



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOD MAMMERI DE TIZI OUZOU

Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques

DEPARTEMENT DES SCIENCES GEOLOGIQUES

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER EN GEOLOGIE

Option : Ressources Minérale Géomatériaux et Environnement.

SUJET

**Cartographie SIG au 1/200.000 de la bordure NE du
Hoggar, Algérie : Précision cartographique de la zone
de jonction socle-couverture par traitement des
données imagées.**

Réalisée par : **MOUCHENE SAMIR**

AMRI DEHBIA

Soutenu publiquement le 21/07/2019

Devant les membres du jury composé de :

Mr MAKHLOUF ALI	MCB	FSBSA/UMMTO	Président
Mr ZEGHOUANE HOCINE	MCB	FSBSA/UMMTO	Promoteur
Mme IZRI DEHBIA	MAA	FSBSA/UMMTO	Examinatrice

Année universitaire 2018/2019



**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE**



**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE MOULOU MAMMERI DE TIZI OUZOU

Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques

DEPARTEMENT DES SCIENCES GEOLOGIQUES

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER EN GEOLOGIE

Option : Ressources Minérale Géomateriaux et Environnement.

SUJET :

**Cartographie SIG au 1/200.000 de la bordure NE du Hoggar,
Algérie : Précision cartographique de la zone de jonction
socle-couverture par traitement des données imagées.**

Réalisée par : MOUCHENE SAMIR

AMRI DEHBIA

Soutenu publiquement le 21/07/2019

Devant les membres du jury composé de :

Mr MAKHLOUF ALI	MCB	FSBSA/UMMTO	Président
Mr ZEGHOUANE HOCINE	MCB	FSBSA/UMMTO	Promoteur
Mme IZRI DEHBIA	MAA	FSBSA/UMMTO	Examinatrice

Année universitaire 2018/2019

Remerciements

Au terme de ce travail, nous voudrions exprimer notre reconnaissance et nos remerciements.

Il nous est agréable de remercier en premier lieu et très particulièrement notre promoteur **Monsieur H. ZEGHOUANE** pour nous avoir proposé d'abord ce thème, puis nous dirigé et conseillé tout au long de ce travail il n'a pas cessé de nous faire profiter de sa grande expérience en nous réservant toujours un moment pour discuter et suivre l'évolution de notre travail malgré ses multiples responsabilités. La qualité de ses exigences scientifiques, la confiance qu'il nous a témoignée et les moyens qu'il a mis à notre disposition nous a permis de mener à bien ce travail, qu'il trouve ici l'expression de notre profonde gratitude.

Un grand merci à **Monsieur A. MARKHOUF** qui a accepté de présider ce Jury, on a beaucoup appris à son contact. On espère qu'il trouvera ce travail à la hauteur.

Nous Sommes très contents que **Madame IZRI** a accepté d'examiner ce travail. elle à toujours fait preuve d'une grande générosité envers tout le monde et n'a jamais hésité à nous tendre la main.

Nous voudrions aussi remercier nos chers **professeurs** du **département des sciences géologiques** par qui on a été entouré durant tout notre cursus pour leur bienveillance, leur encadrement et leur dévouement.

Nous remercions également toute l'équipe pédagogique du département des sciences géologiques U.M.M.T.O ainsi que nos 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 leur prière tout
au long de mes études ;*

*Ma chère sœur KARIMA et son époux Achour et
La petite MELISSA.*

*Mes grandes Frères MOURAD et sa femme,
BOUALEM et sa femme, HAMZA et sa femme,
les petits enfants YANIS, MASSI, AMINE,
SOFIANE.*

*A toute ma promo 2018/2019 Ressources Minérale
Géo-matériaux et Environnement.*

*A Mes amis FARES, FARIK, BILAL,
ADAM,.....et pour tous le monde sans exception.*

Samir

إهداء

إلى حكمتي وعلمي.... إلى أدبي وحلمي... إلى طريقي المستقيم إلى ينبوع الصبر والحنان والأمل
إلى كل من في الوجود بعد الله ورسوله "امي الغالية"

إلى رفيقة دربي في هذه الحياة إلى من تطلعت لنجاحي بنظرات الأمل "اختي سهام" وإلى زوجها
"مهدي"

إلى من أرى في عينيها التفاؤل والسعادة في ضحكاتهما إلى الوجه المفعم بالبراءة ولحبتكما
أزهرت أيامي إلى براعم البيت "رودينا" و "هيدايات"

إلى من أظهروا لي ما هو أجمل من الحياة إلى من كانوا ملاذي وملجئي إلى سندي وقوتي وملاذي
بعد الله "محمد و هشام"

إلى امي "ماجدة" التي كانت عوننا وسندا إلى الحبيبة "عزة" وإلى اختي وأولادها "هديل ، غرام ،
آية وليث وفرحة البيت سلمان"

إلى من أحمل اسمك بكل فخر إلى حبيبي وتوأم روحي إلى من معك أكون و بدونك لن أكون إلى
زوجي "محمد آل شريف"

إلى الأساتذة الكرام وإلى من تذوقت معهم أجمل اللحظات إلى من سأفتقدهم إلى زملائي...

ذهبية

Résumé :

Depuis l'avènement de l'outil informatique, les SIG (système d'informatique géographique) sont devenus des outils technologiques incontournables d'affichage, d'analyse, de mise à jour, et d'édition des données géoréférencées. Permettant une meilleure compréhension des phénomènes qui se produisent à la surface du globe. Dans le présent mémoire, une cartographie géologique basée sur les SIG a été réalisée.

Notre région, située dans la partie NE du Hoggar, est constituée de six coupures au 1/200 000 (Amguid, Tan Mellelt, Erg Tihoudaine, Aharhar, Iherir Didier et Djanet).

Notre travail consiste d'une part à extraire et à mettre sous forme de couches d'informations vectorielles, l'ensemble des entités géologiques et géologiques (lithologie, magmatisme, tectoniques, minéralisations), Et d'une part à préciser la limite cartographique représentant la ligne de jonction socle protérozoïque-couverture paléozoïque.

Pour atteindre notre objectif nous avons travaillé sur ArcGIS ; un logiciel SIG développé par ESRI et composé de trois applications majeures (ArcMap, ArcCatalog et ArcToolbox).

La vectorisation des entités géologiques et géologiques constituant notre région d'étude a permis de mieux visualiser la relation entre la minéralisation et la géologie et d'améliorer la qualité des cartes géologiques.

Le traitement et l'interprétation de l'imagerie Landsat 8 nous ont permis de bien identifier et cartographier avec précision la limite géologique socle-couverture.

Le SIG ainsi obtenu représente une nouvelle forme de données numériques, susceptibles d'être mises à jour, améliorées et enrichies, ce qui permettra une meilleure gestion des richesses géologiques de la région d'étude.

Mots clefs : **Hoggar, géologie, Télédétection, socle, couverture, minéralisation, ArcGIS, SIG, Landsat 8.**



Sommaire

INTRODUCTION GÉNÉRALE

1. But et objectif du travail.....	1
2. Situation géographique de la région d'étude.....	2
3. Climat faune et flore.....	4

CHAPITRE I : GÉOLOGIE RÉGIONALE

1.Introduction.....	5
I.1 Les différents domaines du Hoggar.....	6
I.1.1 Le Hoggar Occidental.....	7
I.1.2 Le Hoggar Central	8
I.1.3 Le Hoggar Oriental	8
I.2. Le concept des terranes.....	9
I.2.1 Le Hoggar Occidental.....	9
I.2.2 Le Hoggar Central	9
I.2.3 Le Hoggar Oriental	9

CHAPITRE II : GÉOLOGIE DE LA RÉGION D'ÉTUDE

II.1. Introduction.....	11
II.1. Le Socle	13
II.1.A.1. Hoggar central.....	13
II.1.A.1.1. Lithostratigraphie.....	13
II.1.A.1.1.1. Proterozoïque inférieur « PR1 ».....	13
II.1.A.1.1.2. Proterozoïque Terminal « PR4 ».....	14



II.1.A.2.	Magmatisme.....	14
II.1.A.2.1.	Les Roches intrusives.....	14
II.1.A.2.2.	Les Roches effusives.....	14
II.1.A.3.	Tectonique.....	14
II.1.A.3.1.	Failles principales.....	14
II.1.A.3.2.	Failles secondaires.....	14
II.1.A.3.3.	Chevauchements.....	14
II.1.A.4.	Minéralisations.....	15
II.1.A.4.1.	Métaux rares.....	15
II.1.A.4.2.	Les métaux non ferreux	16
II.1.A.4.3.	Les métaux ferreux.....	16
II.1.A.4.4.	Les métaux nobles.....	16
II.1.A.4.5.	Platinoïdes.....	16
II.1.B.	Hoggar oriental.....	17
II.1.B.1.	Lithostratigraphie.....	17
I.1.B.1.1.	Protérozoïque Supérieur «PR3 »	17
II.1.B.2.	Magmatisme.....	17
II.1.B.2.1	Les Complexes magmatiques intrusifs.....	17
II.1.B.2.2	Les Complexe magmatiques du Cretace sup- quaternaire.....	17
II.1.B.3.	Tectonique.....	17
II.1.B.3.1.	Étage structural inferieur.....	18
II.1.B.3.2.	Étage structural moyen.....	18
II.1.B.4.	Minéralisations.....	19
II.1.B.4.1.	Minéralisations Aurifères (Métaux Nobles).....	19

II.1.B.4.2. Métaux rares.....	19
II.1.B.4.3. Polymétaux.....	19
II.1.B.4.4. Terres rares et éléments radioactifs.....	20
II.2. Les séries intermédiaires.....	20
II.2.1. Introduction.....	20
II.2.2.1. Lithostratigraphie.....	21
II.2.1.1. Hoggar central.....	21
II.2.2.1.1. La série pourprée de l’Ahnet.....	21
II.2.1.2. Hoggar oriental.....	22
II.2.2.2.1 La série de Tiririne (les molasses panafricaines de Tiririne).....	22
II.2.2.2.2 La série de Arokam.....	24
II.3. La couverture	24
II.3.1. Lithostratigraphie.....	25
II.3.1.1 Paléozoïque.....	25
II.3.1.1.a. Cambro-ordovicien à ordovicien.....	25
II.3.1.1.b. Silurien	30
II.3.1.1.c. Silurien à Dévonien inférieur.....	31
II.3.1.1.d. Dévonien inférieur.....	31
II.3.1.1.e. Dévonien moyen à supérieur.....	33
II.3.1.1.f. Dévonien supérieur à Carbonifère.....	34
II.3.1.1.g. Carbonifère.....	35
II.3.1.2. Mésozoïque.....	35
II.3.1.2.1 Crétacé.....	35
II.3.1.3 Formations post mésozoïques.....	35
II.3.1.3.1 -Tertiaire continental.....	35
II.3.1.3.2 -Quaternaire.....	35
II.3.1.2. Tectonique.....	36
II.3.1.3. Magmatisme.....	36

II.3.1.4 Minéralisation.....	37
------------------------------	----

CHAPITRE III : SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE

I.III.1. Généralités sur Le SIG	39
III.1.1 Introduction.....	39
III.1.2. Définition de SIG.....	39
III.1.3. Les composantes d'un SIG.....	40
1) Logiciels.....	41
2) Matériel.....	41
3) Données.....	41
4) Les utilisateurs.....	42
5) Méthodes.....	43
III.1.4. Mode de présentation des données dans un SIG.....	43
1) Mode raster.....	43
2) Mode vecteur.....	44
3) Comparaison des Modes vecteur et raster.....	45
III.1.5. Structure de l'information géographique dans un SIG.....	46
III.1.6. Que nous permet de faire un SIG ?.....	47
III.1.7. Les domaines d'application du SIG.....	48
III.2. SIG sous ArcGIS.....	49
1) Définition du logiciel ArcGis.....	49
2) Présentation du logiciel ArcGIS 10.....	49
a) Présentation de l'interface ArcMap.....	49

b) Présentation de l'interface ArcCatalog.....	50
c) ArcToolbox.....	52
3) Le document MXD.....	54
III.3. Application à la région d'étude.....	56
III.3.1. Introduction.....	56
III.3.2. Étapes suivies pour la réalisation du projet « SIG ».....	56
III.3.2.1 Géoréférencement.....	57
III.3.2.2 La vectorisation des différentes formations géologiques.....	62
❖ Les étapes de la vectorisation d'une carte à l'aide d'ArcGIS.....	63
IV.2 La vectorisation des différentes formations géologiques.....	65
IV.2.1 Vectorisation l'information surfacique (Polygone).....	65
✚ Lithologie.....	65
✚ Magmatisme.....	66
IV.2.2 Vectorisation l'information linéaire (Polyligne).....	67
✚ Tectonique.....	67
IV.2.3 Vectorisation l'information Ponctuelle (Point).....	68
✚ Minéralisation.....	68
IV.3 Mise en page.....	71
 CHAPITRE IV : TELEDETECTION	
IV.1. Rappels théoriques	79
IV.1.1. Introduction	79
IV.1.2. Définition	79
IV.1.2. Principes de base de la télédétection	79

IV.1.2.1. La source d'énergie	79
IV.1.2.2. La cible	80
IV.1.2.3. Le vecteur (ou plateforme d'embarcation)	80
IV.1.3. Bases physiques de la télédétection	80
IV.1.3.1. Rayonnement électromagnétique (REM)	81
IV.1.3.2. Sources du rayonnement électromagnétique	81
IV.1.3.3. Caractéristiques du REM : le spectre électromagnétique	82
IV.1.4. Les sept étapes clés de la télédétection	83
IV.1.4.1. Source d'énergie ou d'illumination « étape a ».....	83
IV.1.4.2. Interaction rayonnement – atmosphère « étape b »	84
IV.1.4.3. Interaction REM – cible « étape c »	84
IV.1.4.4. Enregistrement de l'énergie par le capteur « étape d ».....	84
a- Télédétection passive	85
b- Télédétection active (RADAR, LIDAR)	85
IV.1.4.5. Transmission, réception et pré-traitement des données « étape e »	85
IV.1.4.6. Interprétation, traitement et analyse « étape f »	86
IV.1.4.7. Application « étape g »	86
IV.2. Les images satellitaires « images Landsat »	86
IV.2.1. Introduction	86
IV.2.2. Images satellitaires de LANDSAT 8	88
IV.2.2.1. Les bandes spectrales de l'instrument OLI (Operational Land Imager)	88

IV.3. Traitement, analyse et interprétation des images Landsat sous ArcGIS	90
IV.3.1. Introduction.....	90
IV.3.2. Les procédures de la Manipulation des images Landsat 8 sous ArcGIS	91
IV.3.2.1. Téléchargement.....	91
IV.3.2.2. Création d'un espace de travail « Workspace », dézippage et affichage des images.....	91
IV.3.2.3. Création de l'image composite.....	93
IV.3.2.4. Mosaïquage et découpage.....	94
IV.3.2.5. Interprétation et cartographie.....	97
🚦 Filtrage et combinaison des bandes spectrale de l'image composite...97	
IV.3.2.5.1. Cartographie automatique.....	98
IV.3.2.5.2. Cartographie manuelle.....	99
IV.3.3. Application à la cartographie de la zone de jonction socle-couverture.....	100
CONCLUSION GÉNÉRALE	104
<u>LISTE DES FIGURES</u>	IX
<u>LISTE DES TABLEAUX</u>	XII
<u>LISTE DES CARTES</u>	XII
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	XIII

LISTE DES FIGURES

Figure 01: Tableau d'assemblage des coupures de la zone d'étude au 1/200.000...	2
Figure 02: Situation géologique de la région d'étude.....	3
Figure 03: Carte géologique de l'Algérie (D.Belhai , 1996).....	5
Figure 04: Subdivision structurale de bouclier Touareg (Bertrand et Caby 1978)....	6
Figure 05: Carte des différents terranes formant le bouclier touareg d'après Liégeois et al.,2003.....	10
Figure 06: Présentation de la région d'étude (coupures régulières à l'échelle 1/200.000).....	11
Figure 07: Les différents éléments morphologiques et géologiques des grès cambro-ordoviciens.....	26
Figure 08: La partie supérieure du grès Tin Taharadjeli (unité II), le 'Vire du Mouflon' (schiste El Gassi), et le 'Banquette' (quartzites de Hamra) formant le Tassili interne.....	28
Figure 09: La formation In-Tahouite, « Iherir » qui se compose de siltites en mer et peu profondes marins grès.....	29
Figure 10: Marge d'une vallée glaciaire incisée dans la formation In Tahouite, vallée Iherir.....	30
Figure 11: Chronostratigraphie du Cambro-Ordovicien dans le bassin d'Ilizi (Sonatrach et BP, rapport interne 1994).....	38
Figure 12: Base de données géographiques.....	40
Figure 13: Composante d'un SIG.....	40
Figure 14: Taille/dimension de la représentation des données.....	42
Figure 15: Exemple de quelques données Raster (a : image satellitaire, b : image scannée, c : ortho photo aérienne) (BONNET M.2012).....	43
Figure 16: Exemple de données vecteurs	44
Figure 17: Mode de représentation de l'information géographique.....	46
Figure 18: Structure de l'information géographique dans un SIG (Habert, 2000)..	47
Figure 19: Présentation de fenêtre ArcMap.....	50

Figure 20: Présentation de la fenêtre ArcCatalog	51
Figure 21: Fenêtre ArcCatalog a travers ArcMap.....	52
Figure 22: Fenêtre ArcToolBox	53
Figure 23: Fenêtre d'enregistrement du document ArcMap	54
Figure 24: Fenêtre des propriétés de la carte.....	55
Figure 25: Une présentation d'interface d'ArcCatalog montrant icone connexion a un dossier.....	58
Figure 26: la propriété de la référence spatiale dans ArcCatalog.....	60
Figure 27: la propriété de la référence spatiale dans ArcMap.....	61
Figure 28: Géoréférencement de la carte géologique	62
Figure 29: Ouvrir un nouveau fichier de formes	63
Figure 30: Fenêtre de fichier de forme.....	64
Figure 31: Outil Éditeur	65
Figure 32: Présentation de Dépôts du du Quaternaire vectorisé de la feuille Erg-Tihoudaine.....	65
Figure 33: Présentation de Formation de Tamadjert vectorisé de la feuille Djanet.	66
Figure 34: Exemple de vectorisation d'une couche magmatique de la feuille Aharhar.....	66
Figure 35: Présentation des différentes failles vectorisées de la feuille Djanet.....	67
Figure 36: Exemple de catalogues des minéralisations	68
Figure 37: Exemple de Fiche Excel (Document fais partie de la base de données	69
Figure 38: Vectorisation de la couche « Points Minéralisé » de la feuille Djanet.....	70
Figure 39: Vectorisation de la couche « Métaux nobles Au, Ag» de la feuille Djanet.	70
Figure 40: Mode mise en page dans l'interface ArcMap.....	71

Figure 41: Liste d'outils disponibles à l'insertion.....	72
Figure 42: Boite de dialogue pour insérer un titre à la carte.....	72
Figure 43: Sélection d'une flèche de Nord.....	73
Figure 44: Sélection d'une barre d'échelle.....	73
Figure 45: L'assistant de légende (1).....	74
Figure 46: L'assistant de légende (2).....	75
Figure 47: L'assistant de légende (3).....	75
Figure 48: L'assistant de légende (4).....	76
Figure 49: L'assistant de légende (5).....	77
Figure 50: Choix de la résolution et du format de l'image en sortie.....	78
Figure 51: Carte exporté de la feuille Erg Tihoudaine.....	78
Figure 52: Schéma explicative des 3 principes de la télédétection.....	80
Figure 53: Spectre du rayonnement électromagnétique solaire.....	82
Figure 54: Les étapes du processus de la téledetection.....	83
Figure 5 5: Principaux types de satellites Landsat.....	88
Figure 56: les procédures d'application de la télédétection a la cartographie.....	90
Figure 57: Affichage des 11 fichiers images dans ArcMap.....	92
Figure 58: fenêtre copier un ratser.....	94
Figure 59: fenêtre mosaïque vers un nouveau raster.....	95
Figure 60: résultat finale après le mosaïquage et découpage des images selon la région d'étude.....	97
Figure 61: Vu générale de la région d'étude et la limite basé sur la cartographie des images Landsat 8.....	101
Figure 62: Un exemple de cartographie Sonatrach Becip 1972 acceptable « partie SO de la carte djanet ».....	102
Figure 63: Un exemple ou la cartographie du Sonatrach Becip 1972 comprend des erreurs « partie NE de la carte Amguid ».....	103

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 : Avantages et inconvénients des deux modes raster et vecteur.....	49
Tableau 02 : Les bandes spectrale de Landsat 8.....	89
Tableau 03 : Les bandes de Landsat 7 et Landsat 8.....	89

LISTE DES CARTES

- Annexe 1** : Cartographie SIG de la feuille au 1/200.000 Amguid.
- Annexe 2** : Cartographie SIG de la feuille au 1/200.000 Tan Mellelt.
- Annexe 3** : Cartographie SIG de la feuille au 1/200.000 Erg Tihoudaine.
- Annexe 4** : Cartographie SIG de la feuille au 1/200.000 Aharhar.
- Annexe 5** : Cartographie SIG de la feuille au 1/200.000 Iherir Dedier.
- Annexe 6** : Cartographie SIG de la feuille au 1/200.000 Djanet.

1. But et objectif du travail :

Dans le but de mettre en application les informations acquises durant notre cursus universitaire on va travailler sur le thème de Cartographie SIG au 1/200.000 de la bordure socle-couverture NE du Hoggar, Algérie.

Le but de ce travail consiste tout d'abord à édifier un SIG c'est à dire transformer l'information géologique disponible en format raster en un autre format plus adéquat qui est le format vecteur. En plus, des opérations des opérations de traitement et d'analyse d'images satellitaires en vue d'améliorer la qualité de la limite géologique qui caractérise la partie NE du Hoggar.

Ce travail nécessite en premier lieu l'outils informatique et en particulier le logiciel ArcGIS. Dans ce mémoire nous avons réalisé également une synthèse géologique globale sur notre région d'étude.

Les résultats nous ont permis de mieux gérer l'information géologique pour la partie SIG, et de bien précisé la cartographie de la jonction socle couverture.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

2. Situation géographique de la région d'étude :

Administrativement notre région d'étude se situe en Algérie et fait partie du territoire du Hoggar qui appartient à la wilaya de Tamanrasset et Illizi.

Elle se situe au NE du massif du Hoggar, il s'agit d'une zone composée d'un socle protérozoïque et de sa couverture paléozoïque.

Elle est constituée de 6 feuilles au 1/200.000 qui sont :

-Amguid, Tan mellelt, Erg tihoudaine, Aharhar, Iherir dider, Djanet.

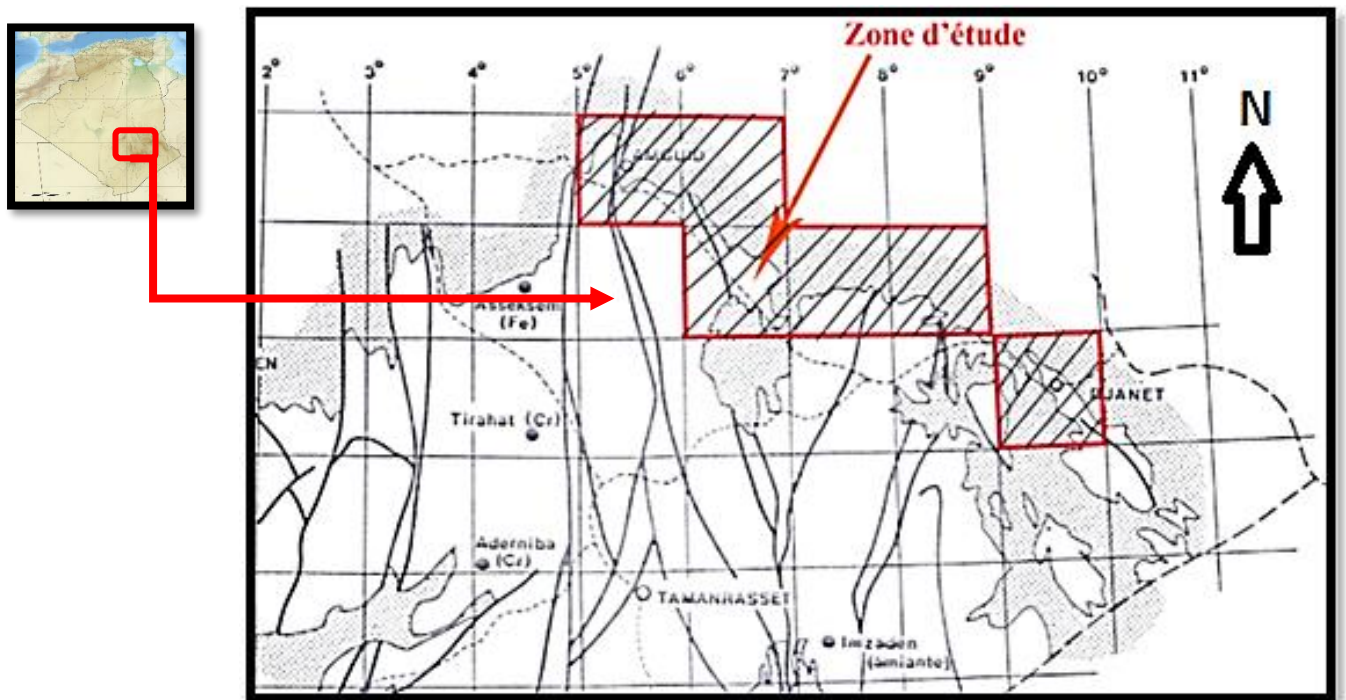


Fig.01 : Tableau d'assemblage des coupures de la zone d'étude au 1/200.000.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

De point de vue structurale cette région est à cheval sur deux compartiments du Hoggar, le Hoggar central et le Hoggar oriental (**fig.02**)

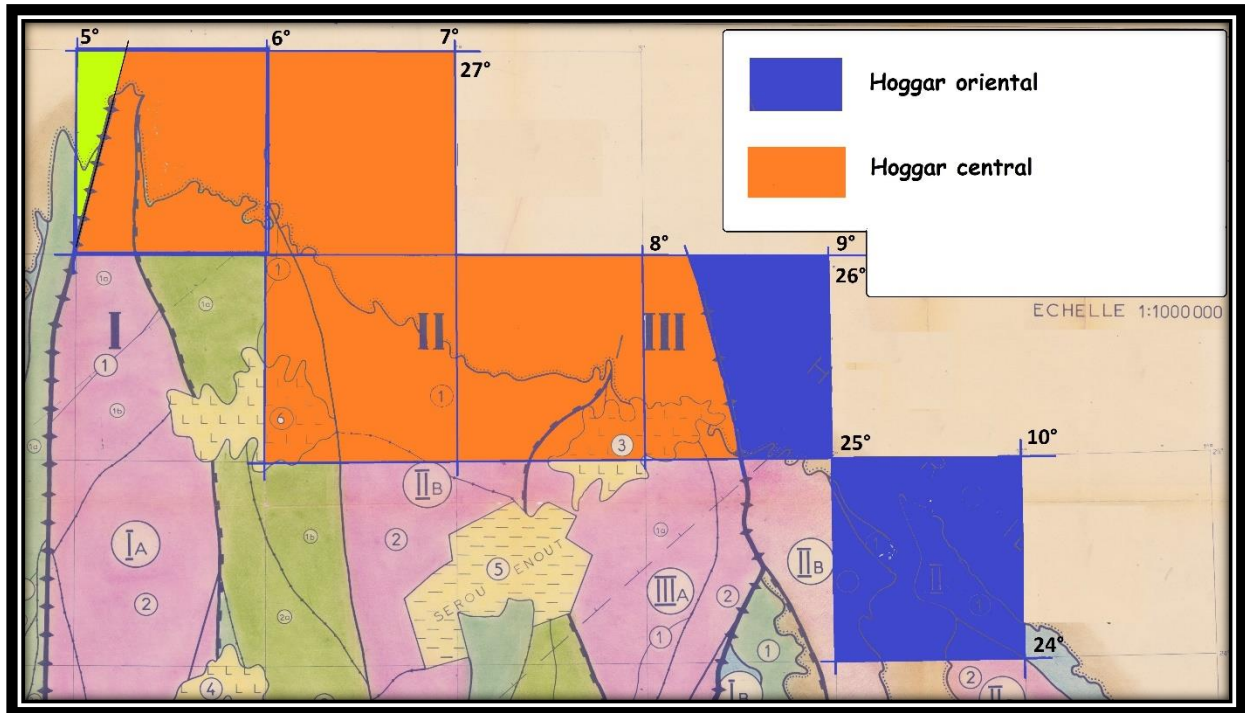


Fig.02 : Situation géologique de la région d'étude.

3.Climat, faune et flore :

Le Hoggar est caractérisé par un climat de type hyperaride et désertique, la quantité de pluie annuelle est très faible avec une moyenne de 25mm/an Néanmoins en raison de l'altitude moyenne (1100m) il existe quelques zones plus abritées et humides, la température moyenne annuelle est de 20 à 21°C avec un pic de 50°C en été et 1°C en hiver.

La densité de la population de l'Ahagar est extrêmement basse, ce n'est que vers qu'une localité présente avec environ 9000 habitants ; Le Fort Charlet (Djanet) qui est le centre administratif de l'Ahagar oriental. Partout ailleurs le territoire est parsemé par de rares campements provisoires de Touaregs.

Parmi la faune, on nombre plus 230 espèces animales qui sont encore vivantes et se trouvent notamment dans la partie élevée du plateau comme les grands mammifères : le mouflon à manchette qui se maintient bien dans les régions les plus escarpées, des gazelles dans les grands oueds ; On note aussi la présence du fennec, le renard, le chat des sables « Kazaza », le goundi du Sahara. Quant à l'avifaune elle est représentée par la chouette, le buse féroce et l'aigle royal.

La flore comprend des espèces typiques de la région saharienne qui sont le cyprès du Tassili, l'acacias, le tamaris ainsi que quelques plantes médicinales.

Introduction :

Le Hoggar affleure au Sud de l'Algérie et s'étend sur près de 700 km du Nord au Sud et 1000 km de l'Est à l'Ouest. Il forme un socle précambrien recouvert en discordance par des formations paléozoïques (Lelubre, 1952, Bertrand, 1974) et il représente la principale composante du bouclier touareg et fait partie de la chaîne panafricaine trans-saharienne (Cahen et al., 1984) (**fig.03**).

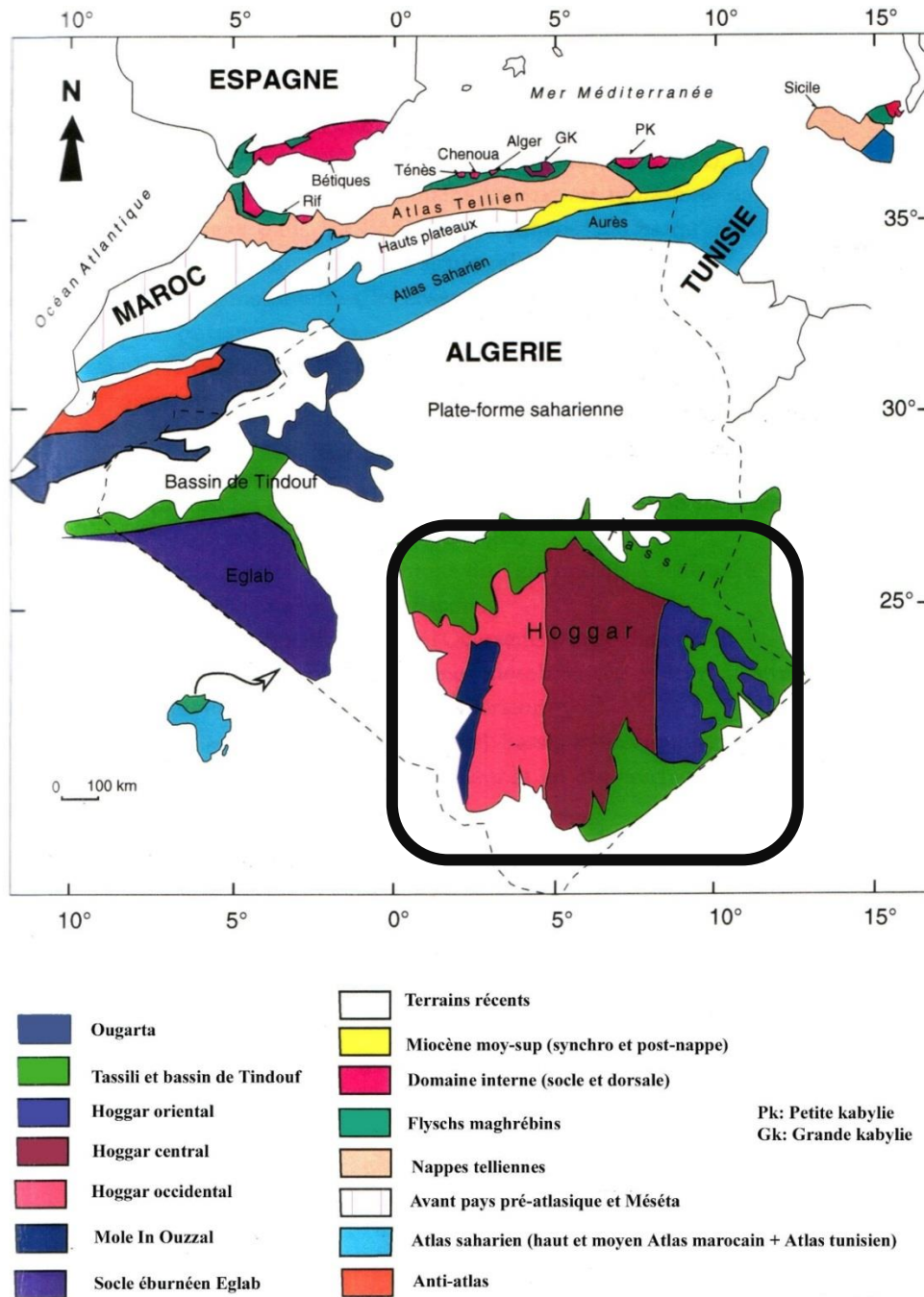


Fig.03 : Carte géologique de l'Algérie (D.Belhai , 1996).

I.1 Les différents domaines du Hoggar :

Le Hoggar est subdivisé en trois principaux domaines allongés N-S et présentant des caractéristiques structurales et lithologiques différentes (**fig.04**) ce sont d'Ouest en Est :

- Le Hoggar occidental (Chaîne Pharusienne).
- Le Hoggar central polycyclique.
- Le Hoggar oriental.

Ces trois domaines sont respectivement séparés par des accidents majeurs subméridiens : l'accident $4^{\circ} 50'$ et l'accident $8^{\circ} 30'$. Une telle disposition de ces domaines résulte d'une compression E-W 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*).

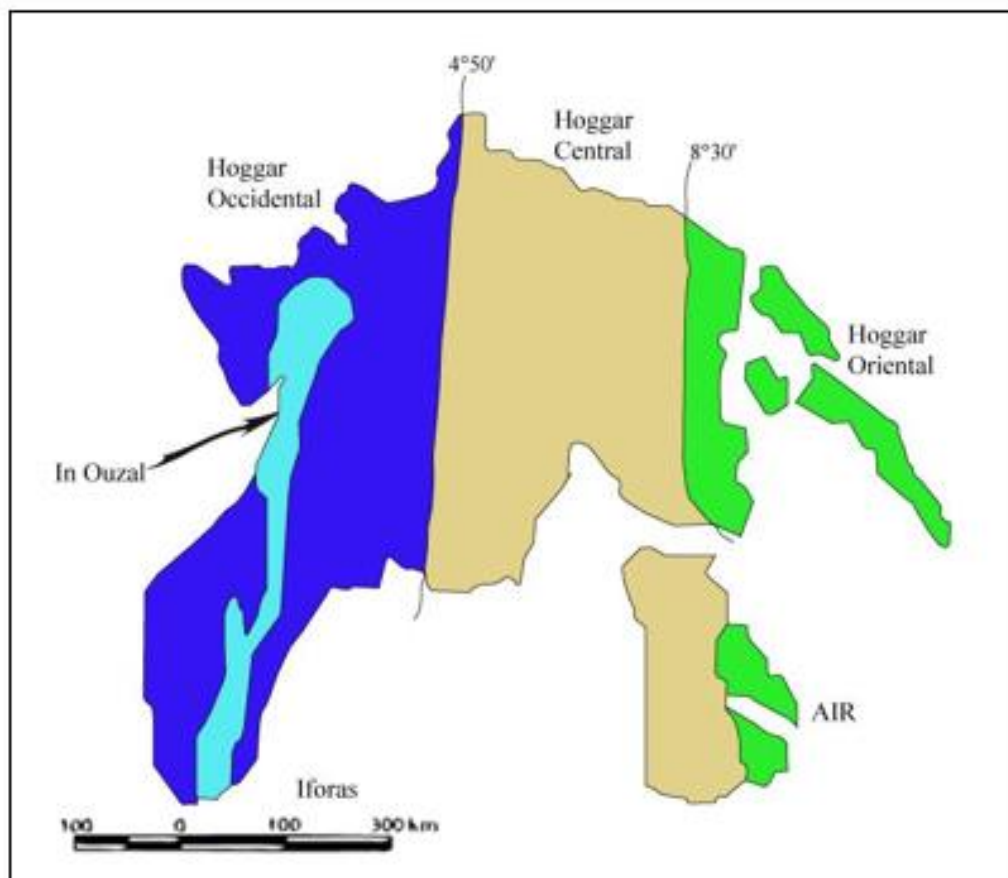


Fig.04 : Subdivision structurale de bouclier Touareg (Bertrand et Caby 1978).

I.1.1 Le Hoggar Occidental :

Limité à l'ouest par le Craton ouest africain et à l'Est par l'accident 4°50'. Le Hoggar occidental est subdivisé en deux rameaux (oriental et occidental) séparées par le môle In-Ouzzal (terrine d'In-Ozzal) formé de matériaux d'âge archéen structurés et métamorphisés à l'Eburéen (*Haddoum et al. 1994*). Il constitue un vaste domaine où affleurent essentiellement des formations volcano sédimentaires. (Semiani et al,2004).

Le rameau oriental : comprend quatre principales séries d'âge néoproterozoïque se distinguant par leur lithologie et leur chronologie relative. Ce sont de bas en haut : la série de plateforme à stromatolites (*décrite in Caby, 1970*), la série volcano-sédimentaire, la série détritique et la série volcanogène.

Ces séries sont envahies par des intrusions magmatiques de nature variée constituant l'essentiel des affleurements dans cette région. Plusieurs lambeaux de roches ultramafiques serpentinisées, généralement riches en chromite, sont associés aux niveaux inférieurs des formations volcano-sédimentaires. Les formations mésoproterozoïques forment une ceinture d'allongement N S, localisées en bordure du môle In Ozzal. (Semiani et al, 2004)

Le rameau occidental comprend :

Des fragments d'un socle gneissique d'âge pléoproterozoïque injectés par des granites datés à 2090 Ma (Allègre et Caby, 1972) ;

La série à stromatolites telle que définie R. Caby (1970) dans le NW du Hoggar, d'âge Mésoproterozoïque, métamorphisée dans le faciès amphibolite comparable à celle du rameau oriental ;

La série volcano-sédimentaire, d'âge Néoproterozoïque, discordante sur cette dernière.

I.1.2 Le Hoggar Central :

Il est limité à l'Ouest par l'accident majeur 4° 50' et à l'Est par l'accident 8° 30'. Cette partie est considérée comme poly-orogénique.

Trois grandes zones ont été distinguées qui sont d'Ouest en Est :

- La zone de **TEFEDEST-ATAKOR** : Comprise entre la 4°50' et la fracture AMDED-AREFSA, caractérisée par une abondance de granitoïdes présumés panafricains recoupant les métamorphites dans lesquelles deux séries ont été distingué :
- La « **SERIE DE L'ARECHOUM** » à gneiss et reliques de granulites datées A 2200 MA.
- La « **SERIE DE L'AMISIKASSENE** » à métasédiments.
- La zone de **l'EGERE-AREFSA**, elle est subdivisée en trois parties : **L'Aleksod** et **le Tazoulet** où l'on distingue la « série de l'Arechoum » à la base et la « série de l'Aleksod » à métasédiments (900 MA).
- La « série de Touhra » : à noyau ancien (série de l'Arechoum).
- La « série de **l'Aarefsa** Occidental et la série de l'Afedafeda » à formations épimétamorphiques (d'âge indéterminé).
- La zone orientale **GOUR OUMELLALEN - TIMASSINT** : elle est formée de gneiss catazonaux rouges, de leptynites et quartzites chromifères et une série à micaschistes à 2000 MA (*Lattouchel, 1978*).

I.1.3 Le Hoggar Oriental :

Il constitue toute la partie Est de l'accident 8° 30', où été distingués trois unités ayant évolué différemment :

- Le môle d'Issalene, constitué de 2 formations : formations gneissiques et complexes méta-sédimentaires.
- La « **série de Tiririne** » d'âge 6605 MA (*L. Aucrot et J.R Lancelot 1976*). Elle est constituée d'arkoses, de conglomérat et calcaires à stromatolithes. Cette formation tiririnienne repose en discordance sur le pré Tiririnen du Tafassasset.
- Le **socle pré Tiririnen** de **Tafassasset**, représente le socle de la « **série de Tiririne** ».

Il est d'âge inconnu, composé de métasédiments, de métavolcanites, roches plutoniques, alternances de chloritites et de groawackes.

I.2.Le concept de terranes :

Le Bouclier targui est défini comme un orogène de collisions multiples, constitué par un assemblage de 23 terranes (**Fig.05**), amalgamés puis déplacés le long de "mega-shear zones" au cours de l'orogénèse panafricaine (*Black et al, 1994 ; Liégeois et al, 1994 ; Liégeois et al, 2000 ; Caby, 2003 ; Liégeois et al, 2003*).

Bien que ces terranes se soient formés dans un même environnement paléogéodynamique durant l'orogénèse panafricaine (*Liégeois et al, 1994*), ils se distinguent les uns des autres par leurs propres caractéristiques lithologiques, tectono-métamorphiques et magmatiques.

I.2.A. Le Hoggar occidental :

Au sein de cette entité panafricaine, le terrane d'In Ouzzal forme un bloc rigide isolé d'âge archéen, structuré et métamorphisé à l'Eburnéen (*Haddoum et al., 1994*).

Ce bloc sépare le domaine occidental (**terranes de l'Ahnet et de Tassendjanet**) du domaine oriental (**terranes de Tirek, Tin Zaouaten, In Teidini et d'Iskel**).

I.2.B. Le Hoggar central :

Il regroupe quatre terranes (**Laouni, Azrou-n-Fad, Téfédést et Egéré-Aleksod**), désignée par l'acronyme LATEA. Ce dernier est interprété comme un vieux micro-continent archéo-éburnéen, qui au Panafricain correspondait à une marge passive (*Liégeois et al. 2000 ; Latouche et al, 2000*).

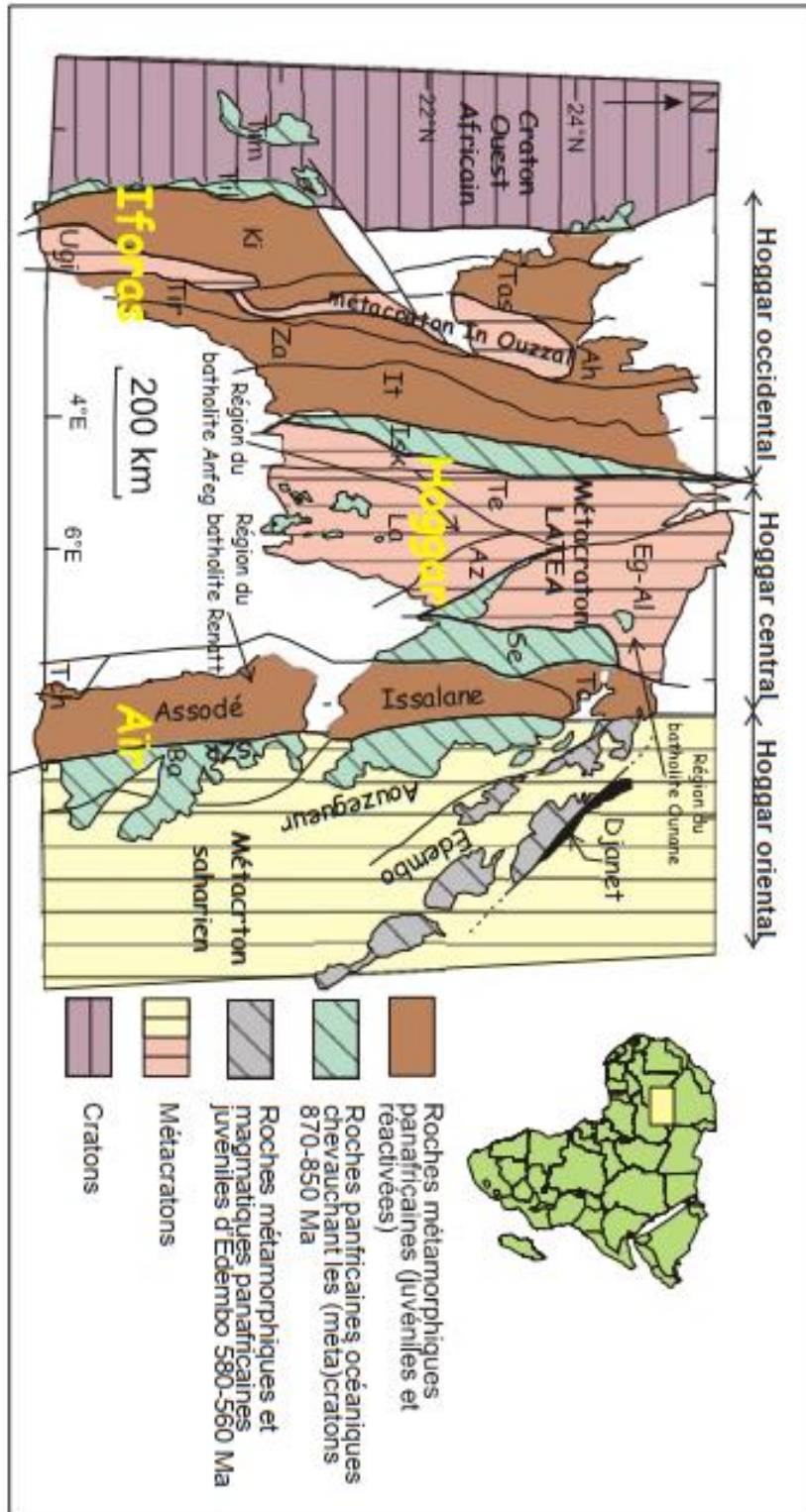
-Un bloc oriental (**terrane d'Assodé -Issalane**), séparés par le terrane juvénile à ophiolites de Serouénout est aussi associé à la LATEA (*Liégeois et al, 2003*).

I.2.B. Le Hoggar oriental :

Cette partie du bouclier est constituée de trois terranes, partageant comme front commun la zone de cisaillement 8.30'. Ils sont accolés les uns aux autres

par l'intermédiaire de failles orientées NNW-SSE. Il s'agit des terranes de : **Djanet, Edembo, et d'Aouzegueur.**

Géographiquement les 23 terranes, sont répartis comme suit à l'échelle de tout le Hoggar :



Introduction :

Notre région d'étude est située à la limite socle (protérozoïque) - couverture (paléozoïque) au NE du Hoggar.

Elle est composée de six feuilles de 1/200 000 appartenant à deux (2) grands blocs du Hoggar :

Hoggar central :

- Amguid** : longitude (26° ; 27°) de latitude (5° ; 6°)
- Tan mellelt** : longitude (26° ; 27°) de latitude (6° ; 7°)
- Erg Tihoudaine** : longitude (25° ; 26°) de latitude (6° ; 7°)
- **Aharhar** : longitude (25° ; 26°) de latitude (7° ; 8°)
- La partie Est de la feuille **Iherir Didier** : longitude (25° ; 26°) de latitude (8° ; 9°)

Hoggar oriental :

- La partie Ouest de la feuille **Iherir Didier** : longitude (25° ; 26°) de latitude (8° ; 9°)
- Djanet** : longitude (24° ; 25°) de latitude (9° ; 10°)

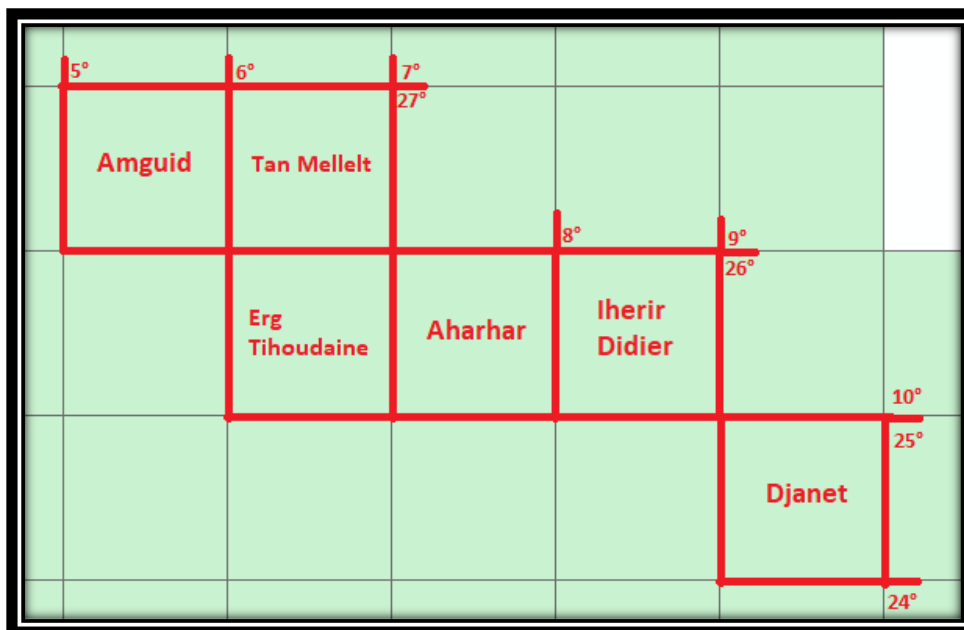


Fig.06 : Présentation de la région d'étude (coupures régulières à l'échelle 1/200.000).

Pour bien illustrer notre secteur d'étude, ce dernier est divisé en 3 subdivisions selon sa composition géologique et son âge :

-Le socle protérozoïque.

-Les séries intermédiaires.

-La couverture paléozoïque.

Notions sur le socle, les séries intermédiaires et la couverture :

En géologie structurale, le **socle** est défini comme un large ensemble de roches qui ont subi une ou plusieurs phases de déformation intense, une ou plusieurs phases de métamorphisme régional, une ou plusieurs granitisations, des intrusions de type varié acides ou basiques, le tout accompagné et suivi par une érosion et une pénéplanisation.

Une fois ce bâti réalisé, une succession de transgressions marines, lacustres, etc., étagées dans le temps, recouvrent complètement ou en partie le bâti érodé, permettant ainsi le dépôt de roches sédimentaires horizontales dont les plans de stratification font un angle plus ou moins fort avec les plans de foliation ou de stratification des roches érodées sous-jacentes.

Cet ensemble de roches sédimentaires nouvellement déposées est appelé **couverture** (sous-entendu du socle sous-jacent).

Les séries intermédiaires présente les formations géologiques qui sont bien déposés avant le dépôt de la couverture sédimentaire, mais aussi après la formation du socle protérozoïque

II.1. Le Socle :

Il comprend les formations Protérozoïque du Hoggar central et du Hoggar oriental :

II.1.A. Hoggar central :

II.1.A.1. Lithostratigraphie :

Le socle affleure dans les terranes de la zone : Tefedest, L'égéré Alkesod, qui appartient exclusivement au Protérozoïque Inferieur.

II.1.A.1.1. Protérozoïque inferieur « PR1 »:

Comporte deux (02) séries métamorphiques, la série de l'Arechchoum, occupe la base, sa limite inférieure n'est pas définie dans la région, elle remonte à 2700 Ma, sa limite supérieure est estimée à 2000 Ma, sa composition est essentiellement gneissique.

En dessus on trouve la série d'Aleksod, sa limite supérieure est datée à 1000 Ma (**J M Bertrand 1994**), elle est gneissique, a méta-sédimentaire. Dans cette série, les bancs de marbres et de quartzites sont assez fréquents. Les critères de distinctions entre ces deux séries sont notamment conséquents, Les ouvrages géologiques pré-existants montrant la présence d'une discordance structurale.

Série de l'Arechchoum « PR1Ar » :

Sa lithologie est essentiellement gneissique ; on y trouve de gneiss à biotite, gneiss à amphiboles, plagio-gneiss, gneiss micassé à grenat, leptinite, gneiss quartziques, ortho-gneiss, migmatite et granite ultra-métamorphiques. Elle occupe de larges superficies de la feuille Erg Tihoudaine,

Série de l'Aleksod « PR1Al » : On recontre cette série dans la partie Nord-ouest de la feuille Erg Tihoudaine, son affleurement est dans la partie synclinale de l'Arechchoum.

II.1.A.1.2. Proterozoïque Terminal :

la chaîne granitique de la Tefedest et la pénéplaine gneissique de l'Archechoum, qui est caractérisée par une discordance entre le groupe de gneiss quartzo-feldspathiques et un groupe de méta-sédiments (Bertrand et al, 1986 et Barbey et al, 1986). Ce complexe est d'âge Panafricain

II.1.A.2. Magmatisme :

Le magmatisme dans la partie centrale du Hoggar central inclue :

II.1.A.2.1. Les Roches intrusives : composé des granites, Grano-diorite, Granite anatectique, Diorite, Gabbro, Gabbro-diorite, Synite, Syno-diorite et de Essexite..

II.1.A.2.2. Les Roches effusives : composé de Basalte à olivine de l'amadrour et de Cratère ou cône d'appareil volcanique

II.1.A.3. Tectonique :

La région central surtout vers le nord, est affectée par un large passage tectonique des sédiments anciens (Archechoum et Aleksod), avec une large zone de fracture avec orientation à NNO accompagnées par deux autres systèmes à savoir le NE et le NO.

D'après tous ces facteurs on définit trois types de structures : failles principales, secondaires et les chevauchements.

II.1.A.3.1. Failles principales : ce système de failles est issu d'une activité intra-cratonique, ils sont généralement des fissures de cisaillement.

II.1.A.3.2. Failles secondaires : ce sont des cassures résultantes des mêmes processus tectoniques qui ont mis en place les failles régionales mais de moins étendus.

II.1.A.3.3. Chevauchements : représentent des déplacements importants du deux ensembles métamorphiques suivant le même plan de foliation.

Selon les orientations les fractures sont sub-divisées en trois systèmes bien distincts :

Le Système sub-meridien (N à NNO), Système NE-SO et Système NO-SE à W-E.

II.1.A.4. Minéralisations :

Dans la partie central, les indices métallifères utiles qui se trouvent dans la feuille ***Erg Tihoudaine*** sont divisés en quatre catégories suivantes :

- 1-Métaux rares : Sn, W, Be, Nb, Y, Ce, La, Li, Zr (31 métaux rares).
- 2-Métaux non ferreux : Cu, Pb, Zn, Bi.
- 3-Métaux ferreux : Ni, Cr, Mn.
- 4-Métaux nobles : Au, Ag.

II.1.A.4.1. Métaux rares :

Les observations géologiques et les résultats des analyses spectrales ont mis en évidence :

- Un indice de Ce-La.
- 08 points minéralisés : Zr : 05 point, Mo : 01 point, W :01 point, Ce-La :01 point.
- 65 anomalies géochimiques.

Les éléments lithophiles (Sn, Mo, Zr) forment le plus grand nombre d'anomalies dans ce groupe, le W, Be, Ce et La forment un nombre réduit.

-Points minéralisés : situés au NO de la feuille Erg Tihoudaine, ils sont lié aux roches métamorphiques du Paléozoïque inferieur, leurs teneurs : Ce=0.1 %, La=0.1 %, Y=0.06 %, Sn=0.002 %.

a-Zircon (Zr) : 04 points minéralisés et 13 anomalies géochimiques sue la feuille Erg Tihoudaine,

b-Tungstène (W) : dans la feuille Erg Tihoudaine, il est signalé uniquement par un point minéralisé et 05 anomalies géochimiques.

c-Etain (Sn) : signalé dans 35 anomalies géochimiques dispersé à travers le territoire des deux feuilles, suivant la bordure Tassilienne. L'étain

forme des anomalies isolées ou associées à quelques éléments (Pb-Sn, Zr-Sn, Mo-Sn et rarement W-Sn).

d-Niobium (Nb) : cet élément forme 10 anomalies géochimiques liées généralement aux roches volcaniques. Les teneurs sont entre 0.001% et 0.004%.

e-Lithium (Li) : cet élément forme 08 anomalies géochimiques qu'elles sont liées aux formations gneissiques et aux filons de quartz, les teneurs sont de 0.001 % à 0.02 %.

II.1.A.4.2. Les métaux non ferreux : Les minéralisations sont localisées dans la feuille Erg Tihoudaine :

- 02 point minéralisés en Pb.
- Un point minéralisé en Cu.
- 06 anomalies géochimiques en Cu.
- 03 anomalies géochimiques en Pb.
- 05 anomalies géochimiques en Bi.

II.1.A.4.3. Les métaux ferreux : forment les éléments suivants : Ni, Cr.

04 points minéralisés et 12 anomalies géochimiques ont été détectées dans la feuille Erg Tihoudaine :

02 points minéralisés en Ni, Cr.

07 anomalies géochimiques en Ni-Cr

II.1.A.4.4. Les métaux nobles : généralement, l'or et l'argent sont paragénetiquement en liaison étroite, ils forment avec d'autres sulfures de Pb, Zn, Cu, Bi, Mo des associations minérales très remarquables. Les minéralisations aurifères ne sont pas visibles par l'observation visuelle du terrain, mais un indice d'or et plusieurs autres anomalies géochimiques sont recensées par le groupe Wolfram dans la région en 1977-1979.

II.1.A.4.5. Platinoïdes : Les Platinoïdes sont plutôt rares dans notre région d'étude, ils sont représentés essentiellement par le Chrome (Cr), Platine (Pt), Nickel (Ni) et le Cobalt (Co).

II.1.B. Hoggar oriental :

II.1.B.1. Litho-stratigraphie :

II.1.B.1.1. Protérozoïque Supérieur :

-La Série de Djanet :

Les formations de cette série s'étendent en direction S.E. et N.E. de la ville de Djanet ; Elles sont constituées de différents schistes ; l'extension des grès est moins importante les intercalations lenticulaires de quartzites et calcaires sont très peu répandues.

Les roches de la série de Djanet sont recoupées par des intrusions des granites de Taourirt qui provoquent un certain métamorphisme de contact.

Le terrane d'Edembo :

Le terrane "d'Edembo" est un ensemble varié de micaschistes, greywackes, basaltes, rhyolites, épi-métamorphisés, associés à des orthogneiss granitiques très déformés.

II.1.B.2. Magmatisme :

Il est observé dans la partie orientale du Hoggar 2 complexes :

II.1.B.2.1 Les Complexes magmatique intrusifs : composé des Complexes intrusifs du protérozoïque supérieur, Complexes intrusifs du protérozoïque moyen et de Complexe magmatique du protérozoïque inférieur.

II.1.B.2.2. Complexe magmatique du cretace sup-quaternaire : composé des Basaltes, Tufs calcaireux-fumerolles carboniques.

II.1.B.3. Tectonique :

La tectonique du Hoggar Oriental est caractérisée par :

II.1.B.3.1. Étage structural inférieur :

Cet étage est formé par les roches protogènes sédimentaires et ultramorphiques du complexe Suggarien qui correspondent au cycle de sédimentation du Protérozoïque inférieur et aux granitoïdes du complexe d'Issalane. Les roches qui appartiennent à l'étage inférieur forment sur le terrain étudié, deux structures importantes anticlinales : celle a Mariaou qui n'est qu'une prolongation de la structure de Djanet.

La structure est affectée par les failles de direction Est, N.E. et N.W. Dans l'ensemble elle est coupée au Sud-Ouest par une grande fracture (par une zone de failles).

La longueur de la structure dépasse 170 km. sa largeur (incertaine est proche de 30- 50 km, la pente des roches dans la partie axiale est douce (de 15 a 25°) raide (de 50 a 60°). Les structures secondaires plus petites atteignent 10 a 15 km de longueur, leurs ailes ont de 1 a 3 km de largeur, avec le pendage de 50 a 70° avec plissement tendu, parfois isoclinal et les plis d'étirement le long des grandes dislocations.

II.1.B.3.2. Étage structural moyen :

On distingue ici deux sous étages :

1-Le sous étage inférieur :

Il est composé de formations effusives diverses de porphyrites diabasiques jusqu'à rhyolite inclusivement. Elles sont caractérisées par l'alternance fréquente des nappes par les changements de facies, par le biseautage rapide de ces coulées.

Les roches de ce sous étage forment des plis doux, larges de 3 a 5 km, et aux angles de pendage de 30 a 40°. La longueur des structures n'est pas définie vu la structure en blocs du terrain.

2-Le sous étage supérieur :

Il est peu développé, dans les limites de la région de plissement du Hoggar orientale sur le terrain étudié les roches du sous étage supérieur forment deux zones structurales et formationnelles (Djanet et Admer) et la dépression d'Arokkan.

II.1.B.4. Minéralisation :

Comme au Hoggar central la minéralisation du Hoggar oriental « **feuille djanet** », Est aussi constituée de plusieurs indices, points minéralisés « PM », anomalies géochimiques « AG », minéralogiques « AM » et ponctuelles « AP ». Qui sont regroupé comme suit :

II.1.B.4.1. Minéralisations Aurifères (Métaux Nobles):

Contenant l'Or et l'Argent, généralement liées aux filons de quartz dans la zone des roches a microclinisation.

II.1.B.4.2. Métaux rares :

L'Étain est le minéral utile principal de cette region de djanet . La majorité des indices se situent à l'intérieur de la zone structuro-formationnelle de Djanet.

Les métaux rares sont essentiellement composés par l'Étain (Sn), Tungstène (W), Béryllium (Be), Lithium (Li), Tantale (Ta), Niobium (Nb), Molybdène (Mo) et Yttrium (Y).

II.1.B.4.3. Polymétaux : Des indices de cuivres sont trouvés dans la zone structurale de Djanet. Ils sont localisés dans les filons de quartz et dans les zones de broyage de quartzification.

Les polymétaux sont abondants dans la région orientale, et sont représentés principalement par le Cuivre (Cu), le Plomb (Pb), et le Zinc (Zn)

II.1.B.4.4. Terres rares et éléments radioactifs :

On remarque la présence du Zirconium, avec une concentrations du Zirconium dans la zone de broyage de grès cambro-ordovicien hematitisés, sa teneur en zirconium atteint 0,5% dans les indices de minéralisation du type magmatiques et d'infiltration.

Les terres rares et éléments radioactifs sont peu abondant, et sont représentés par l'Uranium, le Yttrium « Y », Thorium « Th » et le Zirconium « Zr ».

II.2. Les séries intermédiaires :

Elles sont d'âge Cambrien, et correspondent à la période où la chaîne surgit a été érodée (*Fabre, 1976*). Les produits de démolition, constituant des séries intermédiaires entre les formations orogéniques et celles de plateforme d'âge Paléozoïque, vont se déposer dans des zones subsidentes, généralement en distension.

Ces molasses ont été attribuées au Cambrien ou à l'Infracambrien (quand elles ne sont pas fossilifères).

Les affleurements des principales molasses dans le bouclier Targui sont :

Au Hoggar central :

Il s'agit de la série Prouprée de l'Ahnet située à l'ouest du Hoggar. Elle peut être très épaisse (5000 m dans le fossé de Ouallène). Son dépôt s'est accompagné de magmatisme, signe de formation de fossés distensifs (*Fabre, 1982*),

Au Hoggar oriental : Elles sont représentées par deux series :

- la série de Tiririne dans le Hoggar Oriental, du même âge que la Série Verte du Pharusien (600 Ma), donc antérieure de 50 Ma à la Série Pourprée,

- les séries détritiques peu métamorphiques, rencontrées par les sondages pétroliers sous l'Ordovicien ou le Cambrien. Ces séries ont été souvent comparées à la Série Pourprée de la chaîne Pharusienne.

Au niveau de la zone Panafricaine, la phase principale de la cratonisation au Cambrien est associée à un fonctionnement en horst et graben, lié au jeu des grands accidents, et la mise en place de granites. Les déplacements horizontaux semblent avoir été très importants à cette époque (*Fabre, 1976 ; Caby et al, 1981*).

Dans notre étude ces séries sont représenté respectivement dans le Hoggar central par La série pourpé de l'Ahnet et par la série de Tirirne et Arokam dans le Hoggar oriental.

II.2.2. Litho-stratigraphie :

II.2.2.1. Hoggar central :

II.2.2.1.1. La série pourprée de l'Ahnet :

Découverte par Monod (1931-1932) dans l'Ahnet, c'est une série sédimentaire beaucoup moins déformée que le socle et recouverte en discordance par les grès des Tassilis Internes (en 1967 *Caby et Moussu*) ont montré que cette série s'est déposée dans des fossés distincts.

On peut distinguer d'Ouest à l'Est, 7 bassins qui montrent des histoires et une sédimentologie différente : du marin à l'Ouest, au continental à l'Est, au pied de la chaîne, mais aussi une évolution du Sud vers le Nord. (*Ait Kaci et Moussine Pouchkine 1987*).

Dans le bouclier Touareg, et en particulier dans la partie centrale, on connaît des affleurements de sédiments détritiques peu déformés dont l'évolution ne dépasse pas l'anchizone ou le sommet de l'épizone et que l'on peut attribuer à des dépôts molassiques.

Ils correspondent à des résidus conservés au fond de bassins intra-montagneux.

Ces reliques ont subsisté dans des fossés souvent étroits contre de grandes fractures, en particulier celles qui limitent les différents blocs, les «terrane» juxtaposés (*Black et al., 1994*) qui constituaient la chaîne.

On peut distinguer deux types de séries.

Le premier serait la Série de Tebourharine (à la limite septentrionale du bouclier).

C'est une succession de siltites, grauwackes fines ou grossières, calcaires roses (rares), et conglomérats. Ces derniers évoquent parfois des coulées boueuses.

L'un d'eux, étudié avec A.Attar, contenait 50% de galets de volcanites acides, 30% de granite, 10% de siltites et grauwackes, 8% de quartzites, 1 à 2% de calcaire, et aucun galet de quartz!

L'affleurement d' Amselka-In Abeless, et dans une certaine mesure celui de Bourzekkal, décrit par Gravelle (1969), se rapprocheraient de ce type. Certains conglomérats pourraient être des tillites.

L'autre type de série est représenté par la Série Pourprée de la Guelta d'Amguid (Lelubre, 1952), arkosique et conglomératique. Arkoses et grès fins ou grossiers montrent des stratifications obliques ; les conglomérats sont riches en galets subanguleux de lydienne et de quartz.

En plusieurs points, comme à Bourzekkal (Gravelle, 1969), on a noté des discordances internes témoignant de déformations contemporaines ; c'était aussi le cas dans la zone d'épisuture.

II.2.2.2. Hoggar oriental :

II.2.2.2.1 La série de Tiririne (les molasses panafricaines de Tiririne) :

Les formations du complexe terrigène de Tiririne se trouvent dans la partie Oriental du hoggar occupant la bande relativement étroite de direction

N.W. subméridienne qui s'observe le long de l'Oued Tafassasset. Elles constituent les dépressions asymétriques dont la largeur varie de quelques kilomètres à 25Km les roches, du complexe tiririnien occupent la partie cordillère Est de la dépression d'Arokkam (KATCHEVSKY et AL, 1980).

La série Tiririnienne du territoire étudié est représentée par des grès (40 à 50%) des aleurolites (30 à 40%), des calcaires récifaux et des calcaires argileux intercalés (5 à 15%), des gravelites et des conglomérats (près de 10), des quartzites (près de 5%). La série est subdivisée en quatre assises de bas en haut :

a- Première assise (PR2 tr1):

Cette assise est représentée par des gravelites, des grès, des conglomérats et par des calcaires massifs récifaux les substituant. L'assise en question est divisée conventionnellement en deux sous assises selon la prédominance des faciès de conglomérats ou récifaux : la sous assise inférieure et la sous assise supérieure.

b- Deuxième assise (PR2 tr2):

Les roches de cette assise reposent en concordance avec une transition graduelle et nette sur les grès massifs à grains grossiers ou sur les conglomérats de la sous assise supérieure de la première assise.

c-Troisième assise (PR2 tr3):

Cette assise est à une dominante gréseuse polyimictique finement et moyennement grenue les aleurolites sont en passes lenticulaires peu puissants. La limite inférieure de l'assise est nettement fixée par la présence des intercalations lenticulaires rapprochées de gravelités dont l'ensemble constitue le niveau inférieur de la troisième assise de 150 à 200m d'épaisseur.

d-Quatrième assise (PR2 tr4):

Les roches de la quatrième assise constituent une bande large de 3 à 7 km de direction subméridienne N.W. le long de la rive gauche de l'oued Tafassasset.

Ses formations reposent en concordances sur les roches de la troisième assise avec un passage graduel dans les intervalles de 5 à 20m.

L'Assise est représentée par une alternance rythmique des formations d'aleurolites et des grès à grains fins et contient des intercalations lenticulaires de calcaires peu nombreux de quelques mètres d'épaisseur (40 à 50m). L'épaisseur de la quatrième assise est de 1500m minimum.

II.2.2.2 La série de Arokkam :

La série d'Arokkam représentée par des grès rouges et les conglomérats bariolés reposant en faible discordance stratigraphique et avec l'érosion sur la quatrième assise de la série de Tiririne la série achève la coupe du complexe Tiririnien (Katchevsky et al . . . 1980).

Le complexe des roches à fragments grossiers de la série d'Arokkam repose en discordance angulaire sur les roches sédimentaires faiblement métamorphosées de la série de Tiririne indifférenciée.

L'épaisseur de la partie apparente de la série d'Arokkam est de 300m.

II.3. La couverture :

Elle comprend les dépôts phanérozoïques qui incluent :

Les dépôts du Paléozoïque, Mésozoïque et post-mésozoïque

Les dépôts du Paléozoïques : Sont connus dans la littérature sous le nom du Tassili, ils constituent la plus grande partie du secteur d'étude.

Ces formations du Tassili composent de roches terrigènes hétérogranulaires tout de conglomérats et de gravillites que des grès et

d'aleurotites et faisant partie de la couverture sédimentaire recouvrent totalement en discordance angulaire et azimutale les roches magmatiques et métamorphiques sous-jacentes du protérozoïque.

L'épaisseur totale du Tassili sur le territoire est de 500 à 550m, la composition lithologique et les lacunes de sédimentation permettent de diviser les dépôts du tassili en Cambro-ordovicien Silurien et Dévonien.

II.3.1. Litho-stratigraphie :

II.3.1.1 Paléozoïque :

II.3.1.1.a. Cambro-ordovicien à Ordovicien :

Les dépôts Cambro-ordovicien occupent d'environ 25 à 30% du territoire étudié et présente dans toutes les feuilles du secteur d'étude.

Elles sont représentées par une falaise de 3.000 km et de 300 m à 400 m de puissance et entoure le socle précambrien.

Ces formations gréseuses se situent à la base de la coupe du Paléozoïque, et ont des caractères très semblables et une sédimentation de type cratonique avec une discordance angulaire sur le socle du précambrien.

Selon leur position et leur lithologie, on les subdivise en trois (03) formations :

-Formations des Ajers (Tin Taharadjeli) ou (unité II).

a) Banquette.

b) Vire du Mouflon (Unité III-1).

-Formation d'In Tahouite (Unité III-3)

-Formations de Tamadjert (Unité IV).

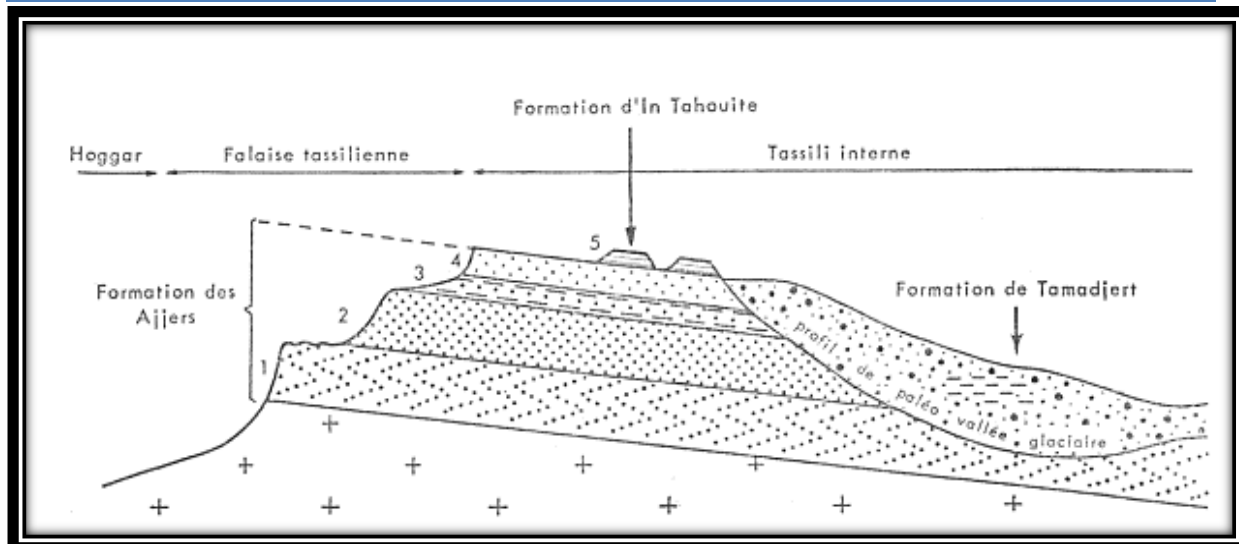


Fig.07 : Les différents éléments morphologiques et géologiques des grès cambro-ordoviciens :

1. Grès à stratifications obliques.
2. Grès en bancs massifs.
3. Replat de la « Vire du mouflon ».
4. Haute corniche de la « banquette ».
5. Grès de la formation d'In Tahouite.

1-Formation des Ajjers (Tin Taharadjeli) ou (unité II) :

Les Ajjers affleurent le long de la bordure Tassilienne, et occupent une surface assez remarquable dans le territoire Paléozoïque.

Cette formation est caractérisée par des grès à stratifications obliques, des conglomérats de base, qui reposent directement sur les formations métamorphiques et magmatiques Précambriennes (socle) par une discordance rectiligne angulaire, et une croûte d'altération ferrugineuse de 2 à 15 m d'épaisseur.

Puis viennent les gravelites et grès quartzeux à gros grains à stratification horizontal et oblique. Son épaisseur est estimée à 130 m (Gabriel et al 1968), trace de la surface d'érosion très régulière qui a permis le dépôt de ces couches gréseuses parfaitement horizontales (fig.07).

Il est noté la présence des fossiles de types VEXULUM et parfois des TIGILITES dans la présente formation.

Les roches caractérisées pas des grès hetero-granulaires parfois à starification oblique et de gravelites et des conglomérats à galets. Parmi les formations basales sont distinguées par deux types des conglomérats à galets fins d'environ 1 m d'épaisseur (rarement de 2 a 3m) et une alternance des grès à grains grossiers et de gravetites d'environ 10 à 15m d'épaisseurs (rarement de 30 à 35m).

a) Banquette (Unité III-2) :

La Banquette c'est le nom donné pour le replat de la « **Vire du mouflon** » qui est surmonté par des grès très homogènes et très résistants, qui correspondent à une haute corniche de plusieurs dizaines de mètres de hauteur vers le Hoggar.

En arrière de la falaise, Ces grès de la banquette, généralement très quartzifiés, forment le sommet parfaitement tabulaire des plateaux et s'opposent très efficacement au développement des oueds s'écoulant vers le socle (anaclinaux) ou vers la dépression intratassilienne (cataclinaux). Ces derniers s'enfoncent dans ces grès en gorges profondes, extrêmement étroites et très peu ramifiées. (**O. Gariel et al., 1968**).

b) Vire du Mouflon (Unité III-1) :

Vire du Mouflon c'est l'appellation des grès en bancs massifs qui sont surmontés par des bancs de grès très minces alternant avec des niveaux silto-argileux épais et continus dans lesquels ont été trouvées les premières faunes marines ordoviciennes qui permettent d'attribuer un âge Cambrien supérieur à Ordovicien inférieur probable pour l'ensemble des grès de la formation des Ajers.

Ces niveaux gréseux et silto-gréseux se marquent très régulièrement dans la topographie et peu résistants s'amincissent dans le Nord-Ouest du Tassili des Ajjers et disparaissent dans le Mouydir et l'Ahnet (*O. Gariel et al., 1968*).

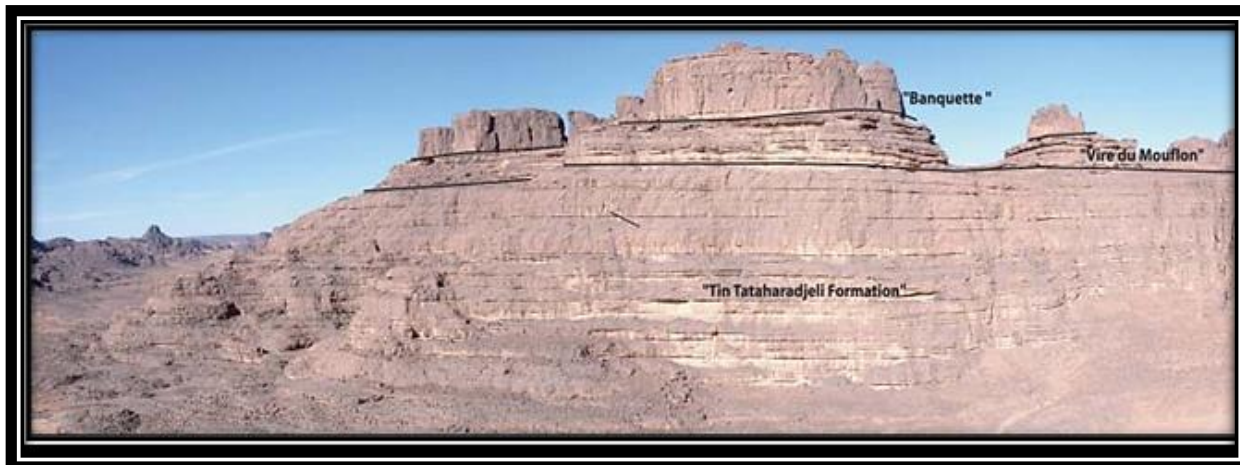


Fig.08 : La partie supérieure du grès Tin Taharadjeli (unité II), le 'Vire du Mouflon' (schiste El Gassi), et le 'Banquette' (quartzites de Hamra) formant le Tassili interne. (*Rémi Eschard , Hussein Abdallah , F. Braik , et Guy Desaubliaux 2005*).

2-Formation d'In Tahouite (Unité III-3) :

La formation est rencontrée dans toutes les feuilles étudiées, constituée de grès quartzo-feldspathiques à grains fins avec la présence des fossiles (Tigillites).

Sa limite inférieure, suit le contact des grès quartzeux feldspathiques à stratification oblique des Ajjers (**fig.09**).

Sa limite supérieure coïncide avec la surface d'affleurement des grès mentionnés, qui contient de nombreux Scolites ou « tigillites » qui indiquent très probablement un environnement marin, et ils se débitent en dalles de 20 à 50 cm d'épaisseur au maximum, alternativement quartzitiques et grésos-argileuses, et correspondent à de petits reliefs en marches d'escalier, des collines arrondies.

La partie supérieure de la coupe est représentée par des grès quartzeux feuilletés à grains moyens, son épaisseur est irrégulière et atteint au maximum 50m.



Fig.09 : La formation In-Tahouite, « Iherir » qui se compose de siltites en mer et peu profondes marins grès. (Rémi Eschard , Hussein Abdallah , F. Braik , et Guy Desaubliaux 2005).

3-Formation de Tamadjert (Unité IV):

Observé au long du secteur d'étude, elle est formée de roches extrêmement variées, en amas ou en lentilles, de conglomérats, de silts, d'argile et tantôt de grès argileux, qui reflètent les caractères de la sédimentation glaciaire et périglaciaire originelle, suite à la glaciation d'inlandsis qui a recouvert tout le Sahara à plusieurs reprises entre le Caradoc et le Llandovery moyen (S. Beuf et al., 1966; P. Rognon et al., 1968) .

Son épaisseur maximale est estimée à 150m.

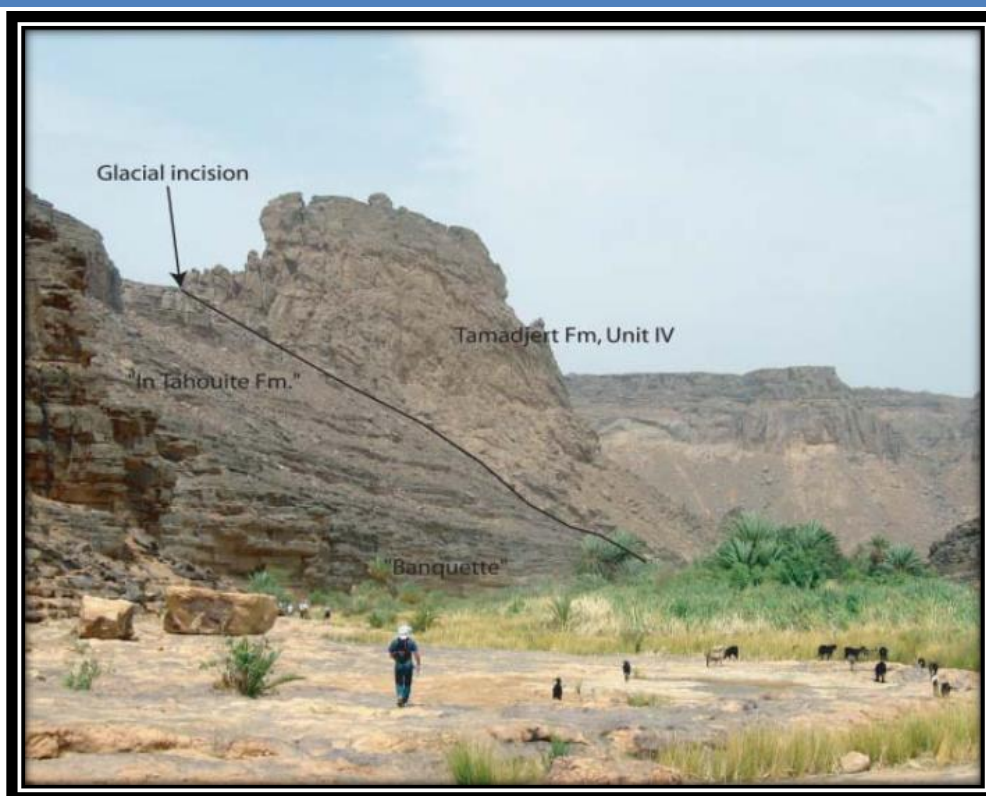


Fig.10 : Marge d'une vallée glaciaire incisée dans la formation In Tahouite, vallée Iherir. (Rémi Eschard , Hussein Abdallah , F. Braik , et Guy Desaubliaux 2005).

II.3.1.1.b. Silurien :

Autour du bouclier Touareg, la dépression intra-tassilienne s'est creusée dans les argiles à graptolites du Silurien. Après la glaciation de l'Ordovicien terminal, le niveau des mers monte. Un peu partout se déposent des argiles riches en matière organique (black shales).

Elles se sont déposées pendant une période (10 à 15 Ma) de haut niveau marin.

Le Silurien saharien est constitué essentiellement par une sédimentation terrigène fine, argileuse surtout, déposée en milieu marin (argiles à graptolites).

Dans *les Ajjers* les couches tendres, Silurien inférieur, qui déterminent la Dépression Intra-tassilienne, sont groupées dans la Formation *Imirhou*, du nom du grand oued qui draine la région.

-Formation de L'Imirhou :

Observée au NE du passage des feuilles **Amguid, Tan Mellelt, Aharhar** Elle se propage à l'extrême NE la feuille **Erg Tihoudaine**, et comporte une bande assez étroite (2-4Km) sillonnant latitudinalement sous forme de gradins.

D'après sa position structurale, elle forme la dépression intra-Tassilienne séparant les tassilis internes (Ordovicien) des tassilis externes (Dévonien).

Sa lithologie est argileuse avec des bancs de calcaires argileux (ép. =0.7m) et des marnes.

II.3.1.1.c. Silurien à Dévonien inférieur :

La partie Inférieure de Dévonien est représentée par des grès quartzeux heterogrnulaires de teinte gris clair, brunâtre, à passées d'argilites.

1-Formation de l'Atafaitafa :

Elle est rencontré dans tout le territoire étudié sauf dans la feuille de **Djanet**. Elle est concordante avec la série de *l'Imirhou*.

Sa lithologie est argilo-gréseuse, et hétérogène. Elle comprend des facies multiples : argiles siliceuses, grès argileux, grès ferrugineux oolitiques et sables quartziques à sédimentation irrégulière, lenticulaire, traces et pistes de Tigilites. Son épaisseur est de 80 à 150m au maximum.

2-Formations de l'Atafaitafa et de Tifernine indifferencié (Grès de mederba) :

Ce sont des grès fins à moyens, gris, bleuté, entrecoupés de bancs d'argile.

II.3.1.1.d. Devonien inférieur : C'est dans la région des Ajjers que furent définis les grands ensembles du Paléozoïque inférieur du Sahara Central.

La falaise des tassilis externes, dominant la dépression Intra-tassilienne et ses argiles à graptolites siluriennes, représentait le Dévonien.

1-Formation du Tifernine (Tassilis externe) « dti » :

Elle repose en discordance sur la formation de l'Atafaitafa. Elle est composée de deux membres distincts :

A) Banc inférieure :

Constitué de sable et grès massifs souvent grossiers à conglomératique à stratification oblique qui se développe dans toute la partie supérieure.

B) Talus à Tigelites :

Représenté par une alternance irrégulière d'argiles silteuses et siltes micassés, de grès quartziques fins et de grès ferrugineux, oolitiques avec de nombreuses surfaces à galets d'argiles, Fréquemment, on trouve des traces organiques de types Spirophyton et une abondance de Tigelites. Son épaisseur maximale est de 40-50 m.

2-Formation de Tamelrik « dt » :

Très répandu a NE de la feuille **Amguid** avec quelques bancs au NO de la même feuille et faiblement présent dans le NE de la feuille **Iherir Didier** et au Nord de **Aharhar**, moyennement présent au Sud et Ouest de la feuille de **Tan Mellelt**.

Elle repose en discordance angulaire sur la formation de Tifernine et elle est composé de :

Barre moyenne : alternance plus ou moins irrégulière de sable et grès massifs fins à microconglomérats à stratification oblique, son épaisseur est de 40-50 m.

Trottons : Alternances répétées et régulières des grès, sable à stratification oblique, des grès ferrugineux, microconglomérats, silts,

argiles et grès quartziques à Tigilites ce qui donne naissance à des Cuestas et des grès au trottons, son épaisseur est de 20-60 m.

3-Formation de l'Oued Saméne (siegenien) :

Elle est composée de grès fluviatiles de la Barre Supérieure, et correspond à un épandage sableux sur l'ensemble de la région en relation avec une émergence généralisée, accompagnée de rejets 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 grès à stratification obliques très régulières (lauzes) à rares niveaux silteux, se chargeant au sommet en niveaux argileux

4-Dévonien inférieur argilo gréseux (emsien) :

Des grès, souvent grossiers, microconglomératiques ou ferrugineux, peuvent passer latéralement à des argilites vertes, des grains de quartz, parfois arrondis, parfois anguleux, du feldspath et du mica détritiques, des oolites ferrugineuses et des carbonates.

La faune est variée (lamellibranches, brachiopodes, gastéropodes, crinoïdes, goniatites, poissons, arthrodières) ce qui y permet de dater ces couches de l'Emsien. J.Faber 2005

II.3.1.1.e. Dévonien moyen à supérieur :

1-Eifélien :

Dans ces argiles de l'Eifélien apparaissent quelques bancs de calcaire argileux et verdâtre , puis des calcaires bioclastiques, sparitiques, en bancs irréguliers, dont les surfaces sont très ondulées .

Les joints sont marneux. Ces calcaires contiennent souvent des amas de petits brachiopodes entiers. On y trouve également quelques goniatites de grande taille Subanarcestes macrocephalus, Werneroceras crispiforme, Agoniatites, Parodoceras. La présence de Wcrispiforme permet de penser que

ces couches appartiennent au Givétien inférieur. Au-dessus, les calcaires deviennent mieux lités et les intercalations marneuses plus épaisses.

Les marnes à bancs calcaires qui surmontent ce groupe carbonaté contiennent une association de goniatites pyriteuses très caractéristiques du Givétien supérieur *Tornoceras simplex*, *Sobolewia nuciformis*, *S. cancellata*, *Maenioceras terebratus*, *Agoniatites costulatus*, etc., des tétracoralliaires, des trilobites, des gastéropodes et des encrines. Une corniche de calcaire à styliolines domine la combe correspondant à ces marnes. On y trouve des *Pharciceras* et d'autres goniatites caractéristiques du Frasnien.

2-Givétien calcaire :

La série givétienne est composée d'un membre calcaire à bancs ondulés, d'âge Givétien inférieur à la base et supérieur au sommet

3-Dévonien moyen a supérieur indifférencié :

Le Dévonien moyen est caractérisé par des lacunes de sédimentation il est représenté par des faciès argilo-carbonatés et évolue parfois à des argiles à passées marneuses et calcaires, dont l'épaisseur varie de 100 m à 250 m.

Le Dévonien supérieur est d'extension identique ou comprable au Dévonien moyen.

II.3.1.1.f. Dévonien supérieur à Carbonifère :

Famennien supérieur a Tournaisien inférieur (grès de Khenig) :

Les dépôts des Grès du Khenig (100 m), Dans les argiles et siltites, il est observé de nombreuses figures decourant, des rides, des traces de glissement, des micro-conglomérats qui indiquent un milieu un peu agité.

Le double banc des Grès du Khenig se marque dans le paysage par la «Côte Prétassilienne» (Follot, 1952).

II.3.1.1.g. Carbonifère :**Tournaisien supérieur :**

Le Tournaisien supérieur est donc transgressif et discordant sur les formations sous-jacentes.

Des fossiles carbonifères des brachiopodes, notamment *Spirifer tornacensis*, et des conodontes apparaissent dans de minces lits calcaires intercalés dans des grès et des argiles gréseuses verdâtres, ce qui est indiquent le Tournaisien supérieur selon (*Remacq Petitot, 1960; Legrand-Blain, 2001*).

II.3.1.2. Mésozoïque :**II.3.1.2.1 Crétacé :****a-Cénomano-Turonien indifferencié :**

Le Cénomaniens supérieur et le Turonien sont, comme dans le Tademart, représentés surtout par des calcaires et des dolomies

II.3.1.3 Formations post mésozoïques :**II.3.1.3.1-Tertiaire continental :**

Est représenté par une formation caractérisée par des argiles sableuses rouges , marnes et argiles, alluvions et colluvions

II.3.1.3.2-Quaternaire :

Selon leurs origines les dépôts quaternaires sont groupés en quatre (04) catégories distinctes :

1-Pediments et pédiplains (Qp) : ils sont des dépôts ayant contribué à la pénéplainisation générale de la région. Ils forment les cônes de déjection et les grands regs.

1-a-Les cônes de déjections :

Forment des bandes de matériels détritiques entourant les grandes adras, ce sont des dépôts anguleux, leurs granulometries augmentent en allant vers le lieu d'origine.

1-b-Plateaux désertiques (Regs et Hamadas) :

Leurs épaisseurs dépassant 700m au centre de la dépression de l'Amador avec une grande superficie, sa granulométrie est relativement réduite.

-2-Dépôts éoliens (Qe) : ils sont très développés à l'Est de la feuille Erg Tihoudaine en formant le plus reg de la région **Erg Tihoudaine**.

3-Dépôts alluvionnaires (Qa) : Ces dépôts sont largement développés, ils forment les terrasses fluviatiles et lits d'oueds, ils sont composés de graviers, galets cailloutis, limon et autres fragments plus au moins anordis. La granulométrie est hétérogène, la puissance des alluvions est limitée avec des terrasses étagées.

4-Dépôts chimiques (Qc) : Ce sont des dépôts empruntant les mêmes voies que les alluvions, mais les lieux de leurs dépositions sont différents.

Ce sont des dépôts salifères de sebkha qui sont précipités dans les cratères volcaniques pénéplanisés, où des dépôts calcaires qui sont observés à l'intersection des grands oueds versant dans les dépressions à pente très douce. Leurs couleurs sont blanches, issus généralement de la destruction et de l'altération chimiques des plagioclases.

II.3.1.2. Tectonique :

La couverture est caractérisée par une tectonique calme surtout cassante matérialisée par des diaclases, et des cassures conjugués.

II.3.1.3. Magmatisme :

Le Volcanisme cénozoïque :

De nombreuses provinces volcaniques se sont développées à l'intérieur de la plaque africaine au cours du Cénozoïque. La Province volcanique du Hoggar, est formée de plusieurs districts volcaniques d'âges et de styles éruptifs différents qui se sont mis en place sur le socle précambrien et sa couverture (Tassili).

II.3.1.4-Minéralisation :

Dans la couverture paléozoïque les gisements miniers sont absents mais elle comporte des gisements pétroliers, comme exemple dans le bassin d'Illizi « le plus proche à notre secteur d'étude », il est remarqué que les pièges structuraux identifiés qui n'ont pas encore été forés sont de petite dimension, les évaluations montrent qu'un important volume d'huile et de gaz reste à découvrir.

Ces hydrocarbures se trouvent dans des pièges hydro dynamiques ou stratigraphiques qui sont généralement associés à la sédimentation siluro-dévonienne et réservoirs paléozoïques et triasiques :

Le Cambrien qui comprend :

L'Unité II : est d'une épaisseur moyenne est de 250 m et elle est composée de dépôts fluvio-deltaïques, Cette unité est productive dans les gisements de l'hansatène Ouest et Tiguentourine Est.

Vire du mouflon qui comprend :

Unité III-1 : Cette unité a de très faible potentialité d'être réservoir du fait de son caractère argileux, mais elle joue un rôle important comme roche couverture pour l'unité II

La Banquette comprend l'unité :

L'Unité III-2 : Cette unité appartenant à l'Ordovicien est composée de grès quartzitiques fins à grossiers avec une épaisseur variant de 0 à 200 m. Ce réservoir est probablement productif !

Formation d'**In Tahouite** qui comprend :

L'unité III-3 supérieur : Elle est considérée comme étant l'un des réservoirs les plus importants.

Formation **Tamdjert** qui comprend ces unités :

L'unité IV-2 inférieur :

Elle appartient à l'unité IV (le complexe terminale), qui est le produit des sédiments glaciaires déposés dans l'espace d'une paléo-vallée. Ces sédiments

sont caractérisés par une rapide variation de puissance et de faciès et une architecture très complexe.

L'unité IV-3 :

Elle est connue aussi sous le nom de Dalle terminale, constituée de grès souvent moyen, parfois fin et grossier, siliceux par fois quartzitique, compact, facilement reconnaissable sur diagraphie. Elle constitue le réservoir principal, est relativement homogène « *Sonatrach et BP, rapport interne 1994* ».

Chronostratigraphie		Stratigraphie selon Sonatrach		
		Unités	Formations	Lithostratigraphie
ORDOVICIEN	ASHGILL UP.CARADOC	IV	FORMATION DE TAMADJERT	COMPLEXE TERMINAL
	LR.CARADOC LLANDEILO UP.LLANVIRN LLANVIRN UP.ARENIG	III.3	FORMATION D'IN TAHOUITE	ENSEMBLE ARGILO- GRESEUX SUP
	MID ARENIG	III.2	Absente dans la zone d'étude	GRES INTERMEDIARES
	LR.ARENIG LR.TREMADOC	III.1	FORMATION DE VIR DU MOUFLON	ARGILO-GRESEUX INFERIEUR
CAMBRIEN		II	FORMATIN DE TARADJILI	ENSEMBLE CONGLOMERATIQU E DE BASE

Fig.11 : Chronostratigraphie du Cambro-Ordovicien dans le bassin d'Illizi (Sonatrach et BP, rapport interne 1994).

III.1. Généralités sur Le SIG :

III.1.1. Introduction :

Le concept SIG a été né en 1963, proposé par le topographe canadien R.F. Tomlinson. Le SIG à commencer à pénétrer et d'appliquer dans les différents pays, dans les différents domaines. Avec le support du matériel et logiciel de l'informatique, traiter et manipuler les données géospaciales, utiliser le modèle géographique à analyser les données. Cette technologie a permis aux SIG de s'impliqué rapidement dans la science informatique, la science de l'information, la télédétection, la géographie, la cartographie, les études environnementales, les études de ressources, devient une nouvelle interdisciplinaire. Le SIG couvre une grande variété, donc sa définition a différentes manières.

III.1.2. Définition du SIG :

Un Système d'Information Géographique (SIG) est un système d'information susceptible d'organiser et de présenter des données alphanumériques spatialement référencées.

Le SIG permet d'acquérir, de stocker, d'organiser, de gérer, de traiter et de restituer des données géographiques sous forme de plans et de cartes (cartographie intuitive et évolutive).

Pour transformer un objet réel en une donnée à référence spatiale, on décompose le territoire en couches thématique (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.

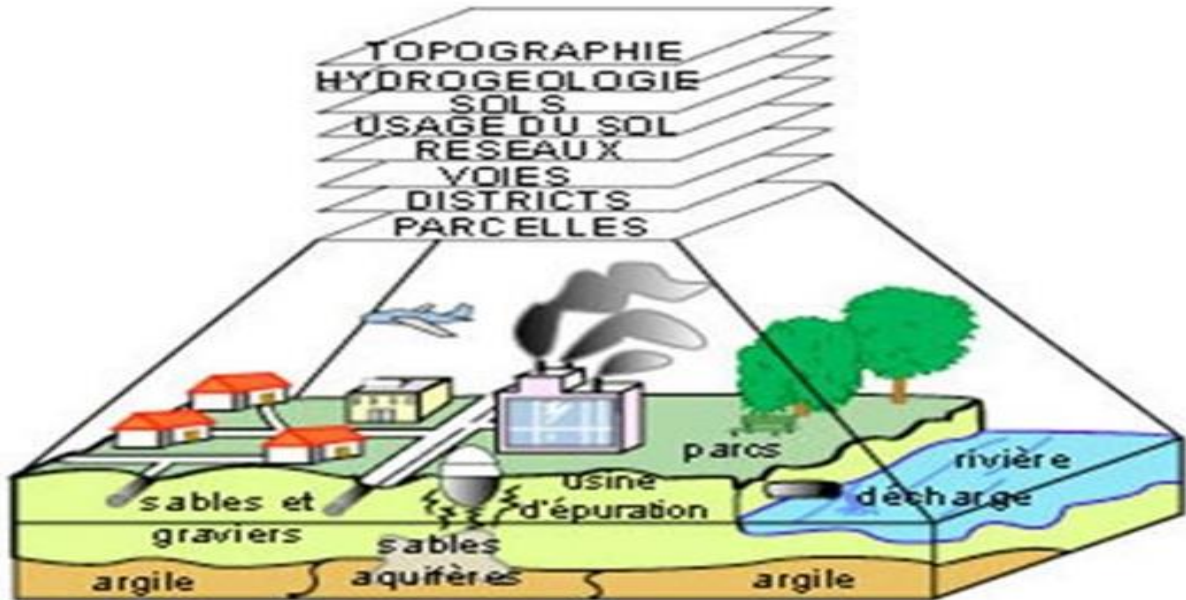


Fig.12 : Base de données géographiques.

III.1.3. Les composantes d'un SIG :

Un système d'information géographique est constitué de cinq composants majeurs, **Fig.13**.

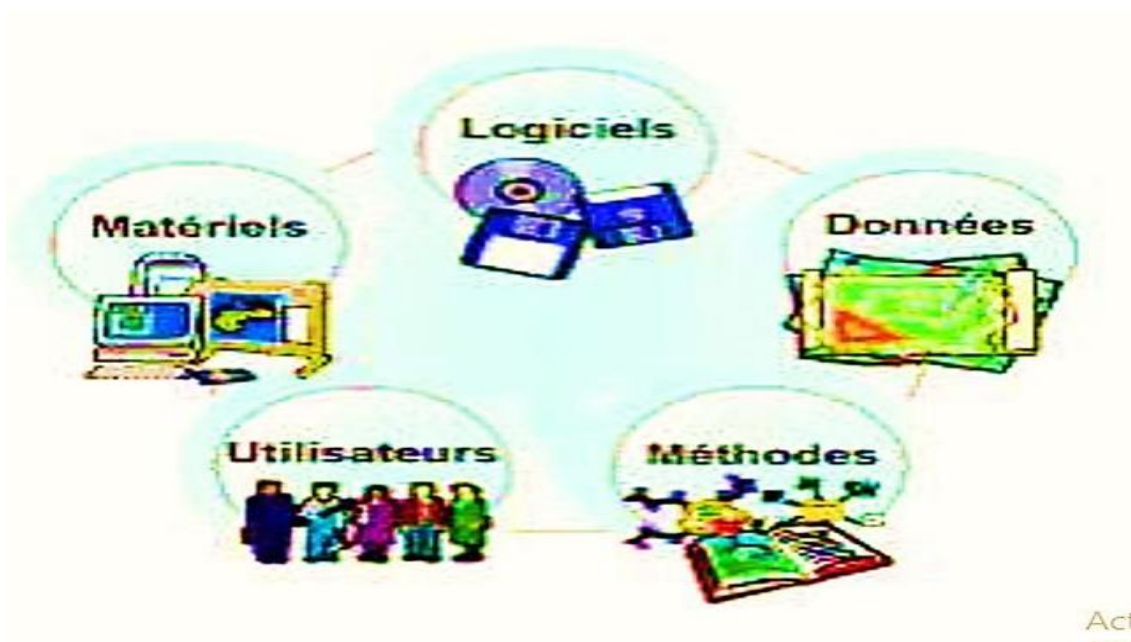


Fig.13 : Composante d'un SIG.

III.1.3.1. 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).

III.1.3.2. Matériels : 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.

III.1.3.3. Données : Les données sont les composants les plus intéressantes du SIG :

➤ **Données géographiques** :

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 ont 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, etc. Les données attributaires sont reliées à la géométrie de l'objet.

➤ **Métadonnées :**

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

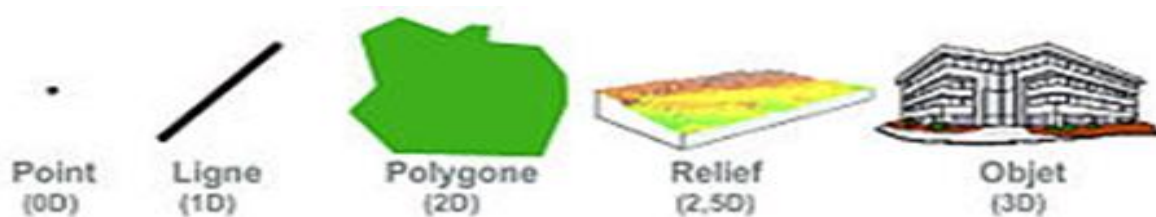


Fig.14 : Taille/dimension de la représentation des données.

III.1.3.4. Les Utilisateurs :

Les utilisateurs des systèmes d'information géographique 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).

III.1.3.5. 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 a modélisation SIG.

III.1.4. Mode de présentation des données dans un SIG :

III.1.4.1. Mode raster :

Les données raster ont comme élément essentiel le pixel (Picture Elément). Elles proviennent soit d'un scannage d'une carte, soit d'une image numérique telle que les photos satellitaires). Les pixels sont répartis dans un raster de façon régulière. **Fig.15.**

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

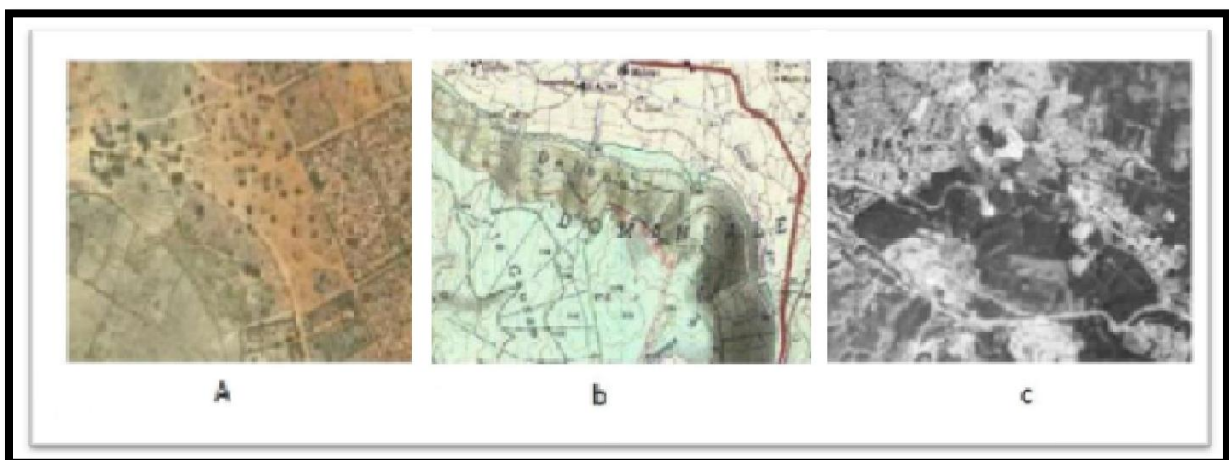


Fig.15 : Exemple de quelques données Raster (a : image satellitaire, b : image scannée, c : ortho photo aérienne) (BONNET M.2012).

III.1.4.2. Mode vecteur :

Il permet de représenter le monde réel sous forme des points, lignes ou polygones et chaque objet spatial est doté d'un identifiant qui permet de le relier à une table attributaire. **Fig.16.**

- **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 réelle comme les points cotés. **Fig.16.**
- **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. **Fig.16.**
- **Les polygones** : Ils représentent la forme et la localisation d'objets homogènes comme des pays, des parcelles, des types de sols. **Fig.16.**

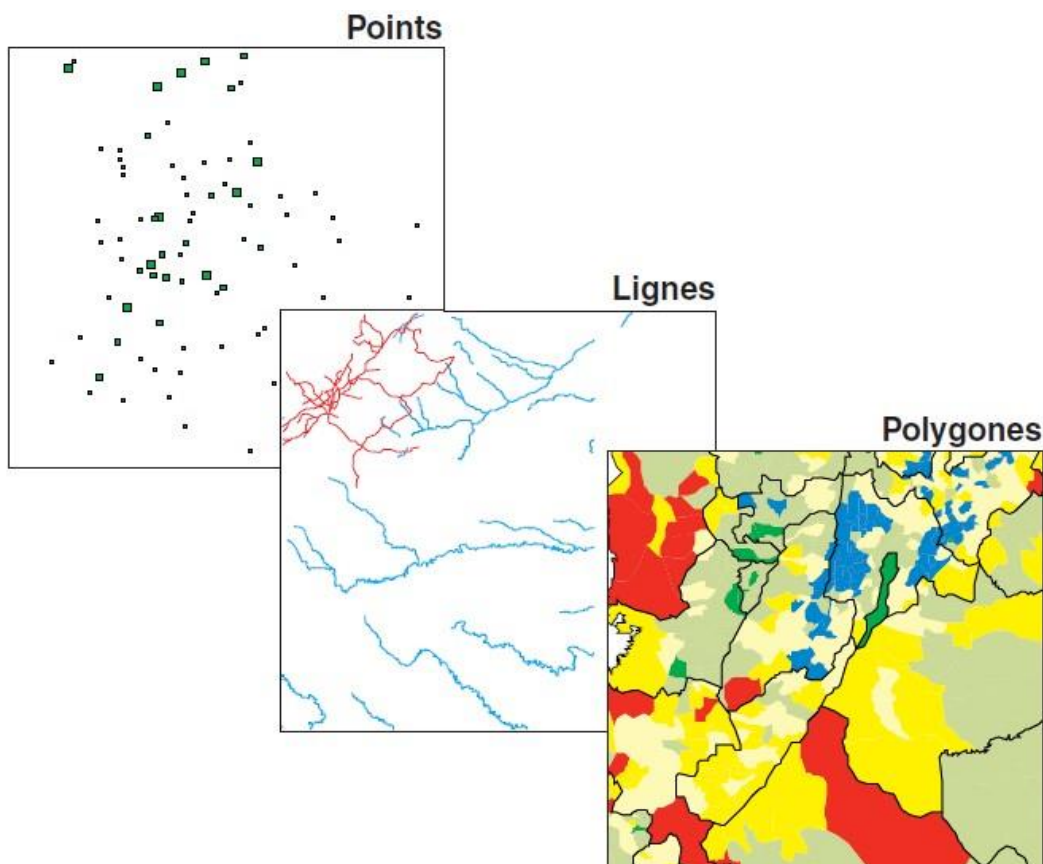


Fig.16 : Exemple de données vecteurs.

III.1.4.3. Comparaison des modes vecteurs et rasters :

Bien que les deux modes se distinguent par une organisation différente de données, ils restent cependant complémentaires en permettant à l'utilisateur d'élargir le champ de son investigation pour des applications et des traitements très variés.

Chaque mode à ces avantages et ces inconvénients « **tableau 01** » et le recours à l'un ou à l'autre n'est pas toujours une tâche facile, car ce sont les objectifs et surtout les sources de données du projet qui orientent le choix de l'utilisateur. Certaines applications peuvent même faire appel aux deux modes « **tableau 01** » [CLARMUNT G.1991 in OUHTIY].

	Mode Raster	Mode Vectoriel
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Structure simple de stockage des données ; - Superposition et combinaison des données faciles ; - Analyse multi variable et modélisation spatiale faciles. 	<ul style="list-style-type: none"> - Structure de données compacte (une grande base de données pour un espace réduit); - Efficacité de stockage ; - Possibilité de décrire la topologie à l'aide des liens en réseau ; - Mesures spatiales précises ; - Recherche, mise à jour et généralisation des graphiques et des attributs possibles.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - L'utilisation de pixels de grande taille est une perte de précision ; - Mesures spatiales approximatives ; - Cartes produites de qualité inférieure. 	<ul style="list-style-type: none"> - Structure de stockage des données complexes ; - Analyse multi-variable et modélisation spatiale complexes.

Tableau 01 : Avantages et inconvénients des deux modes raster et vecteur.

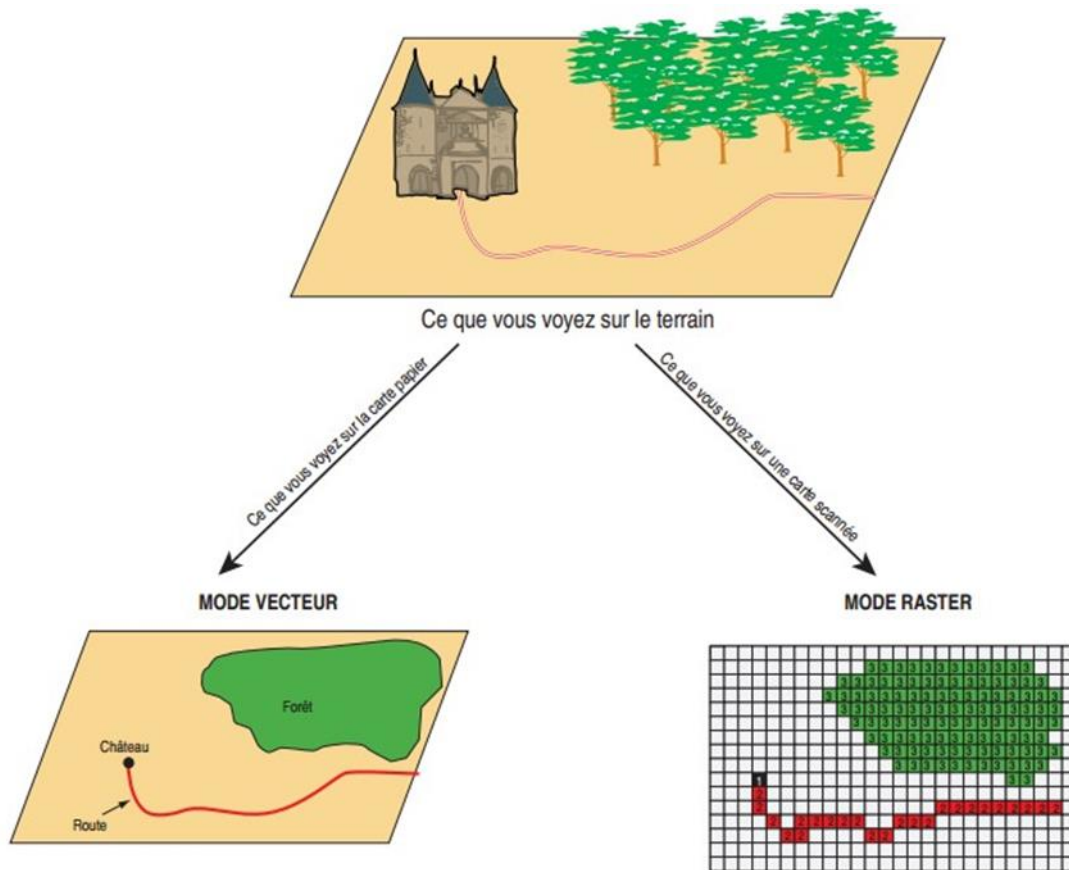


Fig.17 : mode de représentation de l'information géographique dans un SIG.

III.1.5. Structure de l'information géographique dans un SIG :

La structuration des données SIG se fait par couches, qui sont des ensembles d'éléments de références (données géographique et attributaires). Ainsi, une image raster, ou un ensemble d'objets vectoriels peuvent constituer une couche. Généralement, on assemblera dans une couche les objets faisant partie d'une même thématique. On rassemblera par exemple dans une couche nommée « tectonique » les objets de type « ligne » correspondant aux feuilles, aux sentiers etc., alors que d'autres objets linéaires (fleuves, canaux etc.) Seront regroupés dans une couche distincte dans ce cas, la couche « Hydrologie ».

Si l'affichage d'une couche permet déjà la réalisation d'analyses intra couches, la grande force des SIG est de permettre la visualisation simultanée

de différentes données par la superposition de couches **Fig.18**, la superposition à volonté de couches de thèmes différents permet d'obtenir une représentation des données adaptée aux besoins d'analyse, complexe et riche en information, notamment au niveau des interactions spatiales et thématiques. À partir de là, tout ou presque est possible grâce aux analyses multicritères et multicouches (Krafft et Al 2005), (Habert,2000),**Fig.18**.

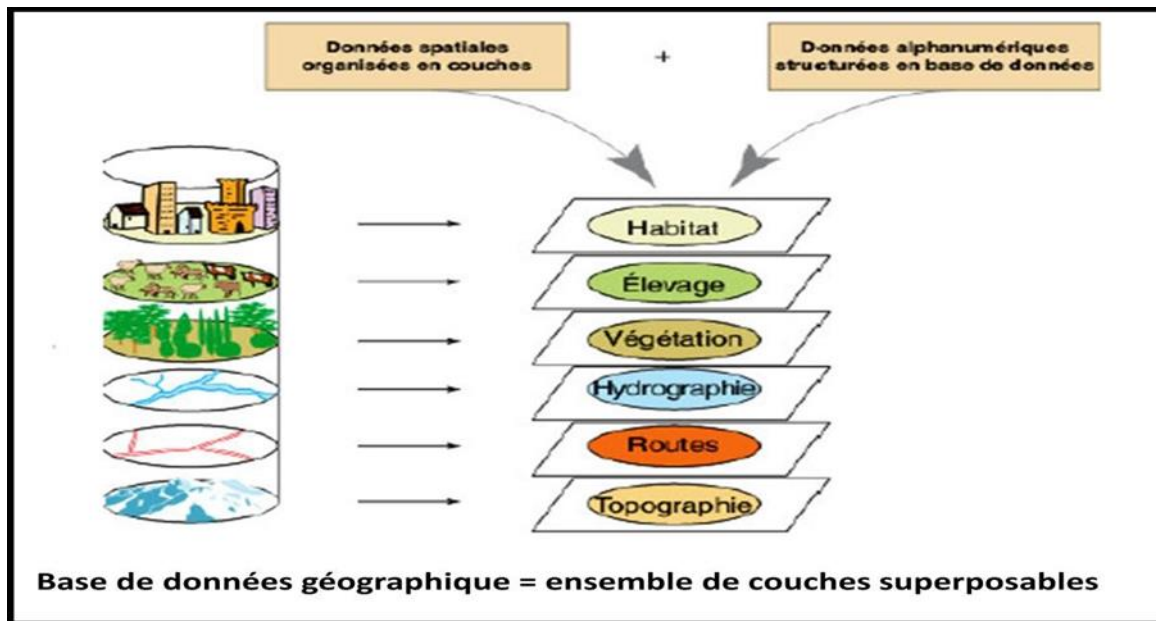


Fig.18 : Structure de l'information géographique dans un SIG (Habert, 2000).

III.1.6. Qu'est-ce que nous permet de faire un SIG ?

Il nous permet de :

- Disposer les objets dans un système de référence géoréférencé.
- Convertir les objets graphiques d'un système à un autre.
- D'extraire tous les objets géographiques 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).

III.1.7. Les domaines d'application :

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

- Géologie (prospection minière)
- Tourisme (gestion des infrastructures, itinéraires touristiques).
- Marketing (localisation des clients, analyse du site).
- Planification urbaine (cadastre, POS, 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).

III.2. SIG SOUS ArcGIS :

III.2.1. Définition du logiciel ArcGIS :

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.2.2. Présentation du logiciel ArcGIS 10 :

Le logiciel ArcGIS10 comprend trois applications principales :

ArcMap

Arc Catalog

ArcToolbox.

a-ArcMap : 

ArcMap montre, questionne, édite, crée ou analyse des données, sous forme de tables ou de cartes. Il 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 dans **la figure 19** :

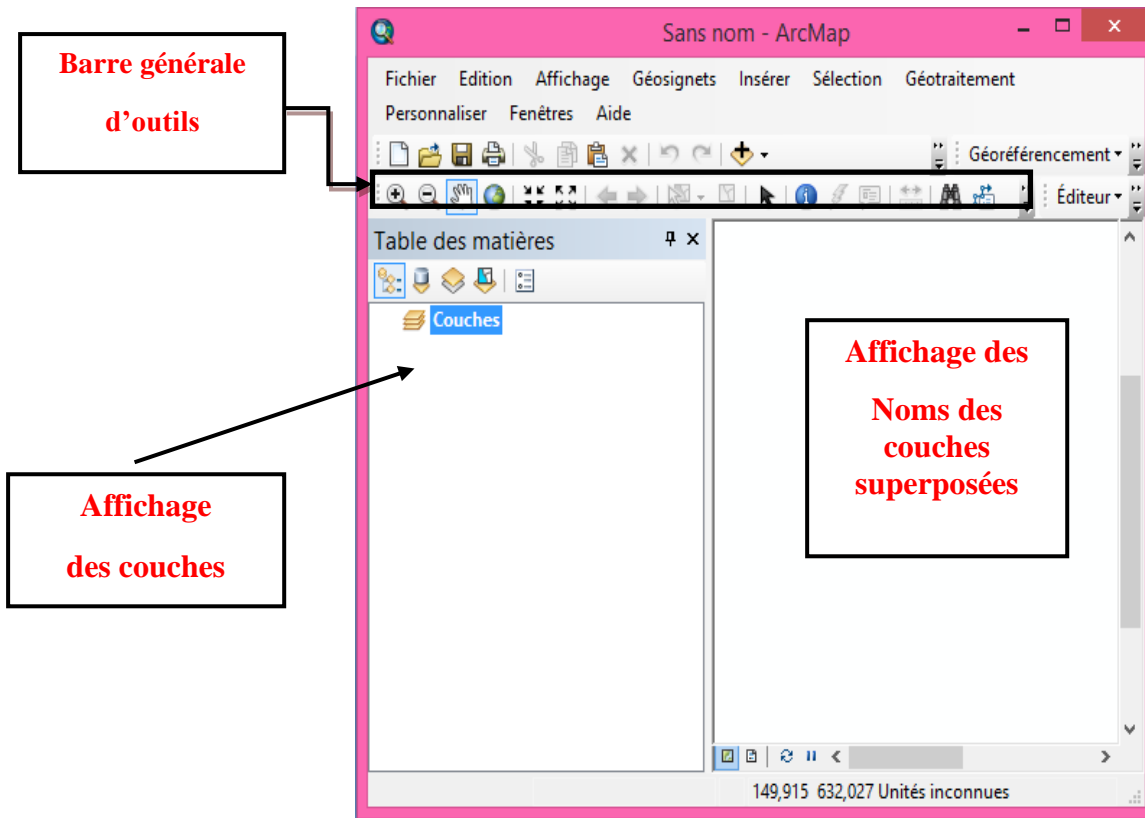


Fig.19 : Présentation de fenêtre ArcMap.

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.

b-ArcCatalog : 

ArcCatalog nous permet de passer en revue, d'organiser, de distribuer et de modifier les éléments de propriétés des données géographiques et cela en employant des méthodes graphiques ou textuelles. **fig.20.**

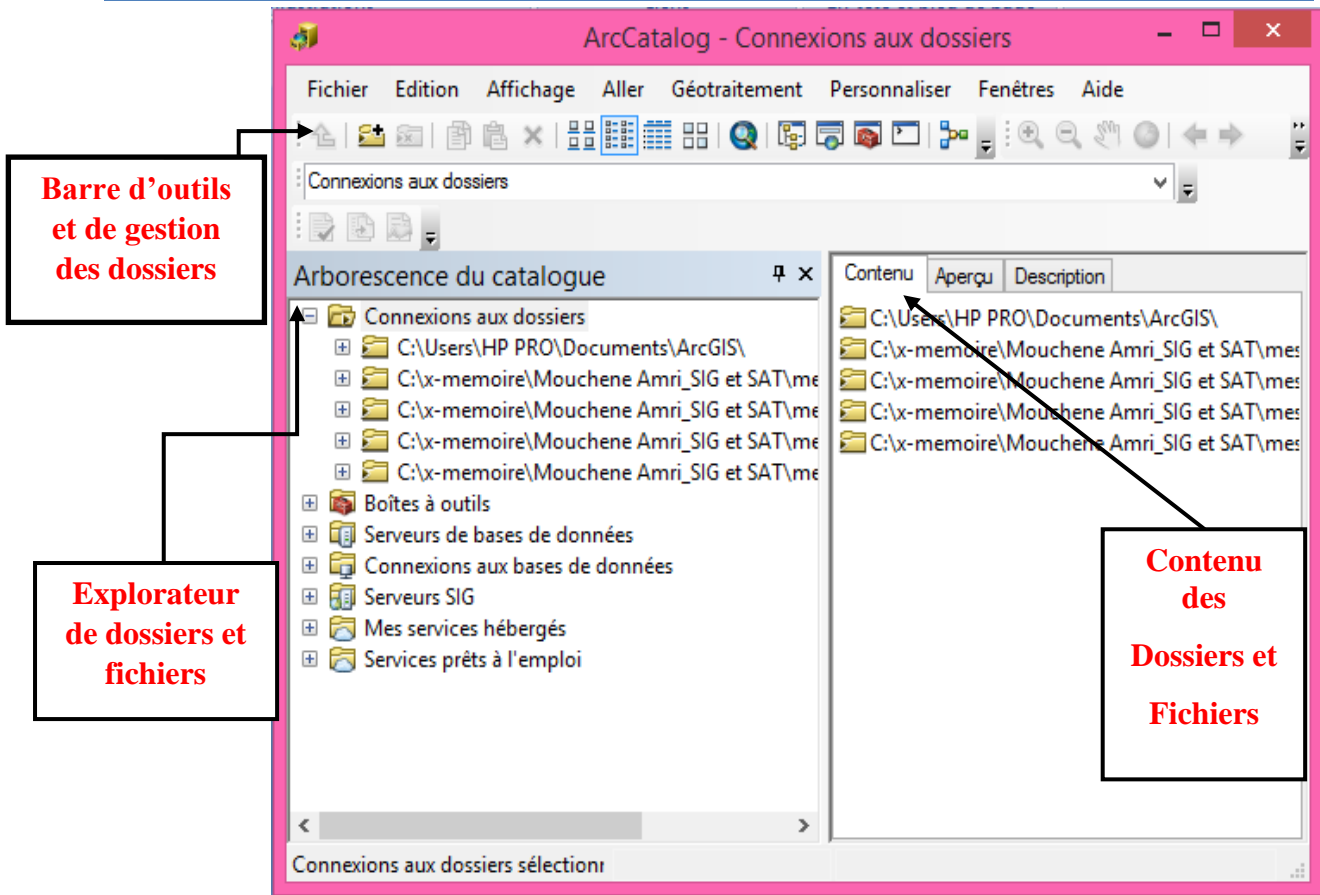


Fig.20 : Présentation de la fenêtre ArcCatalog.

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.21**

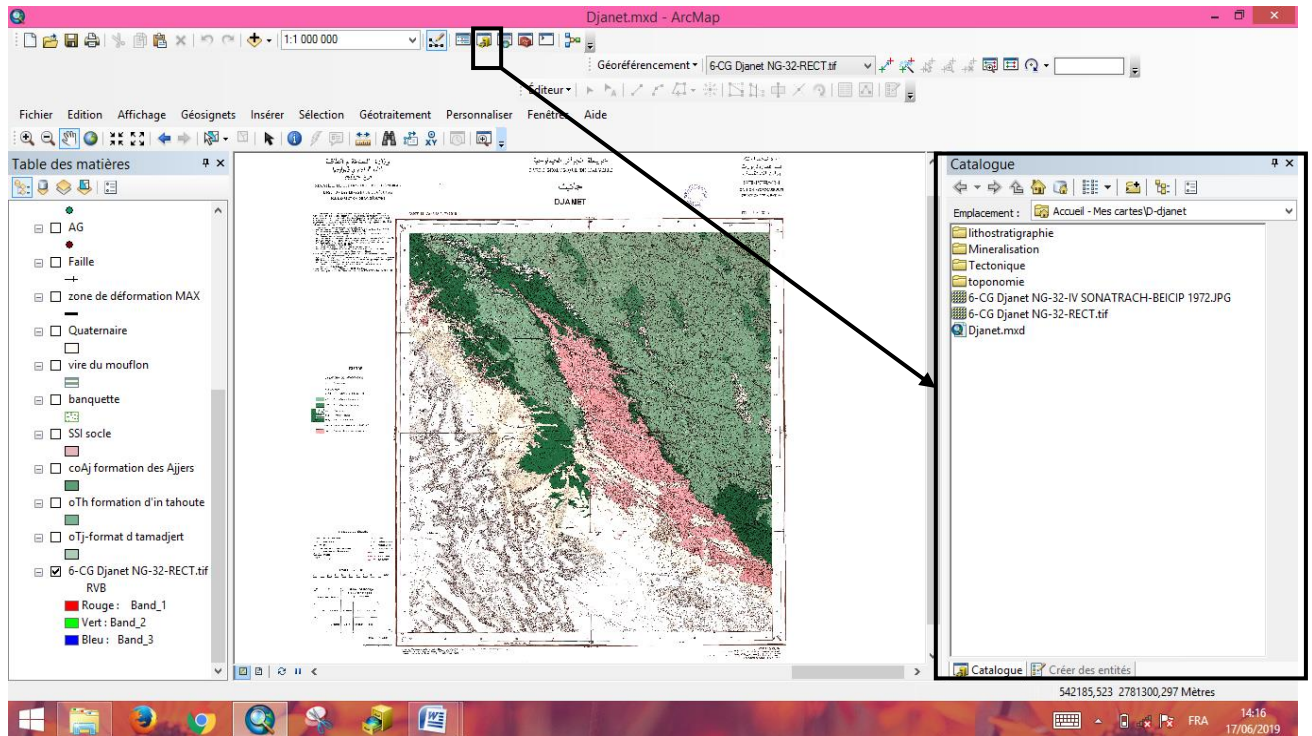



Fig.21 : Fenêtre ArcCatalog à travers ArcMap

c-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. **fig.22.**

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

CHAPITRE III : SYSTEME INFORMATION GEOGRAPHIQUE « SIG »

nous permet de personnaliser le contenu pour inclure seulement les boîtes à outils dont nous avons besoin pour notre projet en cours.

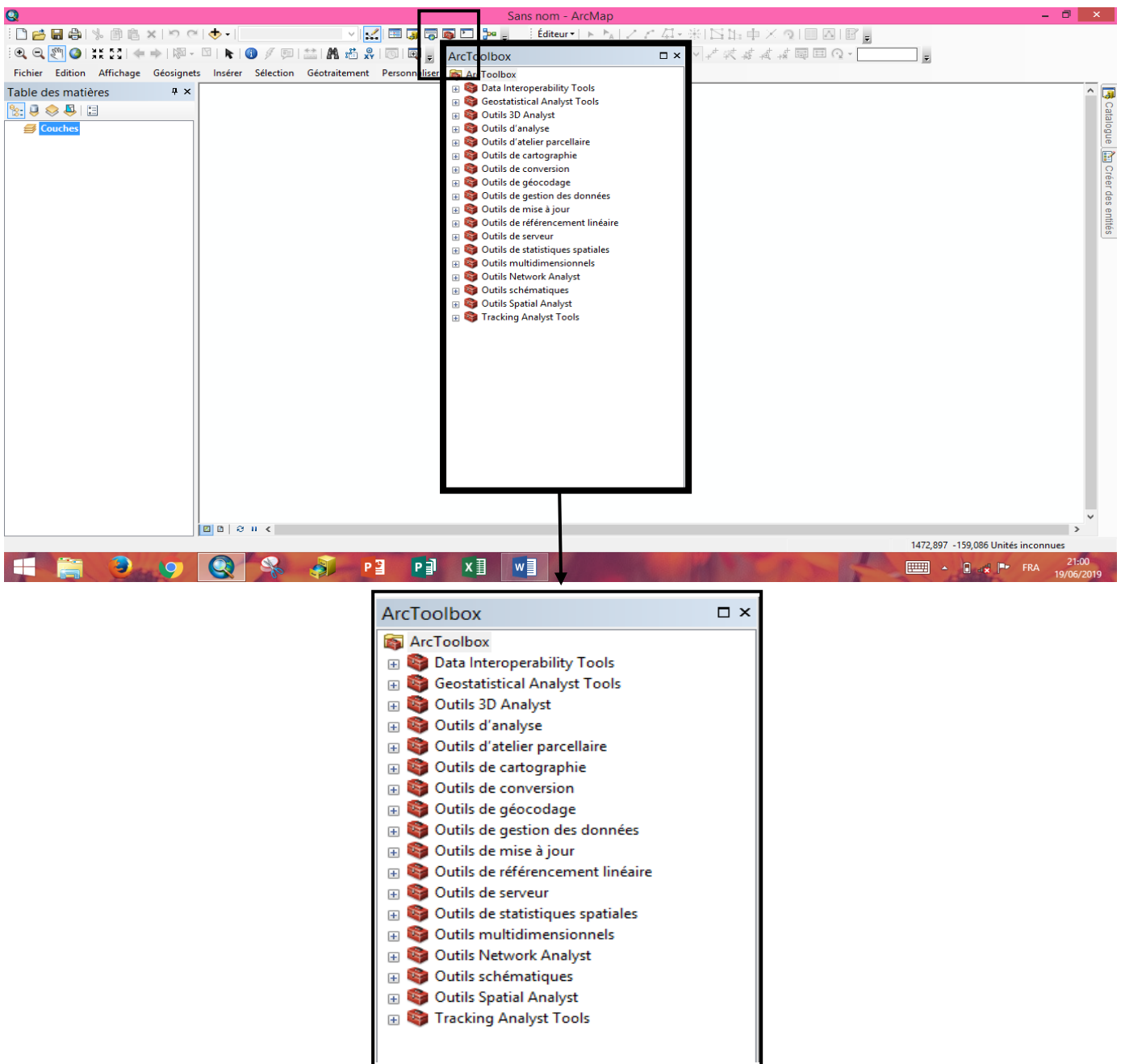


Fig.22 : Fenêtre ArcToolBox.

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, c'est-à-dire notre document SIG.

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).

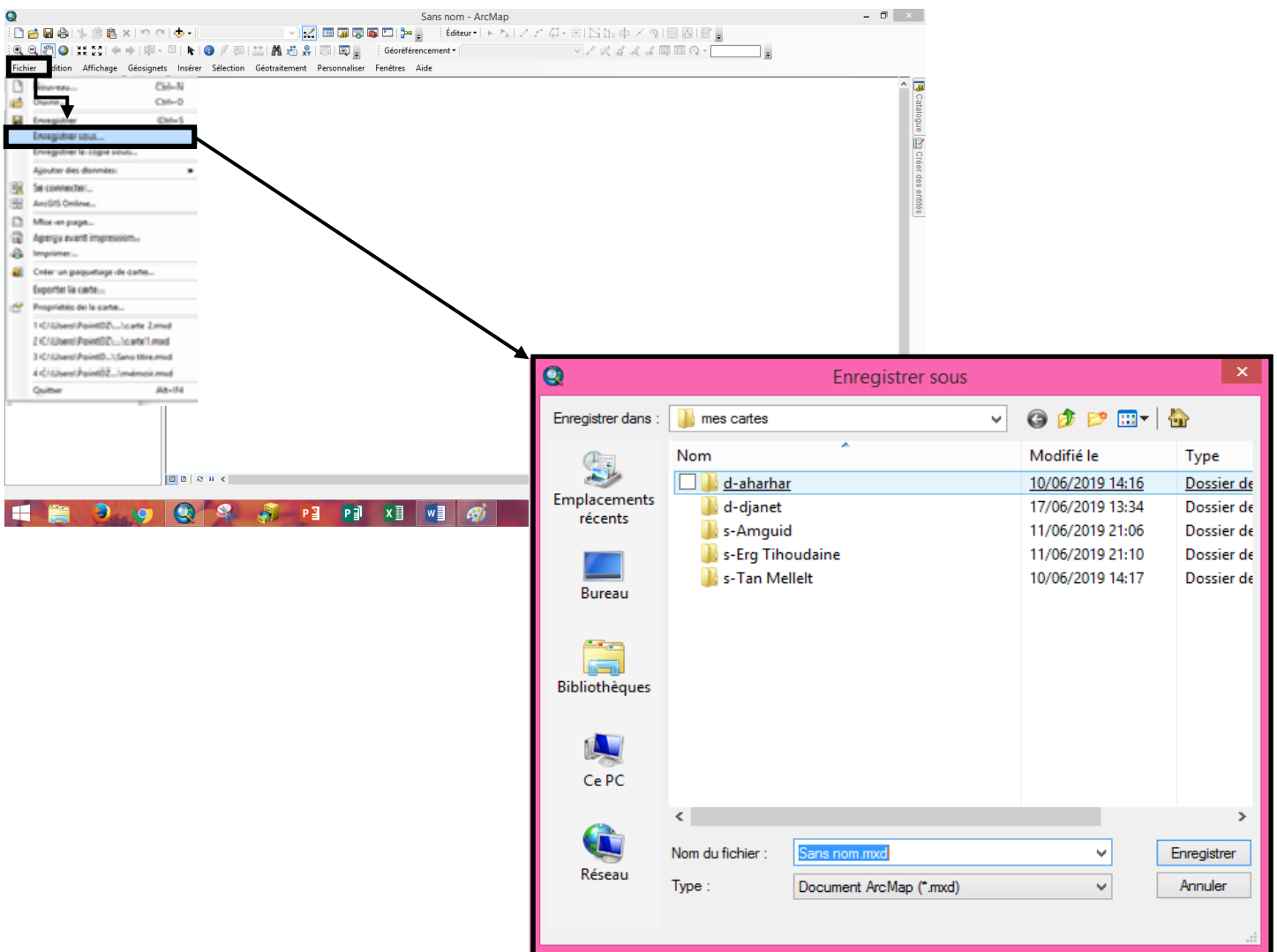


Figure.23 : fenêtre d'enregistrer.

CHAPITRE III : SYSTÈME INFORMATION GEOGRAPHIQUE « SIG »

Il est aussi possible d'enregistrer le « chemin relatif » des couches utilisées. **Fig.24.**

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.

Pour cela il faut aller dans le menu fichier>propriétés de la carte> puis cocher – Enregistrer le chemin relatif aux sources de données> Ok.(fig17)

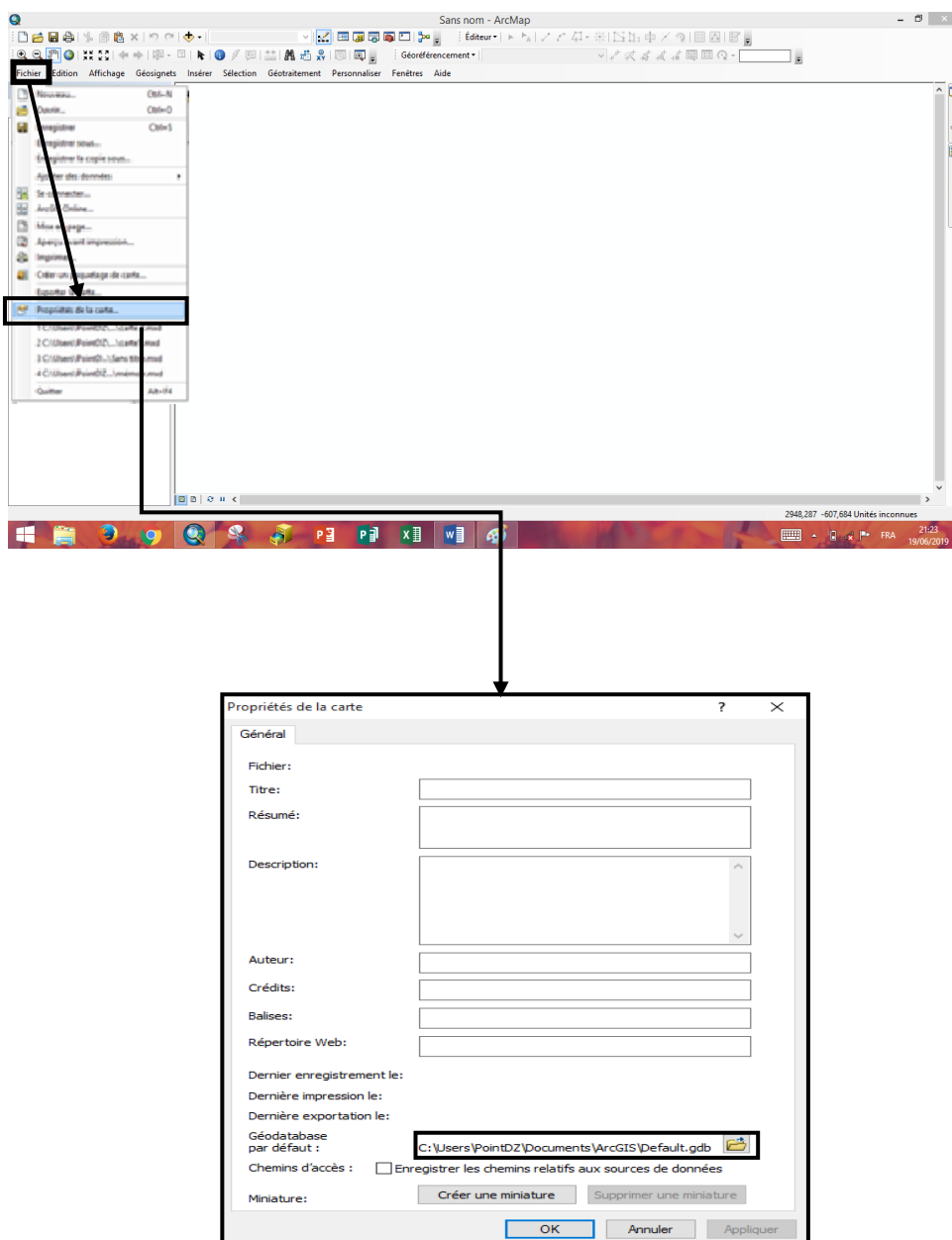


Fig.24 : fenêtre des propriétés de la carte.

III.3. Application du SIG à la région d'étude :

III.3.1. Introduction :

ArcGIS est un logiciel que nous avons utilisé dans ce travail pour réaliser la cartographie SIG de notre région. Ce travail a été fait à partir des cartes géologiques, de Sonatrach BEICIP numérisés.

En résumé, la méthode consiste à la numérisation les cartes, puis vectorisation de chaque carte, préparation d'un fichier Excel pour les minéralisations, intégration du fichier Excel dans le logiciel ArcGIS, et finalement mise en page et impression des cartes géologiques.

III.3.2. Etapes suivies pour la réalisation du projet :

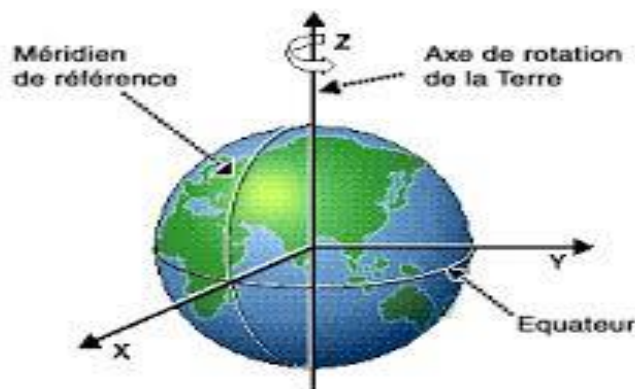
III.3.2.1 Rappels et explications :

Systèmes de coordonnées géographiques :

Coordonnées en :

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

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



La terre (le géoïde) n'étant pas sphérique, il existe de nombreux ellipsoïdes (locaux ou globaux).

On appelle DATUM, le système de coordonnées géographique défini par :

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

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

- **Systemes de coordonnées projetées :**

Une projection est basée sur un système de coordonnées géographiques, Celle 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 zone 31N (mais aussi 29,30 et 32).

III.2.1. Géoréférencement :

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

A) Démarrer le logiciel ARCGIS :

Il faut ouvrir ArcCatalog ainsi qu'ArcMap.

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

b) 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 âpre 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 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, Cliquez 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).

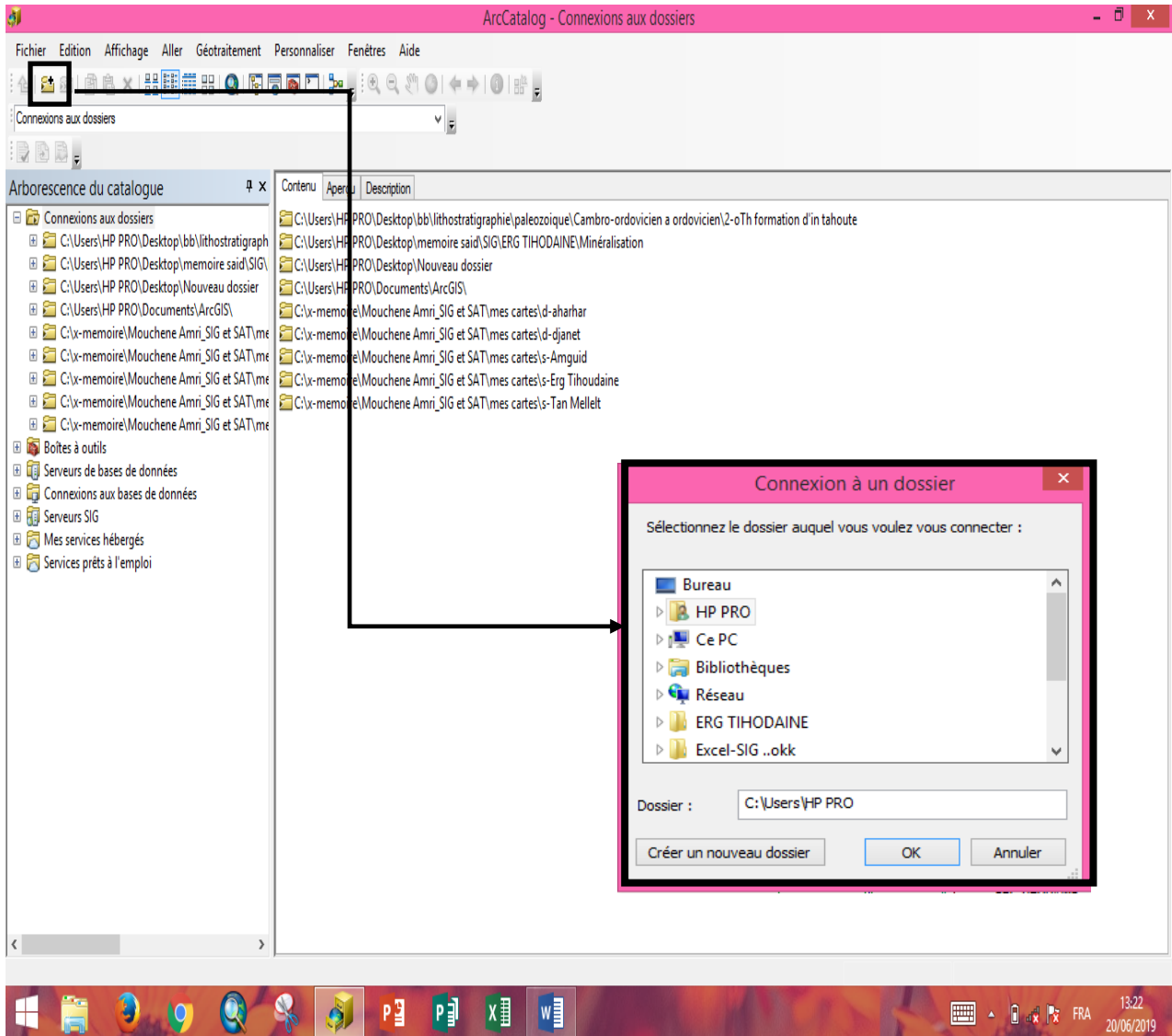
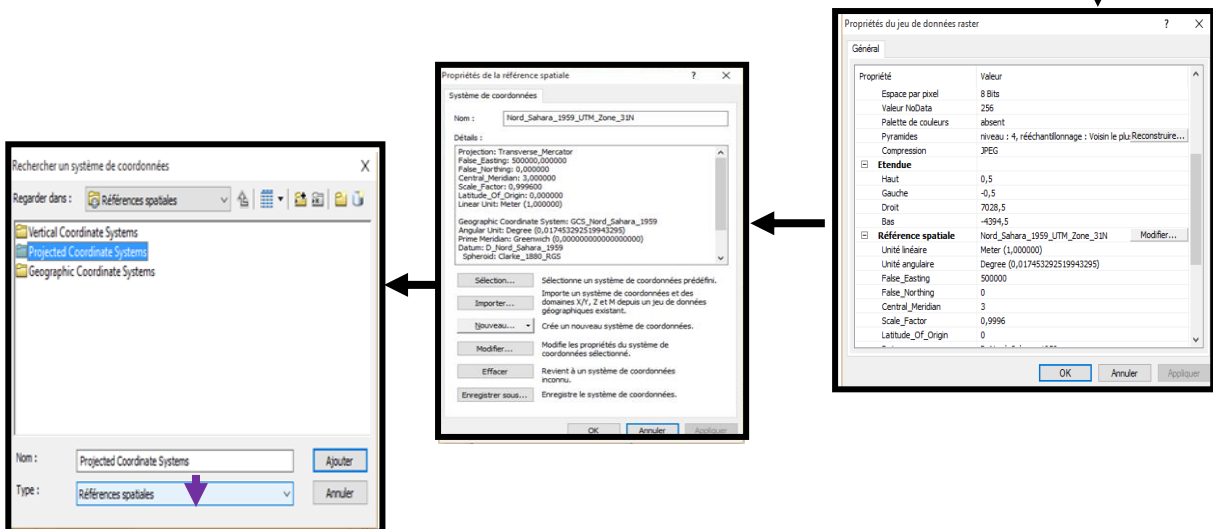
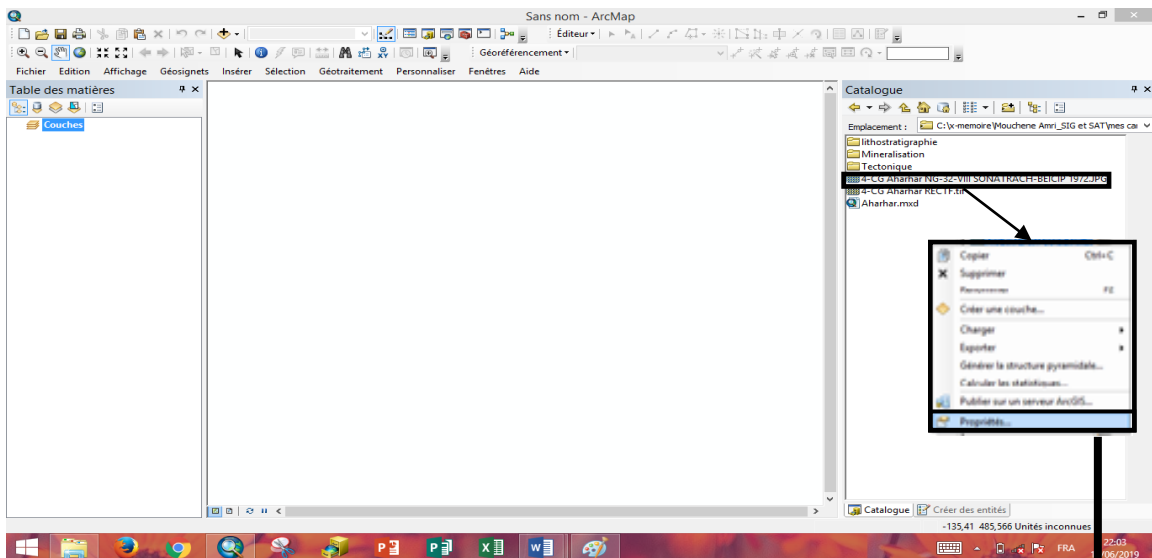


Fig.25: Une présentation d'interface d'ArcCatalog montrant icône connexion à un dossier .

c) 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 propriétés pour obtenir une interface propriétés du jeu de données raster pour la référence spatiale.

Les cartes géologiques de la région d'étude sont classes dans la zone 31 (Nord Sahara 1959 UTM Zone 31N) Dans ArcCatalog : Clique droit sur la carte à Géoréférencier → Propriétés → Références spatiales → Modifier → Sélection → références spatiales → Projected Coordinate system → UTM → Africa → puis on va choisir le système qui convient à la carte → Appliquer → OK.



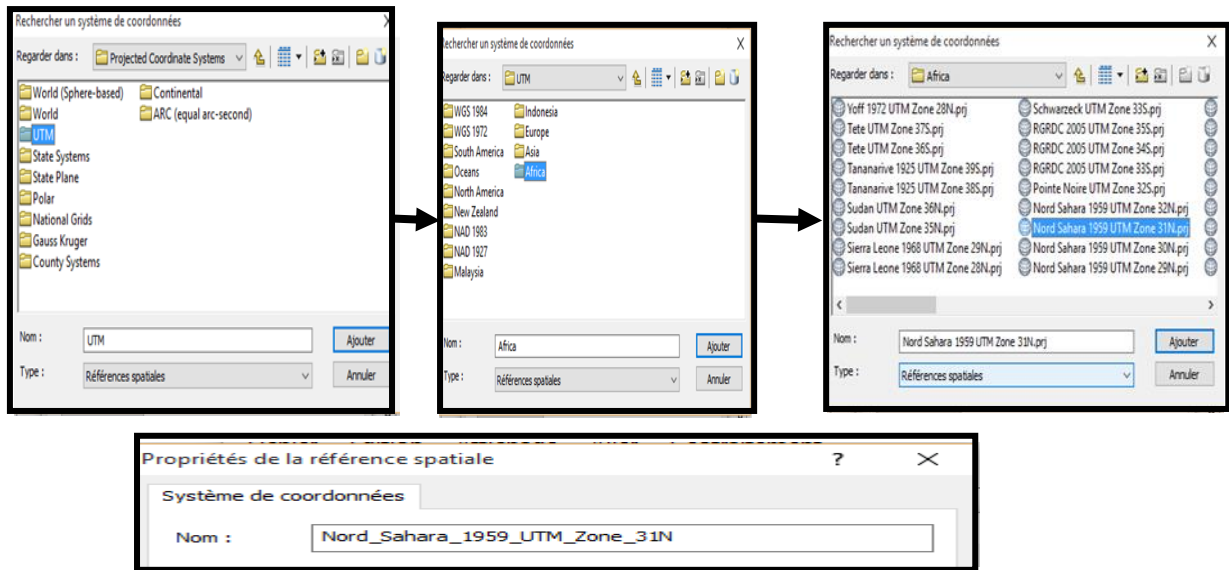
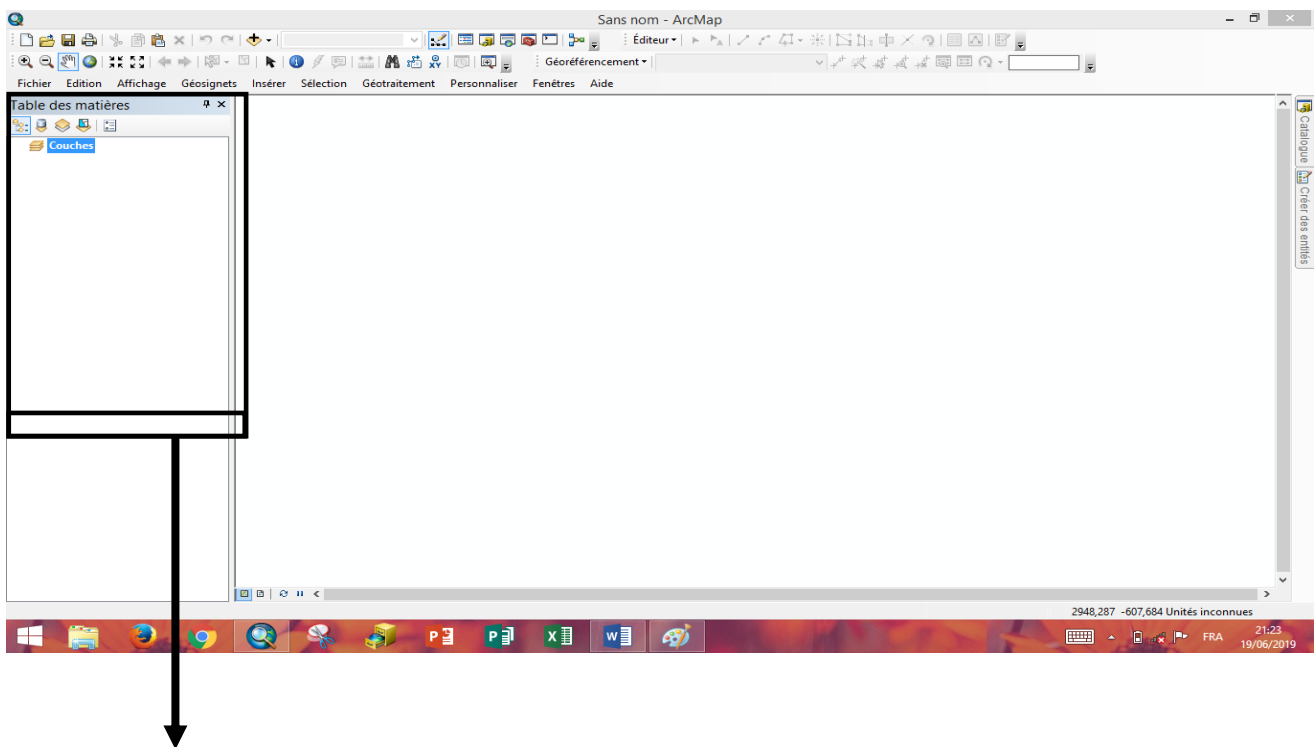


Fig.26 : la propriété de la référence spatiale dans ArcCatalog.

❖ Choix du même système de coordonnées dans ArcMap

A Gauche apparait le dossier « Couches »

Clique droite sur couche → Système de coordonnées → Prédéfini → Projected Coordinate system → UTM → Africa → Nord Sahara 1959 UTM Zone 32N → Appliquer → OK.



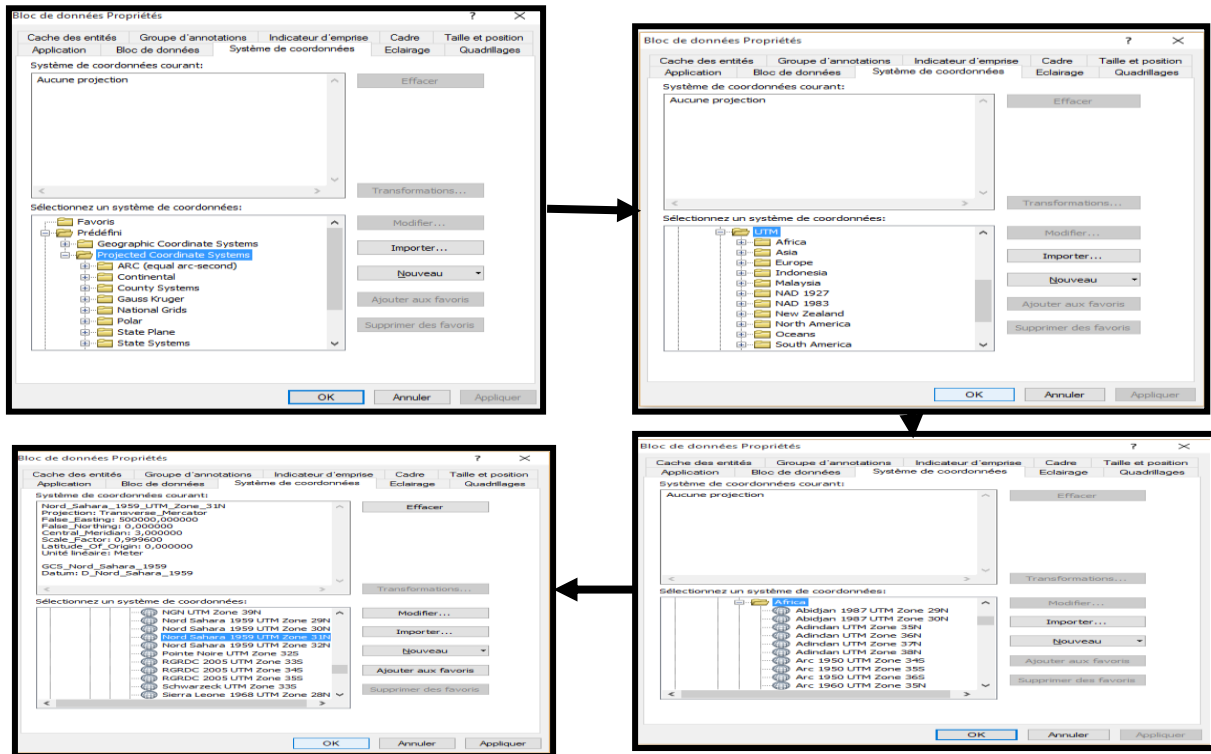


Fig.27: la propriété de la référence spatiale dans ArcMap



Après cette étape d'attribution la référence spatiale, On dépose 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 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.

d) Géoréférencement de la carte :

Dans cette étape on va Géoréférencier la carte dans ArcMap, on clique sur l'outil « Géoréférencement » puis décocher « Ajustement automatique ». On ajoute quatre points de contrôle en utilisant l'outil « Ajouter des points de contrôle », ce sont des coordonnées géographiques en degrés minute Secondes (DMS), Longitude et latitudes à chaque point. Ces points sont ajoutés par l'ordre, dans le sens des aiguilles d'une montre.

Clique sur le  → Entrer DMS → introduire quatre points selon la projection initiale de la carte raster → clic sur  → cocher l'ajustement automatique.

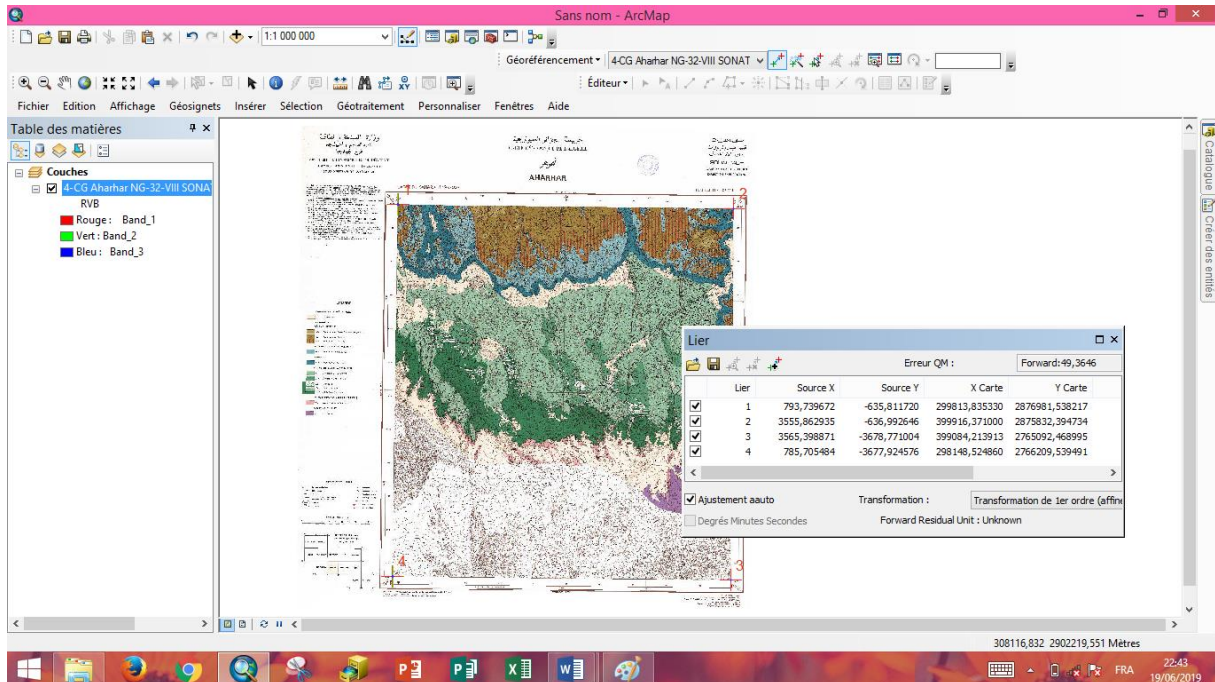


Fig.28 : Géoréférencement de la carte géologique.

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

III.3.2.2 La vectorisation des différentes formations géologiques :

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

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

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

Le résultat sera une image en mode « vecteur ».

❖ Les étapes de la vectorisation d'une carte à l'aide d'ArcGIS

- Tout d'abord on va ouvrir ArcMap et on fait un clic droit sur la couche puis on choisit le système de coordonnées adéquat.
- Ouvrir ArcCatalog et on cherche la carte raster qu'on veut vectorisée.
- On copie et on glisse cette carte raster vers ArcMap, un clic droit sur blanc de ArcCatalog on va créer un nouveau fichier de forme.

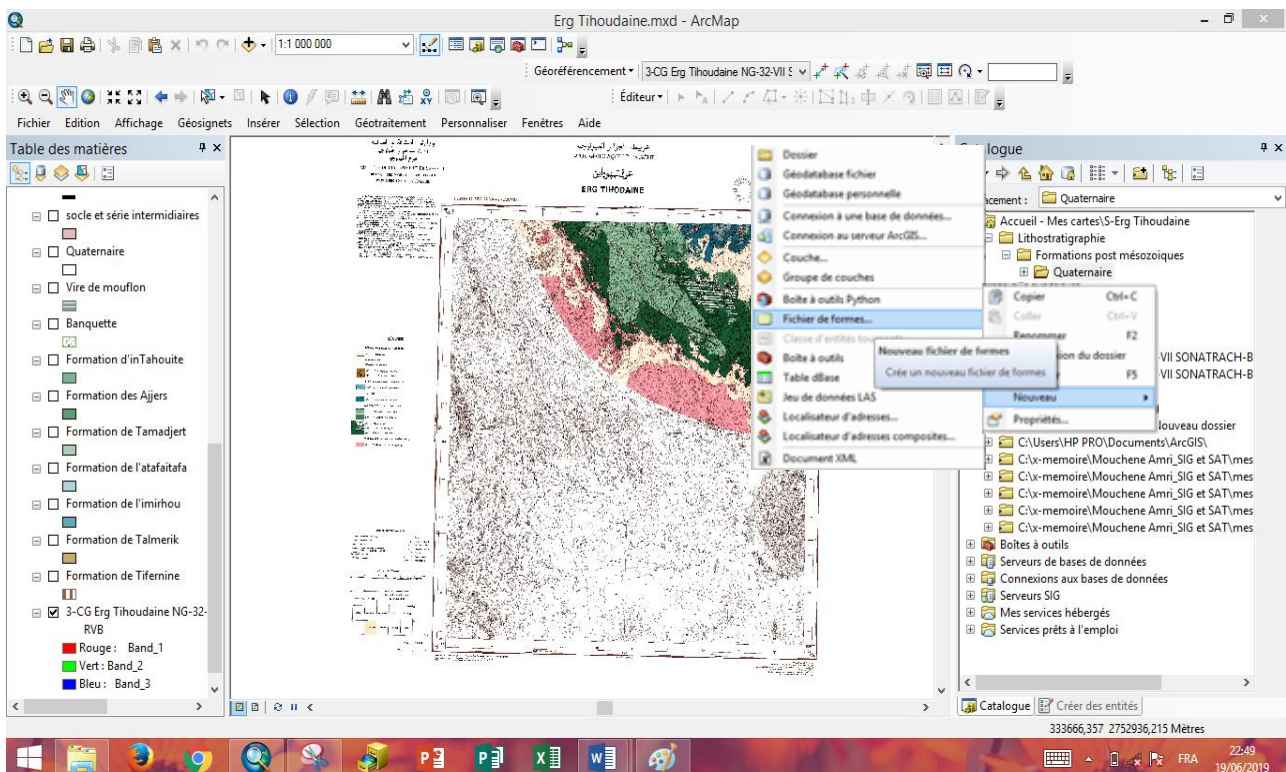


Fig.29 : Ouvrir un nouveau fichier de formes.

- 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.

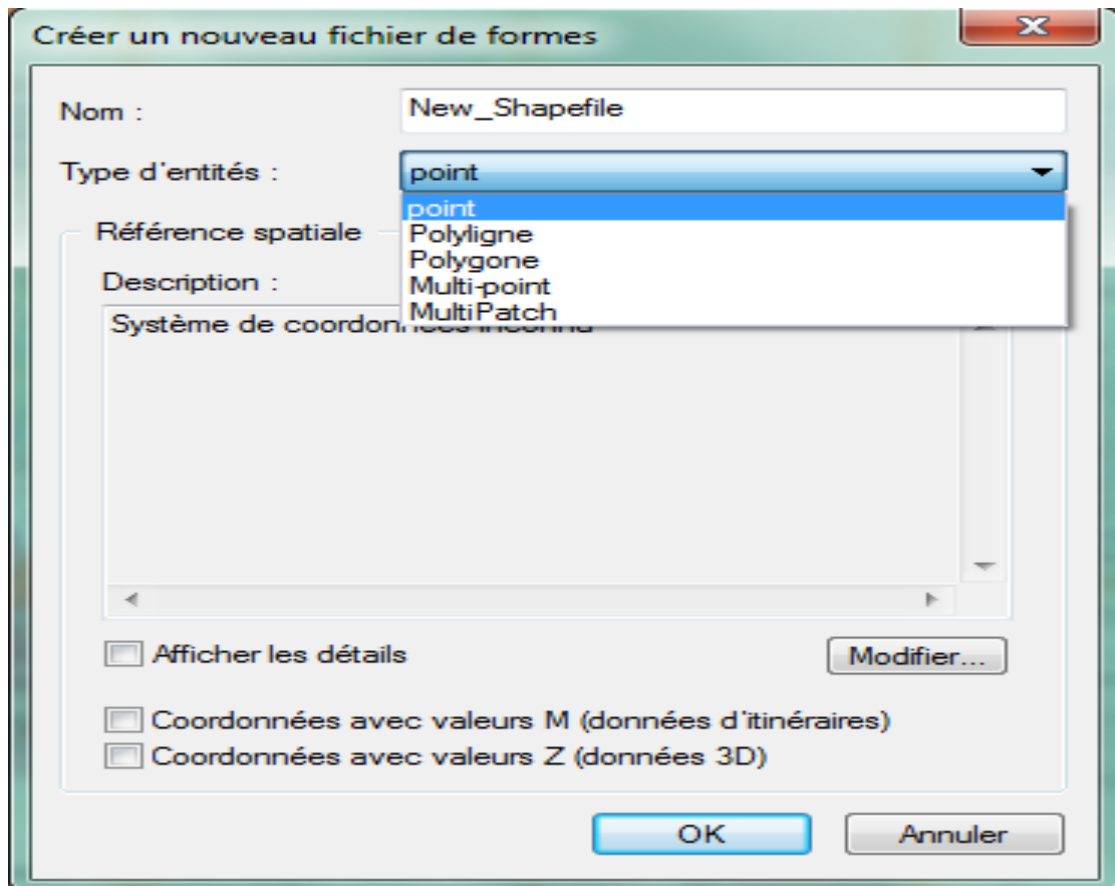


Fig.30 : fenêtre de fichier de forme

- ✚ 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 que on 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 de choisir la commande « Finish Sketch » bien on fait un double-clic.
- ✚ Après avoir terminé la vectorisation (Digitalisation) on va enregistrer le travail, on va aller à "Editeur" puis enregistrer les mises à jour

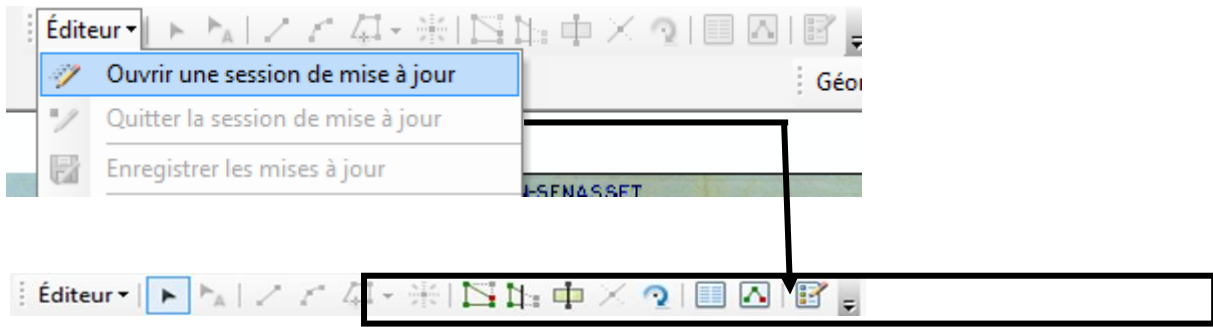


Fig.31 : outil Editeur.

IV.2. La vectorisation des différentes formations géologique :

IV.2.1. Vectorisation l'information surfacique (Polygone) :

Lithologie :

Pour extraire l'information lithologique de chaque données raster nous avons repasser manuellement tous les contours des formations géologique de notre région d'étude.

En procédant de la même manière pour toutes les entités lithologiques constituent la région d'étude (les 6 feuilles (Amguid, Tan Mellelt, Erg Tihoudaine, Aharhar, Djanet). **fig.32/33.**

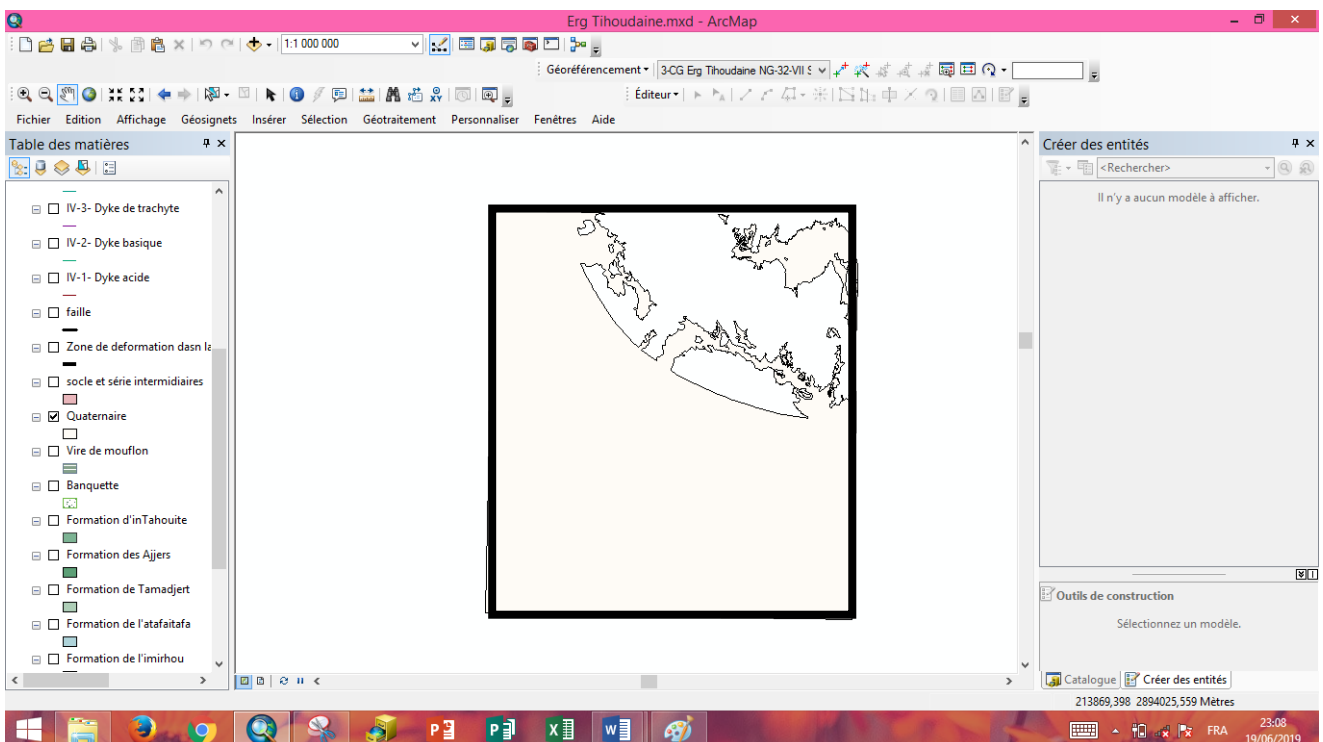


Fig.32 : Représentation du Quaternaire vectorisé de la feuille Erg-Tihoudaine

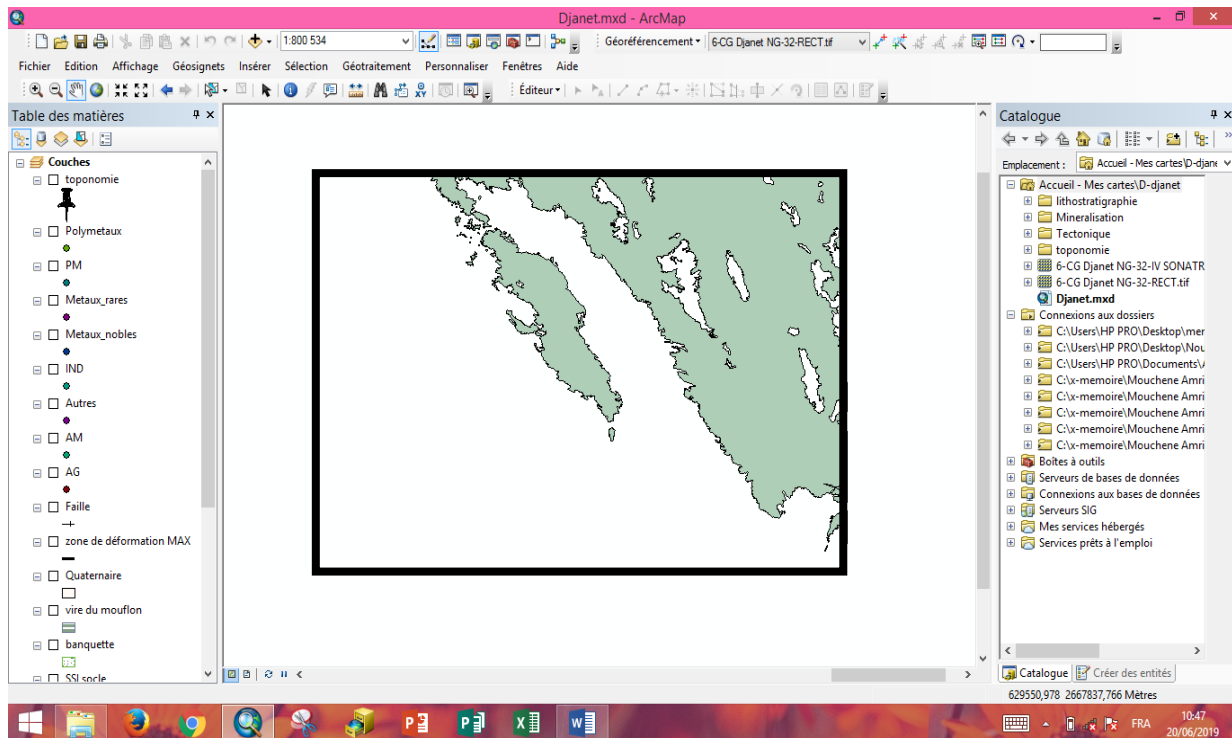


Fig.33 : Représentation de Formation de Tamadjert vectorisé de la feuille Djanet.

Magmatisme :

de la même manière que les formations lithologiques nous avons repassé tous les contours des formations magmatiques manuellement. Un exemple est donné dans la **fig.34**.

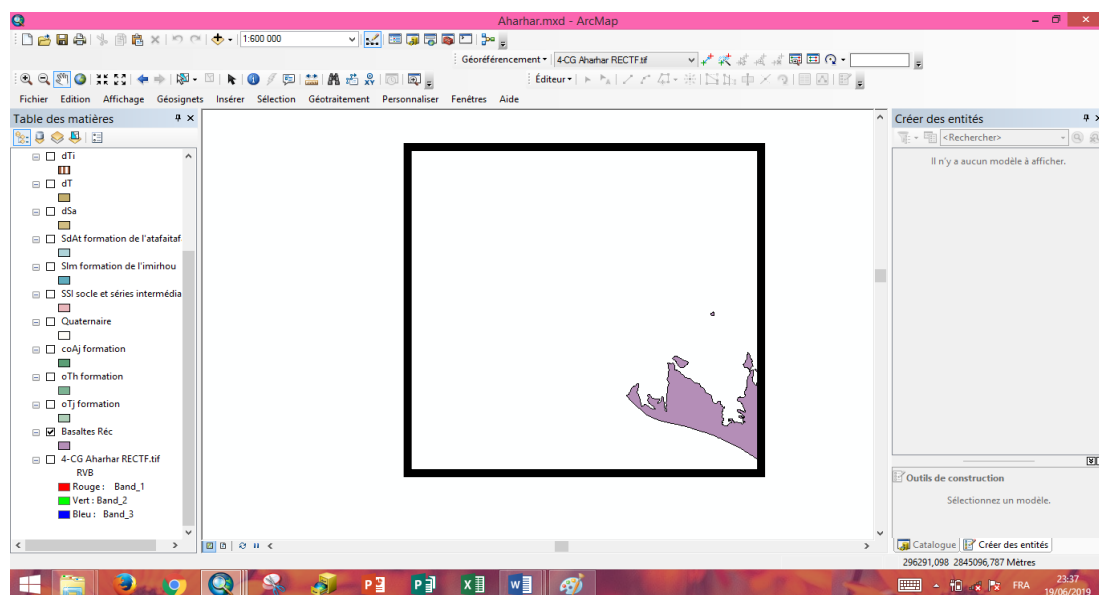


Fig.34 : Exemple de vectorisation d'une couche magmatique de la feuille Aharhar.

d) Vectorisation linéaire « Polyligne » :

Les entités polygones se composent de segments de lignes, d'arcs circulaires, d'arcs elliptiques et de courbes de Bézier entre les sommets. Elles permettent de représenter des objets linéaires et curvilignes dotés d'une longueur, mais sans surface. Dans ce travail nous l'avons appliqué pour vectorisés les accidents tectoniques.

➤ Tectonique :

Pour la vectorisation de la tectonique (failles, chevauchements, dykes...etc.) nous avons suivis les mêmes étapes que pour la vectorisation surfacique citée 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 ». Un exemple est donnée pour la vectorisation de la feuille de Djanet. **fig.35**.

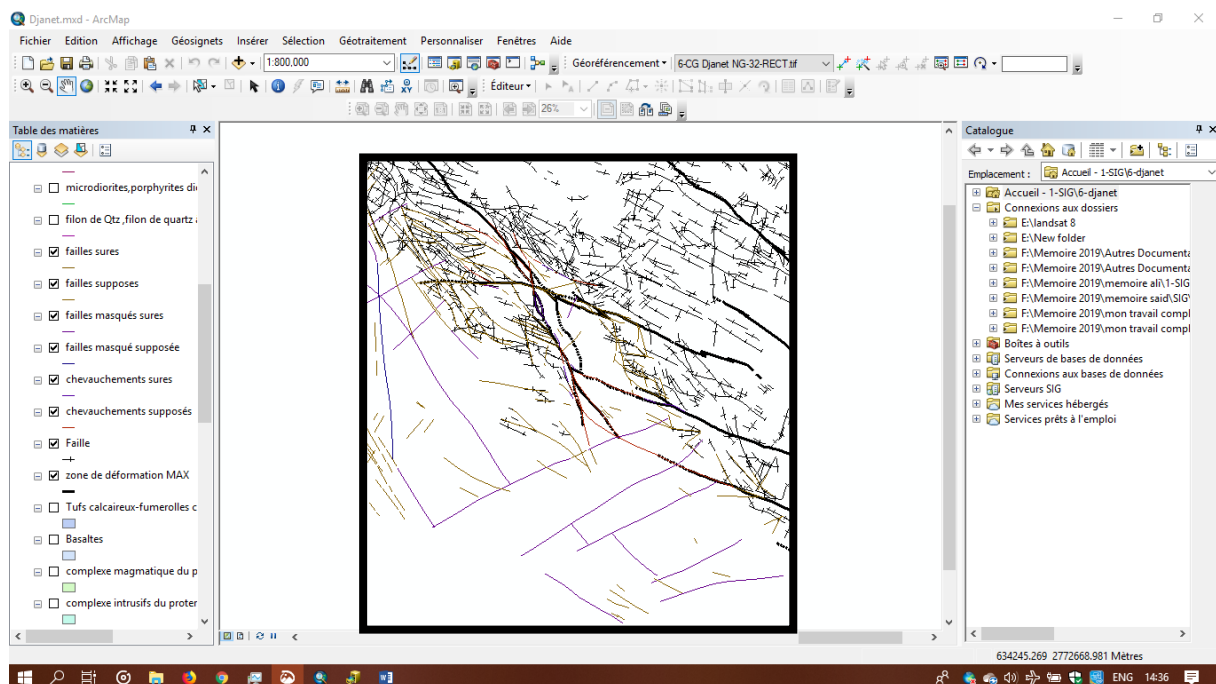


Fig.35 : Présentation des différentes failles vectorisées de la feuille Djanet.

IV.2.3 Vectorisation de l'information Ponctuelle (Point) :

Minéralisation :

Dans cette étape il a fallu d'abord préparer un fichier Excel dans lequel sont mentionnés les positions géographiques des différentes minéralisations de la région d'étude.

La préparation consiste d'abord à collecter tous les documents qui sont des annexes des cartes inventaires des gites métallifères du Hoggar.

Ces documents annexes aux différents rapports de recherches systématiques et levé géologique réalisés dans la région d'étude se présentent sous formes de tableaux spécifique (Fig.36) qui sont en suit transformer en fichier Excel (Fig.37) ce qui représente un travail colossal de synthèse géologique.

Dans ces documents nous nous sommes intéressés à plusieurs types d'informations qui sont : Type de gite, Coordonnées géographiques, Éléments principaux, Éléments secondaires, nature de gite, Encaissant, Dimension, Direction, Teneur, année et N° de rapport chaque information correspond à une colonne dans le fichier Excel.

CATALOGUE DES INDICES MINERALISES (IM) POINTS MINERALISES (PM) ANOMALIES GEOCHIMIQUES (AG)		FEUILLE ERG TIHOUDAÏNE	
N° D'après la carte des minerais utiles	Coordonnées Lambert	éléments utiles et teneurs	description géologique
AG N° 1, Ech 65/2	x : 214 Km y : 2774 Km	Mo: 0.0015%	Zéolithe porphyre formant des cratères volcaniques à phénocristaux de Kersantite.
AG N° 2, Ech 60/2	x : 207 Km y : 2776 Km	Nb: 0.02%, Li: 0.1% Sn: 0.0015%	Zéolithe porphyre à Santidine formant les épanchements de laves.
AG N° 3, Ech 60/3	x : 201 Km y : 2776 Km	Nb: 0.03, Zr: 0.5%	Andésite à structure vacuolaire, avec bombes volcaniques formant les pieds des cratères.
AG N° 4, Ech 60/4	x : 201 Km y : 2775 Km	Zr: 0.21, Pb: 0.02%	Andésites porphyriques formant des necks volcaniques.
AG N° 5, Ech 2535/1	x : 2286 Km y : 2803.4 Km	Mo: 0.0015%	Filon de quartz sulfuré. Direction N 310°. Long: 200m Épaisseur: 4m. encaissé par des granito-gneiss.
AG N° 6, Ech 1046/1	x : 227 Km y : 2813.6 Km	Zr: 0.2%	Granito-gneiss à gros feuillet de biotite A ₃ D: 330° < P 30 NE.
AG N° 7, Ech 1047	x : 227 Km y : 2813.5 Km	Zr: 0.3%	Granito-gneiss porphyroblastiques rubanés.
AG N° 8, Ech 1048	x : 225 Km y : 2813.4 Km	Sn: 0.0015%	Filon de quartz. Direction N 100°, Long: 20m. Épaisseur: 1m Encaissé par des leuco-gneiss à horizons d'amphibolites.
PM N° 9, Ech 1048/1	x : 224.5 Km y : 2813.4 Km	Zr > 0.5%	leuco-gneiss à horizons d'amphibolites A ₃ D: 130° < P 60 NE.

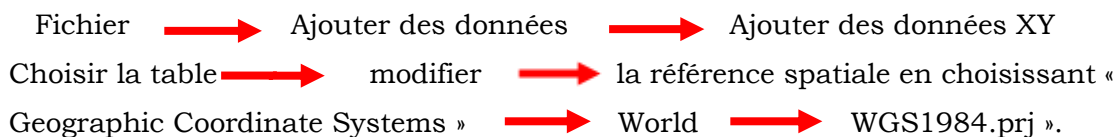
Fig.36 : Exemple de catalogues des minéralisations.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Numéro	Type de gîte	Lat Dec	Long Dec	Nature de gîte	elements utiles	Elements utiles et teneur (%)	epaisseur(m)	longeur(m)	Direction(°)	Pendage
2	1	AG	25.05405	6.15315	Cratères volcaniques	Mo	Mo=0,0015%				
3	2	AG	25.07207	6.09009	Epanchements de laves	Nb,Li,Sn	Nb=0,02%,Li=0,1%,Sn=0,0015%				
4	3	AG	25.07207	6.03604	Andisite	Nb,Zr	Nb=0,03%,Zr=0,5%				
5	4	AG	25.06306	6.03604	Andisite porphyrique(Neeks volcaniques)	Zr,Pb	Zr=0,2%,Pb=0,02%				
6	5	AG	18.83243	6.28468	Filon de quartz	Mo	Mo=0,0015%	4m	200m	N310°	
7	6	AG	25.41081	6.27928	Granito-gneïss agros feuilletés de biotite	Zr	Zr=0,2%				30 NE
8	7	AG	25.40991	6.27027	Granito-gneïss	Zr	Zr=0,3%				
9	8	AG	25.40901	6.25225	Filon de quartz	Sn	Sn=0,0015%	0,6m	20m	N100°	
10	9	PM	25.40901	6.24775	Leuco-gneïss	Zr	Zr= >0,5%				60 NE
11	10	AG	25.45946	6.43243	Banc de marbre	Sn,W	Sn=0,015%,W=0,020%				
12	11	AG	25.46396	6.42793	Gneiss a biotite et a grenat	W	W=0,15%				
13	12	AG	25.45946	6.37297	Zone de feldspathisation	Mo	Mo=0,001%				
14	13	AG	25.45946	6.34865	Roches ultrabasiques (actinotites)	Ni	Ni=0,06%				
15	14	AG	25.45946	6.33784	Roches ultrabasiques (actinotites)	Ni	Ni=0,06%				
16	15	AG	25.45045	6.34955	Gneiss ocellés	Cr	Cr=0,15%				
17	16	AG	25.10811	6.69369	Filon de quartz	Mo,W	Mo=0,001%,W=0,005%	20m	500m		
18	17	AG	25.16216	6.73333	Gabbro a magmatite	N	N=0,006%				
19	18	AG	25.18919	6.73874	Quartzique	Sn	Sn=0,0015%				
20	19	AG	25.18919	6.72883	Granito-gneïss	Sn	Sn=0,0015%				
21	20	AG	25.34234	6.75495	Granite rose	Sn	Sn=0,001%				
22	21	AG	25.44595	6.75495	Granito-gneïss	Zr	Zr=0,2%			N060°	30NW
23	22	AG	25.46306	6.81982	Filon de quartz	Cu	Cu=0,03%	5m	200m	N	
24	23	AG	25.47027	6.81441	Filon de quartz	Zr,Mo,Bi,Ag	Zr=0,5%,Mo=0,004%,Bi=0,003%,Ag=0,00015%	7m	550m	N	
25	24	AG	25.46847	6.80721	Filon de quartz	Ag	Ag=0,00015%	5m	500m	N	
26	25	AG	25.47658	6.80180	Filon de quartz	Mo,Bi	Mo=0,001%,Bi=0,0015%	10m	500m	N310°	
27	26	AG	25.47297	6.78829	Filon de quartz	P	P=1%	1,5m	200m	N310°	
28	27	AG	25.50450	6.77838	Filon quartz	Pb	Pb=0,02%	10m	5m	N310°	
29	28	PM	25.49550	6.72072	Filon de quartz	Pb,Z,Bi,Ag	Pb=0,4%,Z=0,08%,Bi=0,006%,Ag=0,0001%	3m	250m	N150°	

Fig.37 : Exemple de Fiche Excel (Document fais partie de la base de données SIG).

Après la préparation des fichiers Excel, il est intégré dans ArcMap suivant les méthodes propres et finale les points de localisation géographiques de chaque élément principal sont 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 la minéralisation 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 ces étapes :



La minéralisation a été subdivisée en deux groupes principaux :

Le type du gîte :

- **Selon le type du gîte on peut citer :**
 - ✓ Anomalies Géochimiques (**AG**)
 - ✓ Anomalies Minéralogiques (**AM**)
 - ✓ Points Minéralisé (**PM**)
 - ✓ Indice (**IND**)

L'élément principaux :

- **Selon les éléments principaux on peut citer :**
 - ✓ Métaux Nobles : **Au, Ag**
 - ✓ Métaux Rares : **Sn, W, Be, Li, Ta, Nb, Mo, Y**

CHAPITRE III : SYSTEME INFORMATION GEOGRAPHIQUE « SIG »

- ✓ Platinoïde : **Pt, Cr, Ni, Co**
- ✓ Polymétaux : **Cu, Pb, Zn**

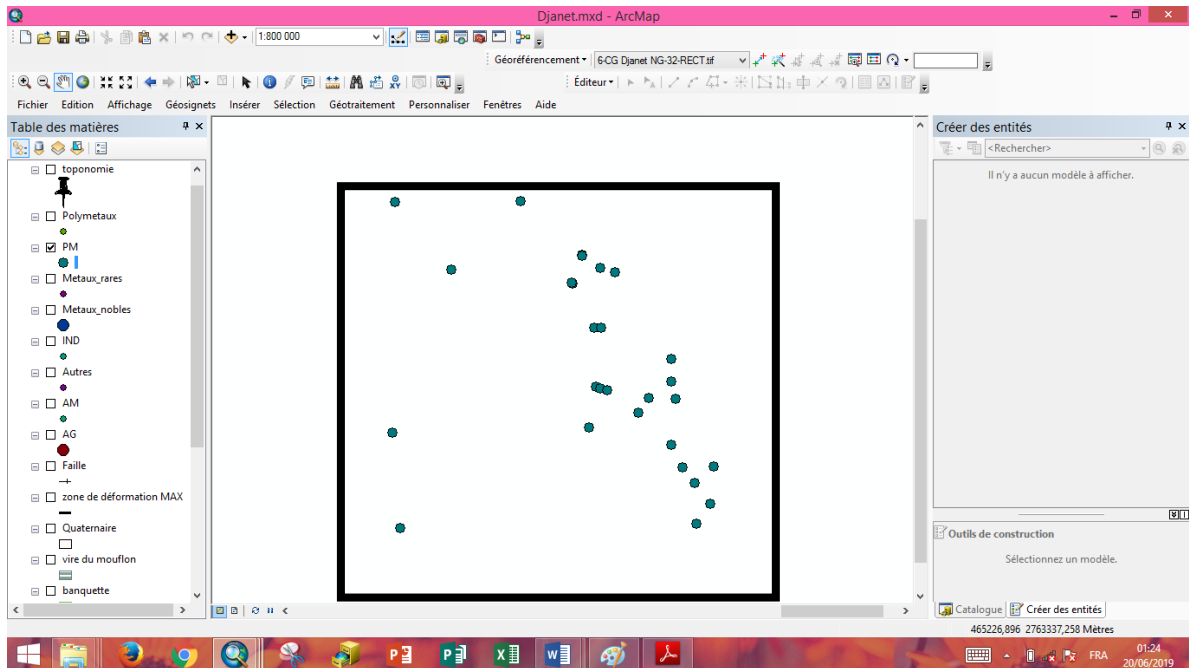


Fig.38 : Vectorisation de la couche « Points Minéralisé » de la feuille Djanet.

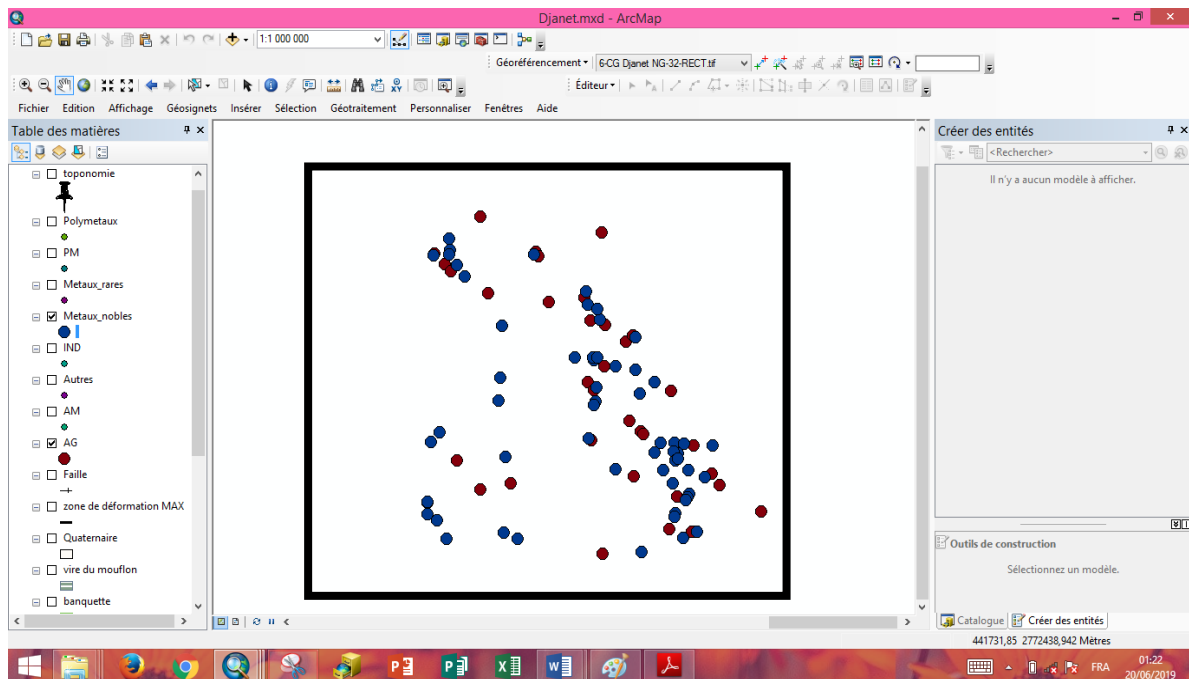


Fig.39 : Vectorisation de la couche « Métaux nobles Au, Ag » de la feuille Djanet.

Remarque : Les couches d'information vectorielles concernant la partie socle de région d'étude (litho-stratigraphie, magmatisme, tectonique, minéralisation) ont été extraite des mémoires fin d'étude du SIG Djanet (Mahmoudi.A et Lamari.I 2018) et du SIG Erg Tihoudaine (Chalal.S 2018)

IV.3 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...

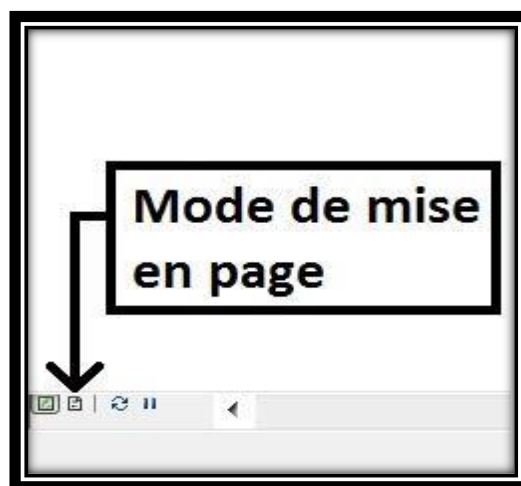


Fig.40 : Mode mise en page dans l'interface ArcMap.

Pour insérer les éléments indispensables à notre carte, il suffit d'ouvrir le « menu » → insérer → choisir l'item qui nous intéresse.

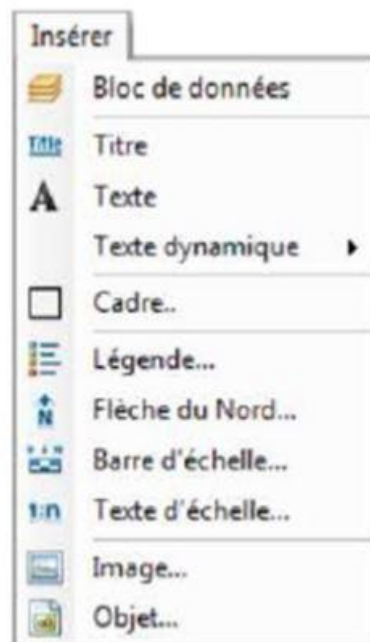



Fig.41 : Liste d'outils disponibles à l'insertion.

- Ajouter du texte :

Clic sur  → puis on choisit où le mettre dans la carte, à l'endroit désiré.

- Ajouter un titre :

Insérer → Titre.

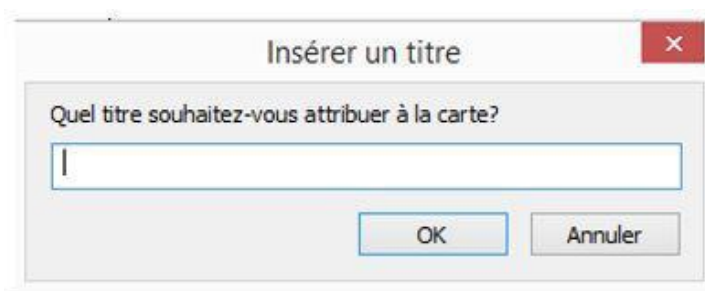


Fig.42 : Boite de dialogue pour insérer un titre à la carte.

- Ajouter une orientation :

Insérer → Flèche du Nord.

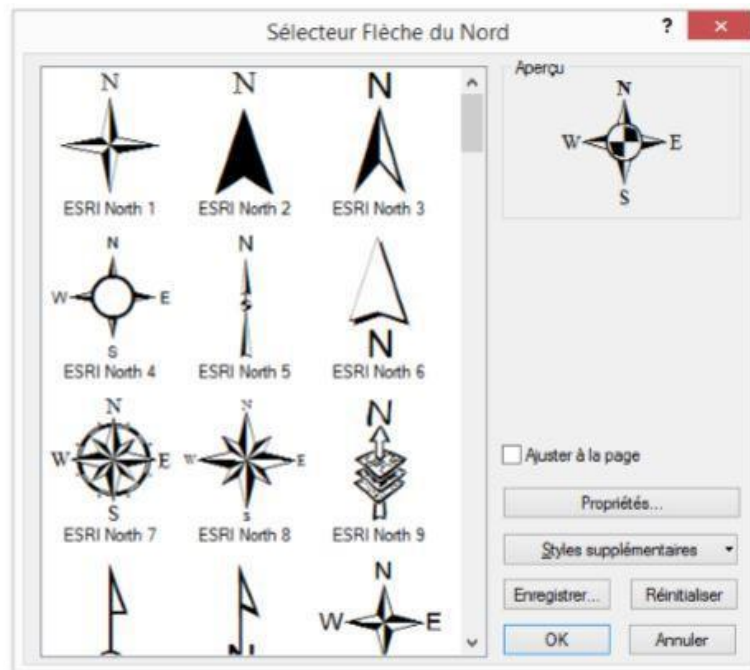


Fig.43 : Sélection d'une flèche de Nord.

Il est aussi facile d'importer une flèche personnalisée.

- Ajouter une échelle graphique :

Insérer → Barre d'échelle.

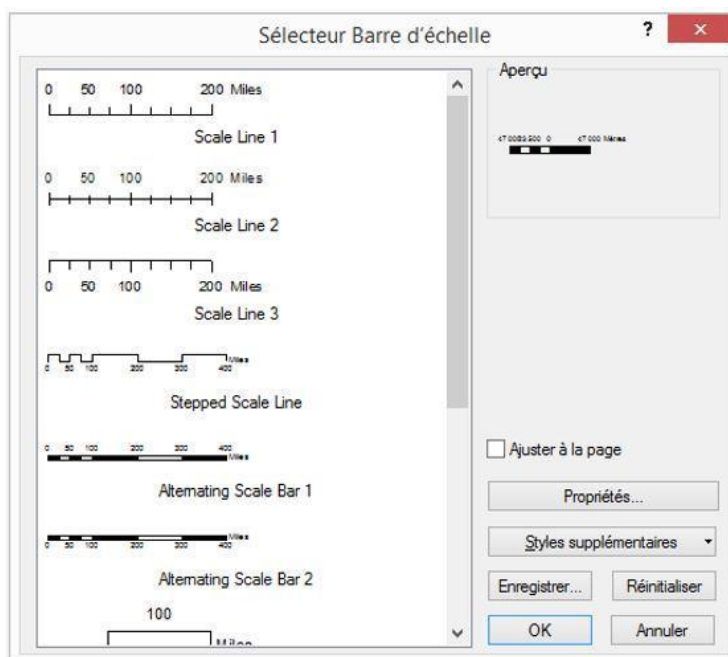


Fig.44 : Sélection d'une barre d'échelle.

➤ Ajouter une légende :

Insérer → Légende.

Une boîte de dialogue « L'assistant de légende » s'ouvre. La première fenêtre nous permet de faire sélectionner les couches qui seront intégrées dans la légende et de faire varier l'ordre d'apparition (organisation).

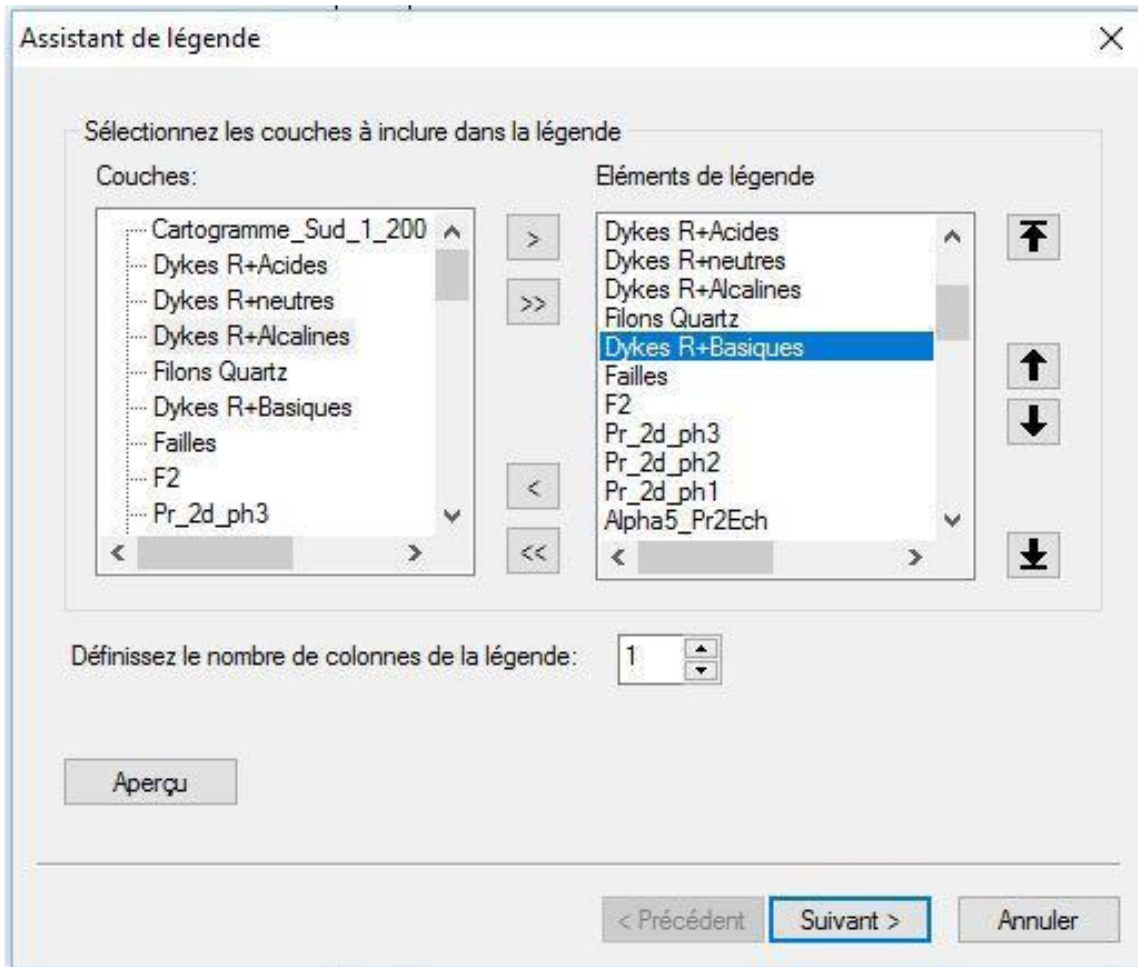


Fig.45 : L'assistant de légende (1).

Une fois qu'on clique sur « Suivant », la deuxième fenêtre nous permettra de personnaliser le style d'écriture et le titre de la « Légende »

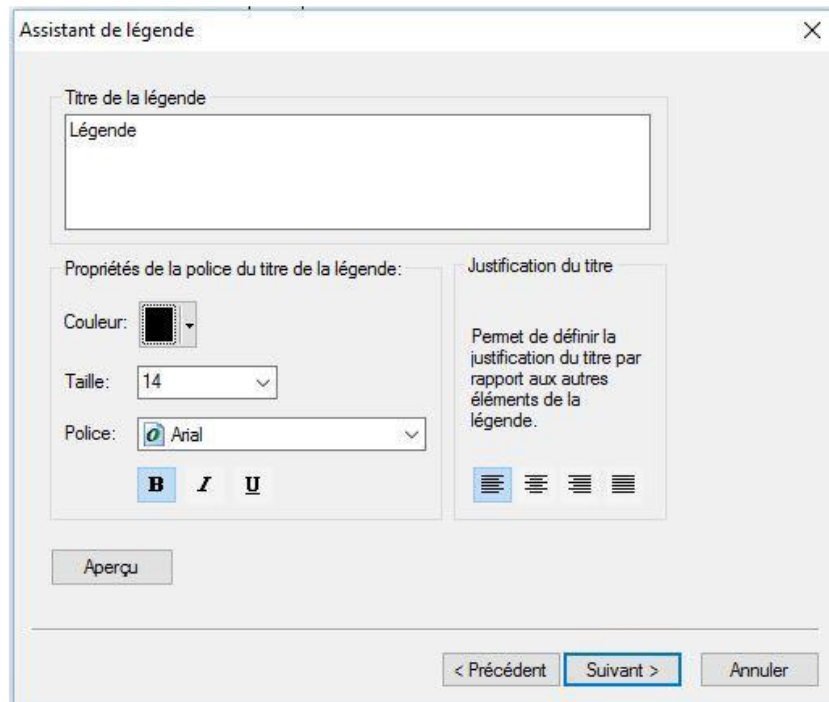


Fig.46 : L'assistant de légende (2).

Cliquer sur suivant nous donne l'accès a la troisième fenêtre de l'assistant de légende, cette dernière nous permet de personnaliser le cadre de la légende, voir la bordure, la couleur de l'arrière-plan, l'ombre portée...etc.

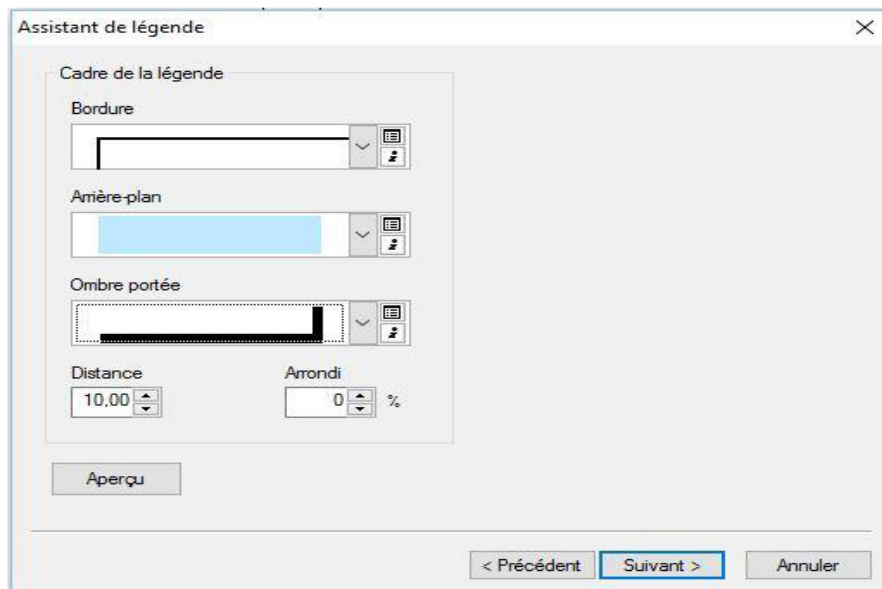


Fig.47 : L'assistant de légende (3).

Cliquer sur Suivant, nous emmène vers la prochaine fenêtre de l'assistant de légende, cette quatrième fenêtre nous donne la possibilité de modifier la taille et la forme du gabarit utilisé pour représenter les entités linéaires et surfaciques de la légende.

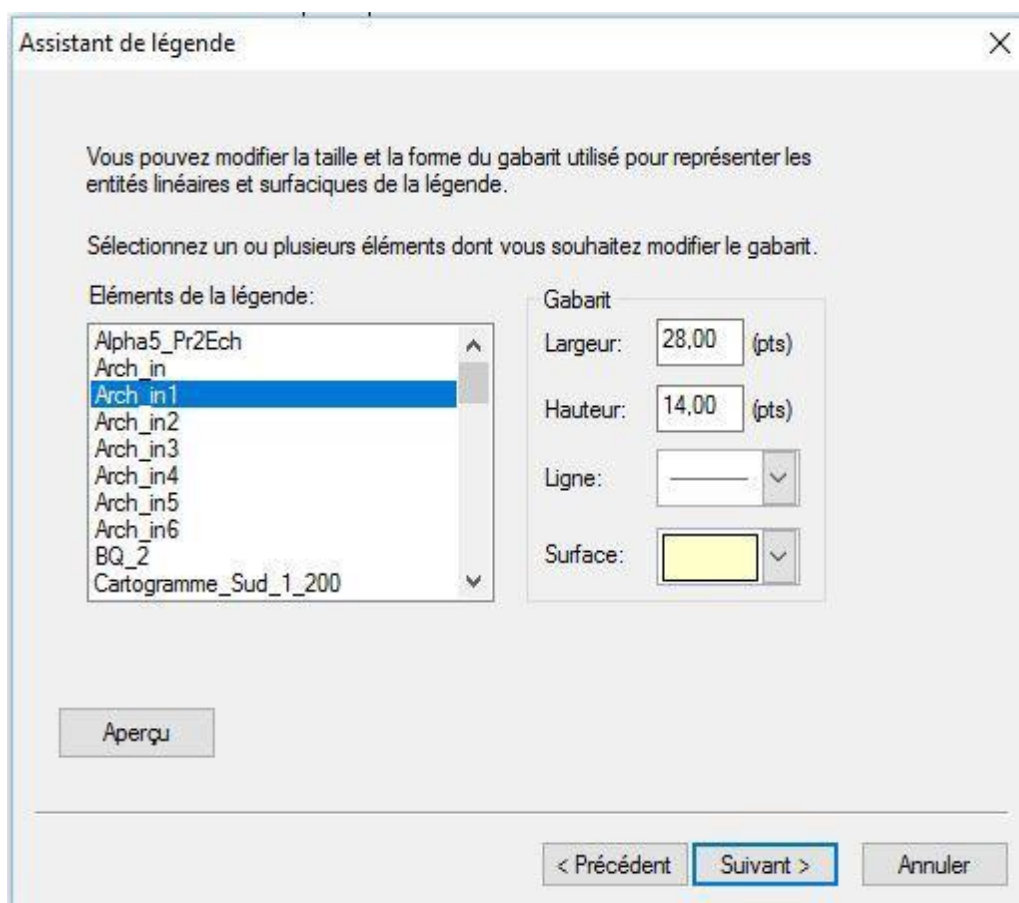


Fig.48 : L'assistant de légende (4).

Finalement, cliquer sur Suivant nous emmène vers la dernière fenêtre de l'assistant de légende, celle-ci nous permet de définir l'espacement entre les éléments de la légende.

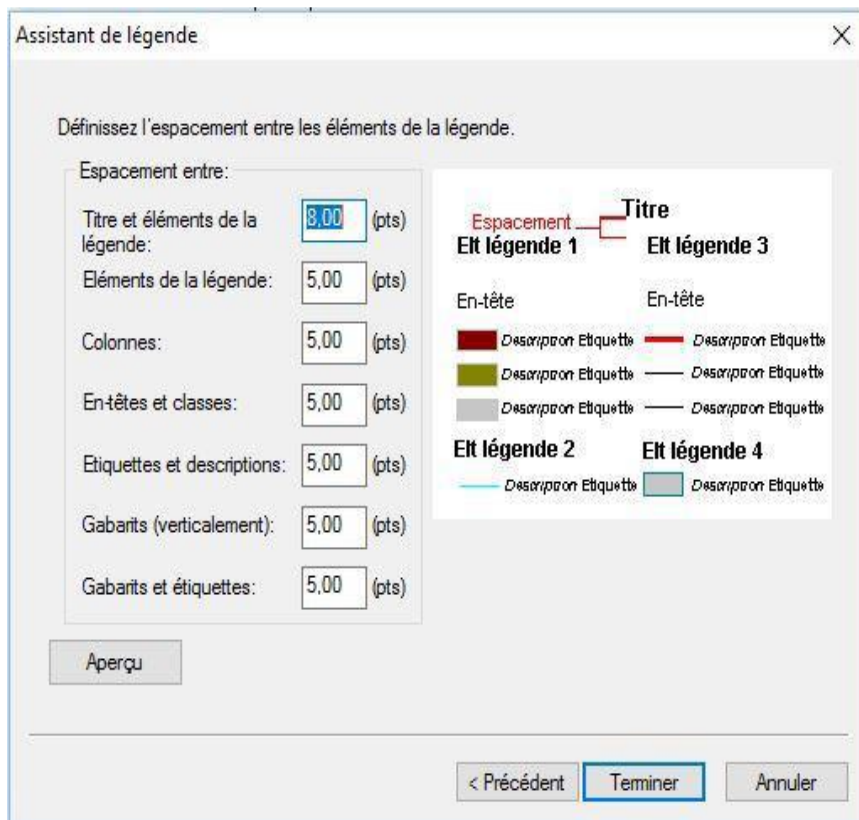


Fig.49 : L'assistant de légende (5).

Après avoir paramétré tout ça, notre Légende apparait et on peut choisir sa position et son cadrage. A noter qu'on peut à tout moment modifier les styles de chaque élément, le cadre, la taille et la position de la légende, en effectuant un clic droit sur la légende → Propriétés.

➤ **Exportation de la mise en page :**

Une fois la mise en page achevée, on peut l'imprimer directement depuis le menu « Fichier → Imprimer » ou bien de l'exporter afin de l'insérer dans un document.

Pour exporter : Menu fichier → Exporter la carte.

CHAPITRE III : SYSTEME INFORMATION GEOGRAPHIQUE « SIG »

Une boîte de dialogue s'ouvre, celle-ci nous permet de modifier la résolution, la qualité de l'image exportée et son format. On donne un nom à notre carte, on choisit le dossier de destination et on enregistre.

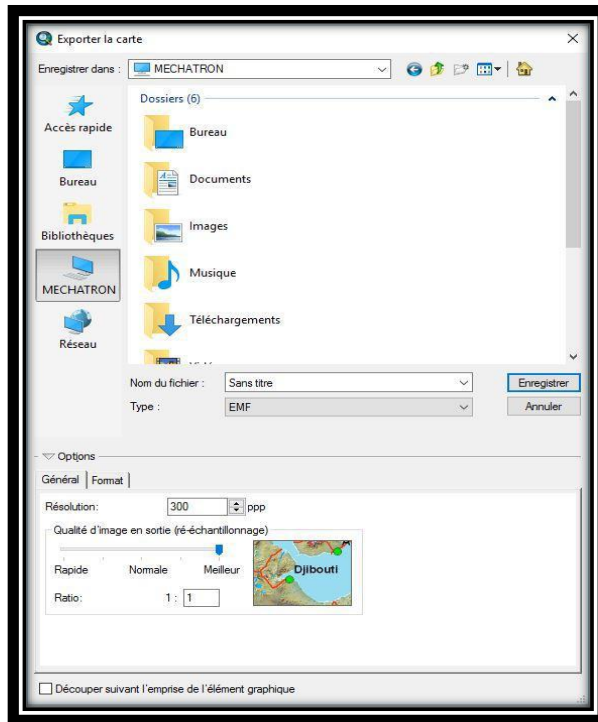


Fig.50 : Choix de la résolution et du format de l'image en sortie.

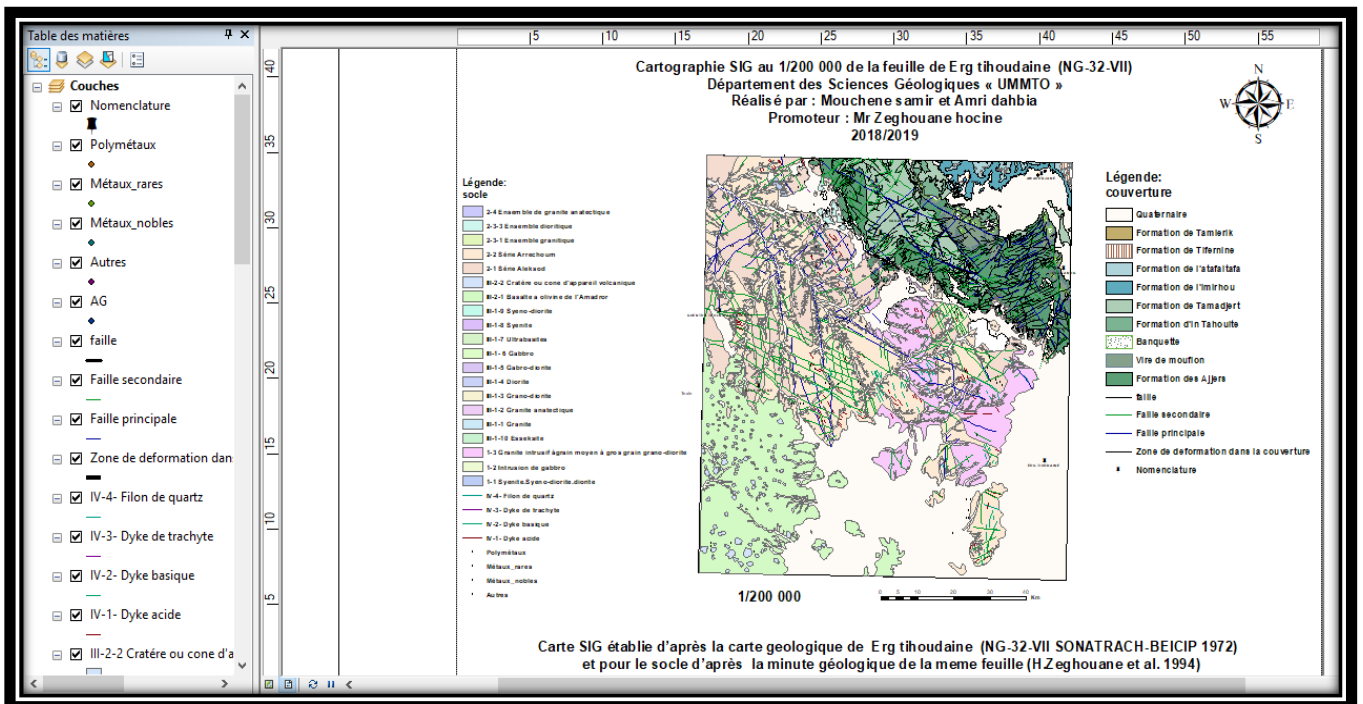


Fig.51 : Carte exportée de Erg Tihoudaine.

IV.1. Rappels théoriques :

IV.1.1. Introduction :

La télédétection a été née à partir de la fusion de deux (2) inventions anciennes : la montgolfière et la photographie.

Elle est développée après grâce à la photographie aérienne, qui a connu un grand essor au cours du XX^e siècle, surtout au cours de la seconde guerre mondiale car motivée par des objectifs stratégiques surtout militaires.

IV.1.2. Définition :

Télédétection : C'est l'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*).

Télé : signifie "à distance" et **détection** c'est découvrir ou déceler.
Abréviation : TD.

En anglais : « remote sensing » ; remote : distance, sensing : avoir un sens.

IV.1.2. Principes de base de la télédétection :

Elle a les mêmes principes de la vision humaine, et elle utilise trois éléments fondamentaux :

- Une source d'énergie (en général : le Soleil).
- Une cible (objet ou portion de la surface de la terre).
- Un vecteur ou plateforme (satellite, avion, ballon).

IV.1.2.1. La source d'énergie :

Est l'élément qui "éclaire" la cible en émettant une onde électromagnétique (REM), généralement c'est le soleil.

IV.1.2.2. La cible :

Est la portion de la surface de la terre observée par le satellite. Sa taille peut varier de quelques dizaines à plusieurs milliers de kilomètres carrés.

IV.1.2.3. Le vecteur (ou plateforme d'embarcation) : est l'élément sur lequel sont montés des capteurs permettant de capter et mesurer le rayonnement électromagnétique réfléchi par la cible. La distance vecteur-cible peut être de quelques centaines de mètres à 36 000 kilomètres ces capteurs contiennent également un système émetteur qui permet de renvoyer l'image sur la terre vers des stations de réception.

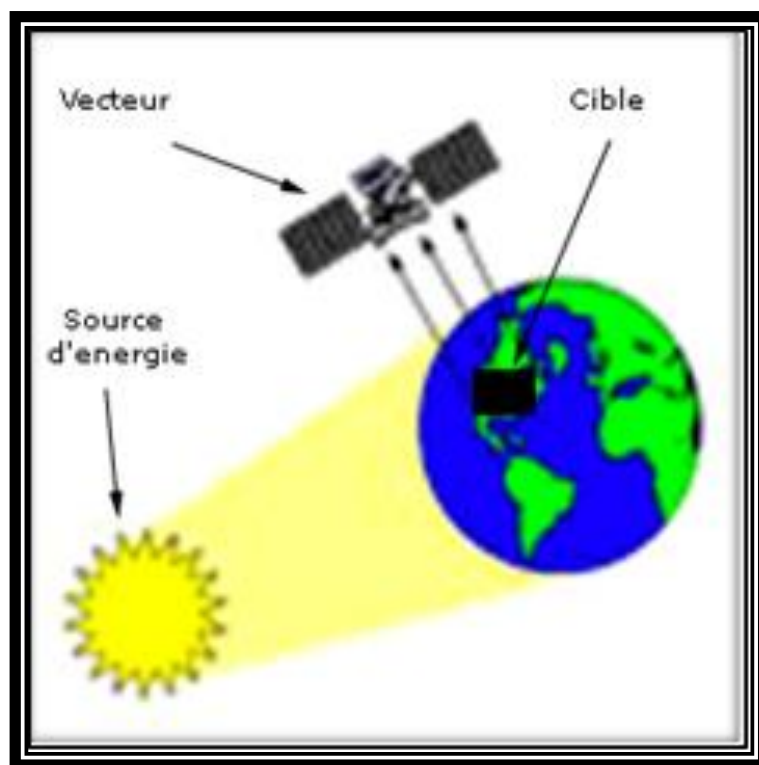


Fig.52 : Schéma explicative des 3 principes de la télédétection.

IV.1.3. Bases physiques de la télédétection :

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

IV.1.3.1. Rayonnement électromagnétique (REM) :

L'énergie émise par une source et réfléchiée par une cible est transmise sous forme d'un REM. Selon la théorie corpusculaire, ce REM est assimilé à un flux de particules élémentaires appelées photons. Ce rayonnement est composé de deux vecteurs : Un champ électrique **E** et un champ magnétique **M** vibrant perpendiculairement et se déplaçant à la vitesse de la lumière **c** (dans le vide $c=3 \cdot 10^8\text{m/s}$).

Le rayonnement électromagnétique est caractérisé physiquement par une onde électromagnétique ayant trois propriétés principales :

- La longueur de l'onde (λ)
- La fréquence (ν)
- La période (T).

IV.1.3.2. Sources du rayonnement électromagnétique :

Calcul du REM solaire : La source du REM est en général le soleil. Le calcul du REM solaire s'effectue à l'aide de l'équation de **Stephan-Boltzmann** exprimant la quantité d'énergie **E** émise par un corps complètement absorbant, dit également corps noir.

L'équation s'écrit comme suit : $E = \sigma \cdot T^4$ avec : **E** ; éclairement solaire
 σ : est la constante de Stephan-Boltzmann $= 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$).

T : Température en ° Kelvin du corps ($0^\circ \text{ K} = -273.15^\circ \text{ C}$).

(Le Soleil étant assimilé à un corps noir à $T = 5770^\circ \text{ K}$). $E = (5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}) \cdot (5770^\circ \text{ K})^4 = 6.28 \cdot 10^{-7} \text{ Wm}^{-2}$

On sait qu'à l'entrée de l'atmosphère terrestre, l'énergie reçue est égale à l'énergie totale émise par le soleil considéré comme une surface d'une sphère fictive ayant un rayon égal à la distance Terre-Soleil (DTS):

$$\text{Alors } E \times 4\pi R_{\text{soleil}}^2 / 4\pi \text{DTS}^2 = \mathbf{1371 \text{ W/m}^2 \text{ (Constante solaire)}}.$$

Les mesures les plus précises situent la constante solaire en moyenne à 1367 W/m^2 .

Avec $R_{\text{soleil}} = 6.96 \cdot 10^8 \text{ m}$ et $\text{DTS} \approx 1.49 \cdot 10^{11} \text{ m}$ soit 149 millions de Km.

IV.1.3.3. Caractéristiques du REM : le spectre électromagnétique : Le spectre électromagnétique est le résultat de la décomposition du rayonnement électromagnétique en plusieurs fréquences (ou longueurs d'ondes). Il s'étend des courtes longueurs d'onde (rayons γ , rayons **X**) jusqu'aux grandes longueurs d'onde telles que les micro-ondes et les ondes radio

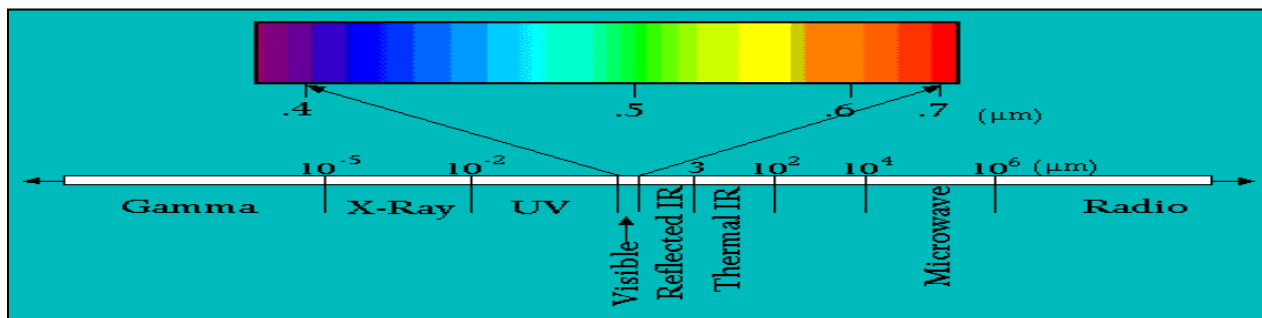


Fig.53 : Spectre du rayonnement électromagnétique solaire.

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** : $\lambda = 0.400 - 0.446 \mu\text{m}$
- **Bleu** : $\lambda = 0.446 - 0.500 \mu\text{m}$
- **Vert** : $\lambda = 0.500 - 0.578 \mu\text{m}$
- **Jaune** : $\lambda = 0.578 - 0.592 \mu\text{m}$
- **Orange** : $\lambda = 0.592 - 0.620 \mu\text{m}$
- **Rouge** : $\lambda = 0.620 - 0.700 \mu\text{m}$

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

IV.1.4. Les sept étapes clés de la télédétection :

On distingue sept grandes étapes dans le processus de télédétection (Etape **A** à étape **G**) :

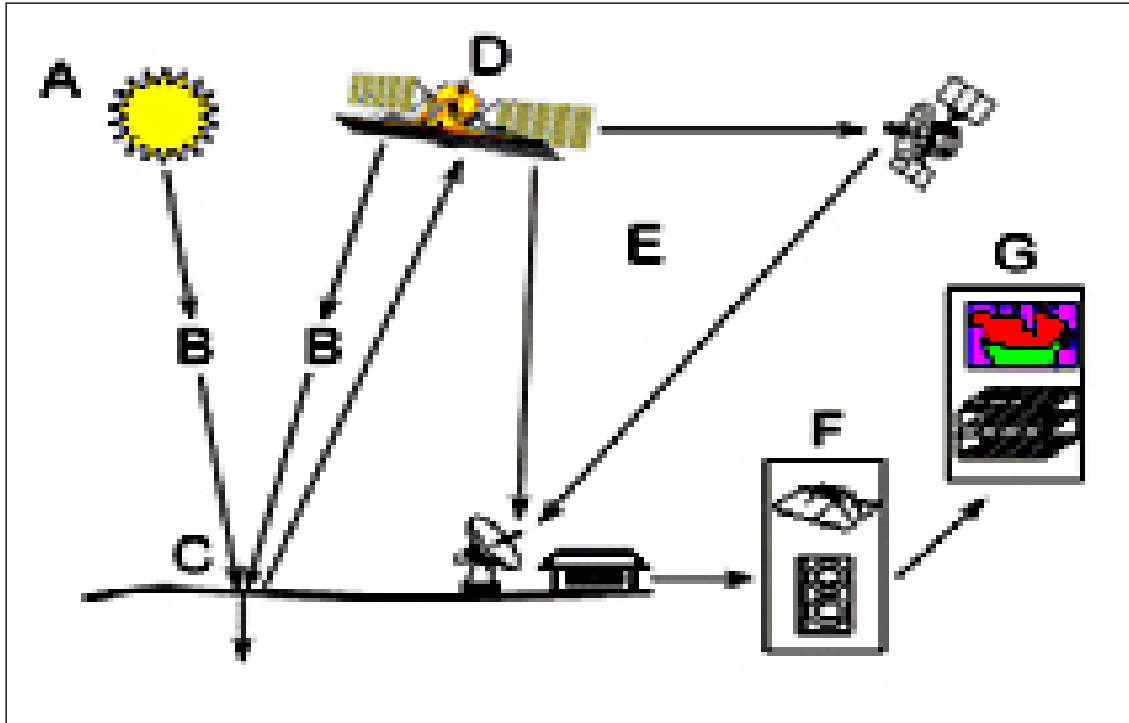


Fig.54 : Les étapes du processus de la télédétection.

- A – source d'énergie.**
- B – Int. 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.**

IV.1.4.1. Source d'énergie ou d'illumination « étape a » :

Dans le processus de télédétection nous avons besoin tout d'abord d'une source d'énergie qui est indispensable pour illuminer la cible observée. En télédétection dite *passive* ; cette source est représentée par le soleil. La télédétection *active* utilise une source fabriquée par l'homme ; le vecteur (satellite) est alors muni d'une source d'énergie (exemple : cas de télédétection par RADAR).

Le RADAR (*Radio Detection And Ranging*) et le LIDAR (*Light Detection and Ranging*) sont des systèmes émetteur-récepteur embarqués sur une plateforme satellitaire jouant à la fois le rôle de source et capteurs. Leur émetteur est constitué d'une source d'énergie.

IV.1.4.2. Interaction rayonnement – atmosphère « étape b » :

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.

IV.1.4.3. Interaction REM – cible « étape c » :

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

IV.1.4.4. Enregistrement de l'énergie par le capteur « étape d » :

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

a-Téledétection passive :

Lorsque le satellite capte le rayonnement émis par le Soleil et réfléchi par la Terre. On parle de *téledétection passive*. On utilise assez souvent les longueurs d'ondes du spectre visible, le proche infrarouge et l'infrarouge moyen qui ne sont pas donc possibles que le jour (soleil illuminant la terre) et en absence de nuages.

C'est le cas des satellites *SPOT* (Satellite Probatoire pour l'Observation de la Terre), **LANDSAT** (Land Satellite), *METEOSAT* (Meteorological Satellite), etc.

b-Téledétection active (RADAR, LIDAR) :

Le LIDAR (*Light Detection and Ranging*) utilise une source laser et le RADAR (*Radio Detection And Ranging*) utilise une source radio (hyperfréquence). C'est l'exemple du satellite ERSS-1 (European Remote Sensing Satellite).

IV.1.4.5. Transmission, réception et pré-traitement des données « étape e » :

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 téledétection :

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

- **Corrections géométriques** : son but est de corriger les distorsions de l'image dues en particulier à la topographie et à la géométrie de l'objet au moment de la visée.

- **Corrections des effets perturbateurs atmosphériques** : Le rayonnement reçu par le capteur est la résultante du rayonnement réfléchi par la cible et par l'atmosphère. Le rayonnement réémis par l'atmosphère augmente la valeur de flux mesurée par le capteur. Le but de cette correction est d'éliminer les effets de l'atmosphère et d'accéder à une mesure réelle de la réflectance de cible investiguée.

- **Corrections des effets directionnels** : Le rayonnement reçu par le capteur dépend des conditions d'acquisition et en particulier de la position solaire et l'angle de visée.

IV.1.4.6. Interprétation, traitement et analyse « étape f » :

L'image obtenue est soumise à une interprétation visuelle et/ou 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 que ENVI, ERDAS...etc. ou bien grâce aux logiciels de cartographie (ArcGIS, Mapinfo, Idrissi...etc.).

IV.1.4.7. Application « étape g » :

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.) et donc pour aider à résoudre un problème bien particulier. : Par exemple : Apparition de cyclones, extension des inondations, des feux de forêt, du trou de la couche d'ozone...etc.

Les applications de la télédétection sont très variées : Ces applications qui étaient avant beaucoup plus militaires, aujourd'hui, de nombreuses disciplines utilisent les images satellites.

IV.2. Les images satellitaires « images Landsat » :

IV.2.1. Introduction : Landsat est un satellite polaire de type héliosynchrone qui tourne en orbite fixe appelée 'Sun Synchronous Orbit

(orbite synchronisée du soleil). Il fait un tour de la Terre chaque 99 minutes avec une vitesse linéaire de 27350km/h soit 14 rotations par jour (14 bandes par jour). Il parcourt donc une distance de 643.000km/jour. En 16 jours ce satellite aurait couvert toute la Terre

Les principales générations sont :

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

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

Landsat 5 : (1984),

Landsat 6 : mort-né, ses images n'ont servi que pendant très peu de temps.

Landsat 7 : ou Landsat **ETM+** (**Enhanced Thematic Mapper**) (9 canaux).

Ce satellite lancé en 1999 continue à fournir jusqu'aujourd'hui ce type d'image. Il est doté de 9 capteurs spectraux qui permettent d'avoir l'image **Landsat ETM+** qui contient 9 bandes spectrales qui sont :

Landsat 8 : lancé depuis 2013 jusqu'à ce jour. Il fournit des images **OLI** (**Operational Land Imager**). Avec 11 bandes spectrales.

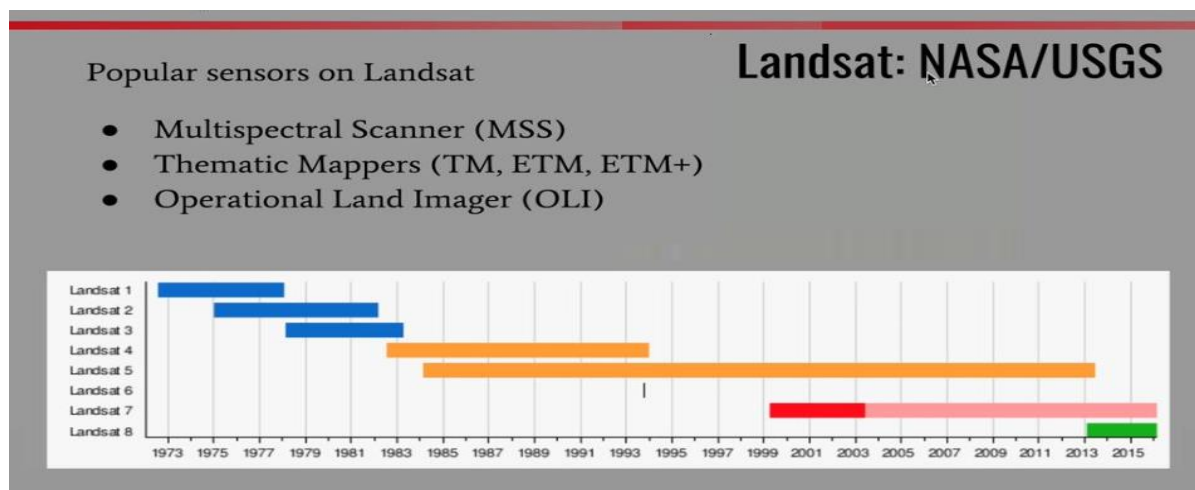


Fig.55 Principaux types de satellites Landsat.

IV.2.2. Images satellitaires de LANDSAT 8 :

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 : <http://landsat.usgs.gov/>.

Nous allons prendre l'exemple d'images acquises par le satellite **LANDSAT 8** opérationnel depuis 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.

IV.2.2.1. Les bandes spectrales de l'instrument OLI (Operational Land Imager) :

Ce radiomètre multispectral acquiert des images dans neuf bandes spectrales allant du visible au moyen infrarouge.

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).

Bandes spectrales OLI de Landsat 8 « Tableau 02 » :

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	15 m
Bande 9 - Cirrus	1,360 - 1,390 µm	30 m

Tableau 02 : Les bandes spectrales de Landsat 8.

Comparaison entre les bandes du Landsat 7 et Landsat 8 :

Landsat-7 ETM+ Bands (µm)			Landsat-8 OLI and TIRS Bands (µm)		
			30 m Coastal/Aerosol	0.435 - 0.451	Band 1
Band 1	30 m Blue	0.441 - 0.514	30 m Blue	0.452 - 0.512	Band 2
Band 2	30 m Green	0.519 - 0.601	30 m Green	0.533 - 0.590	Band 3
Band 3	30 m Red	0.631 - 0.692	30 m Red	0.636 - 0.673	Band 4
Band 4	30 m NIR	0.772 - 0.898	30 m NIR	0.851 - 0.879	Band 5
Band 5	30 m SWIR-1	1.547 - 1.749	30 m SWIR-1	1.566 - 1.651	Band 6
Band 6	60 m TIR	10.31 - 12.36	100 m TIR-1	10.60 - 11.19	Band 10
			100 m TIR-2	11.50 - 12.51	Band 11
Band 7	30 m SWIR-2	2.064 - 2.345	30 m SWIR-2	2.107 - 2.294	Band 7
Band 8	15 m Pan	0.515 - 0.896	15 m Pan	0.503 - 0.676	Band 8
			30 m Cirrus	1.363 - 1.384	Band 9

Tableau 03 : Les bandes de Landsat 7 et Landsat 8.

IV.3. Traitement, analyse et interprétation des images Landsat sous ArcGIS :

IV.3.1. Introduction :

Pour une bonne prise en charge des données satellitaires (manipulation, exploration, analyse thématique et interprétation), l'opérateur a souvent recours aux nouvelles technologies informatiques, de techniques spécifiques et de méthodologies ayant pour seul objectifs l'identification et la cartographie des objets topographiques au sol.

Dans le présent chapitre, nous allons utiliser les données de l'imagerie de "**Landsat-8**"

Les images seront traitées, analysées et interprétées en utilisant le logiciel ArcGIS-10.

Pour cela ont doit suivre une procédure basée sur une succession d'étapes qui va nous permet de réaliser une bonne cartographie. Qui sont résumé dans le schéma suivant :

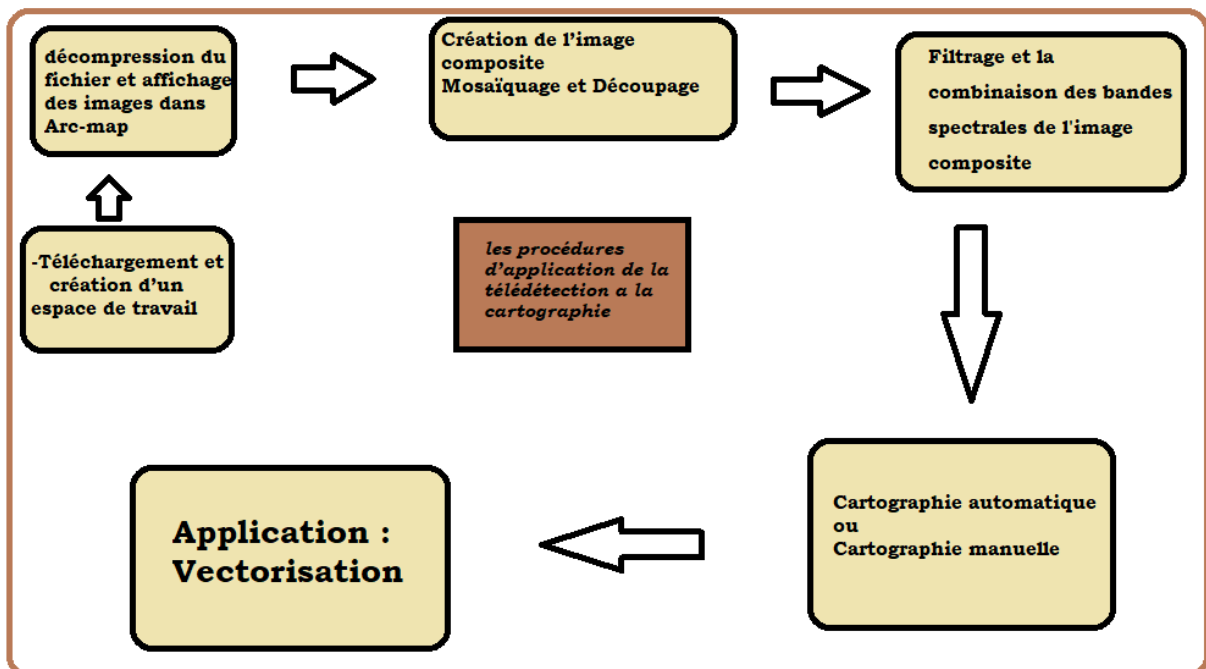


Fig.56 : les procédures d'application de la télédétection a la cartographie.

Une image satellite du type "**Landsat**" est une image multispectrale, composée donc de plusieurs bandes spectrales qu'on appelle aussi "Canaux".

Leur traitement nécessite différentes corrections avant l'usage.

Les données imagées disponibles sur le marché sont en général déjà traitées et prêtes à être utilisées, qui est le cas de nos 11 scènes qui recouvrent notre région d'étude qui ont les coordonnées suivantes :

189_043/190_042/190_043/191_042/191_043/192_041/192_042/192_043/193_041/193_042/193_043.

IV.3.2. Les procédures de la manipulation des images Landsat 8 sous ArcGIS :

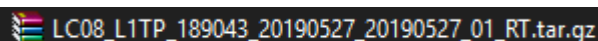
Remarque : au tant les images télécharger sont déjà corrigé ont passe direct a le dézippage et puis l'affichage.

IV.3.2.1. Téléchargement : « 11 » scènes on était télécharger depuis le site de USGC <http://landsat.usgs.gov/>.

IV.3.2.2. Création d'un espace de travail « Workspace », dézippage et affichage des images :

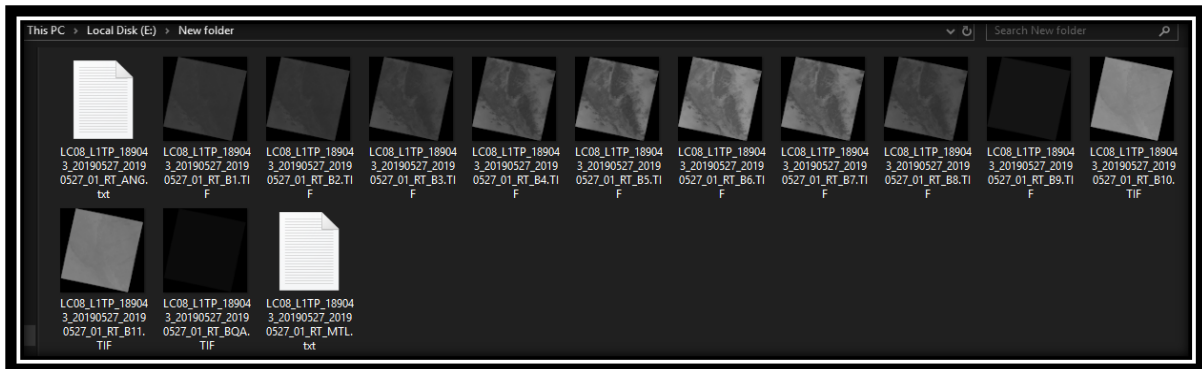
1- Dans le directory D ou E Créer un Workspace (un dossier de travail) et attribuez lui un nom : Exemple : **télétection**.

2- Chercher la donnée image Landsat déjà téléchargée qui est normalement au format winzip (zippée : un seul fichier), copier la et coller la dans le dossier de Workspace.



LC08_L1TP_189043_20190527_20190527_01_RT.tar.gz

3- Dézipper (décompresser) cette donnée imagée dans Workspace. On doit avoir 11 fichiers images ayant une extension *. **Tif** et en plus un autre fichier .met (géoréférencement de l'image).



4- Démarrer ArcMap et ArcCatalog et connectez à le Workspace.

5- Ajouter les 11 fichiers images *.tif dans ArcMap qui doivent s'afficher dans l'espace de travail ArcMap et dans sa table des matières.

L'image va s'afficher en niveau de gris sur un arrière fond noir. Elle serait 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).

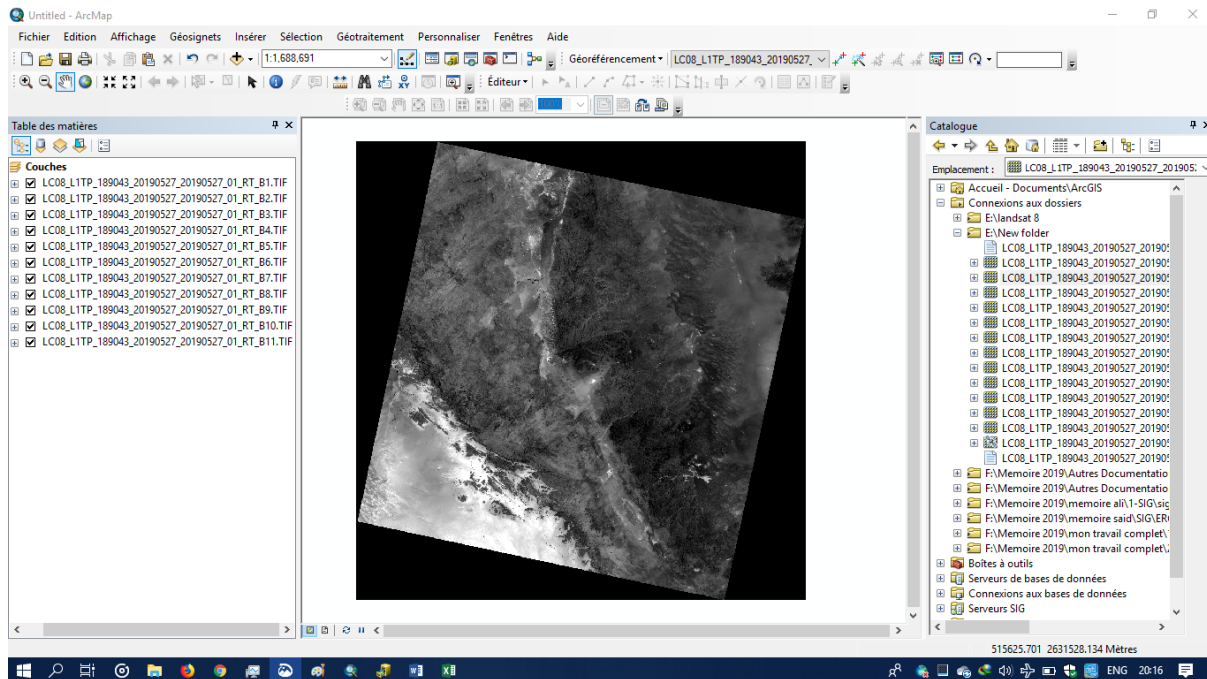


Fig.57 : Affichage des 11 fichiers images dans ArcMap.

IV.3.2.3. Création de l'image composite :

À partir de ces 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.

- Démarrer ArcMap et ajouter les données de l'image (9 fichiers) dans ArcMap qui doit s'afficher dans la table des matières ArcMap.

Sous ArcGIS 10, la Création et enregistrement d'une image composite est réalisée à l'aide de l'outil "**Analyse d'image**"

Dans la barre "**Menus**" allez à :

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

Clic sur l'icône "**Canaux composites**" (icône jaune située juste au-dessous de "Traitement")

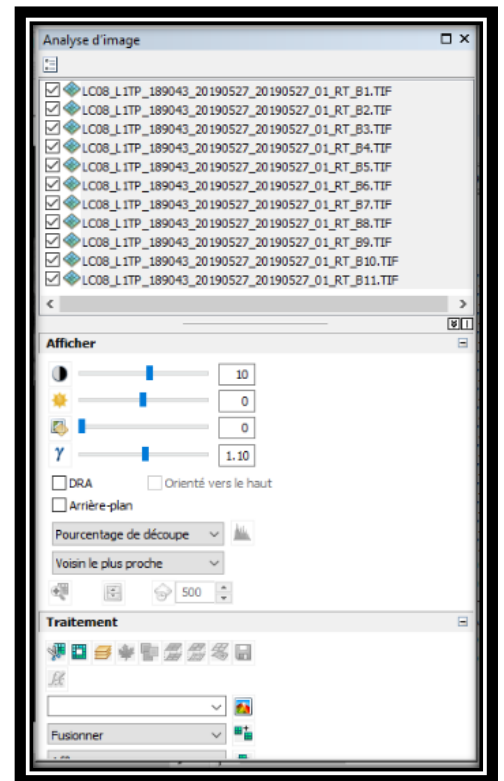
L'image composite Apparaît immédiatement dans la partie supérieure de la fenêtre "Analyse d'image" ainsi que sur la table des matières ArcMap. L'image apparaît cette fois-ci en couleur (RVB).

- Pour enregistrer l'image composite, sélectionner l'image dans la partie supérieure de la fenêtre "Analyse d'image" (Clic G sur l'image) puis Cliquer sur l'icône "**Exporter**" (enregistrer); Une fenêtre s'ouvre. Renommer l'image et enregistrer la dans votre workspace Ok: Ajouter la dans ArcMap: Oui → Ok.

→ Clic D sur le nom de l'image composite → Propriété → Source. Vous vous apercevez que l'image composite est maintenant **permanente**.

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 : ArcToolsbox → outils de gestion de données → Raster → Jeu de données raster → Copier un raster



IV.3.2.4. Mosaïquage et découpage :

IV.3.2.4.1. Mosaïquage :

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 votre Workspace et donner lui un nom. Pour cela, Allez à :

Arctoolbox → 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 unsigned

→ Ok. Et vous avez votre scène affichée et sans le noir d'arrière-plan

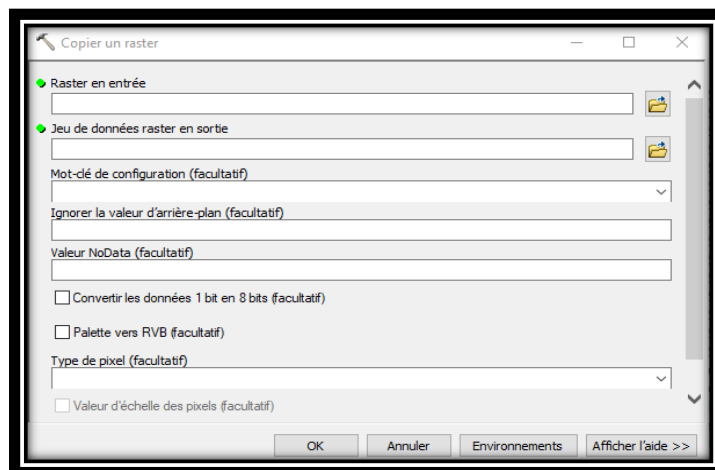


Fig.58 : fenêtre copier un raster

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

Nombre de bandes : 11

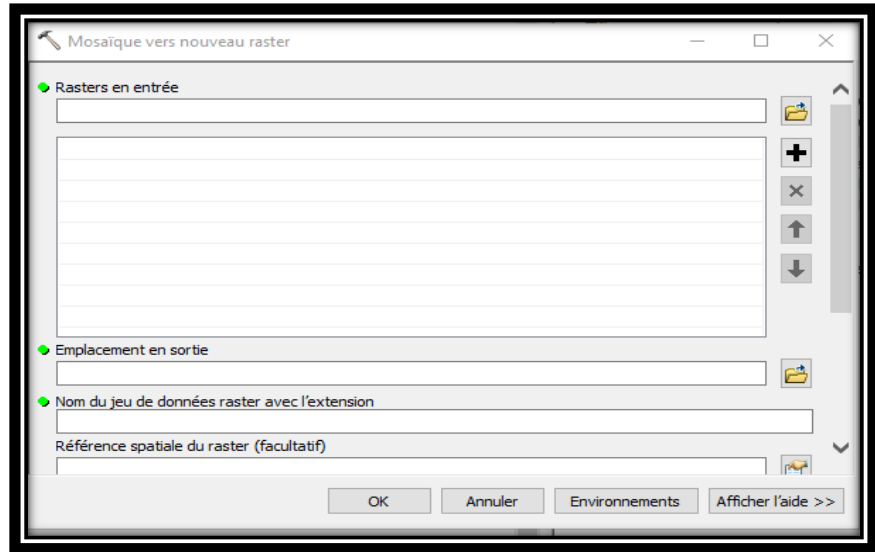


Fig.59 : fenêtre mosaïque vers un nouveau raster.

→ Ok. Et vous aurez votre mosaïque.

IV.3.2.4.2. Découpage :

Pour découper un image satellite nous allons besoins des étapes suivent :

- dans ArcCatalog en va créer un fichier de forme :

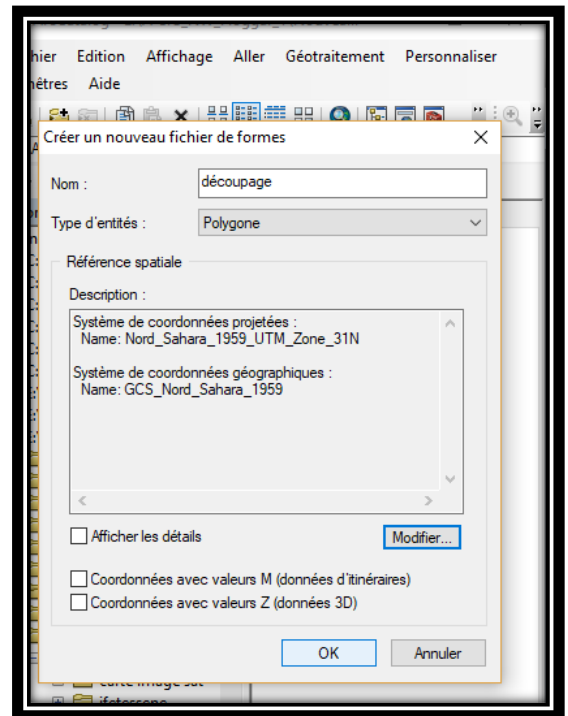
Clique Droite → Nouveau → Fichier de forme → Fenêtre s'ouvre :

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 crée 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 apparait sur le pourtour du fond de la carte.

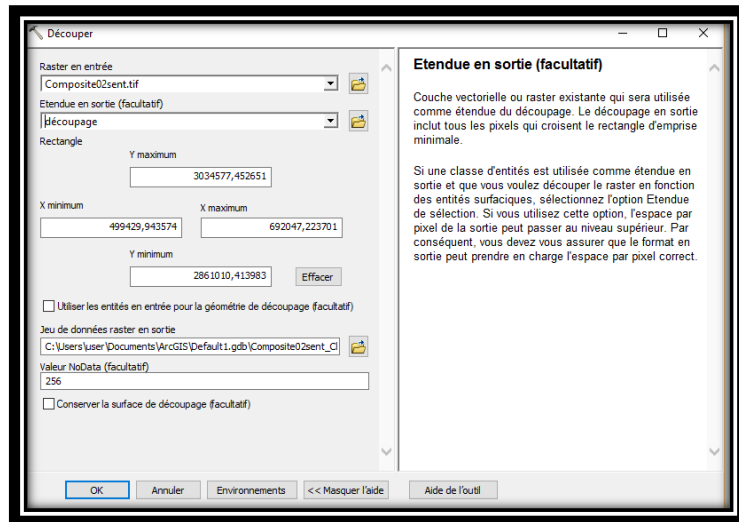
Arctool box → Outil de gestion des données → Raster traitement raster

→ Découpage, une fenêtre apparait.

- 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. Une fenêtre indiquant l'exécution s'ouvre et fait un bon bout de temps

pour exécuter les commandes, Patienter un

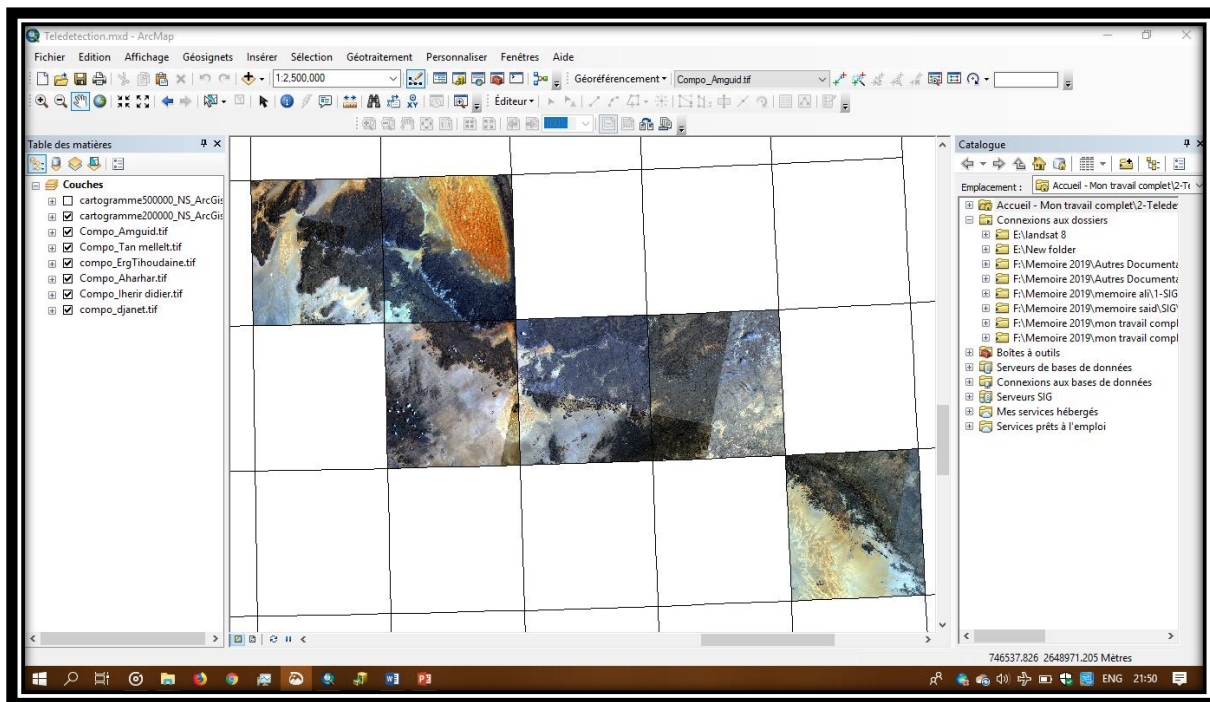


Fig.60 : résultat finale après le mosaïquage et découpage des images selon la région d'étude.

IV.3.2.5. Interprétation et cartographie :

🚦 Filtrage et la combinaison des bandes spectrales de l'image composite :

Le filtrage et La combinaison des bandes spectrales de l'image composite est une technique qui permet de bien visualiser certains phénomènes naturels (présence de la végétation, Forêts...etc.) en générale et en géologie (les formation géologiques et les limites entre eux).

On doit tout d'abord s'assurer que notre image satellite est belle et bien enregistrée comme image permanente.

Les étapes de filtrage :

Après avoir démarré ArcMap et ajouter l'image composite.

Analyse d'image => Traitement => clic sur Affinage => plusieurs filtres à appliquer.

Les étapes de combinaison :

Double Clic D sur l'image composite → Propriété → Symbologie :
Une fenêtre s'ouvre.

L'essentiel dans cette étape est d'observer deux choses :

Le canal et band.

Pour un affichage en couleurs réelles (**couleurs naturelles**), il faudrait utiliser la combinaison **432** c'est à dire procéder au changement suivant :

- Canal rouge → band 1 remplacer par la bande 4
- Canal vert → band 2 remplacer par la bande 3
- Canal bleu → band 3 remplacer la par la bande 2

Appliquer → Ok : Vous verrez tout de suite les couleurs naturelles.

Dans ce cas le couvert végétal apparaît normalement en rouge.

IV.3.2.5.1. Cartographie automatique :

La classification d'une image satellite est un processus qui s'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).

Elle donne des bons résultats lorsque les terrains sont cartographiés sur une zone homogène « les régions ou les formations sont sédimentaires » cette option permet d'afficher automatiquement chaque formation géologique avec une couleur différente.

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.

IV.3.2.5.2. Cartographie manuelle :

Cette cartographie permet de vectorisé les entêtées géologiques en se basent sur l'expérience et la vision du géologue.

Pour une bonne interprétation de l'image satellite il faudrait tenir compte de plusieurs facteurs dont les plus importants sont :

Le ton (foncée, claire), la forme, la taille, le patron (structure, la texture (orientée, non orientée), les ombres, la couleur et les variations de la couleur.

1- Le ton : reflète la clarté relative ou la couleur (teinte) des objets dans une image. Généralement,

les nuances de ton est l'élément fondamental pour différencier les cibles et les structures. Les variations du ton permettent aussi la différenciation des **formes**, **textures** et **patrons** des objets.

2- La forme : réfère à l'allure générale, la structure ou le contour des objets Pris individuellement. La forme peut être un indice très important pour l'interprétation.

3- La taille : d'un objet dépend de l'échelle. Il est important d'évaluer la taille d'une cible par rapport aux autres objets dans une scène, ainsi que la taille absolue. Une évaluation rapide de la taille approximative d'une cible facilite souvent l'interprétation.

4- Le patron (structure) : 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.

5- 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.

6-Les ombres : sont aussi utiles pour l'interprétation puisqu'elles donnent une idée du profil et de la hauteur relative des cibles pouvant être identifiées facilement. Les ombres peuvent cependant réduire, et éliminer l'interprétation dans leur entourage, puisque les cibles situées dans les ombres sont moins claires

IV.3. Application à la cartographie de la zone de jonction socle-couverture :

La Cartographie manuelle dans notre cas consiste à préciser le tracer de la limite socle panafricains-couverture paléozoïque, pour ce, on a utilisé le maximum d'outils qui nous permis de mieux visualiser cette limite sur les images satellites, qui sont : (le contraste, la luminosité, la transparence, la correction gamma et les filtres ...etc.). En plus les différentes combinaisons de bande spectrale.

Pour les étapes de vectorisation de cette limite, nous avons suivi les mêmes étapes de la vectorisation des cartes géologiques précédentes (voir chapitre IV {II.2.1 Vectorisation l'information surfacique (Polygone)} Page 65).

Les résultats de ce travail, nous ont permis d'amélioré ce tracé de la limite géologique socle-couverture. Cette limite qui est heureusement bien exprimée à la base des Tassilis par des formations de grés gravelites très dures qui forment, généralement des falaises, représentées par la série des Ajjers.

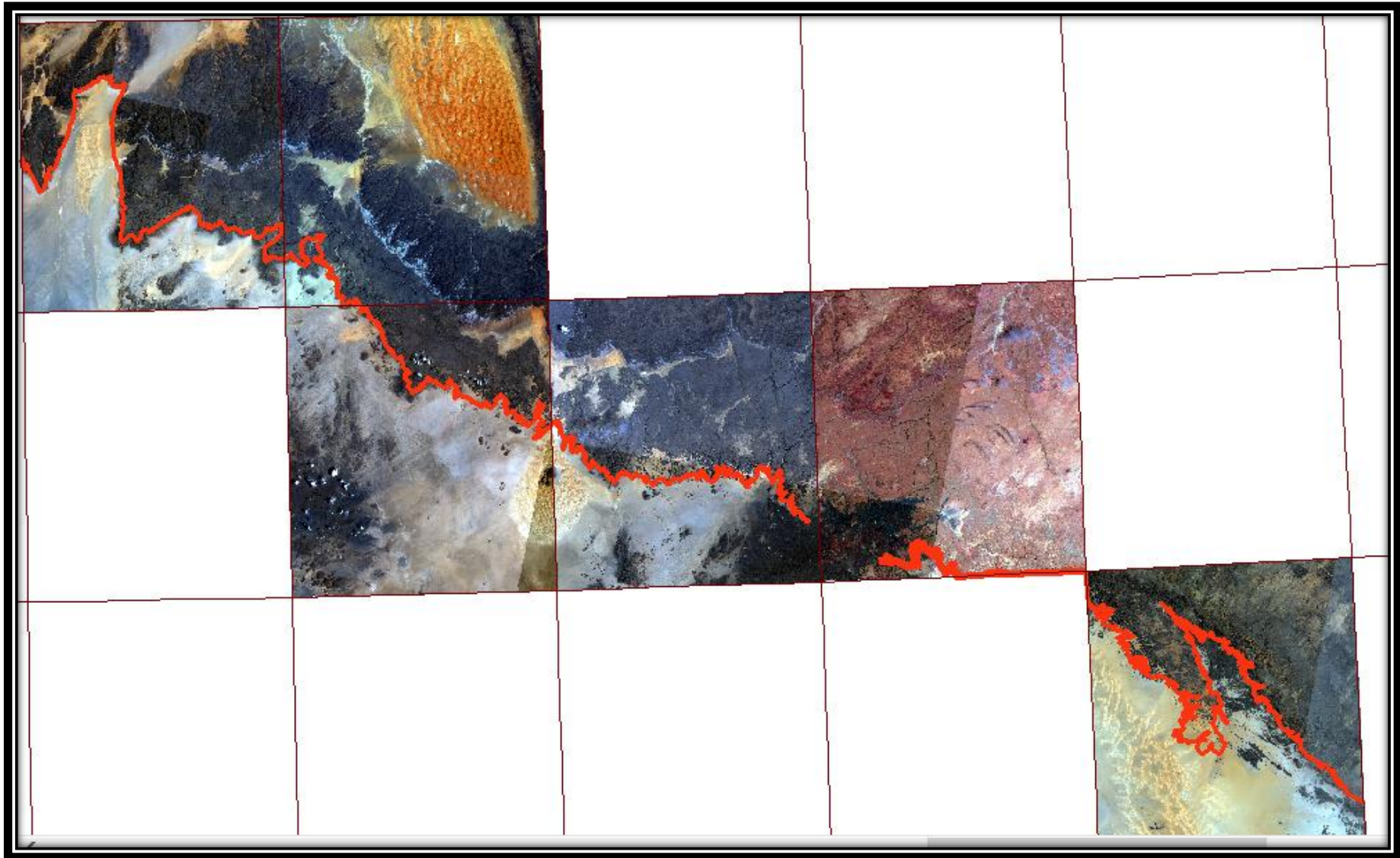
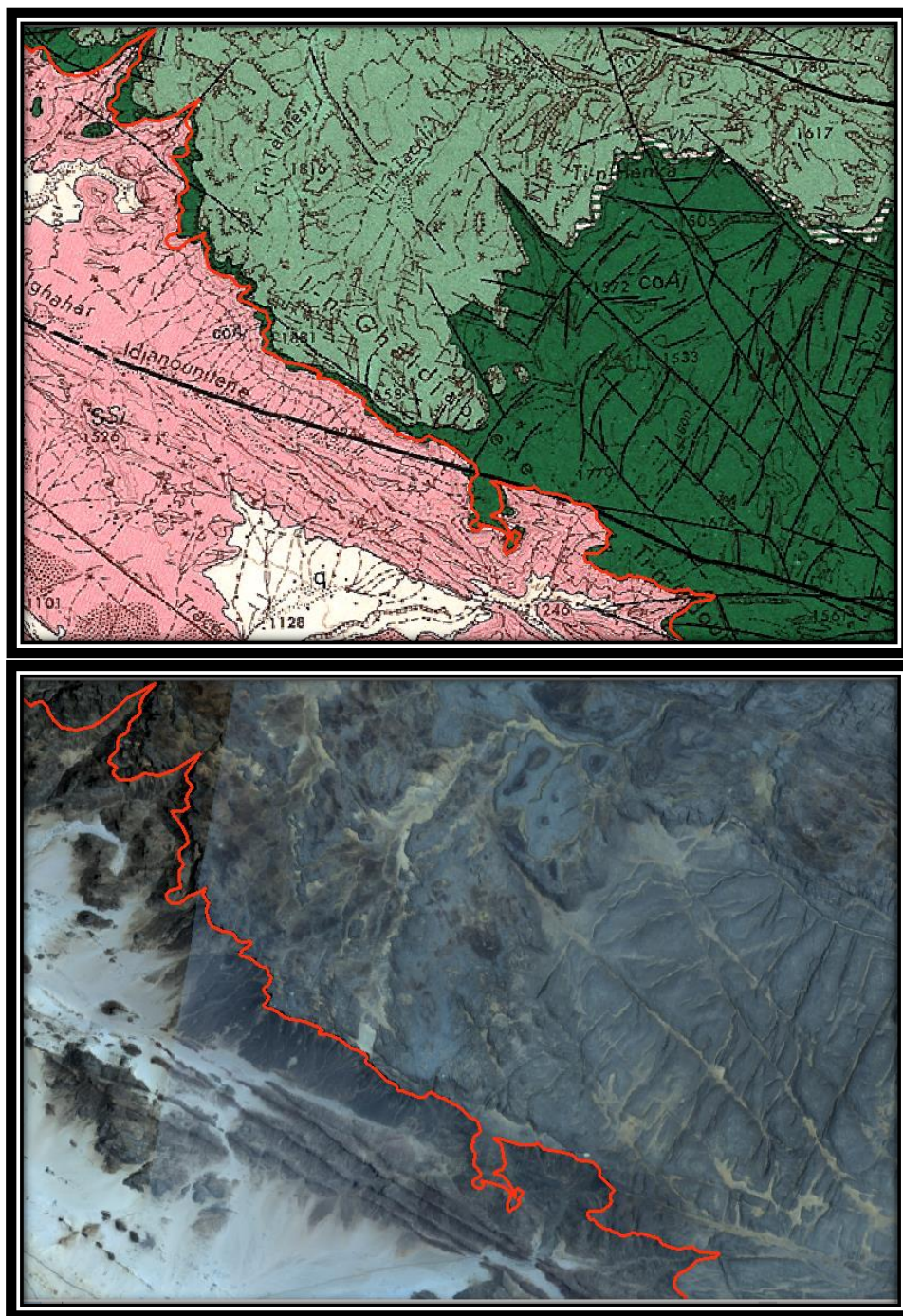


Figure 61 : Vue générale de la région d'étude et la limite basé sur la cartographie des images Landsat 8.

Dans certains endroits les cartes présentent une cartographie juste et acceptable. **fig.62**



**Fig.62 : Un exemple de cartographie Sonatrach Becip 1972 acceptable
« partie SO de la carte djanet »**

Cependant dans certains endroits les cartes présentent des erreurs de cartographie, « un décalage de plus ou moins 500 m », **Fig.63** à cause de la mauvaise interprétation ou de la dilatation du papier de la carte.

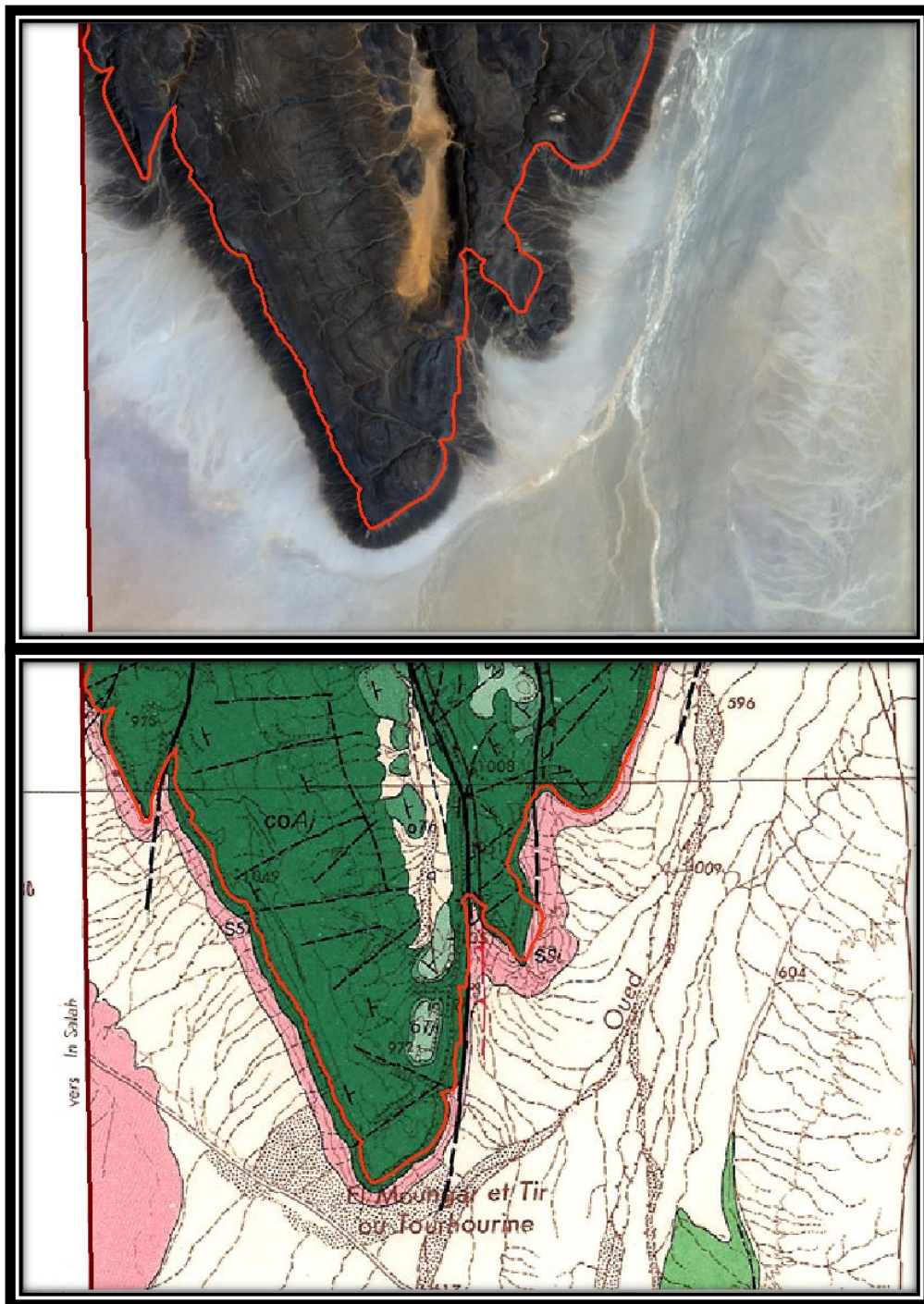


Fig.63 : Un exemple où la cartographie du Sonatrach Becip 1972 comprend des erreurs « partie NE de la carte Amguid »

CONCLUSION GENERALE

Le Hoggar est une vaste région désertique situé au Sud du Sahara algérien. Les deux grands accidents tectoniques majeurs 4°50 et 8°30 ont permis de le subdiviser en trois grands compartiments structuraux : le Hoggar occidental, le Hoggar central, et le Hoggar oriental. Notre région d'étude est située dans sa partie NE.

Le présent mémoire a été élaboré en plusieurs étapes successives : La première a été consacrée à la recherche bibliographique et la collecte des données nécessaires (Rapports, cartes géologiques, images satellitaire), Elle est suivie par la réalisation d'une synthèse géologique de notre région d'étude composée des feuilles au 1/200 000 d'Amguid, Tan Mellelt , Erg Tihoudaine , Aharhar , Iherir didier et Djanet ; Cette partie du Hoggar est situé à cheval sur deux compartiments du Hoggar (Le central et l'oriental), et en plus elle caractérise la zone de socle-couverture.

L'édification de notre SIG en utilisant ArcGIS été réalisée en deux phases : la première liée à la création de la base de données vecteur incluant « la lithologie, le magmatisme, la tectonique, la minéralisation » et ce, conformément aux cartes de « SONATRACH-BEICIP 1972 ».

La deuxième phase a été réservée au traitement et l'interprétation des images Landsat 8 en vue de préciser la limite socle couverture. Cette technique nous a été d'une part appréciable pour bien cartographier cette zone de jonction.

La phase finale a été consacrée à la compilation de tous les résultats obtenus et à la rédaction du présent mémoire.

BIBLIOGRAPHIE :

- **Alexandre. H, 2014.** Université de Lausanne, Systèmes d'Information Géographique (SIG).
- **Azzouni-Sekkal A. et Bonin B. (1998)** : les minéraux accessoires des granitoïdes de la suite taourirt, Hoggar (Algérie) : conséquences pétro génétiques, *journal of african Earth sciences*, vol.20, N01., pp. 67-87.
- **Bertrand, j.m.l., Caby, r., (1978):** Geodynamic evolution of the Pan-African orogenic belt: a new interpretation of the Hoggar Shield (Algerian Sahara), *Geologische Rundschau*67,357-388.
- **Bertrand, J.M., Caby, R. (1965)** : Nouvelle observation sur le précambrien du Nord-Ouest de l'Ahaggar (Sahara Algérien). Comptes rendus de l'Académie des sciences.
- **Caby (1970)** : La chaîne pharusienne dans le Nord-Ouest de l'Ahaggar (Sahara Central, Algérie), sa place dans l'orogénèse du Précambrien supérieur en Afrique; thèse, université de Montpellier.
- **Cahen et Al. (1984)-** The Geochronology an Evolution of Africa.
- **Chalal.S (2017-2018)** : Cartographie SIG au 1/200 000 de la région de l'Amadrar (Hoggar Central, Algérie) : Géologie et minéralisations associées. Tizi-Ouzou : U.M.M.T.O.
- **Doronkine, Baev, Vassilev, Portniaguine, Frolov, (1978-1980):** Rapport sur les résultats des travaux de recherches et du levé au 1/200 000 effectués par l'équipe "Centrale" sur le territoire de la feuille Djanet.
- **Fabre. (1976)** : Introduction à la géologie du Sahara Algérien; S.N.E.D. Alger.
- **Khedimi Oum Kalethoume (2004):** Le volcanisme cénozoïque de la région de Tamanrasset : pétrographie , minéralogie et mise en évidence des formations géologiques par télédétection.
- **Lahreche.Z. (2014-2015):** Élaboration d'un SIG pour la cartographie de la région de Mekalis-Tirkount. Mémoire de master. Tlemcen : Université Abou Bekr Belkaid.

- **Lamari.I Mahmoudi.A (2017-2018):** Cartographie SIG au 1/200.000 de la région de Tafassasset-Djanet, (Hoggar Oriental, Algérie); Géologie et Minéralisations associées . Tizi-Ouzou : U.M.M.T.O.
- **Liégeois, J.P, Black, R., Navez, J., Latouche, (1994):** Early and late PanAfrican orogenies in the Air assembly of terranes (Tuareg shield, Niger). Precambrian Research 67, 59-88.
- **Liégeois et al. 2000:** pan-african displaced terranes in the Tuareg shield (central Sahara). Geology.
- **Sintchouk. Y. A. (1983) :** Géologie et métallogénie du Hoggar Volume II, Livre IX.
- **Semiani A., Bendali M. M., Bouzidi O., Bredj M., Moulahoum M., Zibouche M. 1995:** synthèse des travaux de recherche sur les minéralisations aurifères dans le Hoggar *rapport de ORGM/DRM inédite*, 54p.
- **Teldja.Y. (2015-2016):** Système d'information géographique appliqué à la géologie et la géologie de la feuille à 1/200 000 de Tizi-Ouzou (Région de la grande Kabylie. Tizi-Ouzou : U.M.M.T.O.)