats de l'opération découpage.



6) Classification d'images :

En distingue quatre types de classification est en a utilisé deux types : classification automatique et classification manuelle.

A) Classification automatique :

La classification d'une image satellite est un processus qui 'effectue en plusieurs étapes et qui permet de classer les entités topographiques au sol, c'est à dire d'effectuer une cartographie plus ou moins détaillée du sol conformément aux différentes réflectances (couleur et texture des objets).

Dans notre cas il s'agit de réaliser une cartographie géologique. La disponibilité d'une carte géologique établie dans une région avoisinante simplifie d'avantage ce travail.

Dans le cas d'une région vierge on effectue le travail de cartographie en fonction de l'appréciation visuelle de chaque opérateur. Pour ce, il faudrait suivre les étapes suivantes :

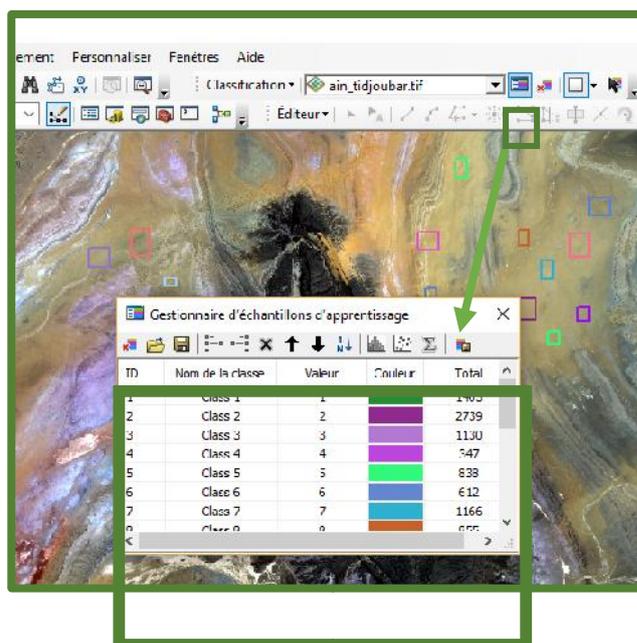
- ✓ Ajouter l'image composite dans ArcMap et choisir la combinaison des fausses couleurs (432).
- ✓ Clic droite dans le blanc de la barre du menus ArcMap et cocher l'outil "Classification d'image", l'outil apparait.
- ✓ Dans le nouveau menu, sélectionner l'image à classifier si elle n'est pas déjà sélectionnée.



Fig. 65 : classification d'image.

◆ Pour commencer à cartographier :

- ✓ Zoomer une région qui présente les mêmes caractéristiques et commencer à prendre des échantillons de cette même entité avec l'outil "Dessiner un échantillon d'apprentissage". Veuillez prendre un nombre suffisant pour caractériser toute les petites variations de cette entité.
- ✓ Avec l'outil "Gestion d'apprentissage des échantillons" ensuite "Sélectionner" tous ces échantillons puis "Combiner" :
 - Nom de la classe : donner le nom de votre formation géologique.



CHAPITER V : TELEDETECTION.

Fig.66 : fenêtre de Gestion d'apprentissage des échantillons

- Couleur : Attribuer la couleur selon la charte stratigraphique.
- Répéter les mêmes opérations pour toutes les entités jugées de même couleur et texture.
- Clic sur l'icône la plus à droite dans la boîte de dialogue "Gestion d'apprentissage des échantillons" ensuite "créer un fichier de signature".
 - Enregistrer ce fichier (*.gsg) dans votre dossier SIG sous le même nom de votre carte.

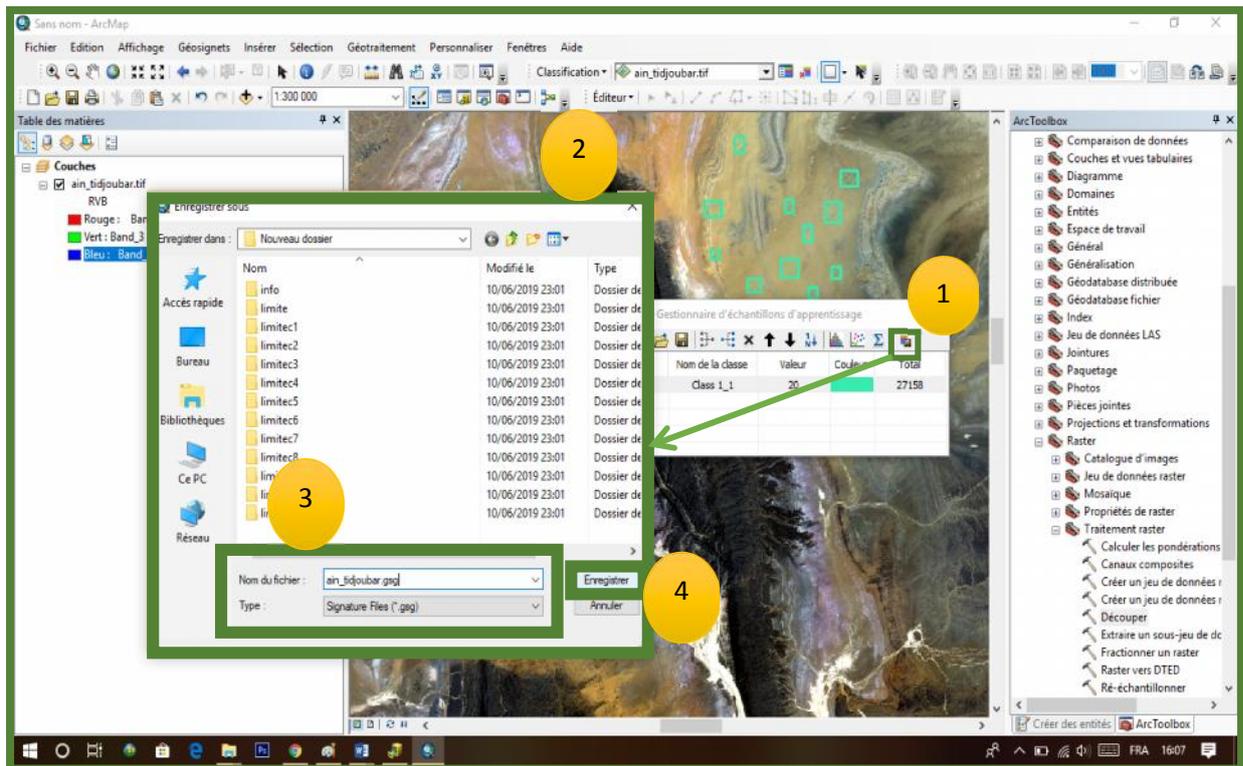
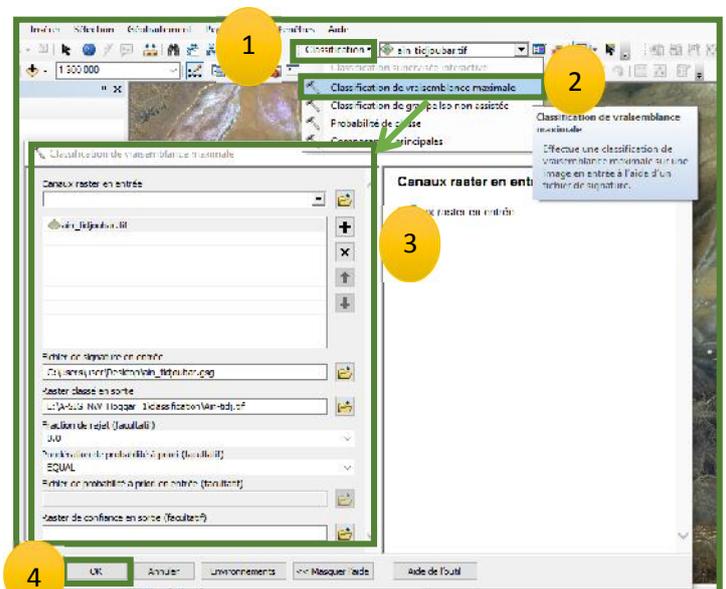


Fig. 67 : fenêtre d'enregistrement de fichier

(* .gsg).

- Allez à "Classification" et Clic sur "Classification de vraisemblance maximale"
- Une fenêtre s'ouvre :
- Canaux raster en entrée : Sélectionner l'image à classifier.
 - Fichier de signature en entrée : sélectionner le fichier de signature créé.
 - Fraction de rejet : 0.



CHAPITER V : TELEDETICTION.

- Pondération de probabilité : EQUAL.

Fig. 68 : fenêtre de classification de vraisemblance maximale.

- Raster de confiance en sortie : Enregistrer cette carte dans le dossier SIG.
- OK.
- A l'aide de l'outil 'symbologie' affiner cette carte.
- A partir de cette carte "Raster" vectoriser les formations géologiques que vous avez obtenues.

L'analyse en composantes principales (ACP) :

Les données multi-spectrales des différents canaux contenant souvent de l'information similaire, des transformations d'images sont utilisées pour réduire cette redondance de données. Les "néo" bandes qui en résultent sont appelées composantes et permettent de réduire l'information comprise dans 5 ou 6 canaux en seulement trois composantes tout en conservant plus de 90% de l'information initiale. C'est une technique efficace pour accentuer une image multi-spectrale pour des fins d'interprétation géologique.

On a également deux autres techniques : Les composantes supervisées (CS) et Les composantes non supervise : (CNS).

B) Classification manuelle :

Cette classification consiste à vectoriser manuellement les entités géologiques en fonction d'une interprétation personnelle basée en général sur l'expérience du géologue et aussi que sur les six critères suivant :

Le ton : se réfère à la clarté relative ou la couleur (teinte) des objets dans une image. Généralement, la nuance de ton est l'élément fondamental pour différencier les cibles et les structures. Les variations de ton permettent aussi la différenciation des formes, textures et patrons des objets.

La forme : c'est un indice très important pour l'interprétation. Les formes aux bordures rectilignes se retrouvent généralement dans les régions avec une limite tectonique, alors que les structures



CHAPITER V : TELEDETICTION.

naturelles, telles que les bordures des formations magmatiques, sont généralement plus irrégulières, sauf aux bordures de l'encaissent.

La taille : Il est important d'évaluer la taille d'une cible par rapport aux autres objets dans une scène (taille relative), ainsi que la taille absolue, afin d'aider à l'interprétation de cette cible. Une évaluation rapide de la taille approximative d'une cible facilite souvent l'interprétation.



Le patron : se réfère à l'agencement spatial des objets visiblement discernables. Une répétition ordonnée de tons similaires et de textures produit un patron distinctif et facilement reconnaissable. Des structures régulièrement disposées indiquent une succession de roches sédimentaires.



La texture réfère à l'arrangement et à la fréquence des variations de teintes dans des régions particulières d'une image. Des textures rugueuses consisteraient en des tons en rayures où les niveaux de gris changent brusquement dans une petite région, alors que les textures lisses auraient peu ou pas de variations de tons. Les textures lisses sont souvent le résultat de surfaces uniformes telles que des terrains quaternaires récentes (Reg). La texture est l'un des éléments les plus importants pour différencier les structures sur une image radar.



Les ombres : Elles donnent une idée du profil et de la hauteur relative des cibles pouvant être identifiées facilement. Les ombres peuvent cependant réduire, voire éliminer l'interprétation dans leur entourage, puisque les cibles situées dans les ombres sont moins, ou pas du tout discernables. En imagerie radar, les ombres sont



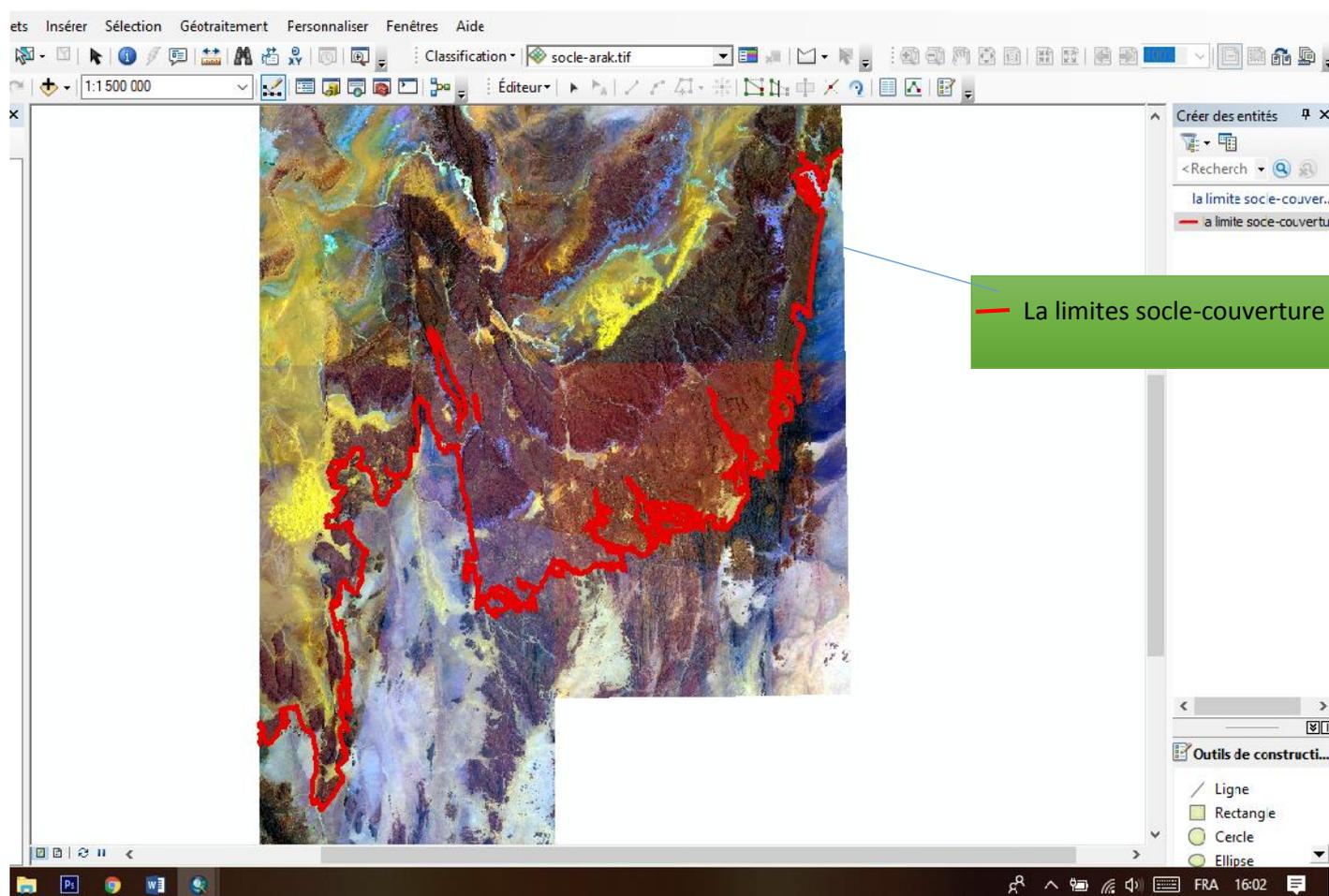
CHAPITER V : TELEDETICTION.

particulièrement utiles pour rehausser ou identifier la topographie et les formes géologiques.

La Cartographie manuelle dans mon cas consiste à préciser de tracer la limite socle panafricains couverture paléozoïque, pour ce, j'ai utilisé le maximum de 'outils qui m'ont permis de mieux visualiser cette limite sur mon image satellite ce sont : (le contraste, la luminosité, la transparence, la correction gamma et les filtres ...etc.). En plus les différentes combinaisons de bandes spectrales.

Pour les étapes de vectorisation de cette limite, j'ai suivi les mêmes étapes de la vectorisation des cartes géologiques précédentes (voir chapitre IV {II.3 La vectorisation des différentes formations géologiques.} Page 51).

Les résultats de ce travail, a permis de mieux déterminer la limite géologique socle-couverture, cette limite qui est heureusement bien exprimée à la base des Tassilis par les formations de grés gravi-élites très dure qui forme, généralement des falaises, représentée par la série des Ajjers. (Fig.69).



CHAPITER V : TELEDETECTION.

Fig.69 : présenté la limite socle-couverture qui déterminé à la fin de travail.

Cependant dans certains endroits les cartes présentent des erreurs de cartographie (un décalage de plus 467 m (Fig.70)) causé par une mauvaise interprétation ou encore par une dilatation de papier de la carte.

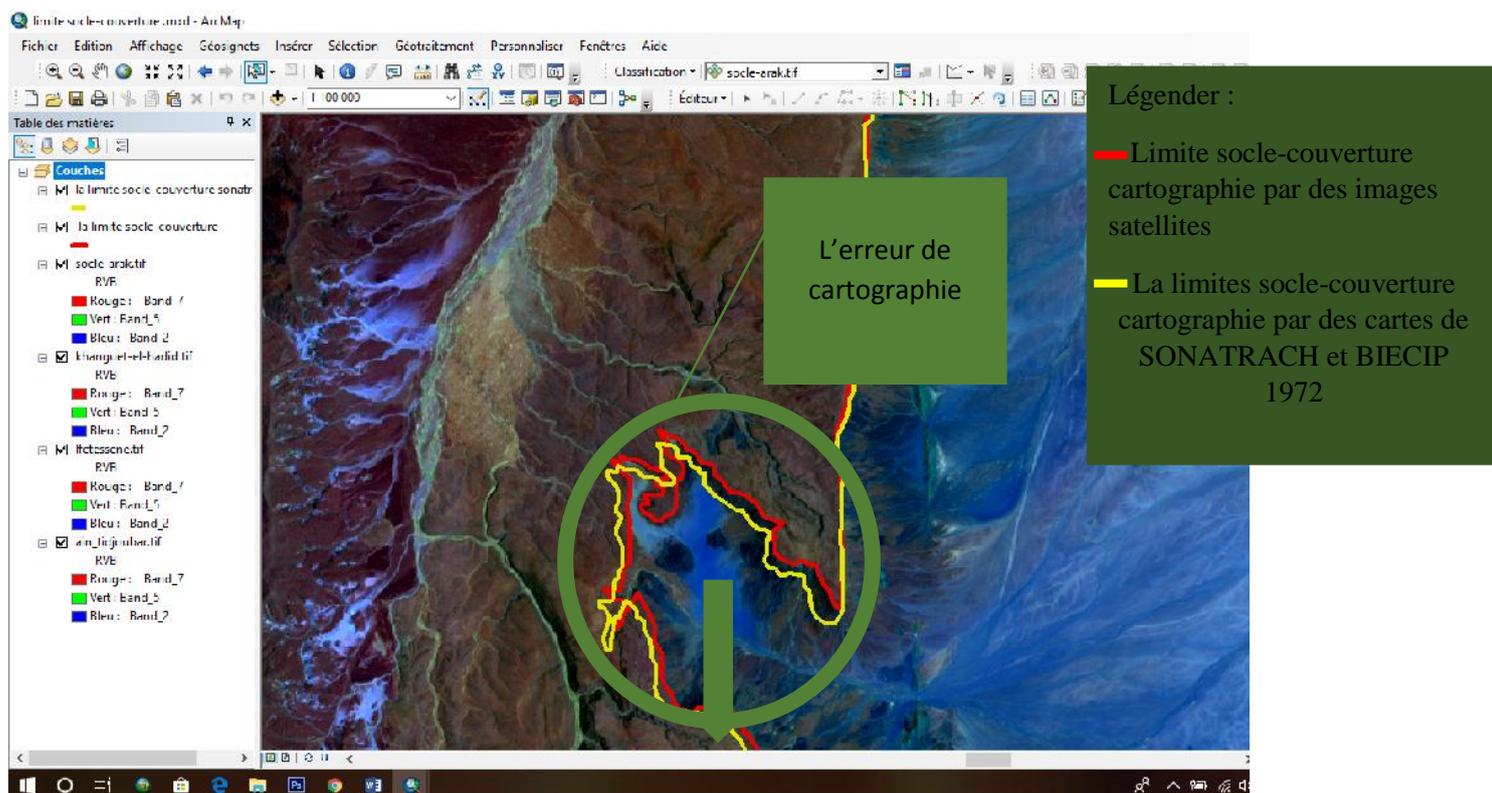
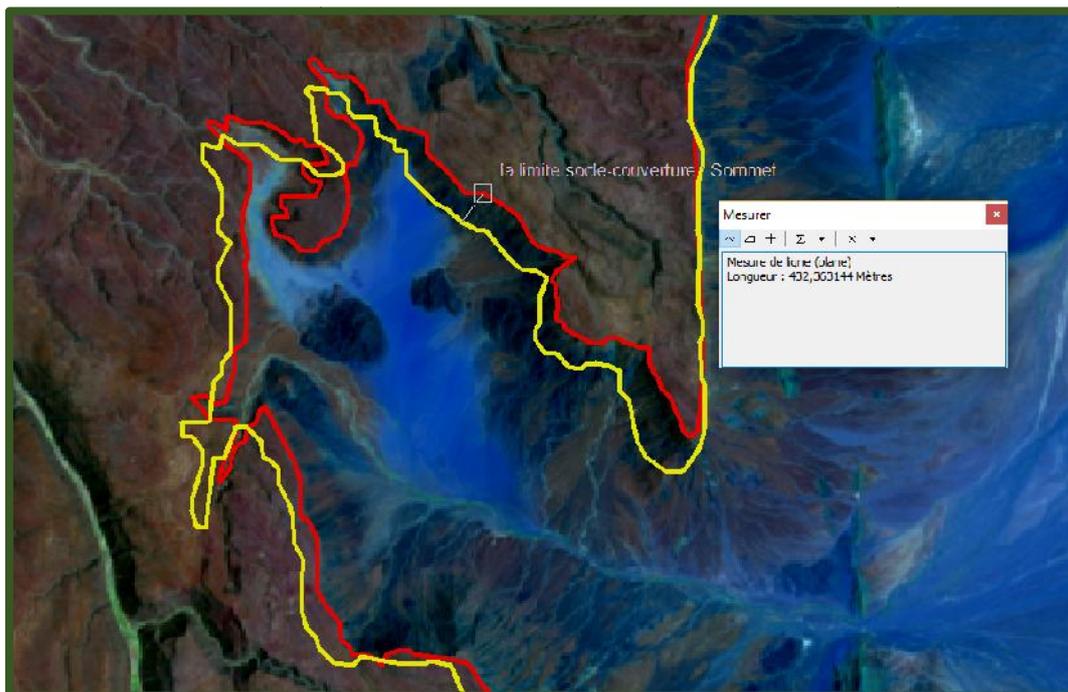
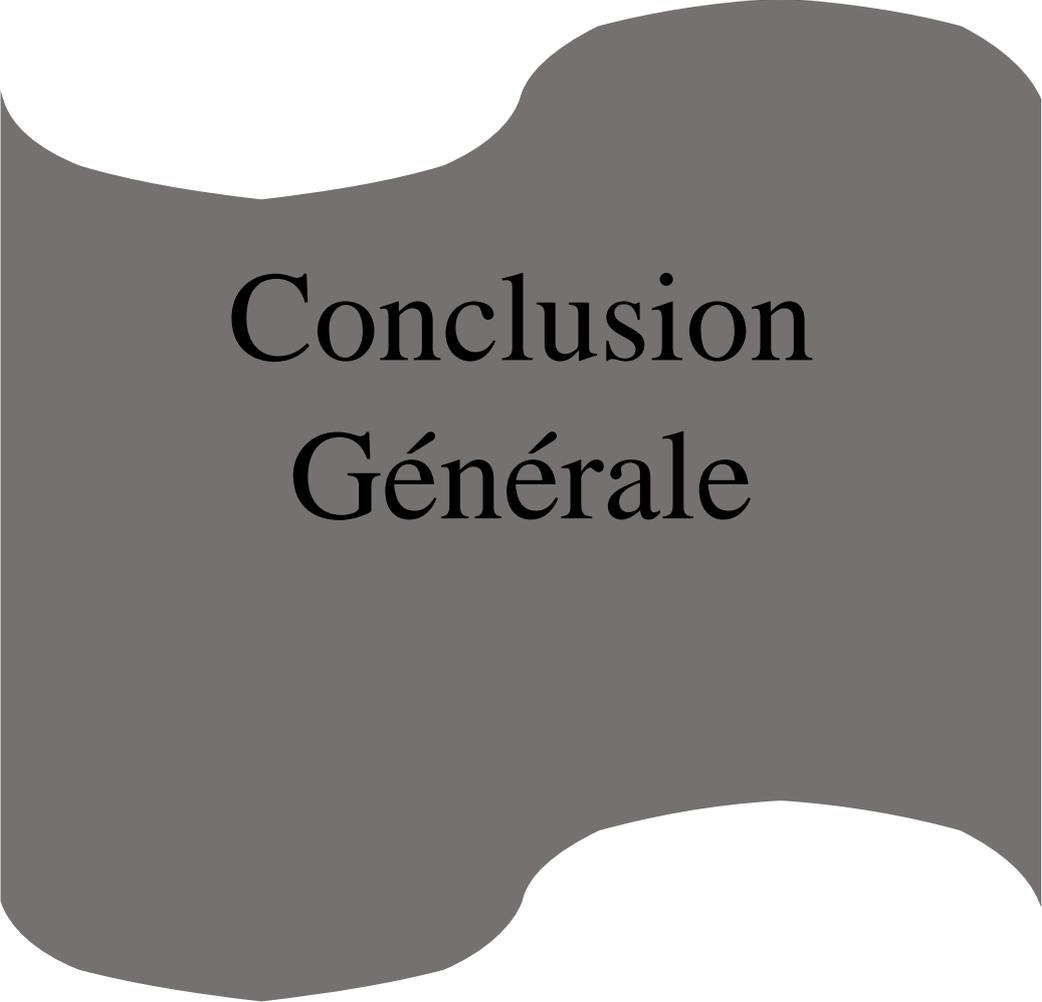


Fig.70 : présenté l'erreur cartographique.





Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

Conclusion

Le Hoggar est la principale composante du bouclier Touareg et fait partie de la chaîne Panafricaine trans-saharienne (Cahen et al. 1984). C'est une vaste région désertique située au Sud du Sahara algérien, il est subdivisé en trois grands compartiments structuraux par deux grands accidents tectoniques, qui sont : le Hoggar occidental, Hoggar central, et Hoggar oriental. Il occupe une superficie d'environ 550.000 Km², et s'étend sur près de 1.000 Km d'Est en Ouest et de 700 Km du Nord au Sud.

Dans le présent mémoire je me suis concentré sur la réalisation d'une cartographie SIG des cartes géologiques au 1 /200 000 des feuilles de AIN TIDJOUBART, ARAK, IFETESSENE, KHANGUET EL HADID, et au traitement des données de l'image du satellite Landsat8. 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 qui est la plus cruciale, c'est la partie pratique où j'ai utilisé le logiciel ArcGIS 10. Elle a commencé d'abord par l'importation des cartes géologiques (images scannées) en format raster dans le logiciel et lui attribuer ses références spatiales et enfin procéder à leur vectorisation.

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. Quant au SIG réalisé, il représente une nouvelle forme de données numériques susceptibles d'être manipulées par les moyens informatiques pour en déduire, en fonction des besoins, différentes interprétations.

La quatrième étape consistait au traitement et l'interprétation des images satellites « Landsat8 » en utilisant le logiciel ArcGIS 10. La télédétection représente, aujourd'hui, un appui très efficace et rapide pour la cartographie géologique avec un meilleur rapport qualité/prix.

BIBLIOGRAPHIE

Allégre et Caby ;1972 : les fragments du socle protérozoïque. Chronologie absolue du Précambrien de l'Ahaggar occidental. C.R. Acad.Sci. Paris,275,2095-2098.

Beicip-Sonatrach 1971 : lithostratigraphie de socle. Mémoire présenté pour l'obtention du grade de MAGISTER. ; M.Mehdi Amine.G ; USTHB /Algérie.

Bertrand et al,1966 : le rameau oriental. Existence d'une discordance dans l'antécambrien du "fossé" pharusien de l'Ahaggar occidental (Sahara central). C. R. Acad. Sc. Paris, 262, D, 2197-2200.

Bertrand et caby,1978 : Hoggar oriental. Geodynamic evolution of the Pan-African orogenic belt: a new interpretation of the HoggarShield. Geological Rundschau 67, 2, 357-388.

Bertrand et Caby,1978 ; Black et al,1979 : géologie de Hoggar et carte structural de bouclier de Touareg.

Bertrand,1974 : le Hoggar central polycyclique. Evolution polycyclique des gneiss précambriens de l'Aleksod (Hoggar central, Sahara Algérien). Aspect structuraux, pétrologiques, géochimiques et géochronologiques. Thèse, Montpellier, CNRS, CRZA, Serv. Geol., 19, 370p.

Beuf et al,1971, Beicip-Sonatrach 1972 : la minéralisation Dévonien. Mémoire présenté pour l'obtention du grade de MAGISTER. ; M.Mehdi Amine.G ; USTHB /Algérie.

Black et al,1994 ; Liégeois et al,2000 : caractérisation de bouclier de Touareg et géologie de Hoggar. Pan-African displaced terranes in the Tuareg Shield (Central sahara). Geology, vol. 22, pp. 641-644.

Black et Liégeois,1993 : géologie de Hoggar. Cratons, mobile belts, alkaline rocks and continental lithospheric mantle: the Pan-African testimony. J. Geol. Soc.Lond, vol. 150, pp. 89-98.

Boissonas,1973 ; Azzouni,1989 ; Azzouni et al,2003 : le modèle structural de l'orogénèse panafricaine. Les granites à structures concentriques et autres granites tardifs de la chaîne pan-Africaine en Ahaggar (Sahara centrale, Algérie). Serv. Géol. 16, CNRS, 662p.

Boissonas,1973 ;Azzouni-Sekkal ,1989 ;Azzouni –Sekkal et Boissonas,1993 ; Cheilletz et al,1992 ;Bonin et al,1998 ;Azzouni et al,2003 : l'orogénèse panafricaine.

Bonin et al,1998 : modèle structurel de l'orogénèse panafricaine. Alkaline calcic and alkaline post-orogenic (PO) granite magmatism: petrologic constraints and geodynamic setting. Lithos 45, 45-70.

Boudjemaa,1987 : lithostratigraphie de socle,antécombarien-combarien.

Bouillier et al,1991 : le Hoggar oriental.

Caby et al,1981 : carte de bouclier de Touareg.

Caby et Andeopoules,1987 : les unités de rameau occidental. 1987.Le Hoggar oriental, bloc cratonisé à 730 Ma dans la chaîne Pan-Africaine du Nord du continent africain PrecarianResearch 36, 335-344.

Caby ;1968 : tectonique de socle.

Caby,1970 : les séries métamorphiques de rameau occidental.

Caby,1970 ; Black,1978 : Hoggar occidental et oriental.

Calen et al,1984 : géologie de Hoggar. The geochronology and Evolution of Africa. Clarendon Press. Oxford, 508p.

Caloz,1997 : le système d'information géographique.

Clauer,1976 : tectonique d'Hoggar occidental.

D.M. Zeghouane,2019 : Dates historiques de télédétection. Cour 2018 /2019.

E. Chuvico,1990 : le système de télédétection.

Episode mourzoubienne fini ediacarien, Fezaa,2010 : Hoggar oriental.

Fezaa et al,2010 : géologie de Hoggar. Late Ediacaran geological evolution (575-555 Ma) of the DjanetTerrane. Eastern Hoggar, Algeria, evidence for a Murzukian intra continental episode. Precambrian Research 180, 299-327.

Girod,1971 : tectonique de socle. Le massif volcanique de l'Atakor (Hoggar, Sahara Algérien). Mem. CRZA, Ser. Geol., 12, 155p. ed. CNRS, Paris.

Gravelle et Chikhaoui,1976 : les formations de pharusien I. Tectonique tangentielle panafricaine et métamorphisme épizonal dans la fosse pharusien du Hoggar occidental. 4ème R.A.S.T., Paris, p. 209.

Gravelle,1969 ; Fabiés et Gravelle,1977 ;Caby et al,1982 : les formations de pharusien II. Recherches sur la géologie du socle Précambrien de l'Ahaggarcentro-occidental dans la région de Silet-Tibehaouine. Contribution à la reconnaissance géochronologiques, géochimiques et structurales des terrains cristallins du sahara central. Thèse Doctorat en sciences, Université Paris VII. 3 volumes. 298p.

Haddoum et al,2001 : tectonique de couverture. Mémoire présenté pour l'obtention du grade de MAGISTER. ; M.Mehdi Amine.G ; USTHB /Algérie.

Kennedy, 1964 : les caractérisations de Hoggar. The structural differentiation of Africa in the Pan-African +- 500m.y. tectonic episode. Ann. Repp. Res. Inst. Afr. Geol. University of Leeds 8, 48-49.

Latoucheet Vidal,1974 : le Hoggar central polycyclique. Geochronologie du Précambrien de la région des Gour Oumelalen NE de l'Ahaggar, Algérie. Un exemple de mobilisation du Strontium radiogénique. Bull. Soc. Géol. Fr.XVI 195-203.

Liégeois et al,1994 : géologie de Hoggar. Early and late Pan-African orogenies in the A r Assembly of terranes(TuaregSheild. Niger). Precamb. Res. 67, 59-88.

Liégeois et Black,1987 : caractérisation d'une transition magmatisme. Alakalinemagmatism subsequent to collision in the Pan-African belt of the Adrar des Iforas. In Fitton, J.G., Upton, B.G.J., (Ecd.), Alkaline Igneous Rocks. Geological Society of London, Special publication, 30, 381-401.

Lillsand et Kiefer,2019 : la télédétection.

Martin, 2004 : les utilisateurs du système d'information géographique.

Monod,in Bourcart ,1931-1932 : lithostratigraphie de socle les séries intermédiaires.

Moreau et al,1994 : le magmatisme anorogénique.

Ravalet et Panet,2001 : système d'information géographique.

S.Belov 1990 : magmatisme,post-orogénique.

Sonatrach, Becicip,1972 : carte géologique de massif du Hoggar. Mémoire présenté pour l'obtention du grade de MAGISTER. ; M.Mehdi Amine.G ; USTHB /Algérie.