



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



UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI OUZOU.
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES.
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE
DOMAINE DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS.

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master es sciences de la
Terre et de l'univers.

Option: Ressources Minérales et Environnement.



**SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE APPLIQUÉ À LA
GÉOLOGIE ET LA MINÉRALISATION DE LA FEUILLE DE
TAMANRASSET AU 1/500.000**

Encadré par :

M. Zaghouane H

Réalisé par :

DJILALI Widad

HADOUELHADJ Amina

Les membres du jury :

- **Mme. IZRI D. :maitre-assistant à UMMTO.....Présidente**
- **Mme. YSBAA L. :maitre-assistant à UMBB.....Examinatrice**
- **M. ZAGHOUANE H. :maitre-assistant à UMMTO.....Directeur de thèse**

Promotion : 2015/2016

Remerciement :

Tout d'abord, nous remercions le bon Dieu, de nous avoir donné la force, la volonté et le courage afin d'accomplir ce modeste travail.

Cependant toute œuvre qui résulte d'un effort humain est explicitement ou implicitement toujours le fruit d'une collaboration. Ainsi, tous ceux qui de près ou de loin ont pris une part active dans la réalisation de ce mémoire puissent trouver dans ces lignes l'expression de notre profonde gratitude. En nous exprimant de la sorte, nous pensons à notre encadreur, monsieur ZEGHOUANE Hocine, qui nous a éclairé de par ses conseils. Nous remercions vivement madame IZRI d'avoir accepté de présider notre jury ainsi que pour ses orientations, et sa sollicitude et pour sa présence et sa disponibilité, c'est une grande dame et une honorable enseignante, nous ne serons trouver les mots pour lui exprimer notre grande reconnaissance.

Sans oublier monsieur le doyen monsieur HAOUALI et le vice-doyen monsieur METAHRI de notre faculté qui ont donné d'eux même et qui nous ont soutenu pour l'aboutissement de cet œuvre.

Nos pensées vont tout particulièrement à nos familles respectives, nos très chers parents qui ont toujours été la pour nous, « Vous avez tout sacrifié pour vos filles n'épargnant ni santé ni efforts. Vous m'avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Je suis redevable d'une éducation dont je suis fier, encore merci à mes parents ils sauront pourquoi. »
»D.Widad

«Tout au long de mon cursus, vous m'avez toujours soutenu, encouragé et aidé. Vous avez su me donner toutes les chances pour réussir. J'espère que vous trouverez, dans la réalisation de ce travail, l'aboutissement de vos efforts ainsi que l'expression de ma profonde gratitude. »
H.Amina

A nos frères et sœurs, et à tous ceux qu'on ne nomme pas mais qui se reconnaîtront, et tous ceux qui ont cru en nous et en nos capacités.

« Très humblement, je voudrai dire merci à ma bien aimée grande sœur Asma et à son mari, pour leur soutien pendant mes périodes de doutes et pour leurs multiples encouragements. »D.widad

«Je voudrais remercier mes chères sœurs Souad, Malika, son mari ainsi que leurs enfants Farah et Fouad pour l'ambiance infinie qu'ils apportent tous a notre famille, même aux moments difficiles et aussi pour leurs soutien et je n'oublie pas aussi de remercier mes frères Toufik et Samir pour leurs présences indispensable dans ma vie»H.Amina

Merci à nos amis qui ont su être la pour nous quand on en avait besoin, et pour avoir su nous supporter lors de nos plus mauvais jours.

« Merci à Amina, ma sœur de cœur, ma meilleure amie, ma coéquipière, ma binôme, mon soutien moral, je ne saurais trouver les mots pour t'exprimer mon affection. Ta présence ces cinq dernières années dans ma vie était l'un des plus beaux cadeaux du destin. » D.Widad

« Merci à ma chère binôme Widad, ma douce sœur qui a eu la patience de me supporter durant ce mémoire, et qui m'a soutenu et encouragé pendant tous les moments difficiles vécus, d'avoir une amie comme toi c'est génial, j'ai beaucoup de chance de te connaître, je t'aime beaucoup ma chère. » H.Amina

Résumé :

Un Système d'information géographique (SIG) et un système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler, d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, ainsi que d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement.

L'information géographique dans un SIG est représentée selon deux modes ; qui sont le mode raster et le mode vecteur, ce dernier est composé de données graphiques (ex : polygone) et de données alphanumériques (ex : l'âge de la formation).

L'extraction d'informations s'est faite à partir d'une base de données complète et récente qui est la feuille de Tamanrasset à 1/500.000 éditée en 2002, sur laquelle est représenté le Hoggar composé de terrain d'âge allant de l'Archéen au Néoprotérozoïque. Où trois grands événements tecto-métamorphiques ont été observés : événement archéen (entre 3300 et 2700 Ma), éburnéen (2000±200Ma) et panafricain (Au cours du panafricain (750-550Ma).

Des études ont été faites sur la région du projet et deux structurations ont été établies ; l'ancienne structuration qui subdivise le Hoggar en trois fractions: le Hoggar occidental (chaîne pharusienne), Le Hoggar central polycyclique et le Hoggar oriental. Et la structuration basée sur le concept des terranes.

Notre projet a été motivé par la mise en relation entre l'information géographique et l'informatique (les nouvelles technologies) ainsi que par la mise en application des connaissances théoriques et pratiques acquises lors de notre cursus universitaire afin de réaliser un SIG géologique et minéralogique plus au moins complet.

Dans le but d'atteindre notre objectif nous avons travaillé sur ArcGis un logiciel SIG développé par ESRI et composé essentiellement de trois interfaces.

La vectorisation de la feuille de Tamanrasset permet de mettre en évidence la relation entre les différents affleurements et facilite l'étude ciblée des points minéralisés tel que les gisements d'or, de wolfram, d'étain, et les indices prometteurs de Terres rares et métaux rares.

Mots clefs: Hoggar, Système d'Information géographique, Géologie, Minéralisation, Panafricain, carte géologique, ArcGis, Tamanrasset, SIG.

SOMMAIRE

Remerciement

Résumé

Sommaire

Listes de figures

INTRODUCTION GENERALE

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

CHAPITRE I : GEOLOGIE REGIONALE

I.1- Introduction	4
I.2. Géologie du Hoggar.....	5
I.2.1- Introduction.....	5
I.2.2- Structuration du Hoggar.....	5
I .2.2.1- Ancienne structuration.....	5
I.2.2.2- Le concept de terranes	8

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA FEUILLE DE TAMANRASSET A 1/500.000

II.1. Introduction.....	10
II.2. Lithostratigraphie.....	10
II.2.1. LE QUATERNAIRE : (Q).....	10
II.2.2. LE CENOZOIQUE- QUATERNAIRE (B).....	10
II.2.3. LE MESOZOÏQUE.....	12
II.2.4. LE PALEOZOIQUE.....	12
II.2.5. LE PRECAMBRIEN.....	14
II.2.6. L'ARCHEEN : (Ar).....	23
II.3. Magmatisme.....	27
II.3.1. Le magmatisme dans le Hoggar occidental.....	27
II.3.2. Le magmatisme dans le Hoggar central.....	36
II.4. Tectonique et métamorphisme.....	38

II.4.1. Introduction	38
II.4.2. Evènement Archéen (Ou Ozzalien) (3000Ma).....	39
II.4.3. Evènement éburnéen.....	39
II.4.4. Evènement kibarien (1000 Ma).....	40
II.4.5. Evènement panafricain : 600Ma.....	40
II.4.6. Conclusion.....	42
II.5. RESSOURCES MINERALES.....	43
II.5.1. Minéralisations aurifères.....	43
II.5.2. Minéralisation Wolfram – Etain.....	43
II.5.3. Minéralisation de cuivre.....	43
II.5.4. Minéralisation de chrome-Nickel-Cobalt.....	43
II.5.5. Minéralisation de Fer- Manganèse.....	44
II.5.5.6. Selon le type de minéralisation on peut citer.....	44
II.5.7. Selon l'importance économique on peut citer.....	44

CHAPITRE III: LE SIG DE TAMANRASSET

III.1. Rappel théorique.....	45
III.1.1. Définition d'un Système d'Information Géographique.....	45
III.1.2. Les composantes d'un SIG.....	46
III.1.3. Présentation des données dans un SIG	49
III.1.4. SIG et Géologie.....	51
III.1.5. Le SIG sous ArcGis.....	53
III.2. Application à la feuille au 1/500.000 de Tamanrasset.....	58
III.2.1. Etapes suivit pour la réalisation du projet	58
III.2.1.1. Géoréférencement de la carte de Tamanrasset à 1/500 000.....	60
III.2.1.2. Vectorisation de la carte de Tamanrasset 1/500 000	63
III.2.3.3. Création d'un champ attributaire.....	77
III.2.1.4. Analyse thématique, sémiologie et symbologie.....	80
III.2.1.5. Mise en page.....	85

III.3. Conclusion :.....	91
CONCLUSION GENERALE.....	92

GLOSSAIRE

BIBLIOGRAPHIE

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

CHAPITRE I

- **Figure I.1:** Schéma des principaux domaines structuraux du Hoggar subdivisé par deux accidents majeurs de direction N-S, le 4°50' et le 08°30' (Caby et al., 1982).
- **Figure I.2:** carte des principaux domaines structuraux du Hoggar (Caby et al., 1982)
- **Figure I.3:** Carte des terranes du bouclier tergui (d'après Black et al, 1994).

CHAPITRE II

- **Figure II.1:** logs des formations du Pharusien I (formation de Timesslarine et SPOS: paléosuture océanique de Silet, et du Pharusien II (Amded et Ighellouchem
- **Figure II.2:** log synthétique de la série de Tekouyat in B. EREMEEV, 1991 (rapport IN RABIR- TIBHAOUINE, 1991, EREM, INEDIT)
- **Figure II.3:** Formations lithologiques Eburnéenes (J. M. L. Bertrand, 1974).
- **Figure II.4:** log synthétique des formations du mole In Ouzzal (in Haddoum 1992)
- **Figure II.5:** logs synthétiques montrant l'évolution des connaissances géologiques depuis C.Kilian (1928). (A.Hamis et H.Zeghouane 1999).
- **Figure II.6:** schéma de situation des complexes basiques et ultra basiques
- **Figure II.7:** carte de répartition des gîtes minéraux selon les domaines litho-structuraux

CHAPITRE III

- **Figure III.1:** Base de données géographiques
- **Figure III.2:** Composante d'un SIG
- **Figure III.3:** Exemple de quelques données Raster (a: image satellitaire, b: image scannée, c: ortho photo aérienne) (BONNET M.2012)
- **Figure III.4:** Exemple de données vecteurs
- **Tableau III.1:** Avantages et inconvénients des deux modes raster et vecteur
- **Figure III.5:** mode de représentation de l'information géographique dans un SIG
- **Figure III.6:** interface ArcMap
- **Figure III.7:** interface ArcCatalogue
- **Figure III.8:** interface ArcCatalogue au tracersArcMap
- **Figure III.9:** interface ArcToolbox
- **Figure III.10:** fenêtre propriétés de la carte
- **Figure III.11:** les fuseaux horaires dont lesquels est situés l'Algérie
- **Figure III.12:** choix de la projection de la zone UTM

- **Figure III.13:** outil de géoréférencement
- **Figure III.14:** calage de la carte géologique
- **Figure III.15:** de la carte vers l'image vecteur
- **Figure III.16:** figures montre comment créer un fichier de forme
- **Figure III.17:** formulât d'un fichier de forme
- **Figure III.18:** outil éditeur
- **Figure III.19:** exemple de vectorisation surfacique de basalte
- **Figure III.20:** exemple de vectorisation (couche basaltique)
- **Figure III.21:** limites lithostratigraphiques de la feuille de Tamanrasset 1/500.000 sous format raster
- **Figure III.21.a:** couches lithostratigraphiques vectorisées
- **Figure III.21.b :** couches magmatiques vectorisées
- **Figure III.22 :** limites litho-stratigraphiques sous format vecteur
- **Figure III.23:** choix du type d'entité
- **Figure III.24:** choix de la projection dans la zone UTM
- **Figure III.25:** exemple de vectorisation linéaire
- **Figure III.26:** vectorisation linéaire complète de la feuille de Tamanrasset a 1/500.000
- **Figure III.27:** choix de type d'entité pour la vectorisation ponctuelle
- **Figure III.28:** exemple de fichier Excel
- **Figure III.29:** choix de la zone géographique
- **Figure III.30:** exemple d'entités points
- **Figure III.31:** création d'un nouveau champ
- **Figure III.32:** fenêtre de création de champs
- **Figure III.33:** exemple de table attributaire
- **Figure III.34:** fenêtre de propriétés de la couche
- **Figure III.35:** fenêtre de sélecteur de symboles
- **Figure III.36:** fenêtre des propriétés de la couche
- **Figure III.37:** Exemple d'option de placement
- **Figure III.38:** Exemple de couche étiquetée.
- **Figure III.39:** l'outil Etiquette de la barre d'outil dessiner
- **Figure III.40:** choisir le mode de mise en page
- **Figure III.41:** liste d'item à ajouter
- **Figure III.42:** boîte de dialogue pour insérer un titre à la carte
- **Figure III.43:** sélecteur flèche du Nord
- **Figure III.44:** sélecteur barre d'échelle
- **Figure III.45:** étapes pour créer une légende
- **Figure III.46:** choisir les éléments de légende
- **Figure III.47:** barre d'outils pour déplacer, redimensionner et supprimer des objets
- **Figure III.48:** choix de format d'image

INTRODUCTION GENERALE

I. But et objectif du travail :

La création des cartes et l'analyses géographiques ne sont pas des procédés nouveaux, mais les SIG procurent une plus grande performance et propose des outils sans cesse innovant dans l'analyse, la compréhension et la résolution des problèmes.

La rareté de SIG en Algérie nous a conduit à l'élaborer le SIG de Tamanrasset. Le processus d'édification d'une carte avec un Système d'Information Géographique est beaucoup plus souple qu'une production manuelle ou automatisée. Il débute par la création de la base de données. Les informations existantes sur support papier peuvent être digitalisées et toutes les autres sources informatiques sont intégrées au sein du SIG.

L'information contenue dans le SIG est continue sur l'ensemble du territoire d'étude et totalement indépendante des problèmes d'échelle.

Notre SIG appliqué à la géologie et la minéralisation de la feuille de Tamanrasset à 1/500.000 a été établie à partir de la carte géologique au 1/500.000 De Tamanrasset qui était publié en 2002 par l'Office National de la Recherche Géologique et Minière (O.R.G.M).

L'objectif essentiel de notre étude est la création d'un système d'information géographique réunissant et conservant un large ensemble de données quantitatives et qualitatives relatives à la géologie et la minéralisation de notre région d'étude dont l'utilisation nous permettra la présentation des informations collectées et organisées sous forme de cartes thématiques.

II. Présentation de la région d'étude :

1. Situation géographique

Tamanrasset, est une vaste terre aride, au milieu du Sahara algérien, elle est la capitale du Hoggar, elle reste la destination préférée du tourisme européen et surtout allemand. Sa superficie est de 619360 km². La ville de Tamanrasset est un axe incontournable des nomades et des touaregs, qui arpentent les dunes, les regs du Sahara, du Mali au Niger passant par le Tchad et la Libye. Située à L'extrême sud du pays, la wilaya de Tamanrasset est limitée par :

INTRODUCTION GENERALE

- La Wilaya de Ghardaïa au Nord,
- La wilaya d'Ouargla au Nord Est,
- La Wilaya d'Illizi à L'Est.
- La Wilaya d'Adrar à l'Ouest,
- La République du Mali au Sud-est,
- La République du Niger au Sud-ouest.

2. Le relief

La Wilaya de Tamanrasset se caractérise par une diversité remarquable de son relief, et qui se résumant en ce qui suit :

- Les Plateaux du Tadmait et du Tinghert Situés au Nord et au Nord-Est de la Wilaya, ils se présentent sous la forme de Hamadas et ont l'aspect de deux assises crevassées ; ils sont recouverts par endroits de dunes de sables du fait d'une érosion éolienne très active. La limite Sud du Plateau du Tadmait culmine à 836 m.

Les Plaines

En plus des plaines alluviales des Oueds de l'Ahaggar, on distingue :

La plaine du Tidikelt au Nord (au pied du plateau de Tadmait). Elle est incisée profondément par une succession de vallées qui la traverse dans une direction Est-Nord-Est et Sud-Ouest.

Le Tanezrouft à l'Ouest une zone hyperaride dans laquelle vient se jeter à l'oued de Tamanghasset.

Le Ténéré du Tafessasset aussi austère que le Tanezrouft et les Oueds de l'air (Niger) viennent s'y jeter aussi.

- Les Massifs isolés Ce sont les massifs d'In-zize d'origine éruptive à l'Est de l'Ahaggar, de Tebertaba (200m) qui est située à l'Est

sur la piste de Tamanghasset – Djanet et le versant Nord d'Adrar Nifforas au Sud-Ouest de la Wilaya (Région de Tinzaouatine).

INTRODUCTION GENERALE

- Le Fossé périphérique C'est une suite de dépressions circulaires avec une altitude variant entre 500 et 800m, et formant une couronne autour du massif central de l'Ahaggar.

- Les Tassilis C'est la ceinture extérieure de l'Ahaggar, constituée par des formations de l'ère primaire:

- * le mouydir au Nord,
- * la Tassili N'ajjer à l'Est et au sud-Est,
- * le Tassili OuanAhaggar au sud,
- * l'Asedjrad, l'Ahnet et l'Immidir à l'Ouest et au Nord-Ouest.

3. Climat

Cette région est caractérisée par un climat typiquement désertique, aride et sec, avec de fortes fluctuations de température; Un été relativement chaud avec des températures diurnes allant jusqu'à 40°C ou plus et un hiver (Période décembre - février) moyennement tempéré, avec des températures diurnes allant de 15°C à 25°C et nocturnes jusqu'à 0°C. Cette période est la meilleure saison pour les travaux de terrain.

Les précipitations atmosphériques sont en général rares mais parfois dévastatrices. A cause de l'absence de la végétation, les grandes crues occasionnelles emportent tout sur leur passage. Les vents de sable ne sont fréquents que durant la période Mars à Mai où les travaux de terrain sont déconseillés.

4. La faune et flore

La faune du Hoggar, typique des régions désertiques, est représentée en général par les dromadaires, antilopes, gazelles et rares mouflons, les gerboises, scorpions, dubs (espèce de lézard), vipères, couleuvres, fennecs, hyènes ainsi que de rares guépards signalés dans certains endroits isolés.

La flore est très pauvre. Elle pousse en général dans les lits d'oueds et autour de certains points d'eaux permanents. On y rencontre fréquemment les tamaris, l'acacia (talha), graminées sauvages, les peupliers et l'armoise.

CHAPITRE I: Géologie régionale

I.2. Géologie du Hoggar :

I.2.1- Introduction :

Le Hoggar est composé de terrains d'âge allant de l'Archéen au Néoprotérozoïque. Il est recouvert en discordance par les grès cambro-ordoviciens des Tassilis. Leur arasions est dû à un bombement lithosphérique à grand rayon de courbure, formé au cours d'une phase distensive fini-jurassique et liée à l'ouverture de l'Atlantique. Ce bombement s'accompagne d'une activité volcanique, de type "point chaud", à caractère tholéitique à alcalin connue depuis l'Eocène supérieur jusqu'au Quaternaire récent (Girod, 1976 ; Dautria, 1988 ; Ait Hamou, 2000). Des shear-zones majeures orientées Nord-Sud séparent le Hoggar en trois blocs crustaux à la géologie contrastée.

Afin d'établir les différentes corrélations litho-stratigraphiques entre ces différents blocs, de nombreux auteurs ont été amenés à concevoir le bouclier "Touareg" comme un ensemble de complexe de blocs exotiques pour aboutir au concept "d'amalgamation de microcontinents" et enfin à la notion de "terranes" pris en tenaille entre le Craton Ouest Africain et le Craton Est Saharien durant l'orogénèse panafricaine de 750 à 550 Ma (Liégeois et al. 1994 ; Black et al 1994 ; Liégeois et al 2000).

Cette phase se termine par la formation de suites post-orogéniques d'affinité alcaline connues sous le nom des granites "Taourirt" qui se mettent en place le long de shear zones en régimes de transpression–transtension, plus ou moins contemporains de la pénéplanation et du développement de bassins molassiques intracontinentaux contrôlés par les failles (Bonin et al, 1998)

I.2.2- Structuration du Hoggar

I .2.2.1- Ancienne structuration

D'importants accidents mylonitiques subméridiens d'échelle continentale (4°50' et 8°30') séparent le Hoggar en trois domaines structuraux (figure 2). Ces derniers sont constitués chacun de plusieurs blocs tectoniques de différentes échelles, lui donnant ainsi une physionomie morcelée, (Bertrand et Caby ; 1978) :

I.2.2.1.a- Hoggar occidentale :

Le Hoggar occidentale ou chaîne pharusienne est le domaine où l'orogénèse panafricaine est la plus complète ; depuis le stade de dépôt sédimentaire jusqu'au stade de destruction de la

chaîne et accumulation des dépôts mollassiques, autrement dit depuis le stade d'ouverture océanique jusqu'au stade de fermeture et collision entre le craton Ouest Africain et le bouclier Touareg. Cette fermeture océanique se fait par le jeu d'une zone de subduction à plongement Est sous le domaine Panafricain entraînant une collision E-W entre la marge passive Ouest Africaine et la marge active de bouclier Targui (Caby et al 1981).

La Hoggar occidental est constitué de deux rameaux (occidental et oriental), séparés par le mole granulitique de l'In Ouzzal d'âge archéen (Allegre et Caby ; 1972; Bertrand et Boullier 1981).

a. Le rameau occidental : il est constitué de trois grande unités lithostratigraphiques bien distincts se sont :

✓ L'unité supérieure : c'est la série verte (Caby 1970). Elle est constituée essentiellement de flyschs, grauwacks, de tufs et conglomérats avec des intercalations de laves andésitiques et dacitiques datées à 680 Ma).

✓ L'unité moyenne : est attribuée au Protérozoïque moyen et constituée essentiellement de quartzites alumineux recoupés par des intrusions alcalines datés de 1750 Ma ? (Caby. R et Andreapoulos 19 ?)

✓ L'unité inférieure : formée de deux ensembles lithologiques plus ou moins distincts séparés généralement par des contacts anormaux, constituant le socle Eburnéen connu à travers la nappe de Tassendjanet (Caby. R, 1970). Sa couverture sédimentaire de type plateforme : est représentée assez souvent par la série de stromatolithes d'âge protérozoïque supérieur (Bertrand -Safrati, 1969). Cette formation est recoupée par des sills et laccolites basiques et ultrabasiques datés à 800 Ma (Clauer 1976).

b. Le rameau oriental : Deux cycles sédimentaires : pharusien1 et et Pharusien2, séparés par une discordance sont mis en évidence (Bertrand et Gravelle 1965).

Le pharusien I : comprend un complexe volcano-sédimentaire à dominante volcanique ayant comme série type « **Série Timeslarsine** », reposant en discordance stratigraphique et structurale sur un socle d'âge Eburnéen (Gravelle et Lelubure, 1957) et recoupée par les batholites syn à tardi tectonique de Tin Tikadiouit-Taklet datés respectivement à 870 Ma et 839 Ma (Caby et al 1982).

Le Pharusien II : représenté également par un complexe volcano-sédimentaire à dominante terrigène représenté par série type « **Série Amded Ighellouchem** ».

La série débute par un conglomérat de base discordant sur le Pharusien1, surmonté sur un ensemble détritique puis par un volcanisme calco-alcalin au sommet.

La série Amded passerait latéralement à l'ouest à une série principalement terrigène (Série grésopelitique de Gravelle : 1969).

I.2.2.1.b- Le Hoggar central polycyclique :

Contrairement au Hoggar occidental, le Hoggar centrale renfermerait très peu de matériel sédimentaire ou volcanique d'âge protérozoïque supérieur.

Le protérozoïque inférieur (et/ou moyen) est représenté par deux ensembles métamorphique plus ou moins distincts, séparés par une discordance structurale (Bertrand, 1974), ce sont :

a. L'ensemble gneissique supérieur, représentée par une série de type Aleksod (ou Egéré), contenant d'abondants métasédiments.

b. L'ensemble gneissique inférieur, représentée par une série type Arechchoum, est essentiellement composé d'orthogneiss et de rares métasédiments intrudés par des plutonites Panafricain pré à syn-tectonique de type « Anfeg ».

I .2.2.1.c- Le Hoggar oriental

C'est la partie la moins étudiée du Hoggar. Elle est représentée par la chaîne linéaire de Tiririne qui sépare deux portions de socle : le mole d'Issalane et le bloc Djanet-Taffassasset.

a. chaîne Tiririnienne : Dominé par l'affleurement de la série Tiririne.

Elle est constituée de sédiments à caractère molassique et flyschoidé d'âge protérozoïque supérieur discordants sur des plutonites datées à 730 Ma, (Caby et Andropoulos, 1987) et repose en discordance angulaire sur le socle panafricain de Djanet-Taffassasset.

L'ensemble est recoupé par différents granites syn à post-tectoniques étufé, entre 600 Ma et 580 Ma (Bertrand et al 1978).

b. Le mole d'Issalane :

Il est constitué essentiellement de métasédiments, gneiss et migmatites. Le contact de ce socle d'âge inconnu avec la série de Tiririne est chevauchant (Bertrand et Caby, 1970).

c. Le bloc Djanet-Taffassasset

Ce bloc diffère du mole d'Issalane par sa lithologie. Ce sont des formations volcano-sédimentaires, ayant subi un léger métamorphisme (schiste vert) et souvent corrélées avec le Pharusien du Hoggar central. Ces derniers sont intrudés par un grand batholite syn à tardi-tectonique daté à environ 725 Ma (Caby et Andreaopoulos, 1987).

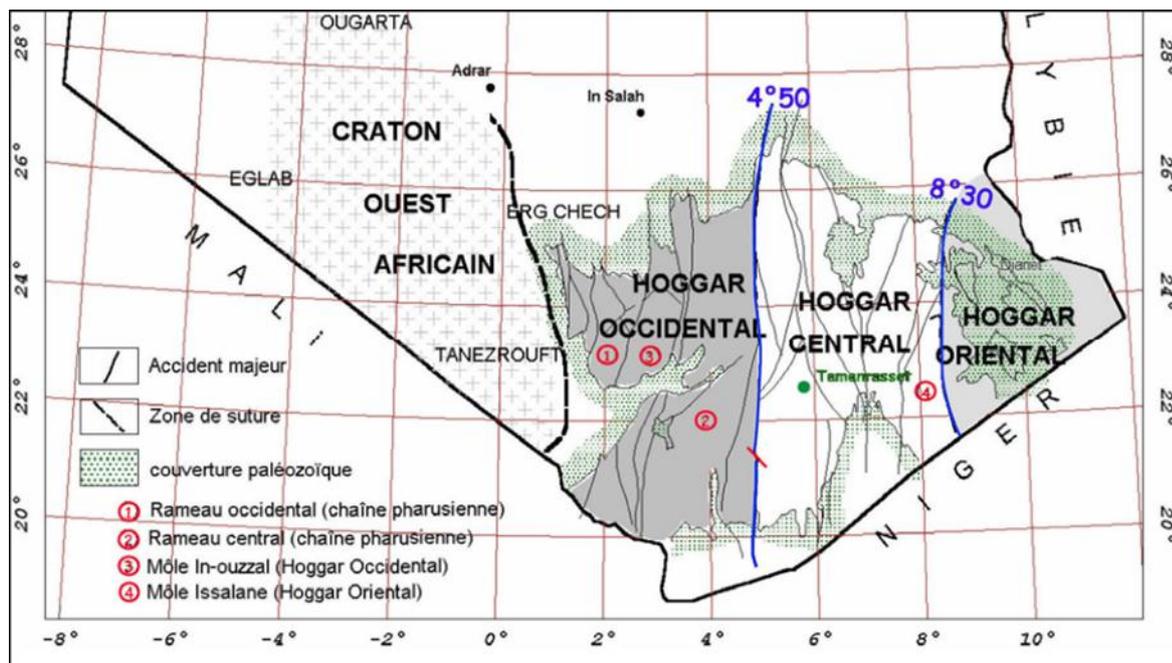


Figure I. 2: carte des principaux domaines structuraux du Hoggar (Caby et al., 1982)

I.2.2.2- Le concept de terranes :

Le Bouclier targui est défini comme un orogène de collisions multiples, constitué par un assemblage de 23 terranes (figure 4), 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 paléo-géodynamique durant l'orogénèse panafricaine (Liégeois et al, 1994), ils se distinguent les uns des autres par leurs propres caractéristiques lithologiques, tectonométamorphiques et magmatiques.

I.2.2.2.a- Les terranes constituant les domaines du Hoggar

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

a) 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

CHAPITRE II: Géologie de la région d'étude

II.1. Introduction :

La carte géologique de Tamanrasset à 1/500.000 qui a servi de base de données a été éditée lors d'un projet de l'office nationale de la recherche géologique et minière entre 1998 et 2002 et qui a été l'œuvre de Hocine Zeghouane et AhmehHamis, respectivement ingénieur en chef et ingénieur principal à la DSGA/ORGM. Durant la même période trois cartes géologiques au 1/500.000 ont été réalisées: Tamanrasset, In Iker, Tin Missaou

La carte géologique de Tamanrasset est délimitée par les coordonnées suivantes : 22°-24° Latitude Nord et 3°-6° de Longitude Est. Elle a une superficie approximative de 60000km².

II.2. Litho-stratigraphie :

II.2.1. LE QUATERNAIRE : (Q)

Le Quaternaire englobe trois grandes formations distinctes:

a- Dépôts alluvionnaires : ils forment les terrasses alluvionnaires observées le long des oueds (Amded, Tekouyat et Tamanrasset et). Ce sont des dépôts de crues anciennes et récentes constituées essentiellement de sable et de gravier.

b- Dépôts éoliens : (ou Erg), ils sont observés dans des endroits très restreints sous forme de dunes de sable généralement très fin (Nord Abellassa, NE Tioueine, reg d'Irhane, Tin felki etc).

c- Dépôts de pénéplaine : (ou Reg), ce sont les produits de désagréations et de démantèlement des reliefs montagneux issus de bombement général du Hoggar et participe au remplissage des grandes dépressions tectoniques. Ces dépôts sont constitués d'un matériel de lithologie et de granulométrie très variées. Leur épaisseur peut atteindre plusieurs centaines de mètres.

II.2.2. LE CENOZOIQUE- QUATERNAIRE (β)

Le Hoggar constitue un bombement d'échelle lithosphérique au sommet auquel une intense activité magmatique s'est développée au cours du Cénozoïque-Quaternaire.

Les formations volcaniques de la Tahalgha, Atakor et Manzaz affleurent sur la feuille de Tamanrasset, s'alignent avec les massifs de l'Egéré et l'Ahnef (feuille de l'Assekrem de

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

1/500.000), suivant une direction NE-SW qui correspond au linéament tectonique transverse de l'Oued Amded. Ce linéament appartient à un ensemble de linéaments dits « Guinéo-nubien » d'orientation générale N70° qui traverse l'Afrique à l'Atlantique à la mer rouge et qui a joué en permanence depuis le Lias jusqu'au l'Oligocène (Guiraud et al, 1985). L'emplacement des districts volcaniques du Hoggar central et oriental semble être contrôlé par ce linéament (Dautria et Lesker, 1985).

Les districts d'Atakor, Tahalgha, Egéré, et de l'Adrar n'Adjer semblent avoir leur histoire volcanologique assez semblable ; deux phases d'émissions sont distinguées pour chaque complexe

-Une première phase émissive assez intense, uniquement basaltique et de dynamisme vraisemblablement Strombolien. Les points d'émission de ces basaltes sont actuellement réduits à l'état de necks, de dykes et des coulées qui se sont échappées présentent une inversion de relief marqué en particulier dans l'Atakor ou cette phase a été la plus développée.

-La seconde phase moins intense ou les basaltes et laves indifférenciées se sont épanchés en même temps. Les points d'émission de ces laves basiques sont le plus souvent conservés. Il s'agit de cônes stromboliens partiellement érodés. C'est durant cette phase que sont mises en place les intrusions et extrusions de Trachytes et de phonolites que l'on rencontre dans tous les districts.

C'est dans l'Atakor que le plus grand volume de laves différenciées a été émis. Une activité très réduite s'est poursuivie dans chaque district jusqu'au quaternaire récent, durant lequel sont édifiés quelques petits cônes strombolien et cratères d'explosion. Les laves émises non différenciées sont saturées en SiO₂, (F. Ait hamou et J.M.Dautria, 1974).

L'Age de l'activité volcanique dans l'Atakor et la Tahalgha varie entre le Miocène et le Pliocène. Le volcanisme dans l'Atakor a débuté il y'a 20 Ma et la phase paroxysmal basaltique a eu lieu entre 20 Ma et 16 Ma (Miocène inférieur), (F. Ait hamou et J.M.Dautria, 1974). Le volcanisme s'est poursuivie par l'effusion de roches différenciées (trachytes et phonolites) dans l'Atakor central au cours du Miocène supérieur- Pliocène inférieur : Guiraud (1971), Rognon et al (1981-1983), alors que les basaltes Nord Atakor (Manzaz) sont d'âge pliocène.

Dans la Tahalgha, l'activité volcanique a débuté il y'a à peine 5 Ma et les roches différenciées sont des voisines à 3 Ma. La seconde phase de l'activité volcanique de la Tahalgha serait Plio-Quaternaire. (F.Aithammou et J.M.Dautria, 1994).

II.2.3. LE MESOZOÏQUE

II.2.3.a. Crétacé inférieur : (Ci)

Le crétacé inférieur est caractérisé par une formation sédimentaire dénommée « Continentale intercalaire ». Il affleure un peu partout au Sahara centrale et dans quelques grabens du Hoggar centrale et occidentale. Sur la feuille de Tamanrasset au 1/500.000, cette formation affleure sur les limites Est du bassin de Tanezrouft, et débute par des conglomérats à petits galets et de micro-pouding suivis de grès stratifiés bigarrés. Cet ensemble de teinte rouge se termine par une dalle de calcaire gréseux de couleur gris clair (Eremeev.B et al, rapport Aghabir-Tibhaouine, inedit, 1991).

Dans le Hoggar central, le continental intercalaire est décrit dans la région de Sérouenout ou est définie « la série de Sérouenout », (P.Bordet, 1953) : elle débute par des grès, et conglomérats de base d'épaisseur allant de 5 à 20 mètres, suivis de 250 à 300 m de versicolores (gris, blancs, roses, jaunes), ainsi que par des intercalations de micro-pouding et de minces niveaux calcaires. La série se termine par un mince niveau calcaire de plus d'une dizaine de mètres. Cette série a été datée grâce à la flore découverte dans les grés, il s'agit du bois silicifié : genre photopocarpylon du Cénomaniens « crétacé inférieur ».

II.2.4. LE PALEOZOÏQUE

Les formations du Paléozoïque, qui affleurent sur la feuille Tamanrasset au 1/500.000, sont attribuées aux dépôts du Cambrien inférieur (série pourprée) et ceux du Cambro-Ordovicien ou Ordovicien (les formations Tassiliennes).

II.2.4.a. Ordovicien : (Or)

Les formations ordoviciennes des Tassilis reposent nettement en discordance angulaire sur l'ensemble des terrains protérozoïques du Hoggar. Ces formations affleurent à l'extrémité Sud-Ouest de la feuille au 1/200.000 de Tibhaouine. Elles sont composées essentiellement de conglomérats et de grès très ferrugineux et tabulaires d'épaisseur atteignant parfois plus de 20 mètres.

L'âge ordovicien de ces terrains est déterminé par analogie aux roches avoisinantes du Hoggar et par la présence de la faune « Tigillite ».

Ailleurs dans les Tassilis, l'Ordovicien peut atteindre plusieurs centaines de mètres.

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

II.2.4.b. Cambrien inférieur : (Ec)

Les formations du Cambrien inférieur sont distinguées sous différentes appellations dans la littérature : séries pourprées, séries intermédiaires, molasses panafricaines et en fin le Nigritien (Karpoff, 1960). Ces formations ressembleraient tous les terrains situés sous la discordance Tassilienne et recouvrent en discordance les formations métamorphisées et granitisées du Protérozoïque.

La position de ces terrains entre le Paléozoïque et le Protérozoïque terminal a conduit certains auteurs à l'appellation de séries intermédiaires.

Ces formations molassiques ont fait l'objet de plusieurs études : (Boucart et Monod 1932, Follet 1948-1952 Lelubre 1957, Moussu 1952, Fabre et Monod 1952, Caby et Moussu 1967, Caby 1970, Karpoff 1960). Elles sont conservées dans des bassins résiduels et grabens, et proviendraient du démantèlement de la chaîne Panafricaine.

Deux séries molassiques ont été distinguées à Silet et que l'on retrouve un peu partout au Hoggar, il s'agit de la série d'In Abless-Amselka (série détritique sans activité volcanique) et la série de Tassekret (volcano-détritique de type molassique). Toutes deux décrites par Gravelles (1969).

La série du second type est principalement concentrée le long de l'accident 4°13' et s'étend du sud (région de Tassekret) au Nord (région de Tin felki) le long de l'oued Afäifer ainsi qu'au NW de la feuille d'In Aghabir où elles recouvrent en discordance angulaire nette toutes les formations granulitiques d'In-Ouzzal. Ces formations sont généralement constituées de blocs, conglomérats et pouding à galets peu arrondis et étirés ainsi que de grès de gravélites débutants parfois par des laves rhyolitiques blanches. Ce complexe est légèrement déformé et peu métamorphisé (facies de zéolite).

II.2.5. LE PRECAMBRIEN

II.2.5.a. Le Précambrien dans le Hoggar occidental.

1- Le Protérozoïque terminal : (Panafricain II)

Le protérozoïque terminal représente le Pharusien supérieur (ou Panafricain II) dans lequel on distingue deux séries métamorphiques à savoir : (Fig: 1)

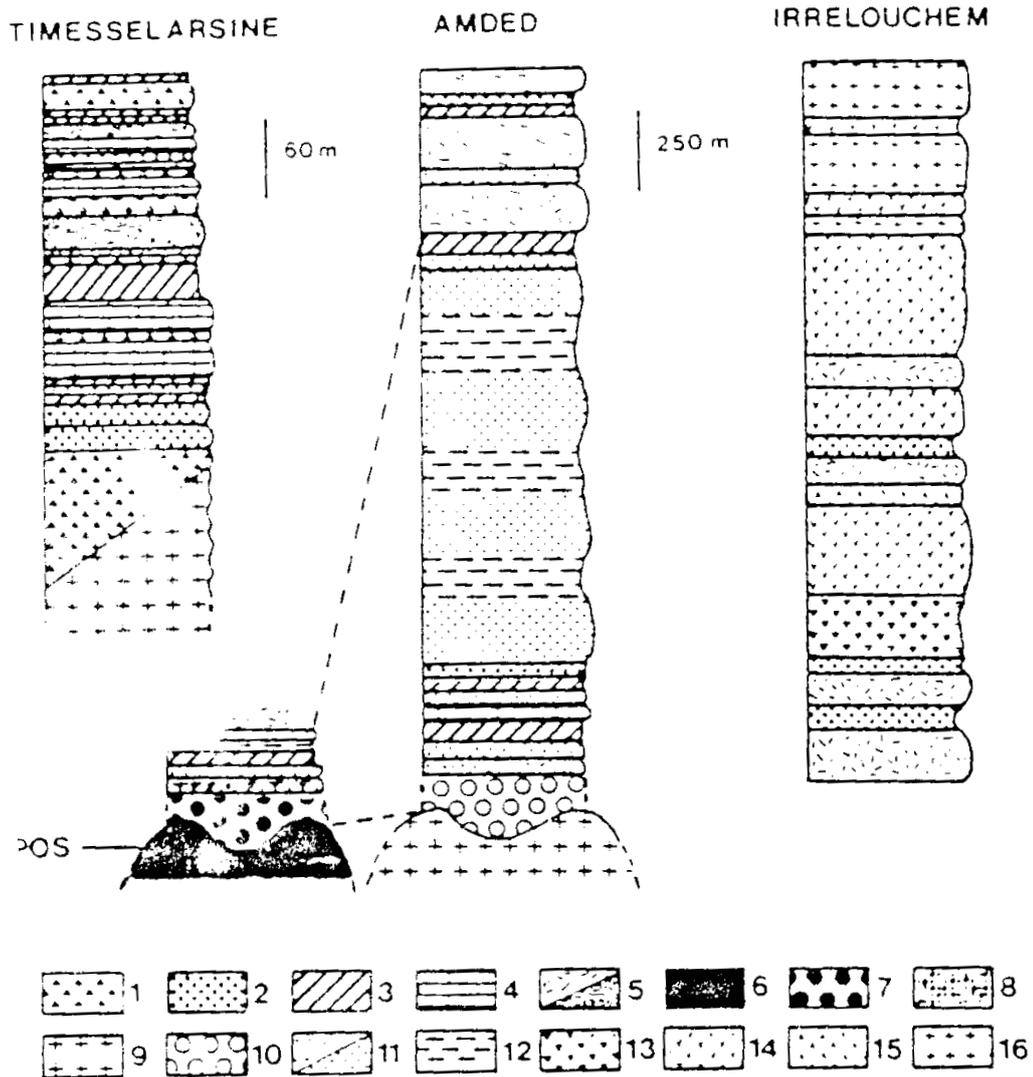


Figure 1.1: logs des formations du Pharusien I (formation de Timesslarine et SPOS: paléosuture océanique de Silet, et du Pharusien II (Amded et Ighellouchem) ; 1. Brèches basiques, 2. Pyroclastites, 3. Chertes, 4. Calcaires, 5. Roches basiques massives ou en coussins, 6. SPOS, paléosuture de Silet, 7. Conglomérats ultramafique, 8. Grés d'origine ophiolitique, 9. Quartz-diorite, 10. Conglomérat, 11. Arkoses et grés, 12. Mudstones, 13. Brèches acides, 14. Andésites, 15. Rhyolites, 16. ignimbrites

-A la base, une série essentiellement détritique (ou terrigène) de type « Amded », reposant en discordance, par l'intermédiaire d'un conglomérat de base à galets de granites et de roches ultrabasiqes, sur un complexe granodioritique d'âge Panafricain I. Les équivalents latéraux de cette série sont : la série grés-pélique de la feuille de Silet, la série terrigène à l'ouest (feuilles In Aghabir et Tinhaouine) et la série verte d'Abankor au Sud (feuille de Timgaouine).

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

-**Au sommet**, une série volcanogène de type « Ighellouchem » définie dans l'Adrar Ighellouchem (Silet), que l'on retrouve plus à l'ouest –série volcanogène de Tibhaouine et au Sud (partie supérieure de la série verte d'Abankor).

La série d'AmdedIghellouchem, affectée par un plissement isoclinal d'axe NS et d'un métamorphisme épizonal (facies schistes verts), repose en discordance par l'intermédiaire d'un conglomérat de base polygénique sur les formations du Pharusien inférieur et le substratum granito-gneissique du protérozoïque inférieur-moyen.

a- La série volcanogène:VI

Elle est constituée essentiellement de roches volcaniques d'affinité calco-alkaline, débutant par des termes basiques et neutres (basaltes et andésites) suivie de brèches acides (rhyodacitiques et rhyolitiques) avec leurs produits pyroclastiques. L'épaisseur de la série est estimée à plus de 1500m (Gravelle 1969, Dupont 1987)

b- La série terrigène : (Tr)

Elle est composée d'une alternance de grès, pelites, aleurolites, schistes, conglomérats intraformationnels recoupés par des dykes et sills de roches basiques datés à 680 Ma (Dupont 1987).

A l'ouest de l'accident 4°13' , cette formation est à dominance de pélites et grès à stratification oblique, intercalés de rares horizons de marbres, dolomies. Son épaisseur est estimée à plus de 1000m.

2- Le Protérozoïque supérieur : (Panafricain I)

a- Les séries volcano-sédimentaires : (Vs)

Le protérozoïque supérieur (Pharusien inférieur ou PanafricainI) est constitué de plusieurs formations volcano-sédimentaires, qui affleurent dans différents endroits du fossé Pharusien et posent un grand problème de corrélation géologique.

Limite inférieure

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

C'est C.Kilian (1928) qui a découvert pour la première fois dans l'oued Sersouf des conglomérats métamorphiques séparant deux séries cristallophylliennes toutes deux, situées au-dessous des grès du Tassili. (fig: 1). Cette discordance a été confirmée plus tard, le long de l'accident 4°50, par M.Lelubre (1952) ; des conglomérats de base ont été retrouvés dans l'oued Tinef (Gravelle, 1969) représentant ainsi une discordance stratigraphique de base entre le Pharusien et le Suggarien pour tout le Hoggar.

Bertrand (1974) évoque l'existence de conglomérats très fins situés à la base du Pharusien d'Idelès reposant sur les granites syntectoniques du Hoggar central. Cette discordance est remise en cause par Beriedj (1993) dans la région de l'oued Aghefsa. Il considère que partout dans la région en question, le contact entre Pharusien et Suggarien est tectonique et nulle part il n'a été trouvé une discordance nette.

De nombreux travaux ont mis en évidence plusieurs séries volcano-sédimentaires indifférenciées et non datées, rattachées au Pharusien inférieur principalement sur la base de critères lithologiques et structo-métamorphiques ainsi que par analogie avec les séries avoisinantes.

Deux séries type sont connues dans le Hoggar occidental. Il s'agit de la série à stromatolithes (dont les quartzites de l'Adrar Ahnet) qui affleure essentiellement dans le rameau occidental de la chaîne Panafricaine (R.Caby, 1970) et la série de Timeslarsine bien étudiée par M. Gravelle (1969) et L.Dupont (1987) dans la région de Silet.

a 1- la série de Timeslarsine

La série de Timeslarsine est la série type du Pharusien inférieur dans le rameau oriental de la chaîne Pharusienne. Elle débute par les termes sédimentaires : calcaires métamorphiques (marbres) versicolores, des quartzites finement rubanés, des niveaux de métagrès ou quartzites micro-conglomératiques, des schistes chlorito-sériciteux et de rares silexoides rubanés rose ouverts, le matériel volcanique est représenté par des brèches mono ou polygéniques, des lapilistufs, des laves de composition basalto-doléritiques dominante ou rhyo-dacitique métamorphisées dans le faciès schistes vert.

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

a 2- la série à Stromatolite

La série à Stromatolites affleure largement dans l'extrême Nord-Ouest du Hoggar. Les premiers Stromatolites ont été découverts dans la région de l'Adrar Ahnet (M.Lelubre, 1952). J.Fabre et J.M.Frelon (1962) ont montré la grande extension de ce « Pharusien à Stromatolites » dans tout le Nord-Ouest de l'Ahaggar dans lequel ils distinguaient de bas en haut:

- Formation quartzique (quartzique de l'Ahnet).
- Formation calcaire à Stromatolites, pelites et quartzites.
- Formation volcaniques rhyolitiques

3- Le Protérozoïque inférieur-moyen / (AP)

(Sérienante-panafricaine)

a- Série de Tékouyat

Le terme « série de Tekouyat » a été utilisé pour la première fois par M. Gravelle (1969) pour désigner un complexe constitué de gneiss, quartzite, marbre et amphibolite formant le substratum de la série volcano-sédimentaire du panafricain I.

Au nord feuille de Tin Tanet Firt, J. Arène (1968) a corréler les formations de la série de Tekouyat avec les formations quartzitiques de l'Adrar Ahnet. Ces derniers, préalablement rattachés par R.Caby (1970) à la série à Stromatolites, sont intrudés par des filons d'orthogneiss datés à 1755Ma (Caby et Andrépoulos 1983).

Sur la carte au 1/1.000.000 du Hoggar (Bertrand et Caby 1977), les formations de la série Tékouyat sont notées PR 1-2.

La série de Tekouyat représente le substratum sur lequel ils reposent en discordance angulaire nette des formations volcano-sédimentaires du Panafricain I.

En se basant sur ces données, Ereméev (1991 : rapport E.RE.M. inédit) subdivise la série de Tekouyat en deux assises plus ou moins distinctes : fig (2).

Assise supérieure : (P2) elle occupe une petite partie de la coupe, sa limite inférieure est signalée par une série de couches rapprochées constituées d'amphibolites et de gabbros

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

Les volcano-détritiques du Pharusien et les gneiss du Suggarien sont toujours en contact tectonique (nappes de charriage), la discordance stratigraphique n'a été observée nulle part (M.Briedj 1996). Les conglomérats polygéniques et métamorphiques, base du Pharusien d'après C.Kilian (1932) et M ?Lelubre (1952), constituent en réalité des niveaux interstratifiés au sein de l'unité volcano-détritique, (M.Briedj 1996).

Les formations volcano-détritiques de l'Aghefsa sont corrélées sous toutes réserves au Pharusien² de Timgaouine (Hoggar occidental). Les rhyolites de l'Issouagh ont donné un âge de 583+/-3Ma, cette donnée voisine de derniers évènements panafricains reste difficilement attribuable au Pharusien de l'Aghefsa.

Dans la région de Tazrouk, H.Bougar (1994) dans un rapport inédit, subdivise le Pharusien en deux séries : la série Aghefsa « volcano-détritique » inférieure et la série de Serkout « grésopélitique » au sommet. Aucun essai de corrélation n'a été rétabli avec les formations du Hoggar occidental.

Dans la région de Tahifet, M.Briedj (1994) a subdivisé le Pharusien de l'Aghefsa (feuille Tahifet), en quatre unités tectonique.

1- Unité d'In Lefsaouene : constituée de micaschistes à muscovites et biotites d'amphibolites et absence de quartzites, son épaisseur est d'environ 1km.

2- Unité de l'oued Immedaghdghene : formée de schistes ardoisiers, pélites, schistes gréseux, marbres et du matériels volcanique basique d'épaisseur allant de 2 à 3 km.

3- Unité volcano-détritique de l'oued Assendjef à dominance de roches volcaniques (basaltes, andésites et rhyolites), associés à des grés massifs, des schistes gréseux et des niveaux conglomératiques, les dépôts carbonatés sont absents. L'épaisseur estimée est de 1,5 à 2km.

4- L'unité molassique : elle affleure en lambeau kilométrique et repose en discordance stratigraphique sur l'ensemble de séries. Cette unité est faiblement déformée et affectée par les plis droits, subméridiens. Elle est composée essentiellement de conglomérats polygéniques, de grés lithiques à stratifications entrecroisées, brèches volcaniques interstratifiées avec des conglomérats. Son épaisseur est d'environ 1km.

Les unités 1 et 2 présente de grandes similitudes lithologiques (pélites et carbonates) ainsi qu'une même signature géochimique pour les roches basiques (tholéïtiques océanique de type

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

MORB). Elles pourraient constituer une même unité lithostratigraphique à dominance terrigène pouvant être corrélée à la série inférieure du Pharusien² du Hoggar occidental (AmdedIghellouchem)

L'unité 3 serait, sur la base des mêmes considérations l'équivalent de la série volcanogène de type Ighellouchem du Pharusien².

L'unité molassique de l'Aghefsa correspondrait aux molasses éocambrienne connues dans le Hoggar occidental.

2- Le Protérozoïque inférieur : (Eburnéen)

C'est M.Lelubre, 1952 ; qui fut le premier à définir au sein du « Suggarien », deux ensembles métamorphiques concordants correspondant à deux séries superposées de lithologie différente. A la base la série de l'Arrechchoum, essentiellement gneissique, surmontée par la série de l'Egéré à dominance de métasédiments. Selon cet auteur, ces deux ensembles appartiennent au même cycle orogénique Suggarien.

J.M.L. Bertrand (1968) a démontré l'existence d'une discontinuité fondamentale au sein des terrains Suggarien de l'Aleksod : les deux séries (Aleksod et Arechchoum) sont alors attribuées par ce dernier à deux cycles orogéniques distincts. La série de l'Arechchoum, la plus ancienne occupant la base de la coupe, est attribuée au cycle éburnéen (2000Ma), alors que la série de l'Egéré, la plus récente correspond à un événement hypothétique dit Kibarien (1000Ma), dont l'existence a été remise en cause par l'auteur lui-même.

Des corrélations géologiques ont été envisagés par J.M.L.Bertrand et R.Caby ; la série quartzitique de Tazat, affleurant dans le bloc Tazat-Issalane-Tiririne du Hoggar oriental ; (J.Blaise, 1967), serait vraisemblablement l'équivalent latéral des séries de Déhine dans le Tefedest ; (J.M.L.Bertrand, 1974), de Tit n'afara dans la région de de Tamanrasset et celle de Toukmatine dans le Gour-Oumellalen ; (Latouche 1978) du Hoggar central ainsi que la série des quartzites de l'Ahnet dans le rameau Pharusien occidental (J.Arène, 1968).

Sur la base de ces diverses données parfois contradictoires, nous avons rangé les formations métamorphiques du Hoggar centrale en deux grands ensembles gneissiques séparés

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

par une discordance structurale (Bertrand 1973) ou accordance tectonique (Bertrand 1978). L'ensemble inférieur (gi) est constitué essentiellement d'orthogneiss et de léptinites associées à de rares métasédiments, surmonté par l'ensemble gneissique supérieur (gs) à dominance métasédimentaire (fig: 3)

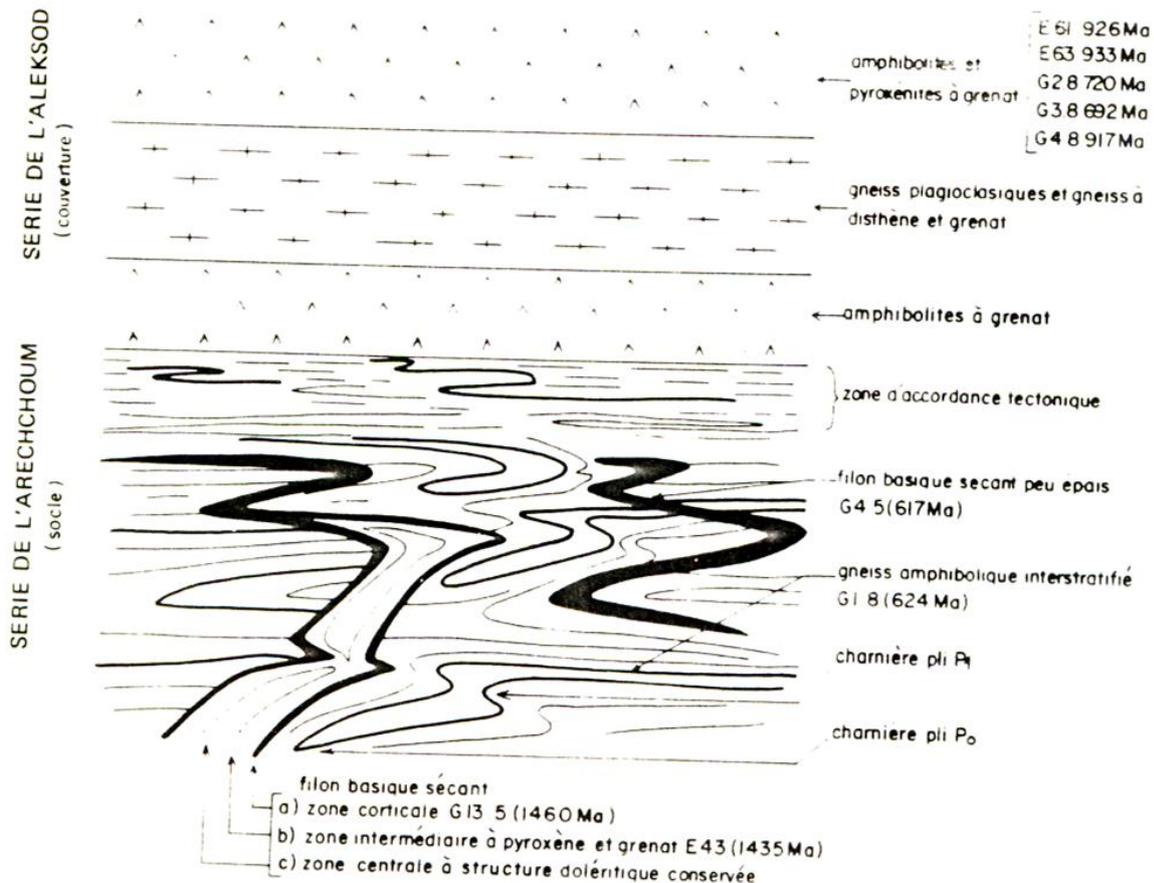


Figure II.3: Formations lithologiques Eburnéennes (J. M. L. Bertrand, 1974).

a- Ensemble gneissique supérieur : (Gs)

(Série de l'Aleksod)

Cet ensemble représentant la série de l'Aleksod repose en discordance structurale sur la série de l'Arechchoum (J.M.L. Bertrand 1974). Fig(3).

De bas en haut, il est constitué de :

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

- **Amphibolites massives à grenat** recoupée par des migmatites de socle. Ce niveau très constant forme un niveau remarquable qui facilite la cartographie des lanières synclinales de la série de l'Aleksod.
- **Une formation gneissique** où dominent les gneiss veinés plagioclasiques, parfois amphibolitiques avec des gneiss fins à biotite, grenat, disthène, et /ou sillimanite et des gneiss diopside.
- **Une formation calco-magnésienne** constitué d'amphibolites massives à gros grenats, de pyroxénites et de gneiss plagioclasiques à gros grenats, biotite et disthène étroitement associés. A la base de cette formation on trouve également des niveaux lenticulaires de quartzites à magnétite cummingtonite.
- **Des gneiss veinés leucocrates** à muscovite.
- **Une formation métasédimentaire**, débutant par un niveau de gneiss plagioclasique à grenats et métadiorite gneiss à muscovite et biotite, gneiss à biotite et grenat, gneiss à biotite hornblende, gneiss amphibolitiques à grenats.
- **Gneiss amphibolitiques** à grenats-métadiorites, gneiss à muscovite-biotite, gneiss à biotite-grenat, gneiss à biotite et gneiss à hornblende-grenat.

b- L'ensemble gneissique inférieur : gi

(Ou série Arechchoum)

Cet ensemble représente la série de l'Arechchoum et ses variations latérales, elle est caractérisée par une lithologie monotone, un plissement complexe et une magmatisme intense, rendant ainsi son étude très délicate. Cependant, on peut subdiviser en trois formations :

- **Gneiss rubanés plagioclasiques** associés à de rares amphibolites massives, recoupés par filons basiques déformés et métamorphisés au cours de l'épisode éburnéenne. Ces filons ont permis de démontrer qu'en réalité la série de l'Aleksod est discordante sur celle de l'Arechchoum. Les gneiss rubanés ont donné un âge de 2220±60 Ma.
- **Gneiss ocellés** d'origine plutonique dont les contacts avec les formations encaissantes sont déformés. Ils sont datés à 1940±50 Ma.

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

- **Micaschistes à biotite et à sillimanite** et des gneiss plagioclasiques datés à 2104±40Ma.
- **Métasédimentaires** et sont représentés par des marbres, pyroxénites et des quartzites.

II.2.6. L'ARCHEEN : (Ar)

Les terrains Archéens affleurent à l'extrémité occidentale de la feuille et constituent en partie le mole In ouzzalien, structuré sous forme d'un vaste compartiment en forme de triangle pris entre les formations des deux rameaux Pharusien du Hoggar occidental.

C'est dans le Tanezrouft Oriental que M.Lelubre (1949) a mis en évidence pour la première fois dans les formations suggariennes un complexe à hypersthène qui a nommé « facies Ouzzalien ».

P.Guiraud, (1958-59) individualise le facies Ouzzalien comme étant plus anciens que les formations Suggariennes. Ferrara et Gravelle, (1956), Caby (1971), ainsi que d'autres auteurs, en occurrence : Picciotto (1965), confirment l'ancienneté de ces roches par des datations géochronologiques récentes (2650Ma à 3300Ma).

Les terrains Archéen d'In Ouzzal peuvent être subdivisés en deux grands ensembles (fig : 4) ; un ensemble de variations ortho-dérivées observées surtout au sud de linéament de l'oued Amded-Tekouyat nettement intrusive. Elles représentent le socle de l'ensemble para-dérivé observé plutôt au Nord du même linéament.

- Le méga-linéament Amded-Tekouyat constitue donc une limite tectonique majeure, séparant ainsi les deux grandes unités lithologiques archéennes.

Sur le terrain, on observe une hétérogénéité lithologique à la fois au sein des formations para-dérivées que dans les ortho-dérivées ; toutes ces roches ont subi le facies granulitique. Elles ont la particularité (notamment les formations para-dérivées) de se présenter en lentilles d'échelle variable, mélangées les unes aux autres, formant l'ensemble Paradérivé au sein des formations orthodérivées et vice versa (mélange tectonique)/ selon H.Haddoum (1992), la coupe des formations archéennes est constituée de bas en haut par :

Les formations para-dérivées

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

- Les granulites alumino-magnésiennes,
- Les granulites alumino-magnésiennes à Saphirine,
- Les granulites alumino-magnésiennes sans Saphirine,
- Les marbres,
- Les quartzites et les quartzites à magnétites
- Les léptinites

Les formations orthodérivées

- Les granites et les roches basiques anti-plissement,
- Les orthogneiss ou granulites acides,
- Les granites charnockitiques acides,
- Les charnockites basiques,
- Les pyrigarnites,
- Les péridotites,
- Les granites syn à post plissement.

Les formations intrusives post plissement

- Les carbonatites,
- Les syénites,
- Les filons de quartz,
- Les dolérites,
- Les granites tardi-tectoniques panafricains,
- Les massifs de roches basiques et ultrabasiques

La limite Archéen-Protérozoïque Inférieur

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

Les granites charnockitiques de Takhemalt datés à 2600Ma, (Peucat et al 1991), seraient probablement les derniers manifestations du phénomène de sagduction. Leur mise en place serait dans les granulites facies.

Les âges 2600 Ma et 2500Ma sont très courants dans les autres cratons dans le monde, il marque le passage entre l'Archéen et le Protérozoïque inférieure.

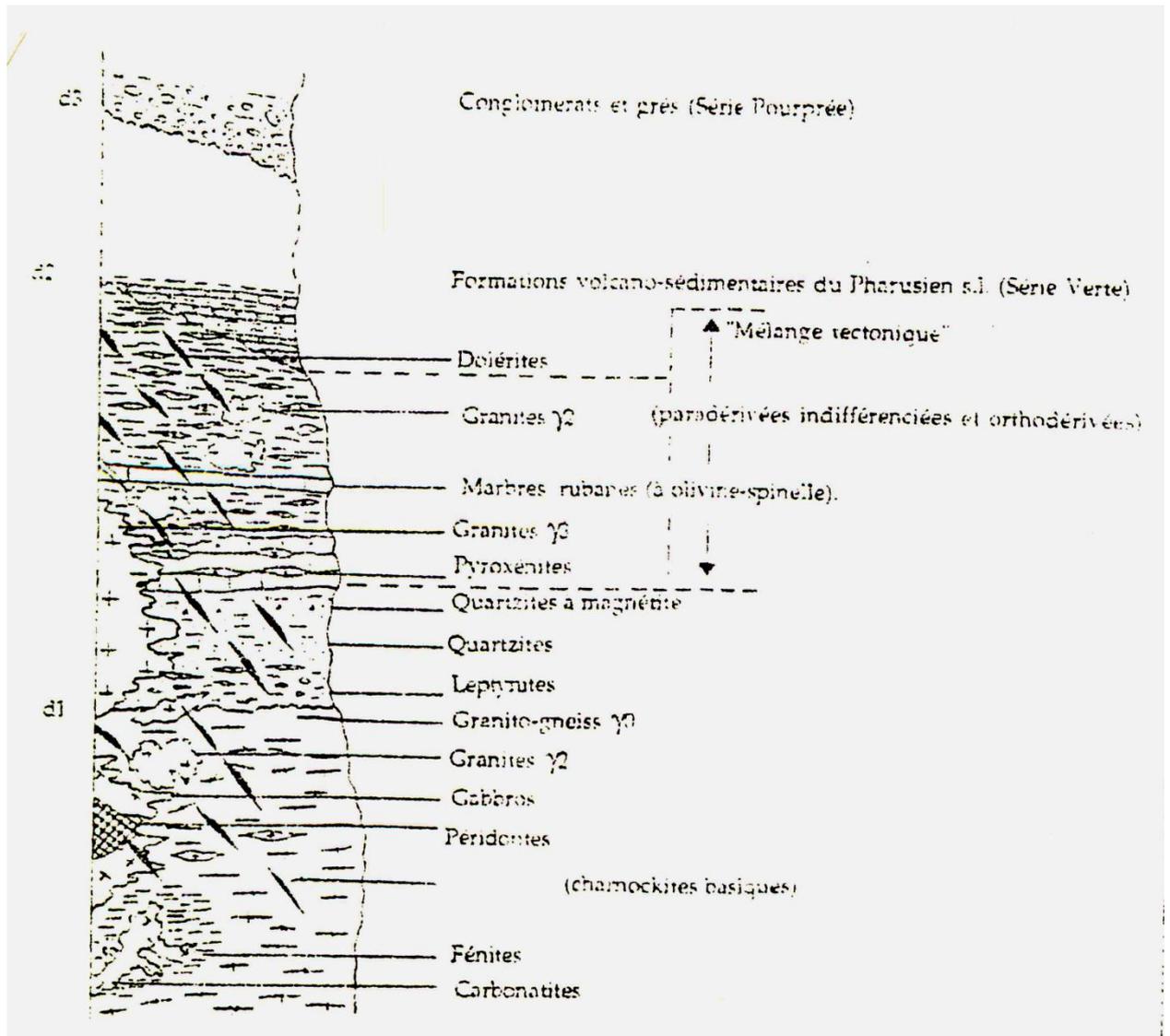


Figure II.4: log synthétique des formations du mole In Ouzal (in Haddoum 1992)

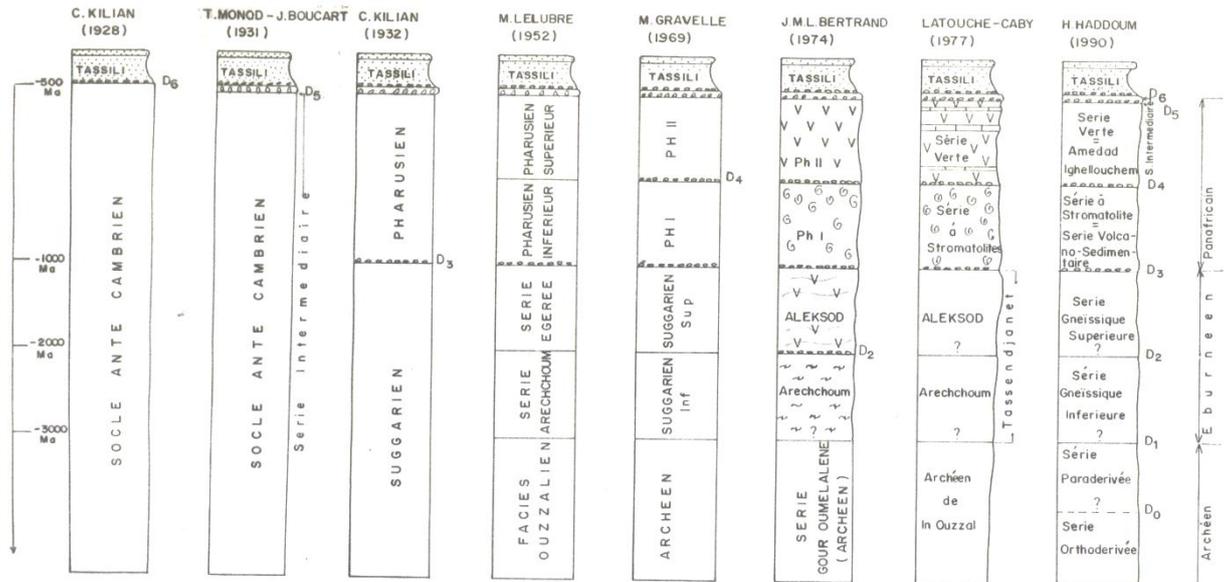


Figure II.5: logs synthétiques montrant l'évolution des connaissances géologiques depuis C.Kilian (1928). (A.Hamis et H.Zeghouane 1999).

II.3. Magmatisme

II.3.1. Le magmatisme dans le Hoggar occidental :

II.3.1.a. Le magmatisme du Panafricain II :

1. complexes post-tectoniques type " Taourit" G3T :

ce sont des massifs circonscrits, présentant des limites nettes et sequentes l'encaissant granitique et métamorphique.

Le terme "Taourit" est utilisé par les touareges pour désigner un relief circulaire et haut, il fut introduit pour la première fois dans la littérature géologique par Bourcart en 1923.

M.Lelubre (1952), rattache l'ensemble des granites circonscrits et discordants au cycle Pharusien. Les premières études détaillées des complexes tectoniques, reviennent à J.Boissonass (1973), il distingue les taourits du fossé Pharusien et ceux du Hoggar Central. Ce sont deux familles qui diffèrent par leur structure, leur composition minéralogique, leur âge et leur origine. (Azzouni- Sekkal- A, 1995).

Les Taourites du fossé Pharusien :

Du Sud vers le Nord, affleurent le Tiouéine (feuille Silet), Taharhart n'arbor, Tinerite, Tegorak, Tihaliouine, Tikertine, Tan-ataram'Imelhaten-issedienne (feuille Tin felki). Ils sont limités par l'accident 4°50' à l'Est et la faille 4°13' à l'Ouest.

Ces complexes granitiques sont remarquables par leurs structures et leurs dispositions en anneaux concentriques zonaux et par leurs localisations qui semble être contrôlée par la mise en places des grands accidents cassants subméridiens, et particulièrement l'accident 4°50' du panafricain en relation avec les failles transversales. Du point de vue géologique, ils sont caractérisés par une forte anomalie radioactive nettement distinguée sur les cartes géophysiques (Aeroservice).

L'étude pétrologique et géochimique des complexes granitiques de type "Taourit" montre qu'il s'agit particulièrement de monzonites et de syéno-granites à faciès très évolué jusqu'aux aalaskites.

A travers les archnogrammes, la géochimie et la minéralogie, A.Azzouni-Sakkel (1993) montre qu'il ya eu modification du chimisme des roches avec passage d'un magmatisme calco-alcalin de subduction d'arc insulaire ou de marge active a un magmatisme plus alcalin, de post subduction situé dans une croute juvénile.

Une origine mantellique est proposée pour les enclaves associées aux granites, avec une immiscibilité entre magma acide et basique au début de la différenciation, puis une hybridation de plus en plus grande lorsque les deux magmas montent dans la croute A.Azzouni-Sakkel (1993).

2- Les granites tardi à poste-tectonique de type "Iskel" : G23

Les manifestations magmatiques tardi à post-tectoniques sont nombreuses dans le fossé Pharusien. Nous citerons ; les granites d'Iskel, les gabbros de l'oued Adjelmam, les granites de l'Adrar Tihouyarine, les granites Adaoudab, les granites d'Inikréne (feuille Silet), les granites d'Ihouhouéne etc.

Le type Iskel présente une forme allongée Nord-Sud dépourvu de structures annulaires typique aux granites "Taourit" post-orogénique. Ce sont des plutons à caractère calco-alcalin, intrudant la formation grésopelitique et les granites d'Immezzarène du Panafricain II. Le faciès représentatif est un granite à grain moyen à gros, légèrement porphyroïde à K feldspaths,

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

renfermant des enclaves microgrenues basiques et de l'encaissant grésopélitique. La datation la plus récente effectuée sur ce pluton donne un âge de 566±12Ma, (Djaouadi et al 1994).

3- Les complexes syn a tardi – tectoniques de type "Imezzarene" : G22

Les complexes syn a tardi – tectoniques G22 sont attribués au Pharusien supérieur, ils recoupent les formations métamorphiques du pharusien I et II correspondant respectivement aux séries volcano-sédimentaire et grésopélitique.

Ces complexes granitiques de large extension régionale sont repartis de part et d'autre de l'accident 4°13' du Nord au Sud, on observe : les complexes Aderniba (Tin Felki) corrélatés au sud avec le complexe Imezzarene (Silet) et à l'Ouest avec les complexes Tin missaou (Stibehaouine) et Tan chafaou (In Arhabir).

a- Le complexe granitique d'Aderniba :

Le complexe d'Aderniba est représenté par deux massifs granitiques distincts situés de part et d'autre de la faille 4°13' (feuille Tin felki). Il se présente sous forme d'un vaste plateau ou reg monotone et plat, pratiquement dénudé avec des rares affleurements sous forme de carapaces ou en boules isolées.

Ce sont généralement des granites à grains variables souvent prophyroïdes, les prophyroblastes de feldspaths potassiques atteignent 5cm et plus. Les ferromagnésiens sont représentés par la biotite et l'hornblende verte. Du point de vue géochimique, ces granites et granodiorites sont d'affinité calco-alcaline.

b- Le complexe Imezzarene :

Le complexe Imezzarene s'étend essentiellement à l'Ouest de l'accident 4°13' et constitue un vaste batholite granitique allongé NS de composition plus ou moins hétérogène : granite, adamellite, grano-diorite, diorite calcique et rarement gabbro. Il est caractérisé par la prédominance du faciès à gros prophyres de plagioclase souvent zonés.

Ces granites à biotite +/- amphibole à grain moyen à gros souvent prophyroïdes, sont également d'affinité calco-alcaline. Le contact avec l'encaissant grésopélitique est nettement discordant et se manifeste par un métamorphisme de contact signalés par des cornéennes. Les faciès de bordure sont légèrement orientés et présentent une foliation panafricaine NS, ce qui prouve son caractère syn à tardi-tectonique.

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

Les premières mesures de datation géochronologiques par la méthode U/Pb sur Zr du complexe Imezzarene (Pcciotto et al 1965) ont donné un âge de 640 Ma alors que Bertrand et al (1982) a obtenu par la méthode et sur le même massif un résultat très acceptable (583 Ma).

c- Le complexe Tan chaffaou :

Les roches encaissantes sont essentiellement des diorites du complexe Akfou et rarement les formations de la série volcano-sédimentaire. Les contacts de ces massifs sont parfois tectoniques. Ces granites sont prophyriques à biotite, de teinte gris rosâtre et à grains moyen à gros.

d- Le complexe Tin missaou :

Les granites du complexe Tin missaou constituent deux massifs importants, Tin-alous situé au NW de la feuille In Aghabir et Issodenaflournat au SE de la feuille Tibehaouine.

Le complexe granitique de Tin missaou représente le frère jumeau du complexe Tan chaffaou, recoupe nettement la série volcano-sédimentaire. Les granites à deux micas, gris rosâtre à grains moyen prédominant dans la composition de ce complexe, le faciès aplo-pegmatique est aussi présent. Le massif de Tin Alous est composé de granites massifs à biotites à grains moyens (microcline- oligoclase- quartz et biotite).

4- Les granites pré à syn-tectoniques de type Aouilène G21

a- Complexe de l'Oued Isseimene

C'est un vaste batholite s'allongeant NS de la région d'Abalessa au Nord et se continue au Sud dans la feuille Timgaouine (feuille Aouilène), le long de l'Oued Isseimane. Il est limité à l'Est par l'accident 4°50' et à l'Ouest par la faille régionale 4°40'. C'est un complexe magmatique de composition hétérogène à faciès porphyroïde à biotite. Son caractère migmatitique est souligné par le passage progressif des granites aux migmatites.

Ces granites sont également de nature calco-alcaline et recoupent toutes les formations du Pharusien I et II de la région Si et Timgaouine. Les datations géochronologiques (U/Pb sur Zr) disponibles, ont fournies un âge absolu de 614 et 629 Ma (Bertrand et al 1986).

II.3.2.b. le magmatisme du Panafricain I :

1- Les complexes syn à tardi-tectoniques de type « Tin Tekadiouit-Taklet : G11

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

Les complexes syn-tectoniques attribués au Pharusien inférieur sont les complexes granitiques qui recourent la série volcano-sédimentaire et recouverts en discordance par les séries terrigènes du Panafricain II (Amded, grésopélitique, série verte etc.)

Ces complexes sont représentés par les vastes massifs plutoniques d'Afrédaféda au Nord (Tin felki) et de Tin Tekadiouit- Taklet au Sud (Silet).

a- Le complexe Afrédaféda :

Le complexe Afrédaféda occupe près de 40% de la superficie totale de la feuille Tin Felki au 1/200.000 : il représente le prolongement Nord des massifs Tin TekadiouitTaklet (Silet).

Ce complexe est subdivisé en trois unités distinctes : Orientale, centrale et occidentale (Bellal.M.1991, Rapport E.re.m inédit).

- Unité Orientale : Cette unité affleure à l'Est de la feuille de Tin Dahar et recoupe l'ensemble des séries détritiques et volcano-détritiques du Parafricain I de la région de Tin felki. Elle est caractérisée par une grande hétérogénéité des roches allant du faciès ultrabasique jusqu'aux faciès acides : granites, granodiorites, monzonites, syénites, diorites, gabbro, et amphibololites.

Du point de vue géochimique, ces roches sont situées dans le domaine calco-alcalin, ayant une différenciation magmatique nette.

- Unité centrale : Elle occupe un volume très important, et renferme également une grande variété de faciès de roche

considérées comme étant le résultat d'une différenciation d'un même magma, des termes ultra-basique aux termes ultra acides en passant par les gabbros, diorites et grano-diorites.

L'étude pétrologique et géochimique montre que les roches de cette unité sont également d'affinité calco-alcaline.

- Unité occidentale: Cette unité est représentée par le massif Tadazit, recoupant la nettement la série volcano-détritique. Elle est constituée par un faciès plus basique : amphibololite, gabbros, diorites et rarement granites.

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

La composition pétrographique des roches façonne une topographie correspondante : les massifs basiques forment des affleurements compacts, facilement repérable sur les photos aériennes, alors que les granites et gradionites forment des regs et un débit en boules caractéristiques.

Du point de vue géochimique, cette unité est en partie d'affinité tholeitique (pour les termes basiques) et calco-alcanique pour les termes neutre et acide.

b- Les complexes granitiques Tin teckadiouit – Taklet :

Le complexe Tin teckadiouit – Taklet affleure dans la partie centrale de la feuille Silet et se prolonge sur les feuilles de Tin Felki et Tesnou au Nord (complexe Afédaféda) et sur les feuilles Timgaouine et Tin Rehroh au Sud (complexe Timgaouine). Il est limité à l'Est et à l'Ouest par deux accidents majeurs ($4^{\circ}13'$ et $4^{\circ}40'$) et forme deux grands alignements bien individualisés de part et d'autre de l'accident $4^{\circ}30'$.

L'alignement Ouest (Tin Tikadouit et Sud Amded) : constitué principalement de granodiorites, de granites à biotite+/- amphibole (rarement à muscovite) et de diorites quartzites constituant le faciès de bordure (faciès à chlorites de Gravelle 1969) associés parfois à des faciès basiques : Gabbro-diorites et Gabbros.

L'alignement Est (Adjemet et Taklet) : semble plus acide puisque les faciès granitiques sont plus riches en feldspaths potassiques. Les faciès rencontrés sont également des granodiorites et des granites porphyroïdes à biotites+/- amphybole passant fréquemment et graduellement aux diorites et gabbros.

Le passage des roches acides (granites) aux termes basiques (diorites et gabbros) et surtout observés dans les secteurs de Touhaouine, Tassekret, In Adjedjou et Taklet.

Des affleurements de syénites de faible importance sont signalés au Sud de la feuille (de Silet, Adrar Tisfrane, feuille de Silet au 1 /200.000).

De nombreuses études pétrologiques et géochimiques ont prouvé le caractère calco-alcalin des granitoïdes (Gravelle 1969, Bertrand 1965, Abed 1983, Dupont 1987, Boukhalfa 1987....)

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

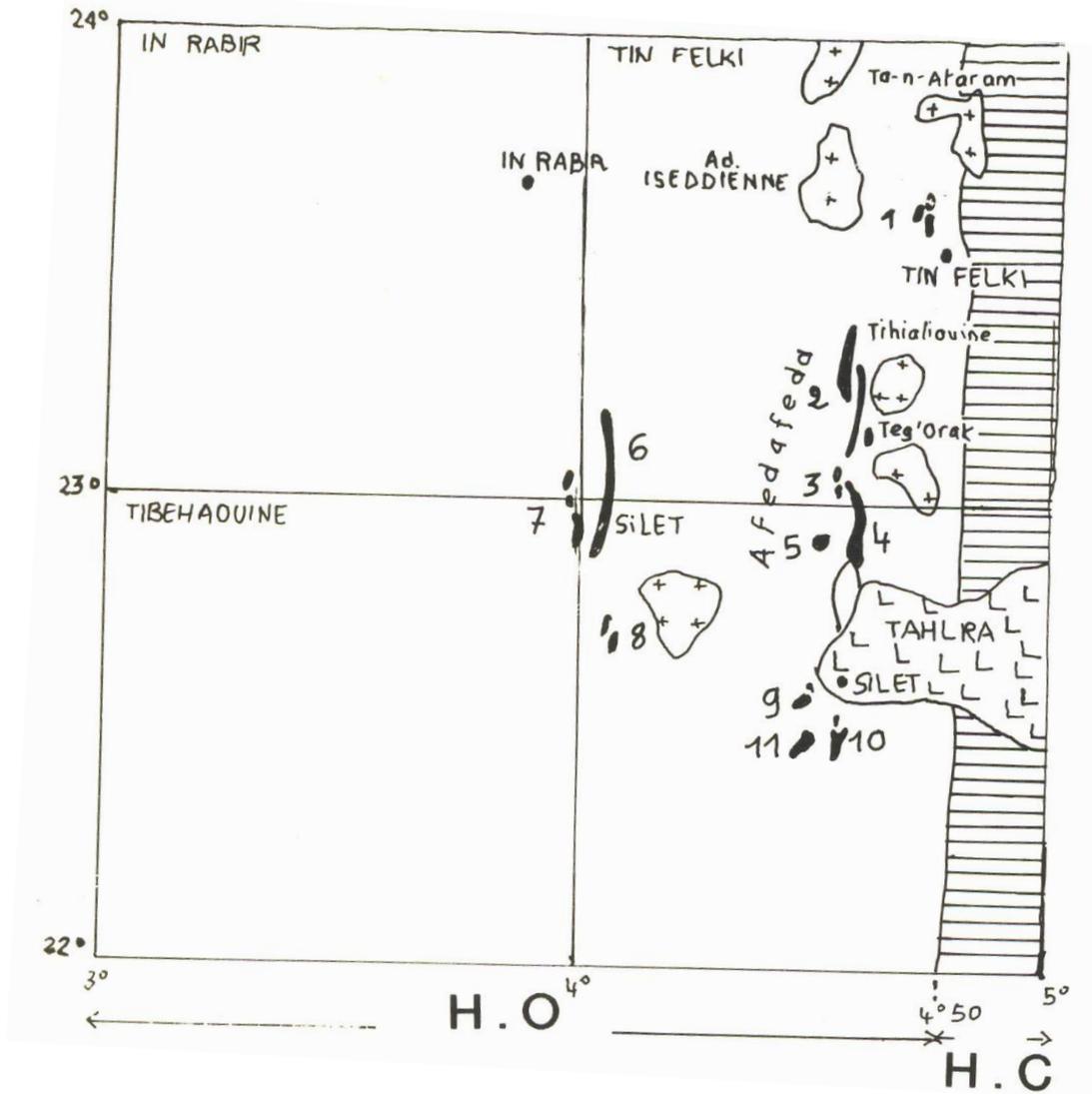
Ce complexe plutonique présente deux faciès pétrographiques principaux : l'un central plus au moins homogène, l'autre porphyroïde de bordure nettement orienté est affecté par la schistosité NS provoquée par le serrage EW au cours de la phase ultime du Panafricain.

Les observations de terrain axées sur la structure et les relations avec l'encaissant ont permis de conclure que les deux alignements magmatiques décrits, appartiendraient à un même complexe plutonique.

Les différences faciales et chimiques signalée par (gravelle 1969 et Caby 1982) et utilisées comme principaux critères de leurs séparation sont inconséquentes. Les différences d'âges obtenues entre le massif de Tin Tekadouit (868 Ma) et Taklet (839 Ma) doivent avoir une signification plutôt géonamique.

c- Les complexes basiques et ultrabasiques :

Un grand nombre de complexes basiques et ultrabasiques affleurent sur le territoire de la feuille Tamenrasset au 1 /500 000, Fig : 6



Figurell.6: schéma de situation des complexes basiques et ultra basiques

- 1- Taggalan-Tan-Arragane, 2- Tihaliouine, 3- SekoanAhni, 4- Tin Dahar, 5- Aderniba, 6- In Rabir,
7- Amde, 8- Tibeghin, 9- Tin Ghales, 10- Tantek, 11- Ekarabi

H.Abed , dans une études approfondie subdivise ces complexes basiques et ultrabasiques et deux types, suivant le mode de gisement et la composition minéralogique.

Le premier type est moins développé, il s'agit d'intrusion polittique constitue d'une série cumulative différenciée allant des peridotites aux diorites cartziques, associés aux complexes plutoniques d'Afedafeda de Tin Kadiouite-Taklet.

Le deuxième type très repondu correspond a des écailles tectoniques correspondantes avec les séries volcano-sédimentaires de type plateforme du Pharusien I.

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

Les écaillles sont constituées d'harburgites et perioditesserpentinisésacumulants avec les lentilles de cromites, de Gabbros plus au moins rubanés, l'ensemble cumulative plutonique basique et ultra basique est recoupé de filons de rodengite et de granite du Panafricain.

Ce dernier type est considéré par H.Abed (1983) comme une séquence reconnue comme cortège ophiolitique qui serait un témoin d'une zone de suture au cours du Panafricain cette zone de subduction serait détruite en grande partie par l'emplacement de grandes batholites de granitoïdes type Tin Tekadiouite-Taklet.

II.3.2.c. Le magmatisme anté-panafricain :

1. Orthogneiss pré-tectonique de type Akfou : Ge

Les granitoïdes de ce complexe sont associés spatialement et génétiquement aux formations des séries gneissiques anté-panafricaine d'où ils dérivent (ce sont principalement la série de Takouyat (Ap), on distingue trois grands faciès orthogneissiques :

- Les leucogranites : ils sont de teinte grise à gris rosâtre, et souvent à texture ocellée, les variétés les plus répandues sont les orthogneissbiotitiques.
- Les granodiorites et diorites : elles constituent essentiellement des massifs concordants allongés d'une façon linéaire le long des formations métamorphiques de la série Takouyat et surtout dans sa partie inférieure, les contacts des granites avec l'encaissant sont assez souvent tectoniques.
- Les aplo-pégmatites : ce groupe de plutonites comprend les granites aplitiques à grain fin, les filons pégmatitiques et les granites à pégmatites, souvent en relation étroite avec les roches de l'assise granito-gneissique de la série de Takouyat et les granitoïdes de premier groupe du complexe Akfou.

Le complexe pré-tectonique d'Akfou et la série de Takouyat servent de substratum aux formations des séries terrigènes et volcaniques panafricaines qui les recouvrent en discordance nette. Ils représentent le socle pré-orogénique panafricain.

L'absence totale de datations géochronologiques sur ces complexes rend difficile leur placement dans la colonne litho-stratigraphique. Néanmoins, la position structurale, la forme et le caractère du contact avec l'encaissant métamorphique permet les rattacher conventionnellement au Protérozoïque inférieur-moyen.

II.3.2. Le magmatisme dans le Hoggar central

II.3.2.a. Le magmatisme panafricain II :

1- Les Taourirts du Hoggar central : G3T

Les Taourirts du Hoggar central sont également contrôlés par les grandes fractures subméridiennes en relation avec les failles transversales. Ils affleurent à l'Est de l'accident 4°50'.

Au Nord (feuille Assekrem au 1/200.000), cinq plutons sont recensés ce sont : le massif Tin-Erouh, Ihattane, Taessa-Ilamane, l'Abdassène et la petite coupole concentrique de Tin-Tégouret.

Le granite courant révèle une composition minéralogique à quartz-orthose dominante et microcline intermédiaire oligoclase-biotite ferrifère et fluorine.

Il s'agit de granite calco-alkalin potassique (Monzonitique) montrant à sa partie verticale quartzo-feldspathique à albite et Topaze, disposés en zones diffusées (Boissonas 1973).

La mise en place de ces corps intrusifs date la fin de l'orogénèse Pharusienne (520+/- 10 Ma). Le pluton de Taessa recoupe nettement les mylonites panafricaines 3°30'.

Dans la partie sud, ce groupe comprend les plutons Ahaleheg et In-Tounine associés spatialement à des faciès albite-Topaze (O. Moulahoum 1988), ainsi que leurs satellites bordier : Gara Monique et coupole anonyme (feuille de Tamanrasset au 1/200.000).

La présence d'enclave basique microgrenues, signalé par J.Boissonas (1973) et Moulahoum (1988) confirme la nature profonde de ces granitoïdes.

Les granites à albite-topaze fortement alumineux recoupant l'ensemble des formations de la région sont d'un magma particulier d'origine purement cristallin. Leur mise en place est postérieure à tous les autres faciès granitiques de Taourirt.

a. Granites tardi à a post-tectoniques : G3

Ils forment des petites coupoles granitiques de faibles dimensions (garas, pitons) et sont généralement observés dans les granites G1 qu'ils recoupent ou près des failles régionales et constituent un faciès à microgranites et un granite fin parfois à Albite-topaze, exemple de

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

Tanarouatine, Touf, Admer ,Assekassi. Les intrusions G3 avec G3T recourent à l'emporte-pièce toutes les formations éburnéennes et panafricaines D3.

Les G3 et G3T recourent nettement les mylonites tardi-panafricaine et confirment leurs caractères poste-tectoniques et leurs âges 521+/-7 Ma, (Moulahoum 1988), ils datent par conséquent la fin de l'orogénèse panafricaine.

b- Granites Syn à Tardi-tectoniques Type Tifferkit : G2

Le pluton de Tifferkit, intrusif dans l'encaissant gneissique, longe une zone mylonitique subméridienne (faille de Tifferkit). C'est une granite assez homogène peu déformé, leucocrate à biotites (grains grossiers à moyens, non porphyroïdes de composition banale : quartz, biotite, feldspaths).

Il renferme de nombreuses enclaves basiques, microgrenues d'origine profonde.

La morphologie et les limites assez tranchées de ce granite avec l'encaissement lui confère un caractère intrusif le rapprochant du type « Taourirt » sa composition minéralogique banale, non évolué le rapproche du granite d'Anfeg. (O.Moulahoum 1988).

D'après G Vitel (1977), le pluton de Tiferkit serait l'équivalent du granite Iskel daté à 580 Ma dans le Hoggar occidental.

c- Complexe près à Syn-Tectonique »Type ANFEG » :G1

Le massif granitique d'Anfeg constitue, avec le granite de Torssourine et d'Outoul, un vaste complexe migmatitique panafricain. Ils se présentent en forme de feuillets très épais logés au sein des formations gneissiques éburnéennes du Hoggar central.

Ce sont des massifs hétérogènes présentant généralement deux faciès principaux : un faciès central homogène équi-granulaire à grains grossier à amphibole et biotite où à biotite seule et un faciès de bordure hétérogène à grains fins porphyroïde et orienté à phénocristaux de feldspaths roses.

Ces massifs sont globalement concordants avec l'encaissement gneïssique et ne présente souvent pas de limite nette. Quoique par endroit, l'encaissant gneissique est injecté par le granite grossier du faciès central, montrant ainsi des limites assez nettes : l'ensemble est nettement recoupé par des filonnets de granites fins tardifs.

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

Des enclaves de roches basiques grenues et microgrenues sont très abondantes et très caractéristiques pour ces batholites : M.Deschamps 1973, a signalé des migmatites de bordure au sein du granite d'Anfeg. Elles formeraient une zone de transition entre l'encaissement métamorphique et le faciès orienté de bordure, ce qui implique une origine migmatitique et autochtone de ce type de granites.

O.Moulaoum 1988, développe une autre hypothèse, en tenant compte de la nature de quelques contacts de ces granites et de l'encaissant gneïssique, de l'existence d'enclave basique au sein de ces granites et en fin des rapports isotopiques initiaux du Sr faibles. L'auteur conclue alors sur l'origine profonde du granite Anfeg. Le lien génétique entre le granite et l'encaissant gneïssique est d'après cet auteur, très discuté. Quant au faciès migmatitique, il serait dû à une déformation en zone profonde ayant affecté l'ensemble du passif et les gneiss. Cette dernière est antérieure à la mise en place du massif d'Anfeg daté à 615 Ma. (Bertrand et al 1986).

Les granites Anfeg. Torssournine et Outoul, d'affinité calco-alcaline appartiendraient à un épisode magmatique pouvant être corrélé avec le complexe granitique d'Imazzarène du Hoggar occidental (Bertrand et al 1982).

II.4. Tectonique et métamorphisme :

II.4.1. Introduction :

La physionomie actuelle du Hoggar, serait façonnée suite à une succession d'événements très complexe, à savoir : l'Archéen (Ouzalien), Eburnéen et le panafricain (si en exclue un événement hypothétique dit Kibarien). L'orogénèse panafricaine est la mieux exprimée vu sa puissance son extension.

Au cours du panafricain (750-550Ma), le Hoggar a subit un cycle de Wilson complet, une aire d'océanisation suivie d'une subduction puis une collision avec le craton Ouest africain (Black et al 1979).

Cet ancien bouclier est caractérisé par une orientation de structures majeures Nord-Sud le long des grandes zones de cisaillement ($4^{\circ}50'$ et $8^{\circ}30'$) délimitant les trois méga blocs du Hoggar. Les corrélations entre les différents blocs demeurent très difficiles à établir à l'exception des corrélations effectuées sur la base des maigres données géochronologiques disponibles.

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

Ces données ont permis quand même d'établir des corrélations géologiques ayant conduit à l'hypothèse de larges mouvements horizontaux le long des grandes zones de cisaillement (Caby 1968) et au concept d'un amalgame de microplaques (Black et Al 1979 et 1994).

Plusieurs événements orogéniques ont donc affecté le Hoggar :

II.4.2. Evènement Archéen (Ou Ozzalien) (3000Ma) :

Cet évènement, mal défini au Hoggar, repose principalement sur deux mesures géochronologiques 2860 Ma et 3300 Ma (Ferrara et Gravelle 1966, Allegre et Caby 1972, effectuées sur les granulites du môle In Ouzzal.

Il est cependant démontré maintenant que le métamorphisme granulitique est d'âge plus récent, c'est-à-dire éburnéen (Lancelot 1975).

Cependant, des âges plus anciens (3400 Ma), ont été obtenus dans le Hoggar Oriental (Latoouche, 1978). Leur signification orogénique est mal définie. (J.M Bertrand, R Caby, M Leblanc, 1983).

H.Haddoum 1992 considéré cet orogène comme étant une mer peu profonde caractérisée par une mise en place de roches vertes (Komatites), qui serait soumise par la suite à une très forte subsidence due à la tectonique verticale (ancêtre de la subdivision).

II.4.3. Evènement éburnéen :

Cet évènement est reconnu dans plusieurs régions du Hoggar, de l'Aïr et de l'Adrar des Iforas, (Bonhomme; 1962).

Dans le bouclier Ouest-Africain, l'âge de 2000±100Ma est admis pour cet orogène avec des épisodes tardifs allant jusqu'à (1700 Ma) .

Au Hoggar, des âges autour de 2000 Ma, (Picciotto et Al 1965, Bertrand 1974, Vialette et Vitel 1979, Latoouche et Vidal 1974, Bertrand et Lasserre 1976, Caby 1977, Bertrand et Al 1986...), sont obtenus dans diverses régions et testés sur divers types de matériels : granites (Tassendjanet), orthogneiss (Arrechchoum) et granulites (In Ouzzal) etc...

Ces matériaux représentent le substratum des séries panafricaines (J.M.Bertrand, R.Caby et M. Leblanc, 1983).

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

Les phases de plissement et de métamorphisme liées à cet événement orogénique sont pratiquement effacées par le cycle ultérieur panafricain.

II.4.4. Evenementkibarien (1000 Ma) ?:

Ce cycle orogénique hypothétique a été préalablement défini dans la région de Tazzat (Hoggar central) par J.M.L.Bertrand (1974). Des datations géochronologiques effectuées sur les amphibolites de la série de l'Aleksod ont fourni un âge d'environ 1000 Ma.

Cette hypothèse, est basée principalement sur ces quelques données géochronologiques (Bertrand et Lasserre 1976), a été remise en cause ultérieurement par des données provenant d'autres régions (Laboisse et Lancelot 1976) et par l'auteur lui-même (Bertrand 1984 et 1986).

II.4.5. Evénement panafricain : 600Ma

L'événement panafricain (750-550 Ma) a été défini, pour la première fois, par W.Q.Kennedy 1964, pour opposer les zones mobiles panafricaines aux cratons stable éburnéen (2000 Ma), recouverts par des sédiments de plateforme d'âge protérozoïque supérieur et terminal. Il a été reconnu ultérieurement par plusieurs auteurs (Bertrand 1965, Gravelle 1969, Caby 1970, Latouche 1978, Black 1979, Vitel 1979, Boullier 1981....

Le panafricain affecte l'ensemble des formations du Hoggar et se manifeste principalement par trois phases de déformations successives.

II.4.5.a. Panafricain précoce :

a- Une déformation tangentielle ductile (D1) : à vergence Nord, génératrice de grands plis couchés P1 d'axes N110°- 140° et de grandes nappes de charriage du socle accompagnées parfois de lentilles éclogitiques (Bertrand 1974, Sautter 1978). Les indices de cette tectonique tangentielle en conditions ductiles et profondes, ayant donné naissance à des mylonites subhorizontales, ont été mis en évidence dans deux secteurs distincts : l'un au Sud de Tahalra ; zone de Tinef, et l'autre au Sud d'In Amguel (A.M.Boullier et J.M.Bertrand 1981).

Cette déformation est accompagnée d'un métamorphisme de haut degré (faciès amphibolite à granulite).

b- La seconde phase de déformations souples (D2) : est marquée par la mise en place des plis isoclinaux droits à déversés P2 de faibles amplitudes et d'axes N30° accompagné d'un

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

métamorphisme à disthène- grenat-silimanite et également de la mise en place de grands décrochements senestres d'orientation N330 parfois de grandes amplitudes (300 Km Caby et al 1972).

II.4.5.b. Panafricain tardif :

a- Une déformation souple D3 responsable de la mise en place de plis isoclinaux droits P3 très serrés d'orientation NS accompagnée d'une rétomorphose dans le faciès des schistes verts. Cette déformation est suivie de la mise en place de grands décrochements dextres de caractère également mylonitique de faibles amplitudes engendrant des plis d'entraînement d'axes sub-verticaux.

Les déformations cassantes ont donné naissance à la structuration en bloc du Hoggar le long des puissantes zones mylonitiques (Vittel 1975, Caby 1978, Black 1979, 1984 et 1994).

D'après R.Caby 1970, ces grands accidents sub-verticaux délimiteraient des compartiments souvent dissemblables et appartiendraient à un même système ayant affecté l'ensemble de l'Ahaggar , l'Adrar des Iforas et l'Aïr. Certains d'entre eux s'étalent sur plus de 1000 Km.

Les accidents décrochant 4°50 ,8°30 et Ouest Ouzzalien, sur lequel viennent se greffer obliquement un grand nombre de décrochements satellites, représenteraient les principaux décrochements majeurs .

Nous pouvons résumer cette évolution tectonique en trois phases :

Phase 1 : DEFORMATION DUCTILE PRECOCE (D1) :

Elle correspond à une tectonique tangentielle précoce se manifestant par :

- La mise en place de grandes nappes de charriages d'origine crustale associées généralement à des lentilles éclogitique.
- La mise en place des plis (P1) isoclinaux couchés d'axes N110°.
- La mise en place de plutonisme calco-alcalin de type Anfeg.
- Un métamorphisme de HT-BP (faciès amphibolite à granulites).

Phase 2 : DEFORMATION DUCTILE TARDIVE (D2) :

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

Elle correspond à un épisode compressif affectant toutes les formations du Hoggar et responsable de :

- La mise en place de plis isoclinaux droits à déversés (P2), à axes subhorizontaux d'orientation N30.
- Décrochements senestres N330°.
- La mise en place des intrusions granitiques G2, contrôlées par les décrochements N30°.

(Granites alcalins, tonalites, gabbros).

- Métamorphisme à grenat-disthène-silimanite.

Phase 3 : DEFORMATION ULTIME P3 :

Elle correspond à un coulissement le long des couloirs mylonitiques subméridiens, elle est accompagnée par :

- La mise en place de plis isoclinaux droits très serrés d'orientation NS.
- La mise en place des décrochements dextres N30°.
- Rejeu tardif des accidents mylonitiques subméridiens accompagnés par la mise en place des plis d'entraînement à axes subverticaux.
- Mise en place des granites post-tectoniques de type Taourirt.

II.4.6. Conclusion :

La région de Tamanrasset est un site privilégié pour les études géologiques; en particulier celles qui s'intéressent à la tectonique des plaques et à l'évolution de son fonctionnement au cours des temps. Siège d'orogénèses successives, il offre, sur une relativement faible surface, un exemple de problèmes qui se posent à l'échelle des continents. Les traits qu'il recèle sont d'autant plus intéressants qu'ils englobent autant les temps les plus reculés de la vie de la Terre et de ses continents que les derniers soubresauts de celle-ci. On y cherche ainsi aussi bien les signes d'une tectonique primitive archéenne et paléo protérozoïque singulière que ceux de la tectonique des plaques moderne au Panafricain ou les manifestations d'un volcanisme intraplaque cénozoïque-

quaternaire. On comprend alors l'intérêt qu'il a suscité, depuis plus de trois-quarts de siècle, depuis les illustres travaux de Kilian et de Lelubre, chez de nombreux géologues.

II.5. RESSOURCES MINERALES

Les ressources minérales découvertes jusqu'à présent dans le périmètre de la feuille de Tamanrasset au 1/500 000 sont nombreuses et très importantes. Sur la base d'un inventaire des indices et gîtes minéraux établi sur la carte géologique au 1/1.000.000 du Hoggar (Armines 1977 puis par Syntchouk 1984 et actualisé récemment par O. Haddouche 1999, Fig) Nous donnerons ici les principaux indices prospectifs et gisements de la région puis une synthèse complète de toutes les minéralisations découvertes jusqu'à présent sur cette feuille.

II.5.1. Minéralisations aurifères :

Les principales minéralisations aurifères sont portées par des filons de quartz, localisés à l'Est de l'accident 4°13' du fossé pharusien central, suivant le couloir de Tiguaouine, Tin-Felki et Tesnou.

Parmi les nombreux indices découverts on peut citer les indices de Tékouyat, Tassekret.

II.5.2. Minéralisation Wolfram – Etain :

Les minéralisations Wolfram – Etain sont généralement liées spatialement et génétiquement aux granites post-tectoniques de Taourirts, encaissés par des leucogranites à Albite – Topase (Bouabsa, 1987 et Moulahoum 1988). Les indices et gisements les plus importants sont : Gisement de Tin amzi, Elkaroussa, Alméda, Taessa, Tin Tagane et In tounine.

II.5.3. Minéralisation de cuivre :

De nombreux indices de cuivre ont été découverts dans la région et sont associés à la série volcano-sédimentaire du Protérozoïque supérieur. Le plus important est l'indice de Tan chaffao.

II.5.4. Minéralisation de chrome-Nickel-Cobalt :

II.5.5. Minéralisation de Fer- Manganèse :

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

Les minéralisations de ce type sont localisées surtout dans les quartites de l'Archéen. L'indice le plus reconnu dans la région est celui de Takhamalt- In Rabir.

II.5.5.6. Selon le type de minéralisation on peut citer :

1. Les minéralisations auro-Argentifères
2. Les minéralisations à Terres rares

II.5.7. Selon l'importance économique on peut citer

1. Des gisements
2. Des indices
3. Des points minéralisés (PM)
4. Des anomalies géochimiques (AG)
5. Anomalies minéralogiques (AM)

II.5.8. Conclusion :

Des gisements d'or, wolfram et d'étain constituent un potentiel minier majeur à exploiter ou à explorer dans le futur.

Et notons aussi la présence d'indices prometteurs de terres et de métaux rares qui peuvent être plus minutieusement étudiés surtout à une époque où la demande de ces minerais est en hausse.

CHAPITRE III: Le SIG de Tamanrasset

III.1. Rappel théorique :

III.1.1. Définition d'un Système d'Information Géographique :

Géomatique :

Traitement informatique des données géographiques (obtenues par la topométrie, la cartographie, la géodésie, la photogrammétrie, la télédétection...). (Petit Robert 2014)

Un Système d'Information Géographique (SIG) est un système d'information capable 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, tectonic...) structurées dans des bases de données numériques.

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. Ce cadre commun est fixé légalement.

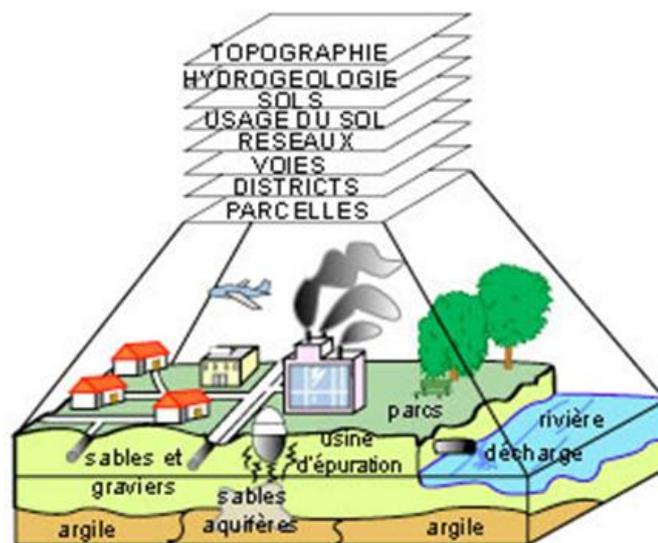


Figure III. 1: Base de données géographiques

III.1.2. Les composantes d'un SIG :

Un système d'information géographique est constitué de cinq composants majeurs.



Figure III. 2: Composante d'un SIG

III.1.2.1. Données :

C'est l'élément primordial d'un SIG. On a trois types de données :

III.1.2.1.a. Données géographiques :(ou spatiales liés à

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...).

III.1.2.1.b. Métadonnées :

CHAPITRE III : LE SIG TAMANRASSET

Ce sont les données associées telle que la date d'acquisition, le nom, la méthode d'acquisition etc. ...

III.1.2.2. Outils :

L'**outil informatique** nécessaire à la mise en place d'un SIG se compose :

-d'une station de travail (ordinateur dédié à la cartographie)

-d'un logiciel SIG (ArcGis dans notre cas) qui assure les six fonctions suivantes :

- saisie des informations géographiques sous forme numérique (Acquisition)
- gestion de base de données (Archivage)
- manipulation et interrogation des données géographiques (Analyse)
- mise en forme et visualisation (Affichage)
- représentation du monde réel (Abstraction)
- la prospective (Anticipation).

-et d'un périphérique dédiés (scanner, traceur, etc...)

III.1.2.3. Utilisateurs :

Comme tous les utilisateurs d'un SIG ne sont pas forcément des spécialistes, un tel système propose une série de boîtes à outils qu'on assemble pour réaliser son projet.

Le niveau de compétences requis pour la conduite des opérations les plus basiques, est généralement celui d'un 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.

III.1.2.4. 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.1.3. Présentation des données dans un SIG :

III.1.3.1. Mode raster :

Les données raster ont comme élément essentiel le pixel (Picture Element). Elles proviennent soit d'un scannage d'une carte, soit d'une image numérique telle que les photos satellitaires (Fig.03). Les pixels sont répartis dans un raster de façon régulière.

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.



Figure III. 3: Exemple de quelques données Raster (a: image satellitaire, b: image scannée, c: ortho photo aérienne) (BONNET M.2012)

III.1.3.2. Mode vecteur :

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

- **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.

- **Les lignes :**

CHAPITRE III : LE SIG TAMANRASSET

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

- **Les polygones :**

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

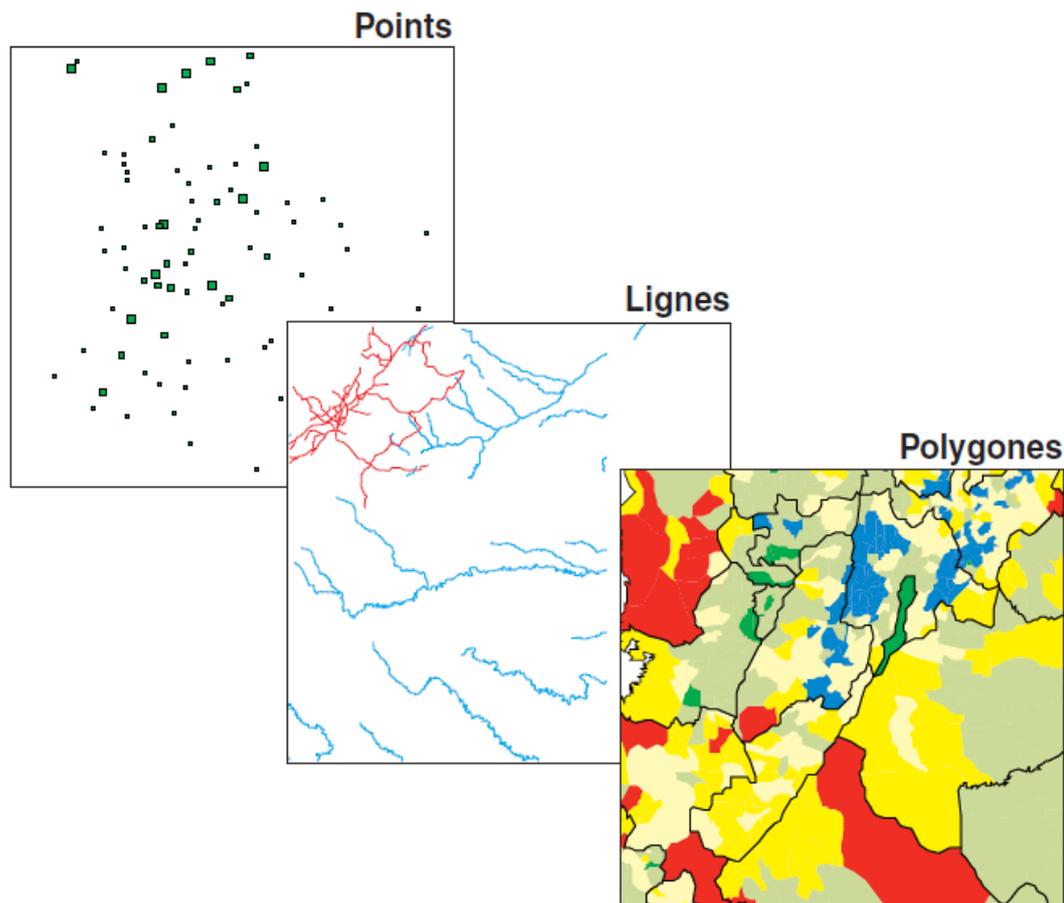


Figure III. 4: *Exemple de données vecteurs*

III.1.3.3. 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 a ces avantages et ces inconvénients et le recours à l'un ou à l'autre n'est pas toujours une tâche facile, car ce sont les objectifs et surtout les sources de données du projet qui orientent le choix de l'utilisateur. Certaines applications peuvent même faire appel aux deux modes (tableau01) [CLARMUNT G.1991 in OUHTIY].

CHAPITRE III : LE SIG TAMANRASSET

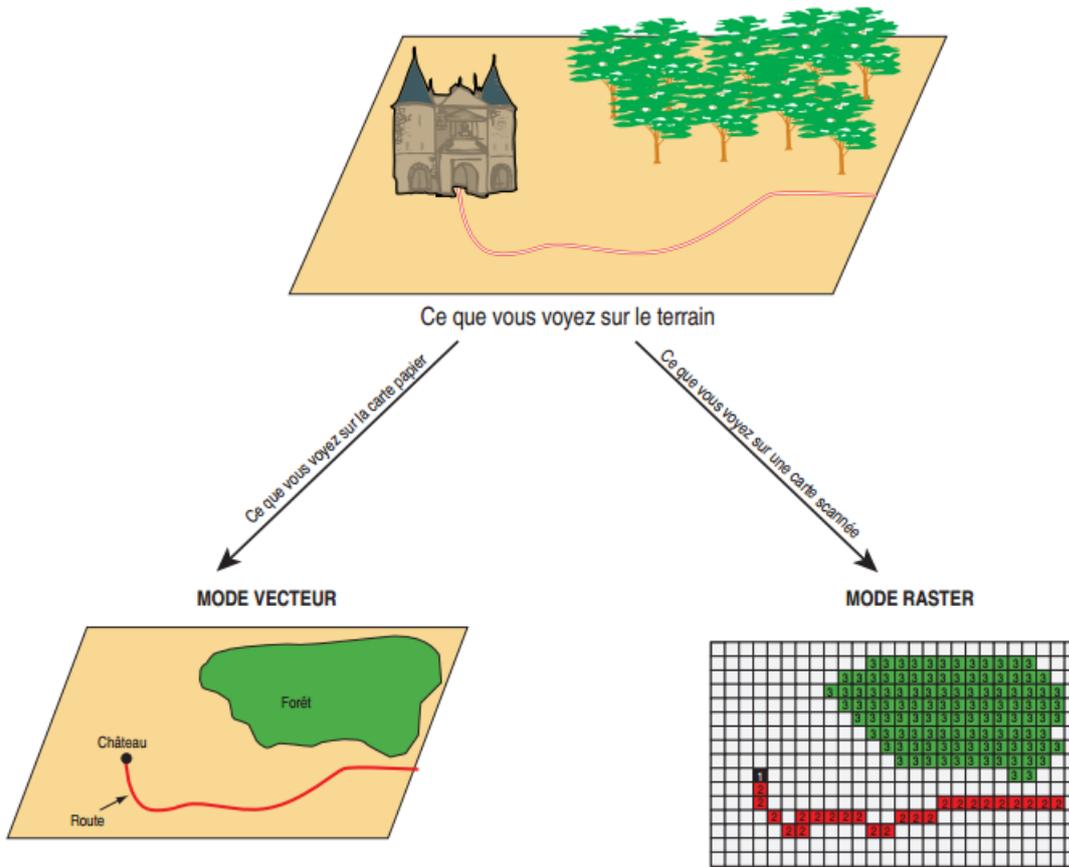


Figure 5: mode de représentation de l'information géographique dans un SIG

	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 III. 1: *Avantages et inconvénients des deux modes raster et vecteur*

Que nous permet de faire un SIG? :

Il nous permet de :

- disposer les objets dans un système de référence géoréférencié.
- 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.1.4. SIG et Géologie:(Géomatique Expert-N°49- Février-Mars 2006)

III.1.4.1. Construction du SIG géologique:

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

- Décrire fidèlement et de manière exhaustive le contenu de la carte géologique.
- Associer les différents objets constitutifs de la carte dans des thèmes conformes à leur signification géologique.
- Mettre à disposition un outil à potentiel d'analyse optimum.

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

III.1.4.2. Architecture du modèle spatial :

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

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

CHAPITRE III : LE SIG TAMANRASSET

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

III.1.4.3. Méthode de construction d'un SIG :

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

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

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

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

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

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

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

III.1.5. Le SIG sous ArcGis:

III.1.5.1. Définition :

ArcGis est un logiciel permettant d'exploiter un système d'information géographique (SIG).

Un logiciel SIG comme cité auparavant, permet l'acquisition, le stockage, la mise à jour, la manipulation, et le traitement de données géographiques. De plus, il permet de faire de la cartographie et de l'analyse spatiale de façon précise en fonction de l'échelle désirée.

ArcGis est constitué des interfaces ArcMap, ArcCatalog et accessoirement d'une interface ArcToolBox.

III.1.5.2. Fonctionnement d'un SIG sous ArcGis :

III.1.5.2.a. Couches :

Les données sont stockées sous format numérique et organisées par couches (appelées « shapefiles » dans ArcGis)

Chaque couche va contenir un ensemble unique de données, et c'est en rassemblant l'ensemble des couches que l'on obtiendra la carte finale représentant toutes les données géographiques pertinentes.

III.1.5.2.b. Références géographiques :

Pour étudier une carte, deux types de données sont pris en compte :

Les données attributaires ainsi que les données spatiales.

III.1.5.2.c. Présentation de l'interface ArcMap :

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

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

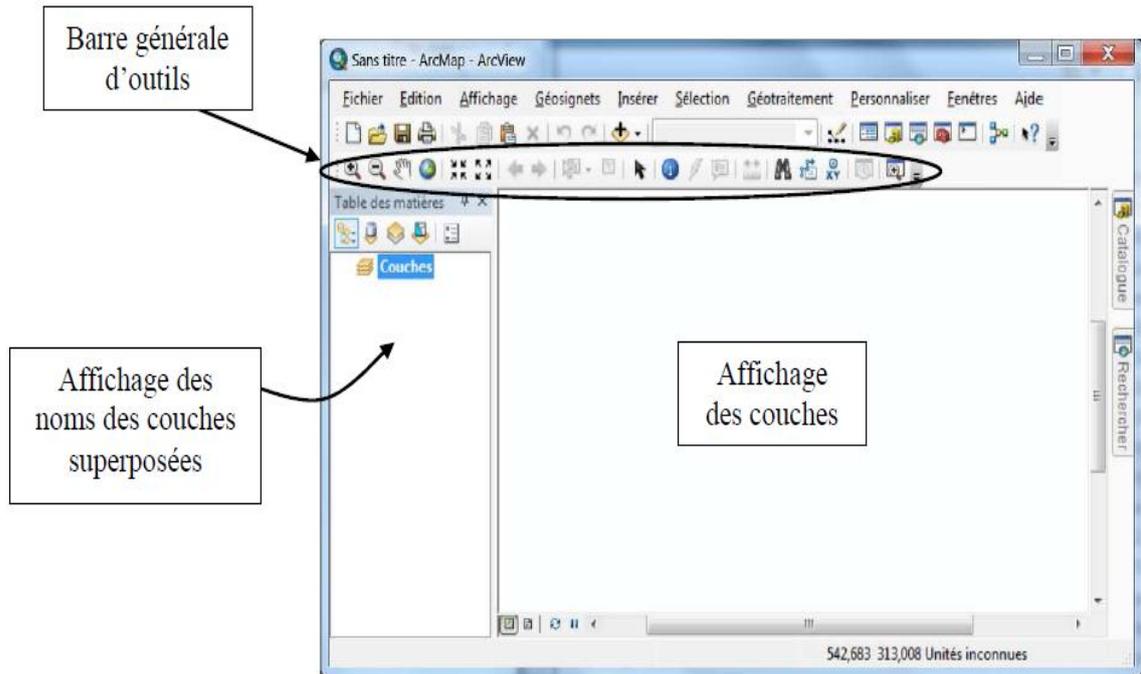


Figure III. 6: interface ArcMap

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.

III.1.5.2.d. Présentation e l'interface 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.

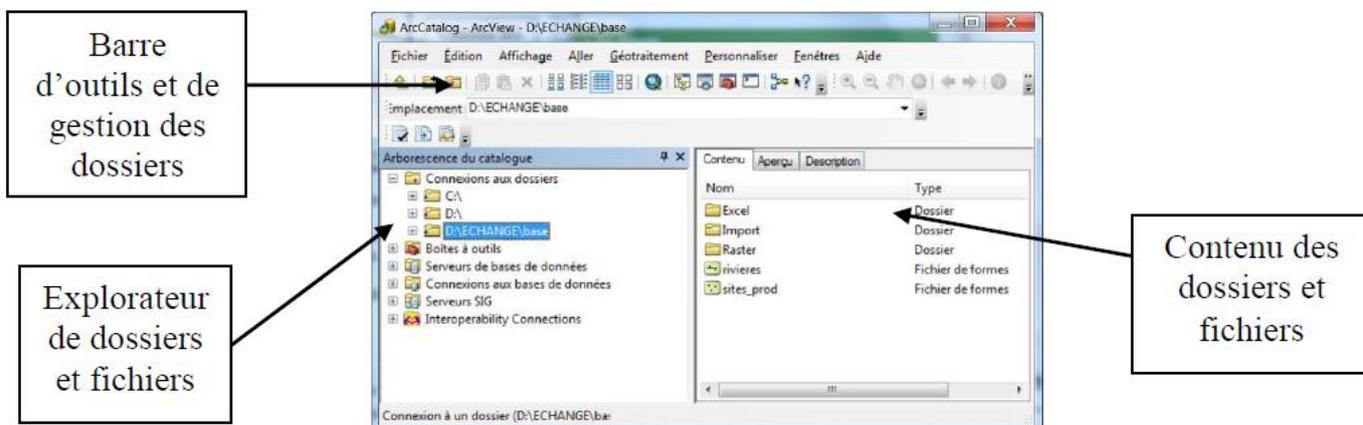


Figure III. 7: interface ArcCatalogue

CHAPITRE III : LE SIG TAMANRASSET

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

- -Créer de nouvelles données (couches/shapefiles, géodatabases ...) ou 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.

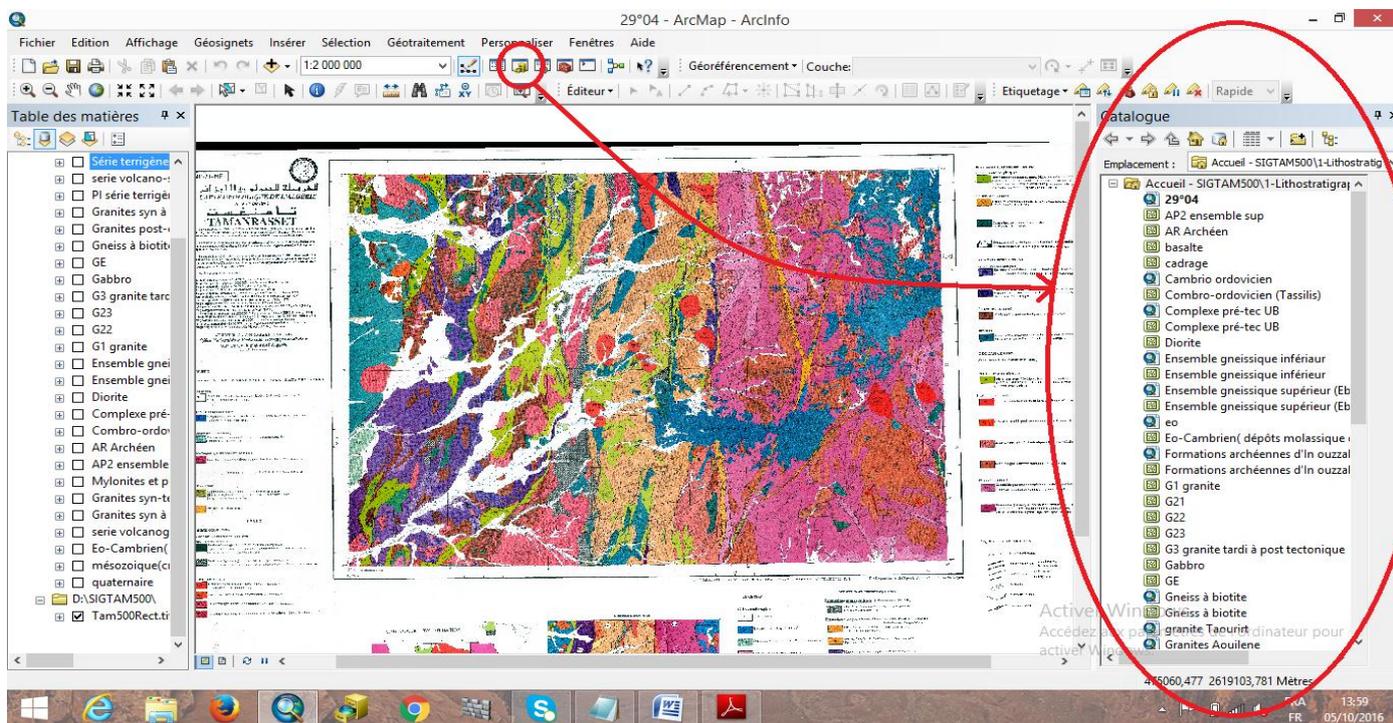


Figure III. 8: interface ArcCatalogue au travers ArcMap

III.1.5.2.e. Présentation de l'interface 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.

CHAPITRE III : LE SIG TAMANRASSET

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

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

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

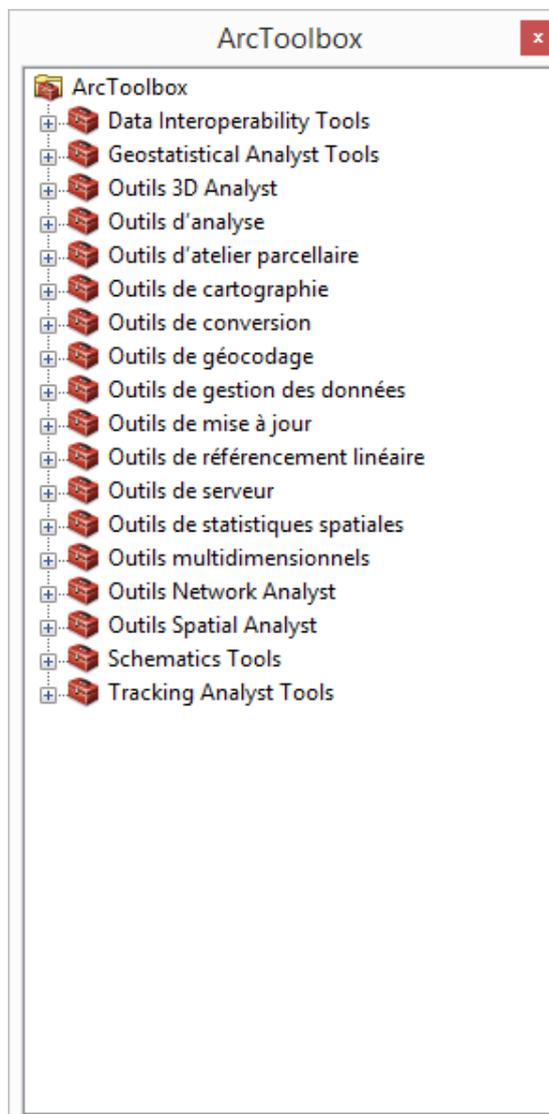


Figure III. 9: interface ArcToolBox

III.1.5.2.f. Le document MXD :

La mise en forme des fenêtres, la mise en page, le choix des styles pour les objets cartographique, le positionnement des étiquettes, etc... sont autant d'opérations qu'on aimera sauvegarder pour ne pas avoir à les reproduire à chaque ouverture d'ArcMap.

Le document de travail (.mxd) nous permet de sauvegarder une session de travail.

Afin d'enregistrer l'état d'avancement de notre travail, il suffit d'aller dans le menu >Fichier>Enregistrer sous...(entrer le nom du fichier)

Il est aussi possible d'enregistrer le « chemin relatif » des couches utilisées.(fig : 10)

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 ça il faut aller dans le menu fichier>propriétés de la carte> puis cocher – Enregistrer le chemin relatif aux sources de données> Ok.

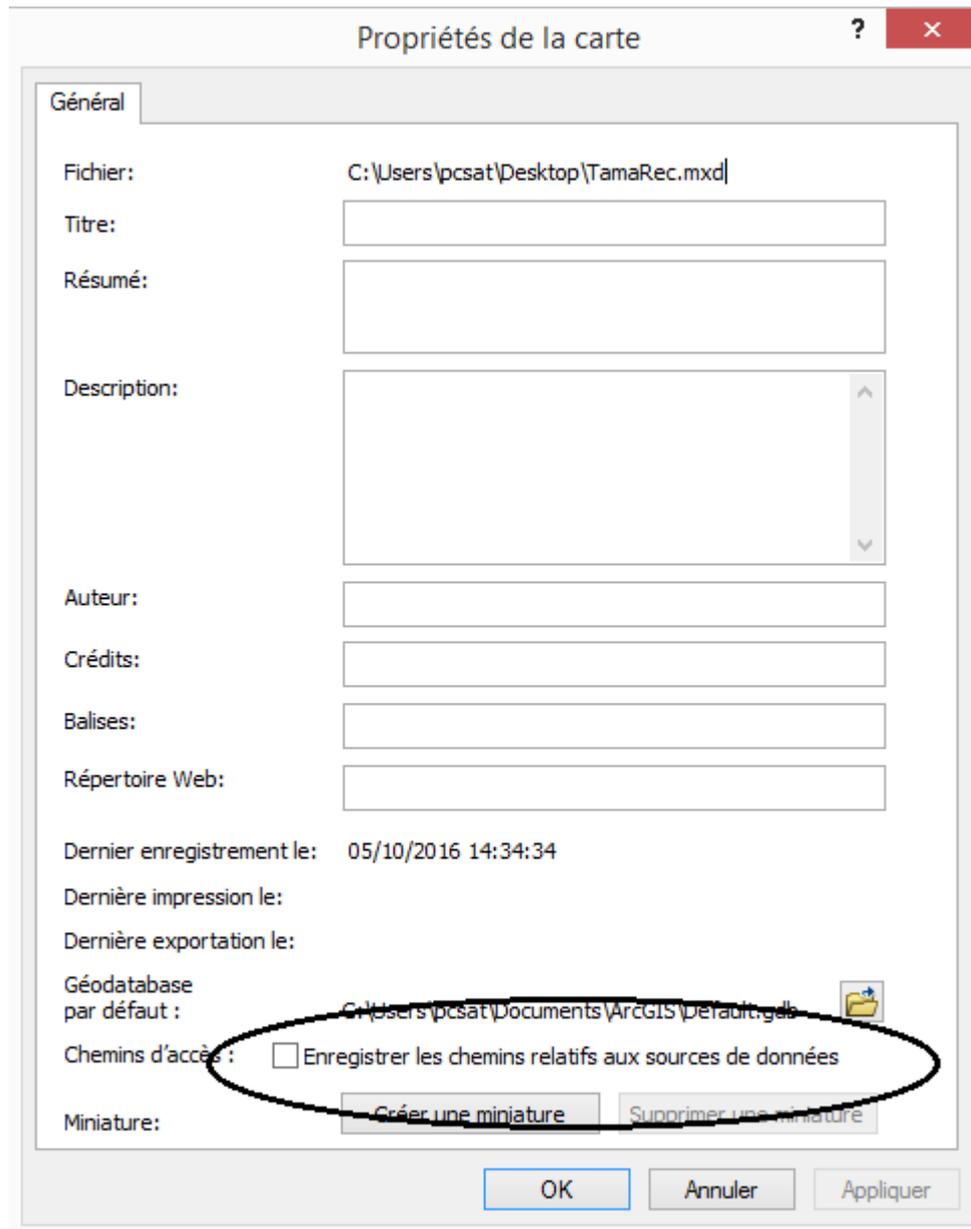


Figure III.10: fenêtre des propriétés de la carte

III.2. Application à la feuille au 1/500.000 de Tamanrasset

Le traitement des données s'est fait à l'aide d'ArcGis, ce dernier a facilité la vectorisation d'une carte raster scannée avec une résolution qui avoisine les 300dpi.

III.2.1. Etapes suivit pour la réalisation du projet :

❖ Rappels et explications :

- **Systèmes de coordonnées géographiques :**

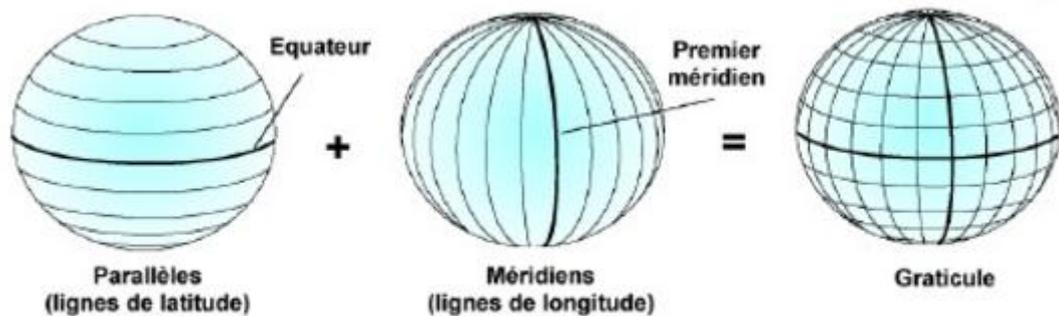
Coordonnées en :

CHAPITRE III : LE SIG TAMANRASSET

-Latitudes (0 à 90° au Nord et au Sud de l'Equateur)

-Longitudes (0 à 90° 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 un 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 géographiques 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, elle permet aussi le calcul des distances et des surfaces.

La projection UTM découpe la terre en 60 fuseaux de 6° de part et d'autre de l'équateur.

Ex : L'Algérie se situe en zone 31N (mais aussi 29,30 et 32).

CHAPITRE III : LE SIG TAMANRASSET

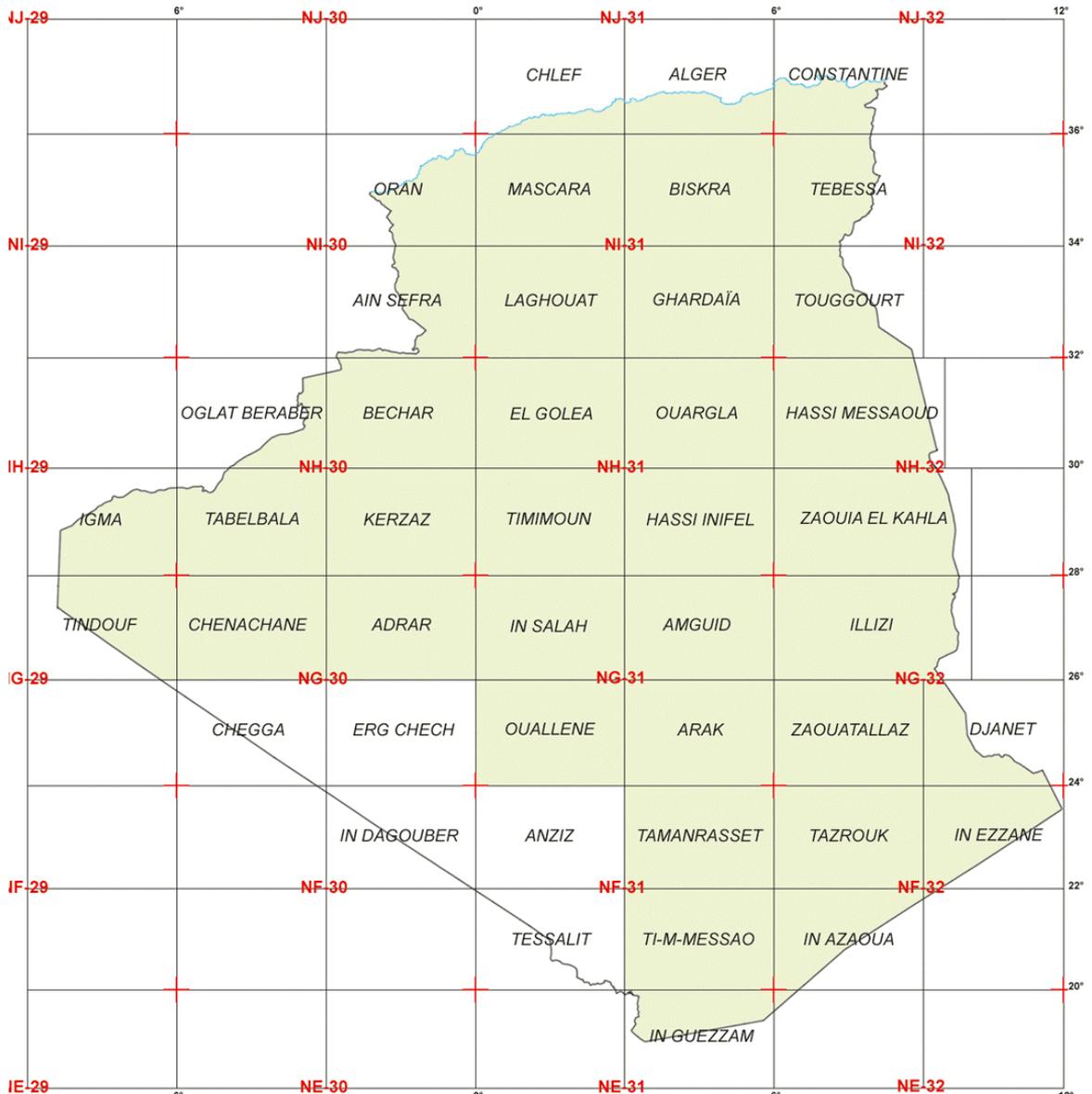


Figure III.11: les fuseaux horaires dont lesquels est situés l'Algérie

III.2.1.1. Géoréférencement de la carte de Tamanrasset à 1/500 000 :

Comme il a été expliqué ci-dessus ; la projection d'une carte/couche est très importante. Par ailleurs pour travailler proprement et correctement on doit œuvrer sur un système de projection unique dans la mesure du possible (UTM>Nord Sahara 31 pour notre carte). Ceci évite les déformations sur les entités ainsi que les erreurs lors de calculs d'analyse spatiale, ne serait-ce que pour calculer les distances et les surfaces.

Pour attribuer un système de projection lorsqu'il n'est pas reconnu, il faut ouvrir ArcCatalog ainsi qu'ArcMap, et suivre les instructions suivantes :

CHAPITRE III : LE SIG TAMANRASSET

Ouvrir tout d'abord une carte vierge

Puis avec un clic-droit sur couches

> Propriétés> Prédéfini>ProjectedCoordinateSystems> UTM>Africa> Nord_Saraha_1959_Zone31N (fig : 12)

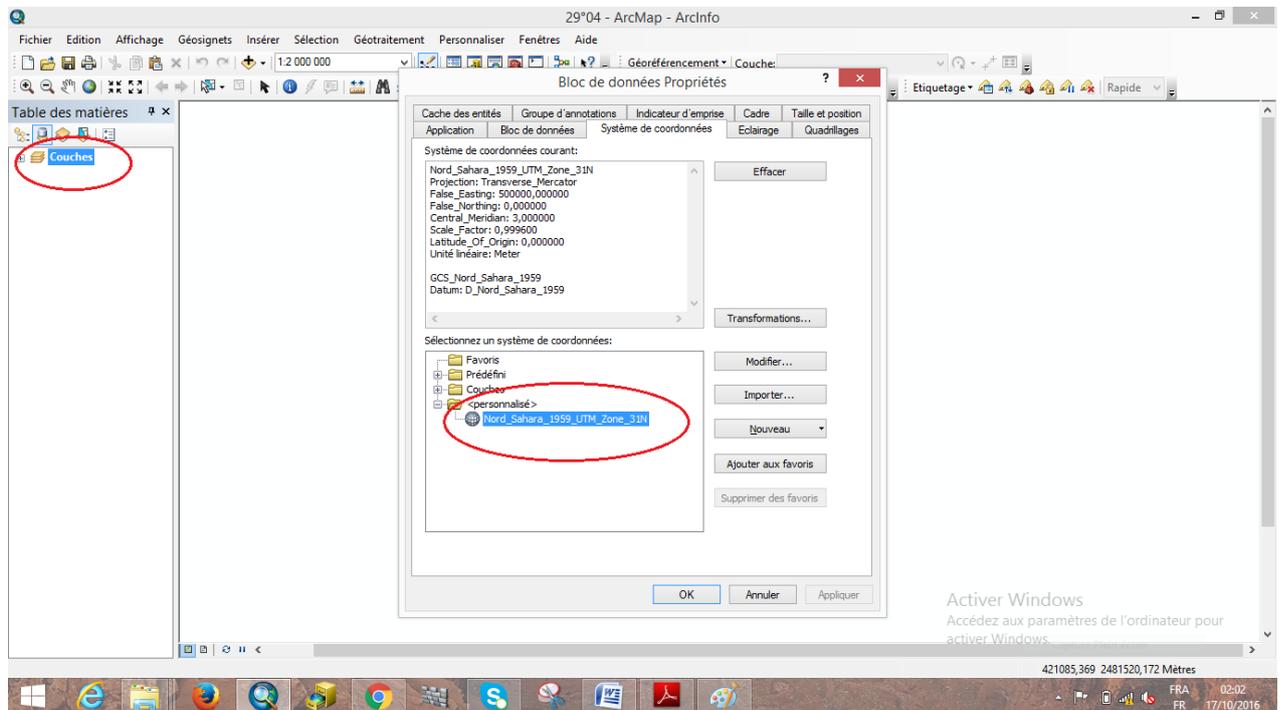


Figure III. 12: choix de la projection de la zone UTM

Ensuite aller sur ArcCatalog où l'on cherchera le dossier dans lequel la carte à géoréférencier se trouve, puis avec un clic-droit sur la carte on suivra les mêmes étapes que pour Couches.

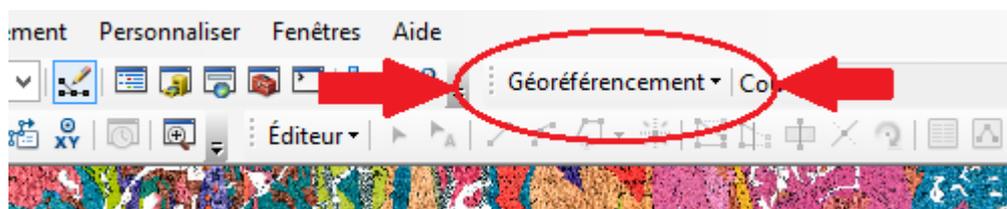


Figure III. 13: outil de géoréférencement

Ensuite on accède à l'outil de géoréférencement depuis ArcToolBox et on suit la procédure suivante :

CHAPITRE III : LE SIG TAMANRASSET

Décocher l'ajustement automatique > clic sur  > Entrer DMS > y introduire quatre points selon la projection initiale de la carte raster > clic sur  > cocher l'ajustement automatique.

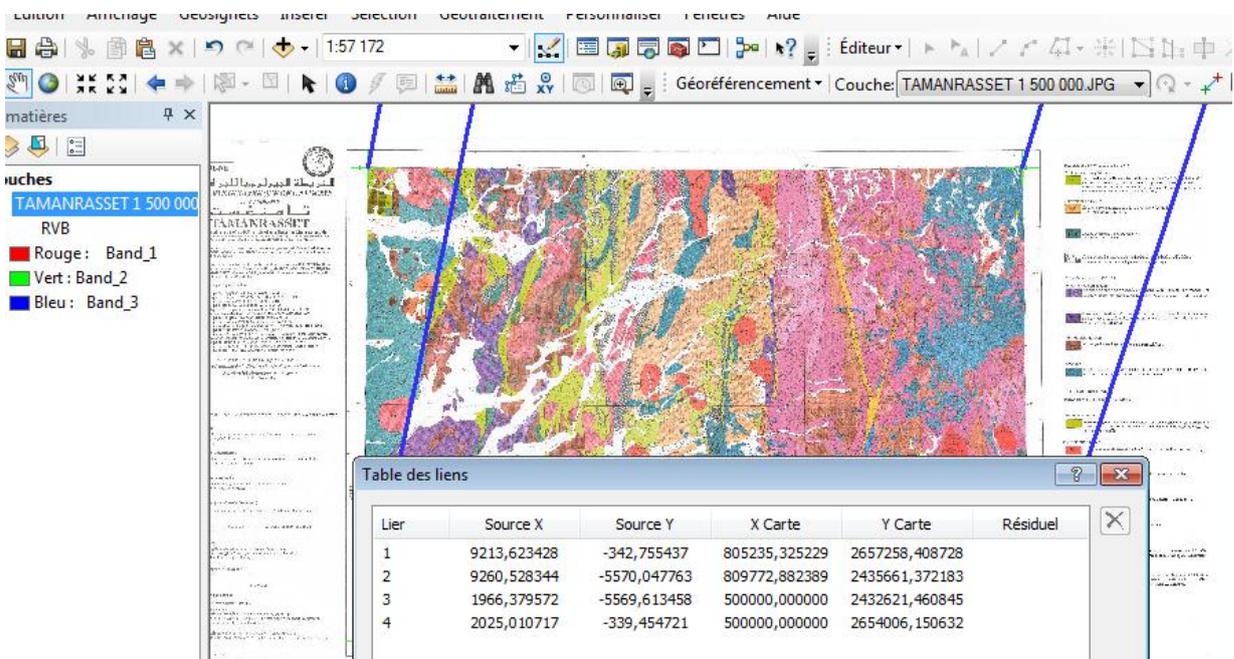


Figure III. 14: calage de la carte géologique

III.2.1.2. Vectorisation de la carte de Tamanrasset 1/500 000 :

Une vectorisation est le passage d'un format raster (où l'information est contenue dans des pixels) à un format vecteur (l'information est contenue dans des entités de type point/ligne/polygone) à l'aide d'ArcGis.

Les éléments géométriques utilisés diffèrent selon les types d'objets à digitaliser :

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

Le résultat sera une image en mode « vecteur ».

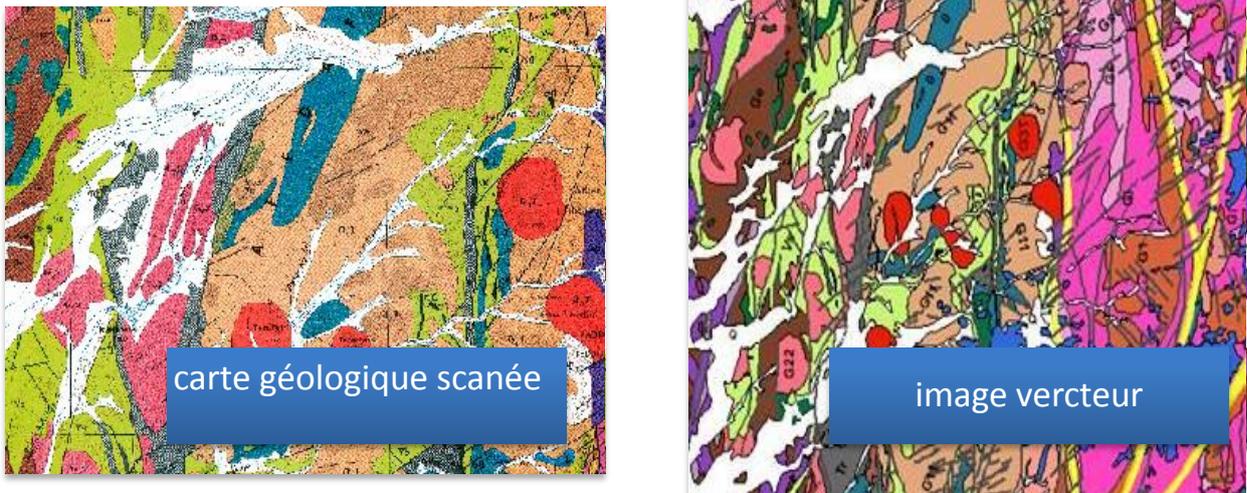


Figure III. 15: de la carte vers l'image vecteur

La création de couches se fait en deux temps.

Il faut d'abord créer la structure de la couche et bien réfléchir aux informations qu'elle doit contenir puis remplir la table attributaire.

III.2.1.2.a. Création d'une couche :

La création d'une couche doit être précédée d'une étape de réflexion sur la modélisation de la formation à intégrer dans le SIG.

Une collection d'objets de même type sémantique correspond à une couche (fichier de forme sous ArcGis), et tous les objets d'une même couche doivent être du même type géographique (point, ligne ou encore polygone).

Chaque objet géographique stocké dans une couche est doté d'un certain nombre d'attributs (champs), qui sont définis ultérieurement, lors de la modification de la structure de la couche.

III.2.3.2.b. Vectorisation surfacique :

Les entités surfaciques sont des surfaces entièrement fermées par des segments de ligne droite, des arcs circulaires, des arcs elliptiques et des courbes de Bézier entre les sommets. Elles permettent de représenter des entités naturelles et conformes à l'exécution qui sont dotées de régions planes fermées.

CHAPITRE III : LE SIG TAMANRASSET

La création d'entités surfacique se fait à l'aide de l'outil Polygone .

Afin de vectoriser les couches lithostratigraphique de la feuille de Tamanrasset/500 000, on a suivit la procédure suivante :

Ouvrir ArcCatalog>clic-droit sur le dossier cible >nouveau >fichier de formes>(fig :16) nommer le fichier >définir le type d'entité (dans ce cas polygone) et le système de projection>OK.(fig : 17)

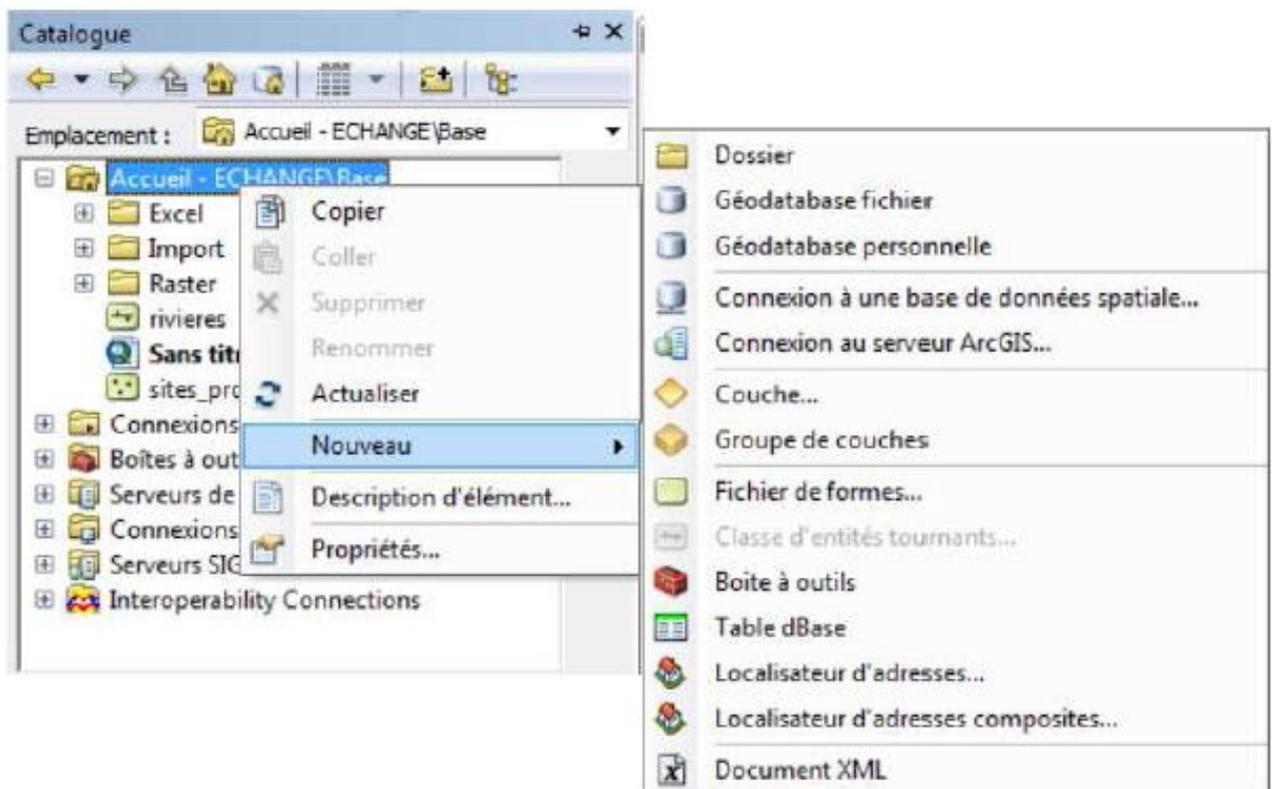


Figure III. 16: ouvrir un nouveau fichier de forme

CHAPITRE III : LE SIG TAMANRASSET

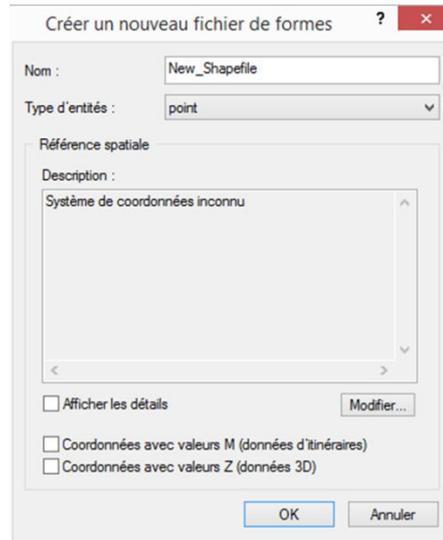


Figure III.17: fenêtre de fichier de forme

Puis aller sur l'outil éditeur (fig : 18)



Figure III. 18: outil éditeur

>Ouvrir une nouvelle session d'édition> puis entamer la vectorisation de nos formations en suivant les limites de des formations polygonales sur la carte raster géoréférencée.

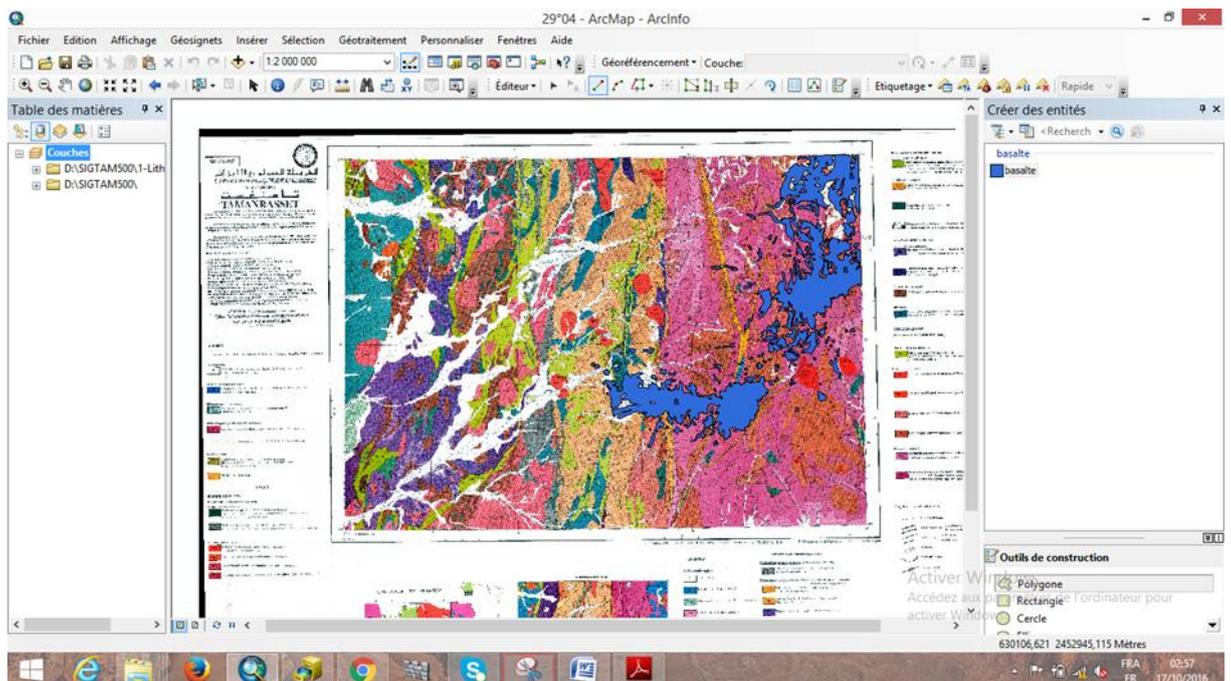


Figure III.19: exemple de vectorisation surfacique de basalte

CHAPITRE III : LE SIG TAMANRASSET

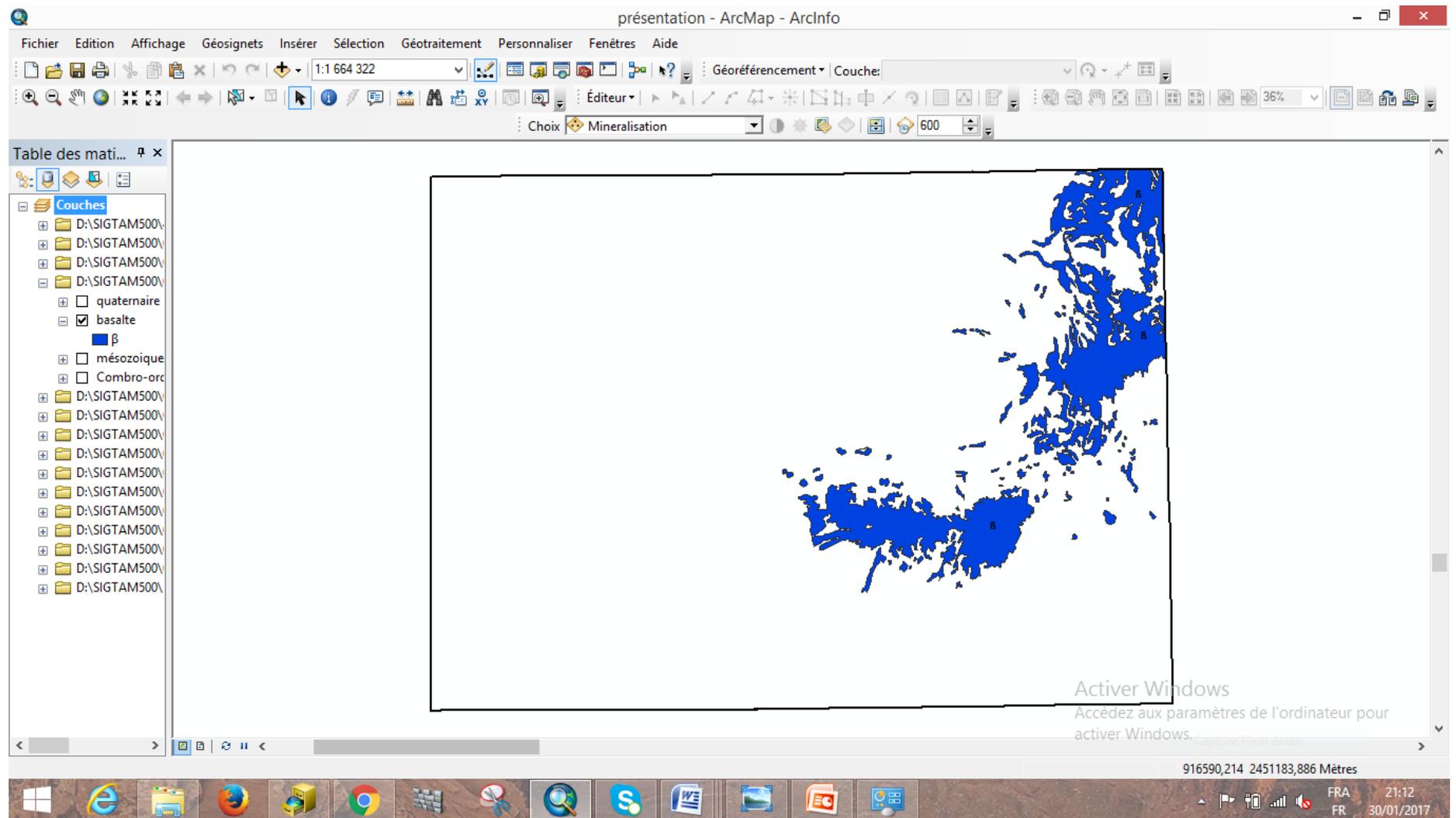


Figure III. 20: exemple de vctorisation (couche basaltique)

CHAPITRE III : LE SIG TAMANRASSET

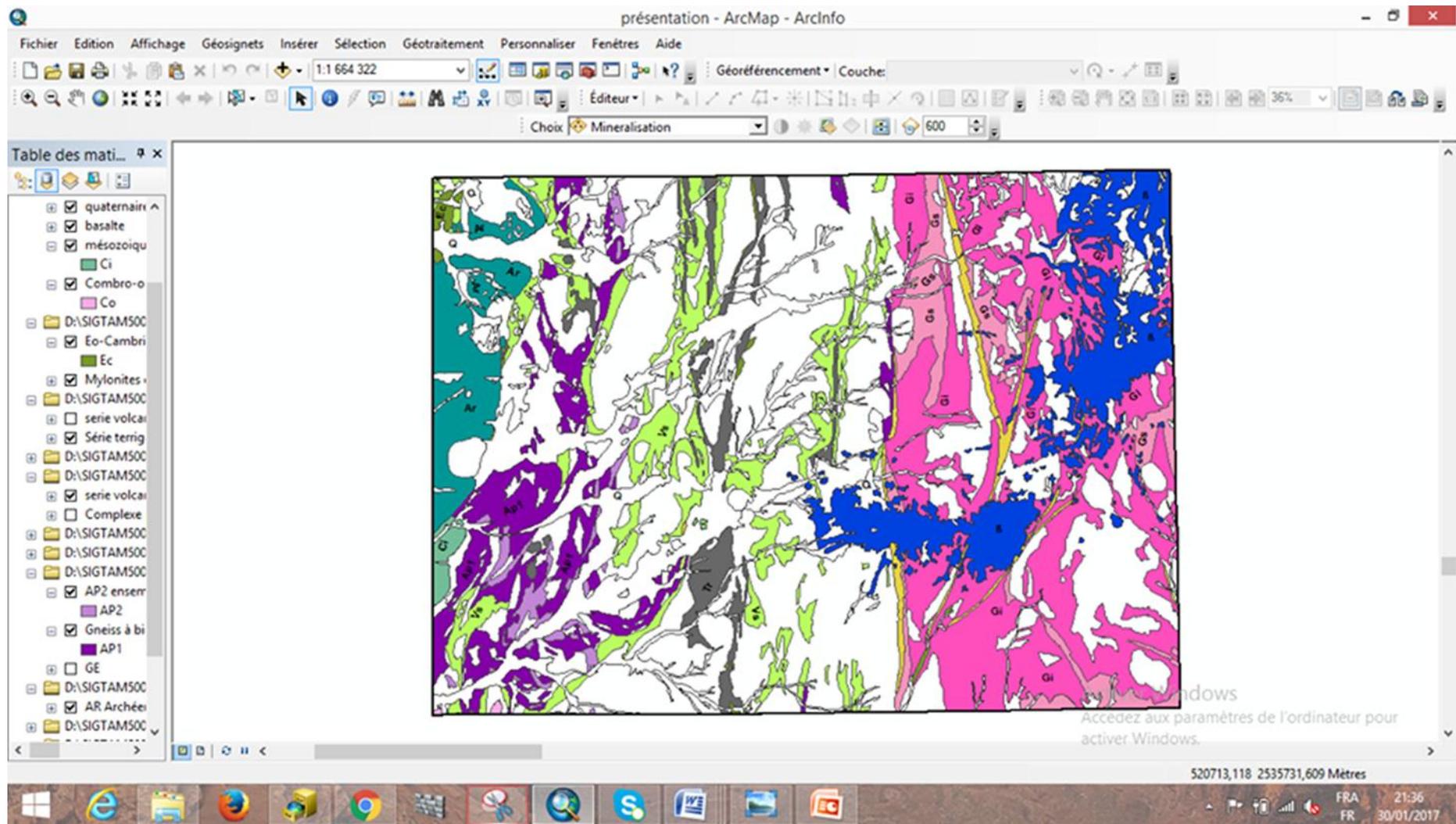


Figure III.21.a: couches lithostratigraphique vectorisées

CHAPITRE III : LE SIG TAMANRASSET

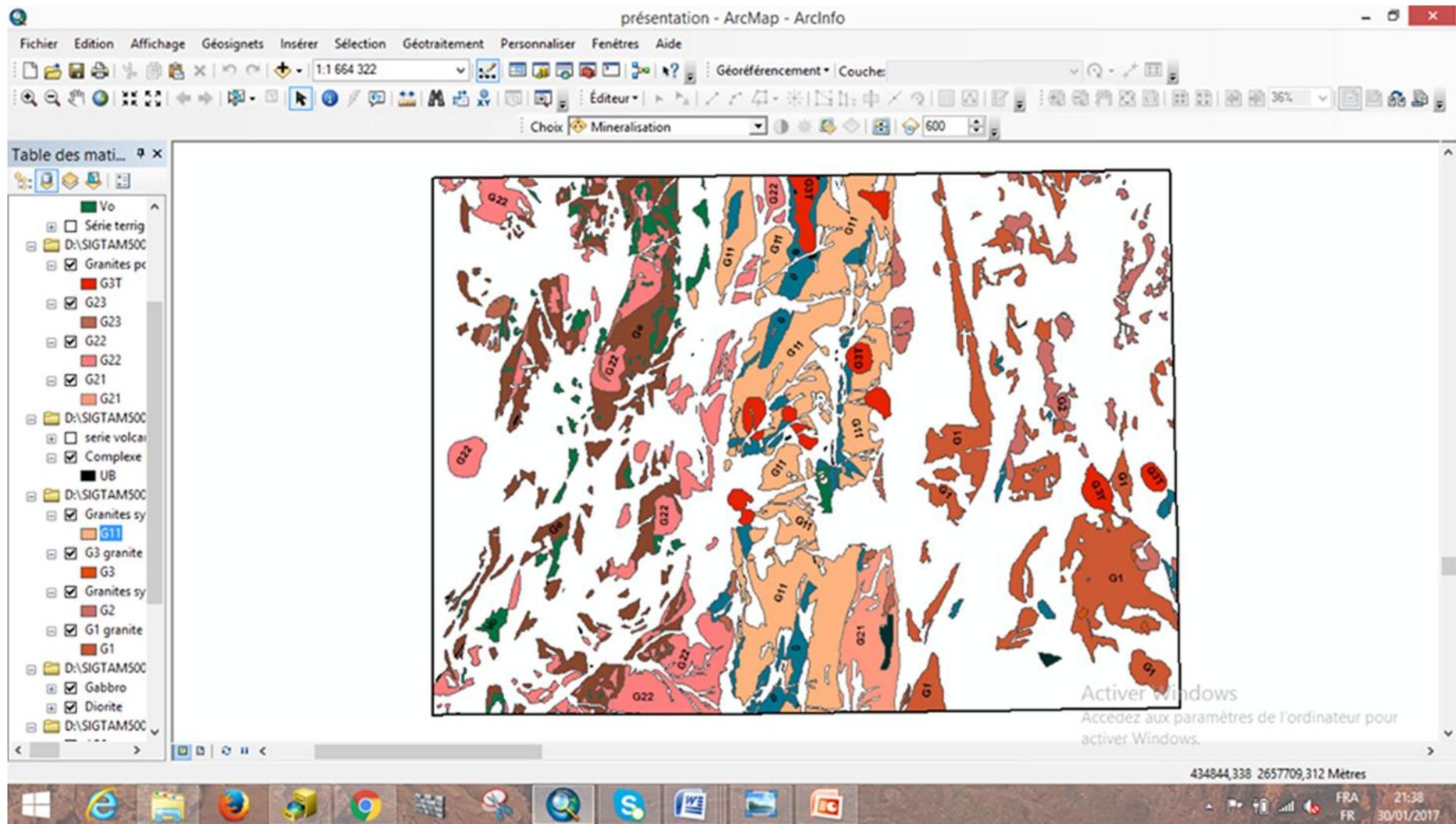


Figure III 21.b: couches magmatiques vectorisées

CHAPITRE III : LE SIG TAMANRASSET

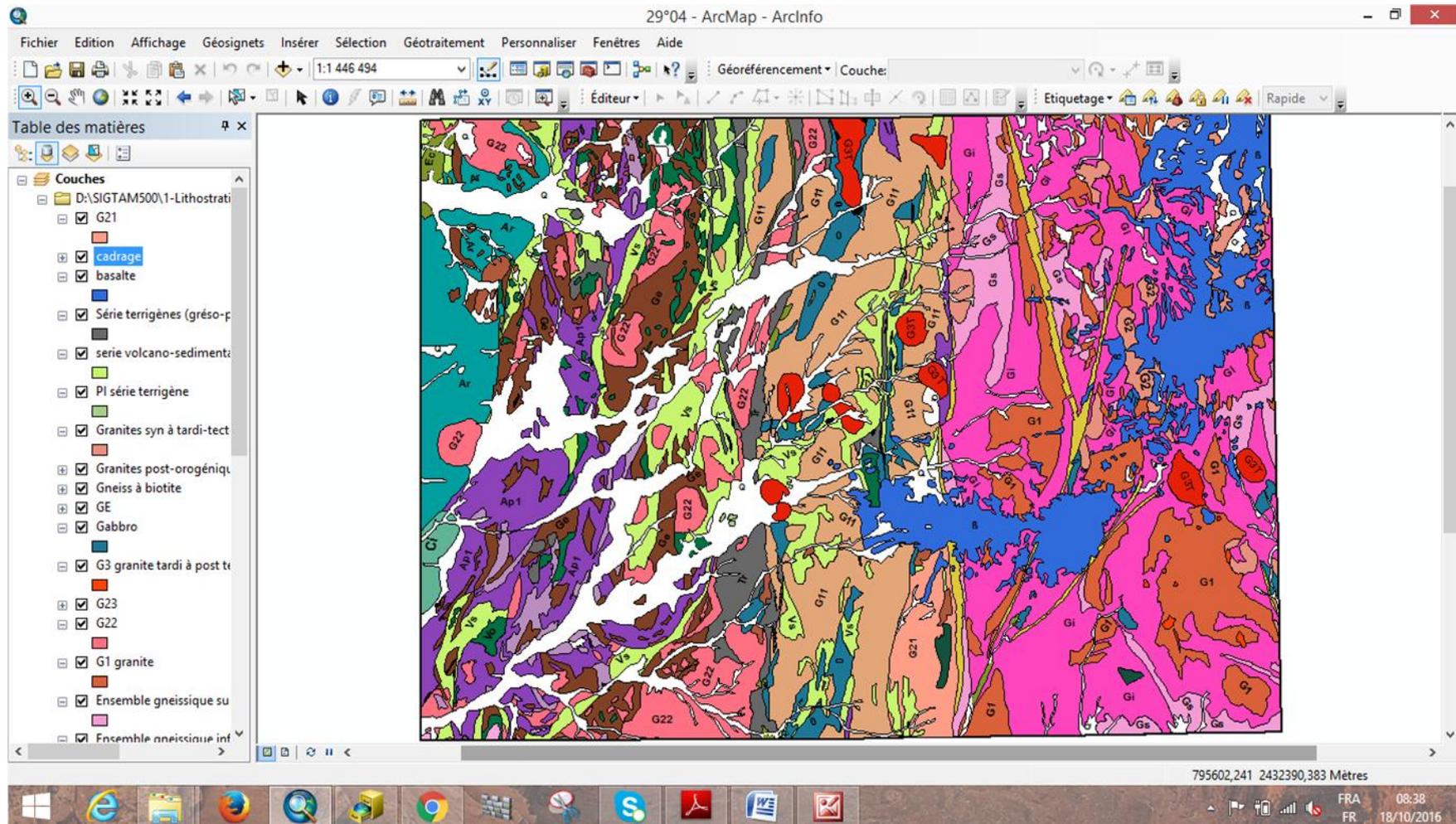


Figure III.22 : limites litho-stratigraphiques sous format vecteur

ues sous format vecteur

III.2.3.2.c. Vectorisation linéaire :

Les entités polylignes se composent de segments de ligne droite, 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.

Pour la vectorisation de la tectonique (failles, chevauchements, mylonite...) de la feuille de Tamanrasset/500 000, on a suivi les mêmes étapes que pour la vectorisation surfacique citée quelques pages auparavant, c'est-à-dire :

Ouvrir ArcCatalog>clic-droit sur le dossier cible >nouveau >fichier de formes> nommer le fichier >définir le type d'entité (dans ce cas polyligne) et le système de projection>OK.

La seule différence se situe dans le type d'entité, car pour faire des lignes droites on a tendance à utiliser la polyligne. (fig : 23)

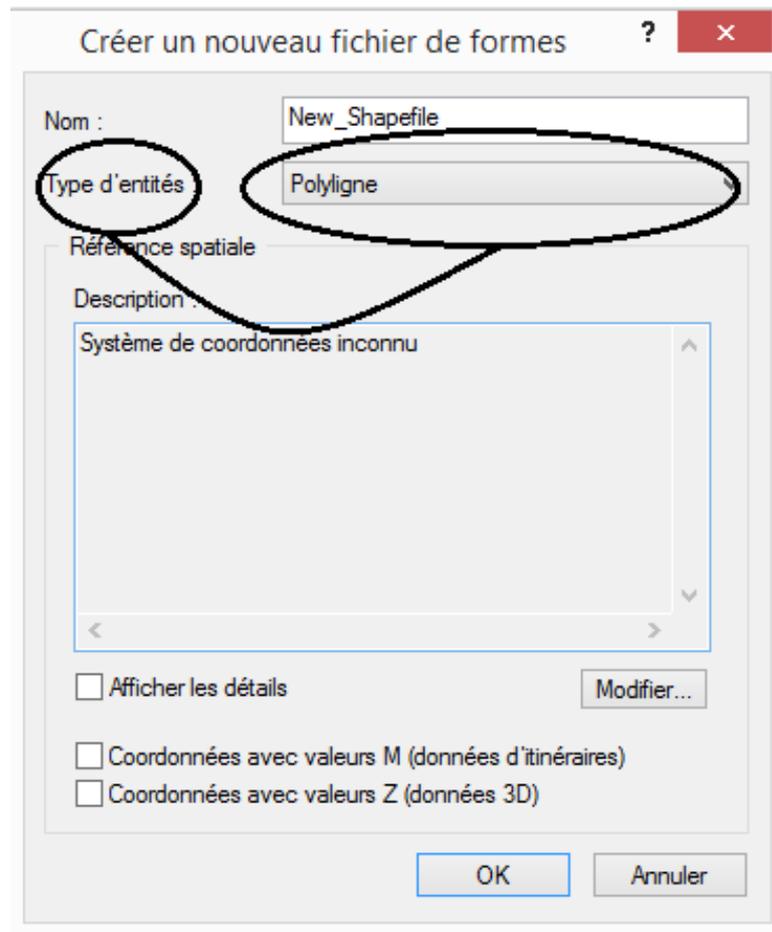


Figure III. 23: choix de type d'entité

CHAPITRE III : LE SIG TAMANRASSET

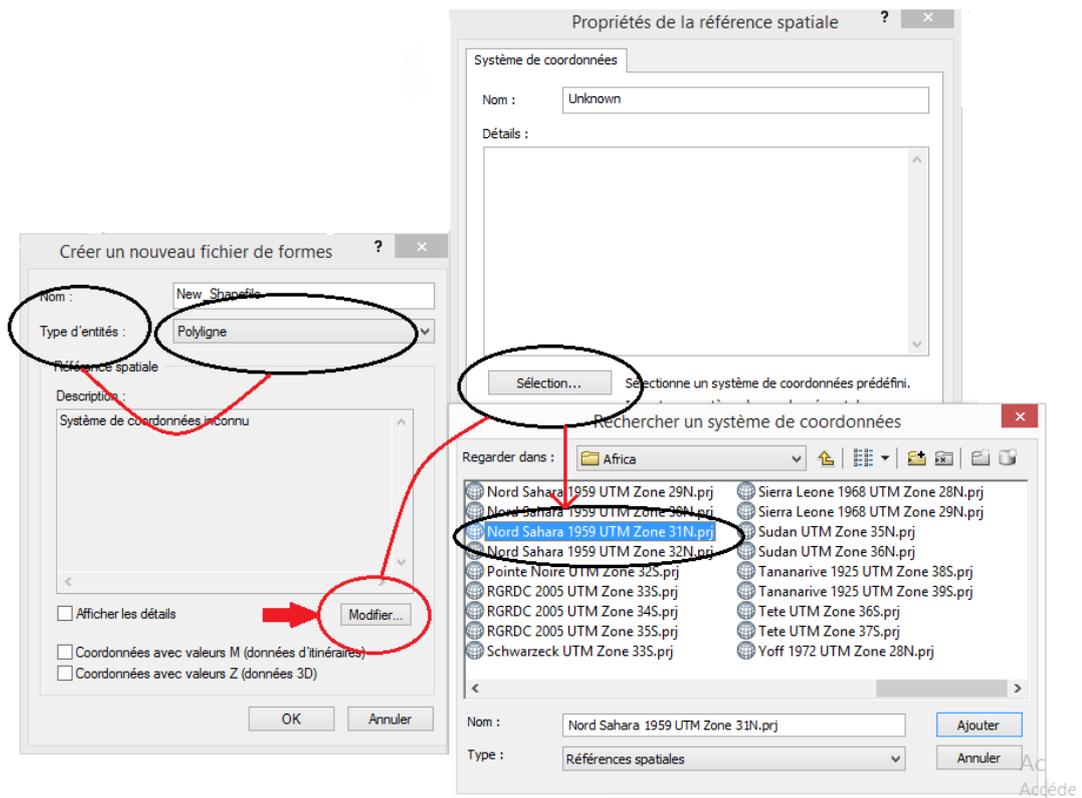


Figure III.24: choix de la projection dans la zone UTM

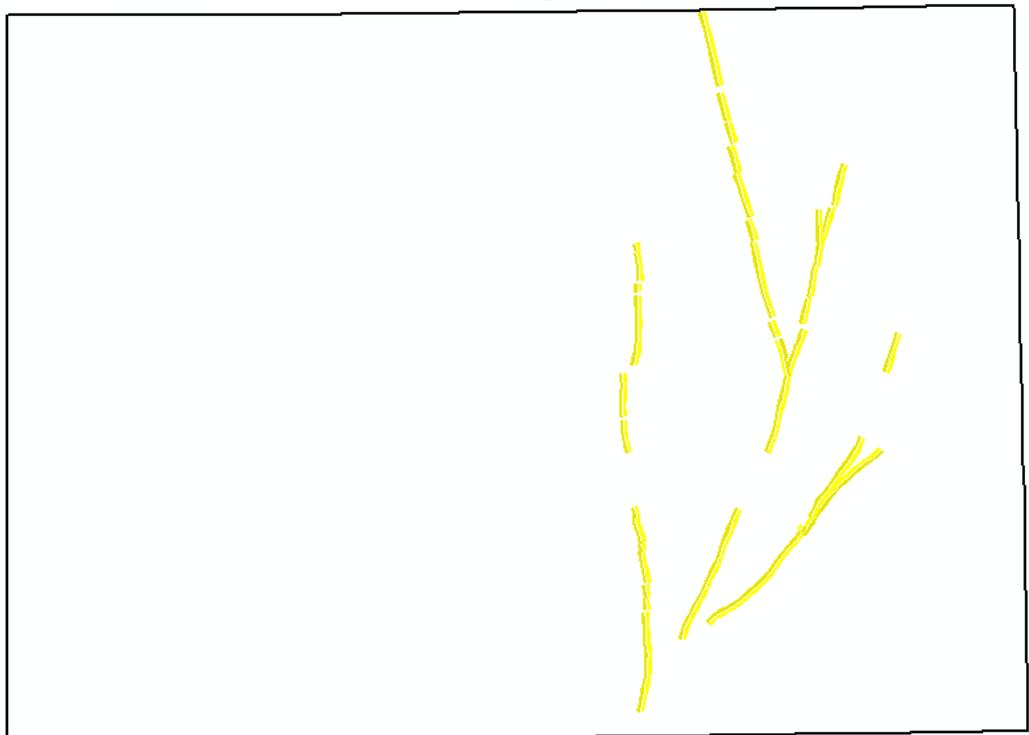


Figure III.25: exemple de vectorisation linéaire

CHAPITRE III : LE SIG TAMANRASSET

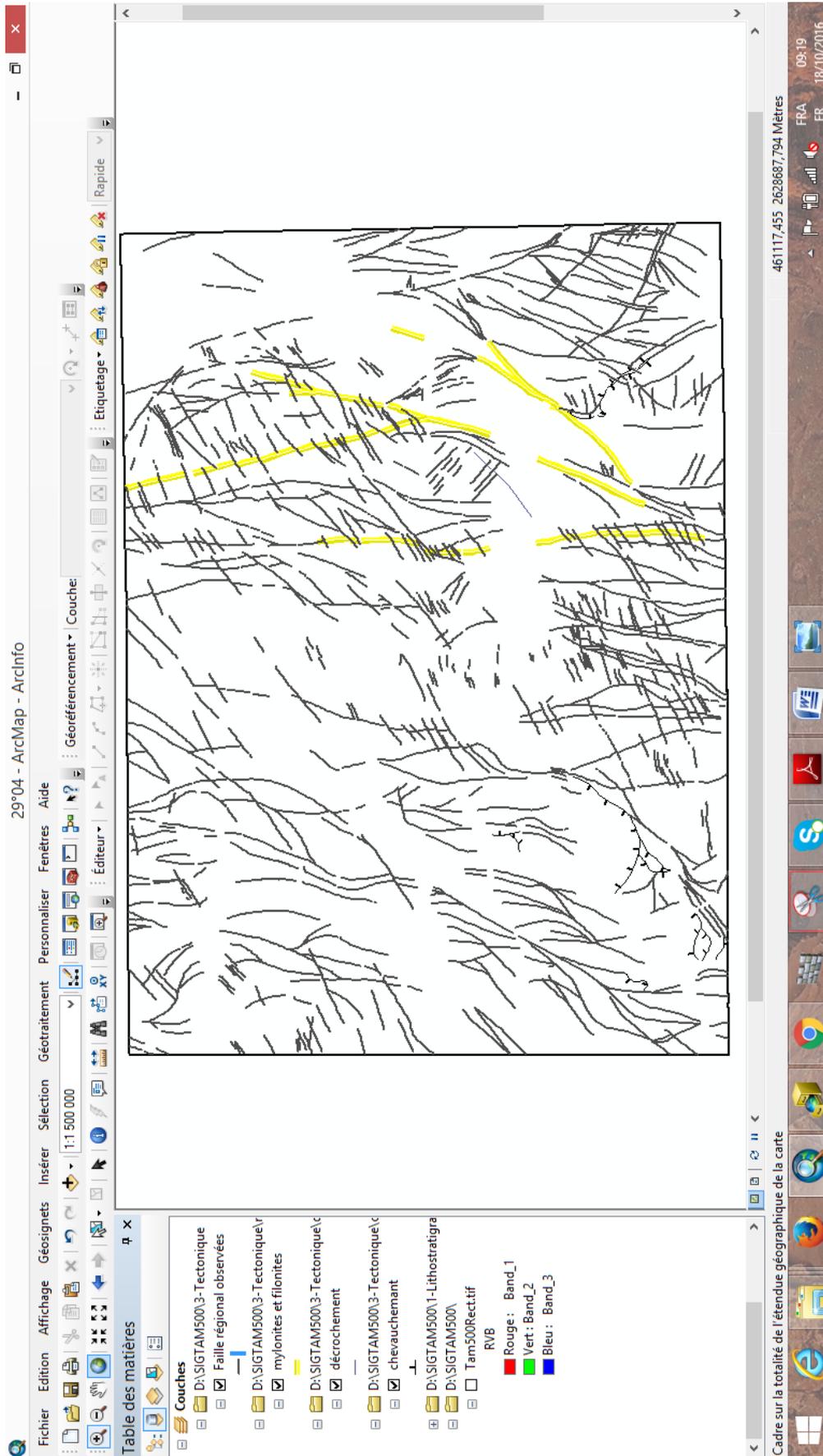


Figure III. 26: vectorisation linéaire complète de la feuille de Tamanrasset a 1/500.000

III.2.3.2.d. Vectorisation ponctuelle :

Les entités ponctuelles identifient les positions de coordonnées x,y,z spécifiques sur une carte. Elles permettent de représenter des objets ou des points de données qui ne nécessitent pas de lignes ou de surfaces pour stocker des informations ou transmettre un message.

Dans le but de vectoriser des point, la seule différence dans le processus de création de couche avec la vectorisation surfacique et linéaire sera le choix du type d'entité.

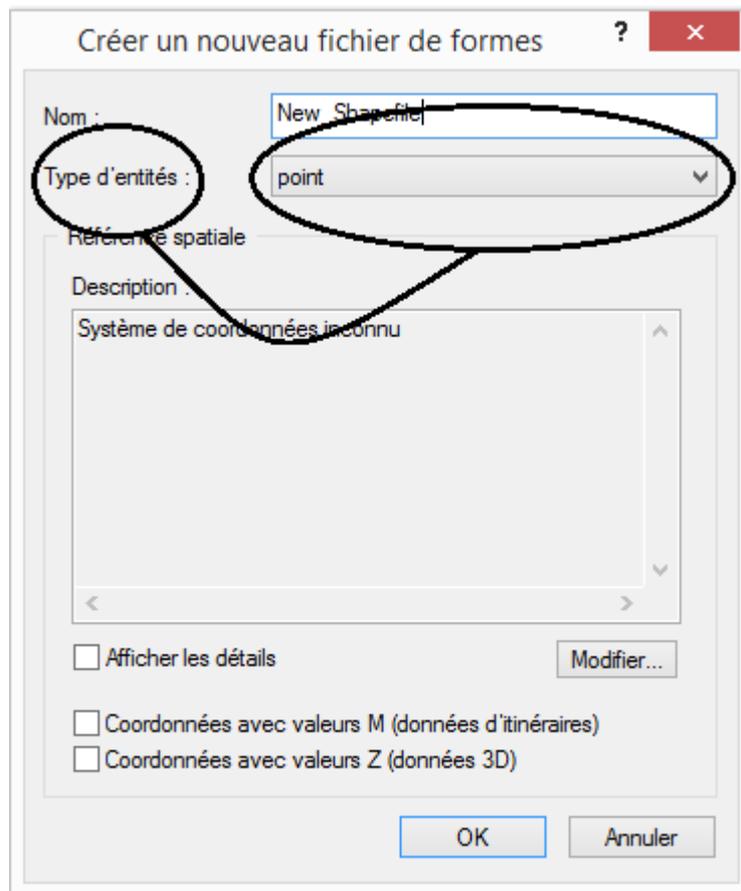


Figure III. 27: choix de type d'entité pour la vectorisation ponctuelle

- Création d'un fichier Excel :

En nous basons sur les nombreuses données récoltées suite à notre recherche bibliographique méticuleuse et approfondie tel que les travaux effectués sur notre région d'étude par Sintchouk, Goussiev, Tcherniavsky, Babaev, Bynev et Migounov nous avons minutieusement élaboré un fichier Excel des plus complet traitant les minéralisations aurifères, argentifère, des métaux rares... et autres, qu'on a subdivisé de sorte à faire ressortir

CHAPITRE III : LE SIG TAMANRASSET

chaque minéralisation à part, et chaque type de minéralisation (indice, point minéralisé, anomalie géochimique ...etc.).

N° d'ordre	Type de gite	Longitude	Latitude	Eléments pri	Eléments se	nature de g	description	encaissant	teneur	echantillon	rapport	mineralisati	tonnage
17	AP	3,45	23,4666667	Tentale			Volcano-plut						
313	AP	4,3	23,2	niobium			Massifs de Taharhet et de Tin						
323	AP	4,65	23,1833333	cuivre			Zone de broi/ la zone est de 50-150 m, etree sur une distance de p						
428	AP	4,24166667	22,8										
428	AP	4,18333333	22,7666667										
428	AP	4,23333333	22,7166667	Tantale, Niol Li, La, Pb			Trois aureol de forme ovi/Elles sont tri						
1	PM	3,38333333	23,9833333	Argent, Niobium			Volcano-plut Se presente dans le planS						
2	PM	3,40833333	23,9236111	Cuivre, Or			Roches phyll recoupees par des filonse						
4	PM	4,80694444	23,8458333	Or			filon de qua enais de <2 m, etire en dii						
6	PM	3,30277778	23,7708333	TR			Espees suiv ouvrant uneaire d'enviror						
7	PM	3,79583333	23,7208333	Or			zone filonier pauvre- en s encaisse dan						
8	PM	3,80694444	23,7111111	Or			Filon quartzé epais de 1-2,5 m et long c2						
10	PM	3,28	23,6722222	Or, Cuivre			des zones etrees (<3-5 kn						
11	PM	3,34722222	23,6791667	TR			Champ de ro couvrant une superficie d						
12	PM	3,275	23,6297222	TR			Massif de sy couloque/ vrant une aire						
13	PM	3,38833333	23,6016667	Or, Cuivre			champ fikon couvrant une aire de 1,5						
14	PM	3,4125	23,6069444	Or			Filon de quartz dans roches volcano-se						
15	PM	3,76666667	23,6208333	Or			Filon de qua epais de 1m encaisse dan						
16	PM	4	23,5694444	OR, Cuivre, Zinc			Filons quartz pais de <1-2 encaisses da						
21	PM	3,33833333	23,8283333	Or, Argent			Essaim de pe les filons sor encaisses da						
23	PM	3,3875	23,4708333	Or			filon de quartz encaisse dan						
25	PM	3,325	23,4125	Or			filon de quartz dans les granites						
27	PM	3,44166667	23,3333333	Or			Filon de quartz recoupant les granites						
30	PM	3,7	23,4222222	Or			Deux filons de quartz dans une zone d						

Figure III.28: exemple de fichier Excel

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 ci : Fichier > Ajouter des données > Ajouter des données XY... > choisir la table > modifier la référence spatial en choisissant «GeographicCoordinateSystems» World > WGS1984.prj ».

CHAPITRE III : LE SIG TAMANRASSET

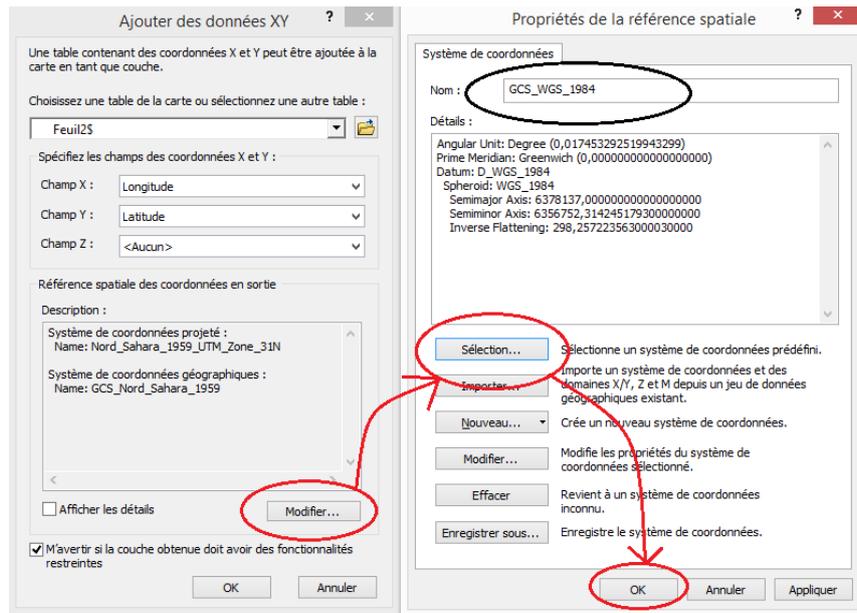


Figure III. 29: choix de la zone géographique

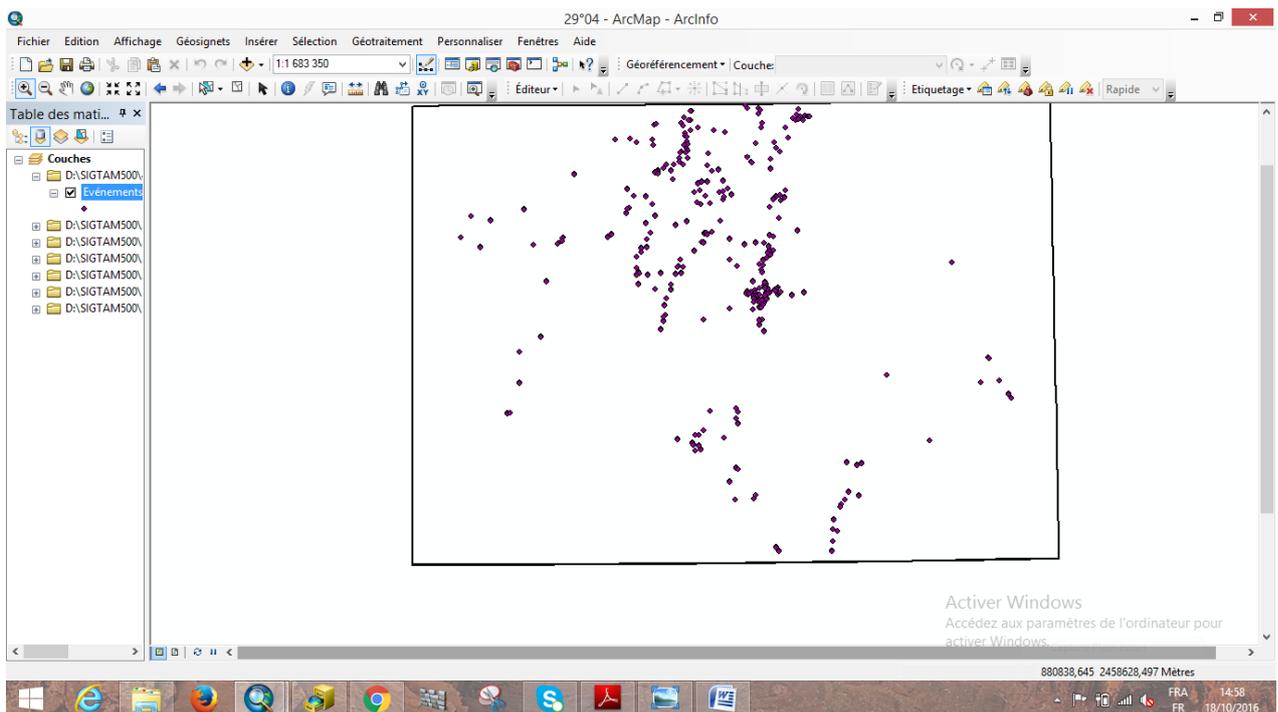


Figure III. 30: exemple d'entités points

III.2.3.3. Création d'un champ attributaire :

III.2.3.3.a. Création d'un champ sur ArcMap :

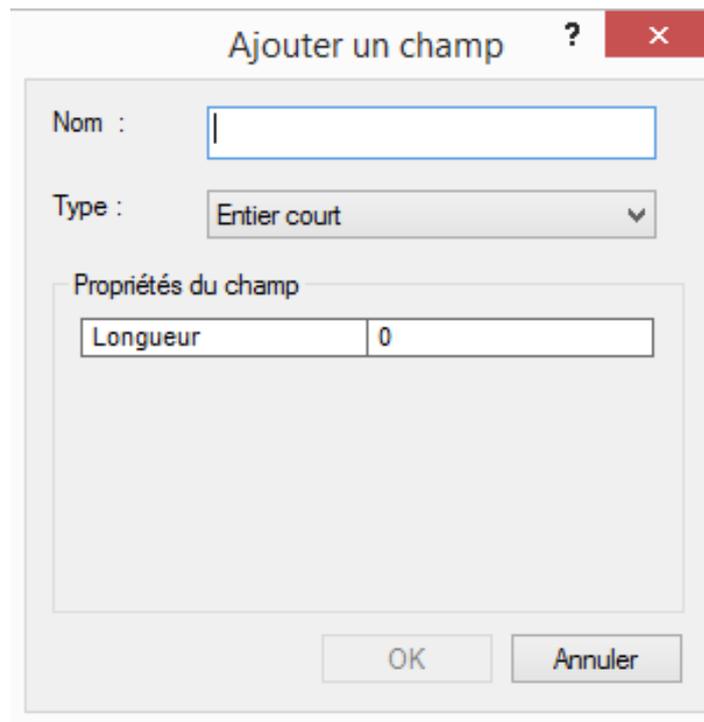
Une table attributaire permet de joindre des informations utiles à chaque entité (ex : polygone).

CHAPITRE III : LE SIG TAMANRASSET

ArcGis gère différents types d'attributs : texte, entier court, entier long, réel simple, réel double et date.

Pour ajouter des champs à une table attributaire sur ArcMap, il faut d'abord ouvrir table de la couche cible puis aller dans le menu Options  puis Ajouter un champ il suffit après d'entrer le nom et le type et cliquer finalement sur OK.

Remarque : L'ajout de champ est impossible lorsqu'une session d'édition est ouverte.



Propriétés du champ	
Longueur	0

Figure III. 31: création d'un nouveau champ

III.2.3.3.b. Création de plusieurs champs sur ArcCatalog :

Pour cela il suffit d'aller dans les propriétés du fichier de forme (couche), à partir d'un clic-droit sur son nom puis sous l'onglet champs, on tape le nom des champs tout en évitant les espaces et les caractères spéciaux dans la mesure du possible.

Cette action se réalise uniquement sous ArcCatalog et non pas par l'interface rapide d'ArcCatalog disponible dans ArcMap.

La couche en question doit être fermée dans ArcMap.

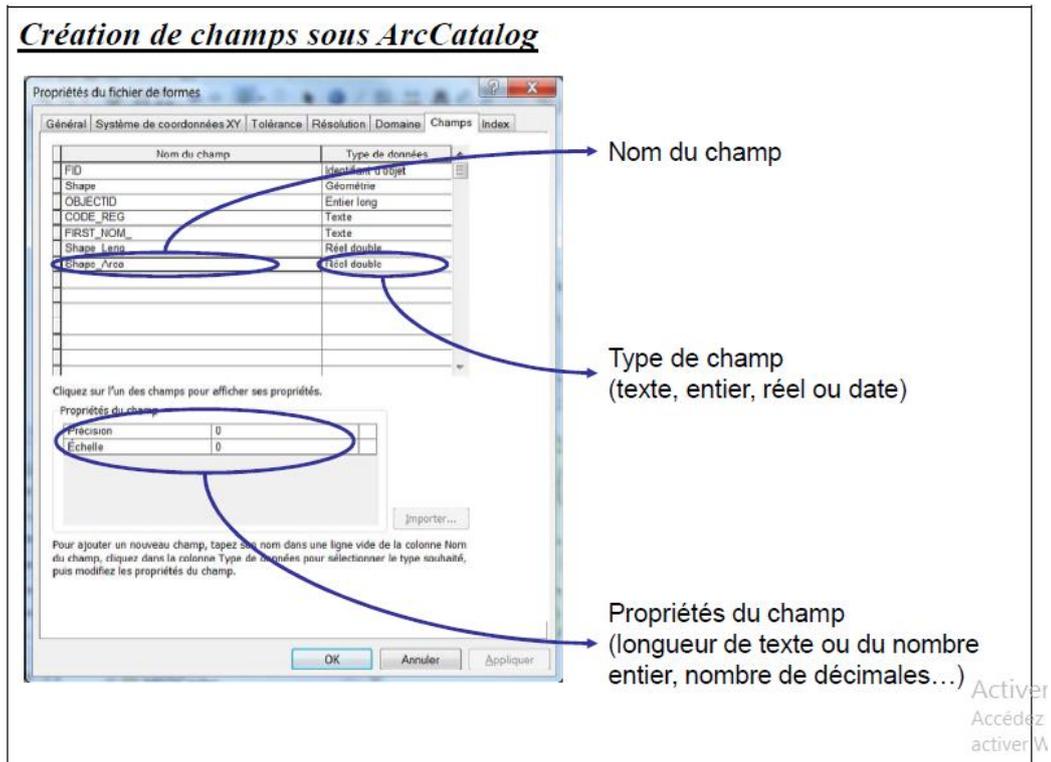


Figure III.32: fenêtre de création de champs

Table

Complexe pré-tec UB

FID	Shape *	Id	surface	Manif maq	Nature	Type	Ide
0	Polygone	0	1,133478	pré-tectonique	ultra-basique	a-lentille_ophiolitique	a
1	Polygone	0	3,591302	pré-tectonique	ultra-basique	a-lentille_ophiolitique	a
2	Polygone	0	1,224543	pré-tectonique	ultra-basique	a-lentille_ophiolitique	a
3	Polygone	0	1,397105	pré-tectonique	ultra-basique	a-lentille_ophiolitique	a
4	Polygone	0	7,276606	pré-tectonique	ultra-basique	b-amas_compl_plutonique	b
5	Polygone	0	1,510872	pré-tectonique	ultra-basique	a-lentille_ophiolitique	a
6	Polygone	0	0,95222	pré-tectonique	ultra-basique	a-lentille_ophiolitique	a
7	Polygone	0	0,936802	pré-tectonique	ultra-basique	a-lentille_ophiolitique	a
8	Polygone	0	1,281143	pré-tectonique	ultra-basique	a-lentille_ophiolitique	a
9	Polygone	0	1,793769	pré-tectonique	ultra-basique	a-lentille_ophiolitique	a
10	Polygone	0	1,857929	pré-tectonique	ultra-basique	a-lentille_ophiolitique	a
11	Polygone	0	0,924565	pré-tectonique	ultra-basique	a-lentille_ophiolitique	a
12	Polygone	0	1,463195	pré-tectonique	ultra-basique	a-lentille_ophiolitique	a
13	Polygone	0	2,389239	pré-tectonique	ultra-basique	a-lentille_ophiolitique	a
14	Polygone	0	0,960617	pré-tectonique	ultra-basique	a-lentille_ophiolitique	a
15	Polygone	0	0,411165	pré-tectonique	ultra-basique	a-lentille_ophiolitique	a
16	Polygone	0	1,900104	pré-tectonique	ultra-basique	a-lentille_ophiolitique	a
17	Polygone	0	3,514116	pré-tectonique	ultra-basique	b-amas_compl_plutonique	b
18	Polygone	0	6,591364	pré-tectonique	ultra-basique	a-lentille_ophiolitique	a
19	Polygone	0	2,52621	pré-tectonique	ultra-basique	a-lentille_ophiolitique	a
20	Polygone	0	0,231663	pré-tectonique	ultra-basique		
21	Polygone	0	0,258333	pré-tectonique	ultra-basique		
22	Polygone	0	1,843401	pré-tectonique	ultra-basique	a-lentille_ophiolitique	a
23	Polygone	0	0,331299	pré-tectonique	ultra-basique	a-lentille_ophiolitique	a
24	Polygone	0	0,31927	pré-tectonique	ultra-basique	a-lentille_ophiolitique	a
25	Polygone	0	0,390241	pré-tectonique	ultra-basique	a-lentille_ophiolitique	a
26	Polygone	0	1,340703	pré-tectonique	ultra-basique	a-lentille_ophiolitique	a
27	Polygone	0	3,693431	pré-tectonique	ultra-basique	a-lentille_ophiolitique	a
28	Polygone	0	4,347217	pré-tectonique	ultra-basique		
29	Polygone	0	0,196315	pré-tectonique	ultra-basique		
30	Polygone	0	0,195038	pré-tectonique	ultra-basique		
31	Polygone	0	0,249918	pré-tectonique	ultra-basique		
32	Polygone	0	0,140555	pré-tectonique	ultra-basique		

1 (0 sur 71 sélectionnés)

Complexé pré-tec UB

Activer Windows
Accédez aux paramètres de l'ordina
activer Windows.

Figure III. 33: exemple de table attributaire

CHAPITRE III : LE SIG TAMANRASSET

III.2.3.3.c. Suppression d'un champ attributaire :

Pour supprimer un champ, il suffit de faire un clic-droit sur l'entête du champ, puis un clic sur Supprimer un champ.

Notons que la suppression d'un champ est irréversible et que cela se fait à partir de l'interface d'ArcMap.

III.2.1.4. Analyse thématique, sémiologie et symbologie :

L'analyse thématique met en évidence un ou plusieurs phénomènes de la carte et participe grandement au rendu à son rendu final.

Sans oublier qu'elle joue un rôle dans la perception du projet par les interlocuteurs.

Il est donc indispensable de prendre du recul pour voir si le rendu de l'information est fidèle à ce qu'on met en avant.

Il est aussi indispensable que notre information soit claire et non noyée dans une masse d'informations inutiles.

III.2.1.4.a. Modifier toutes les entités d'une couche :

Cette étape est indispensable lors de la manipulation des données, car elle gère le rendu visuel de la superposition des couches. C'est dans ces propriétés que nous allons pouvoir rendre des entités transparentes afin de voir les couches du dessous par exemple.

Pour modifier la couleur de la couche, il faut faire un double clic sur cette dernière puis un clic-droit pour afficher les propriétés de la couche et pour finir sélectionner l'onglet symbologie.

On clique après sur le petit rectangle coloré du symbole pour appeler la fenêtre de sélection du symbole.

CHAPITRE III : LE SIG TAMANRASSET

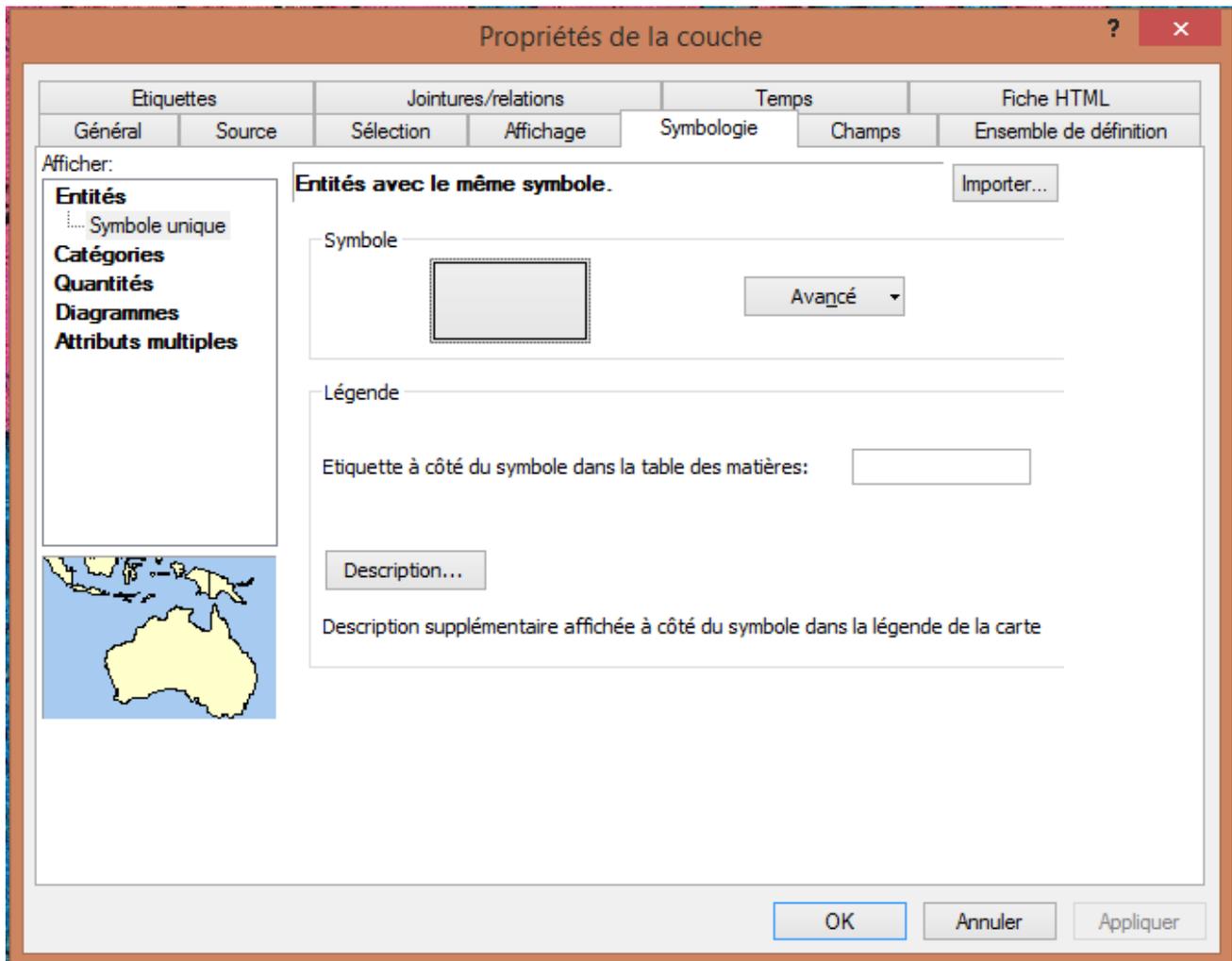


Figure III. 34: fenêtre de propriétés de la couche

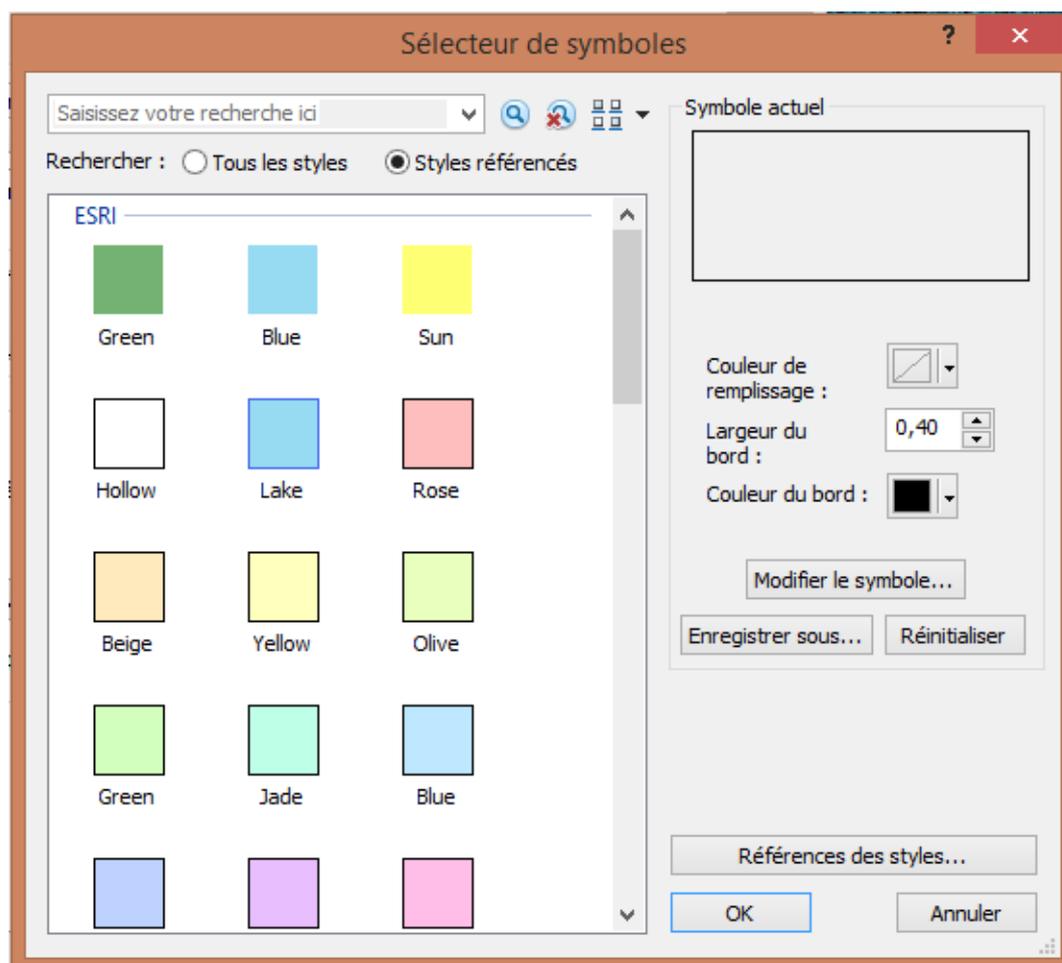


Figure III.35: fenêtre de sélecteur de symboles

Si besoin, on change la couleur de remplissage, la couleur et la largeur du bord.

Le bouton propriétés permet de changer plus d'options dans l'affichage des entités de la couche (ex : il permet de gérer la transparence absolue de la couche).

III.2.1.4.b. Etiquetage des entités :

L'étiquetage consiste à afficher des informations sur une couche nom, numéro, surface...).

Et pour réaliser cette partie du travail, on fait un clic-droit sur le nom de la couche cible, puis propriétés, on sélectionne le champ de l'étiquette qu'on désire afficher après s'être assuré que l'étiquetage des entités dans cette couche soit actif dans le menu déroulant de cette dernière.

CHAPITRE III : LE SIG TAMANRASSET

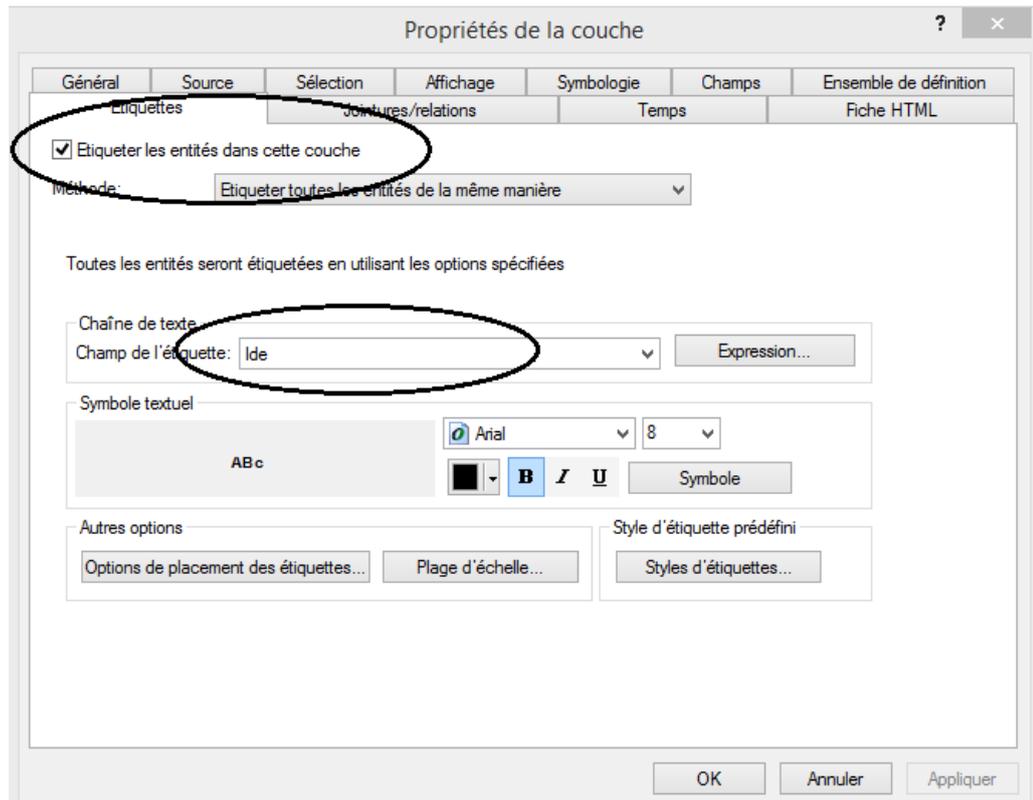


Figure III.36: fenêtre des propriétés de la couche

Pour choisir les caractéristiques de l'étiquetage les caractéristiques de l'étiquetage, on clique sur l'option de placement des étiquettes.

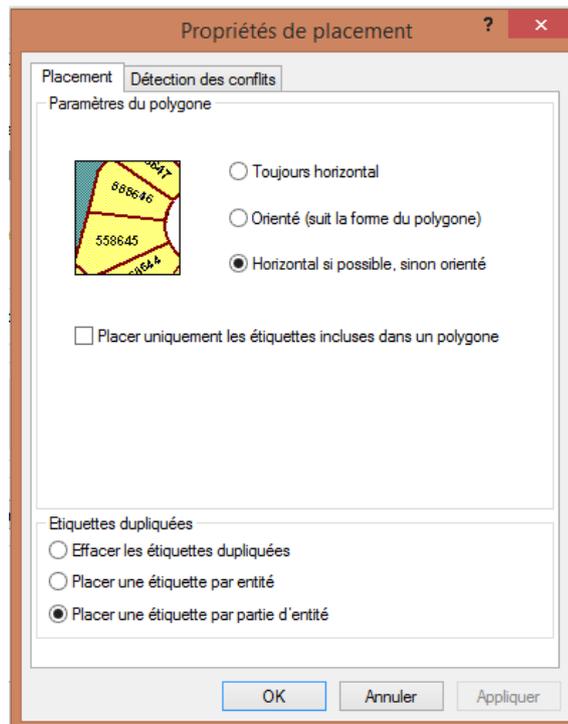


Figure III. 37: Exemple d'option de placement

CHAPITRE III : LE SIG TAMANRASSET

On peut également changer l'apparence de l'affichage en sélectionnant le bouton Symbole. Lorsque notre choix est terminé, on clique sur OK pour fermer la boîte de dialogue.

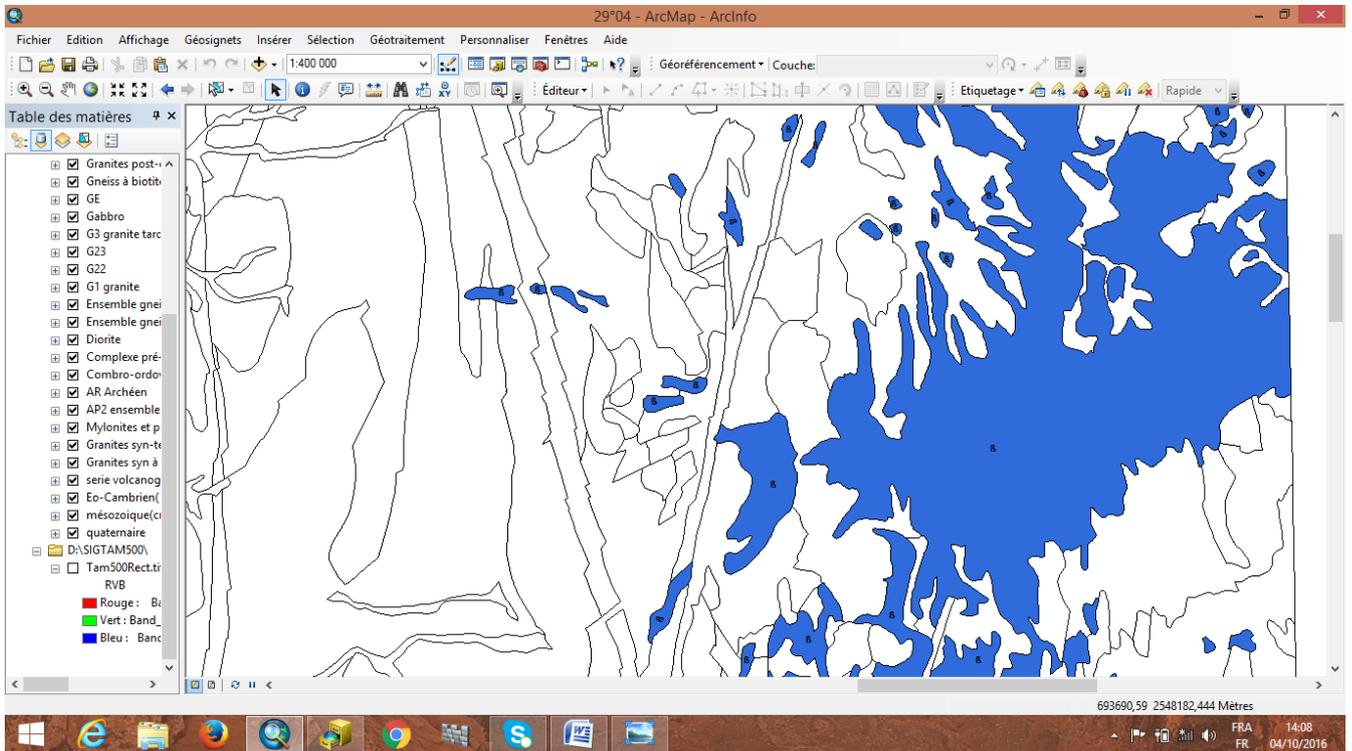


Figure III.38: Exemple de couche étiquetée.

On peut également étiqueter une seule entité à la fois, et pour se faire on utilise l'outil Etiquette de la barre d'outils Dessiner :

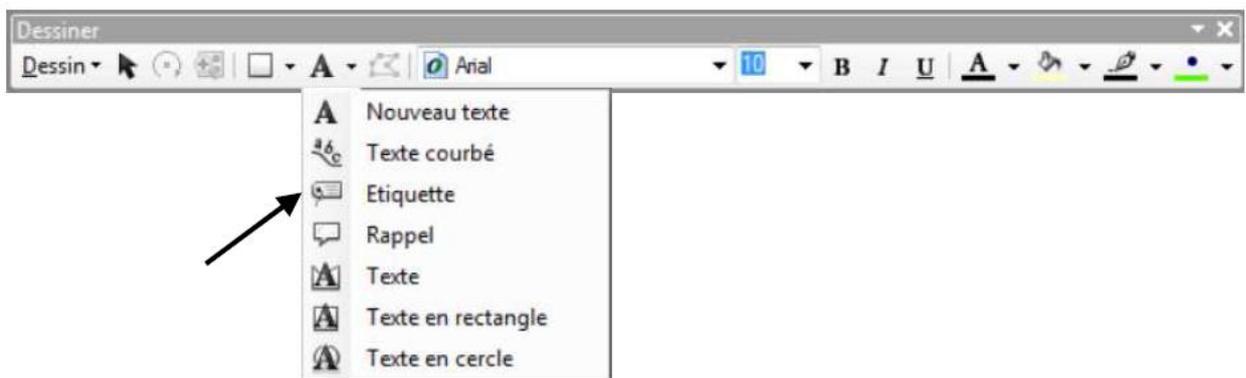


Figure III.39: l'outil Etiquette de la barre d'outil dessiner

III.2.1.5. Mise en page :

La mise en page est l'étape finale du projet.

Elle consiste à mettre tous les éléments indispensables à une carte.

La carte doit impérativement contenir ; une légende, un titre, l'orientation, l'échelle, les sources, le nom et la date de réalisation.

Les mentions légales ne sont pas superflues, ainsi qu'un texte explicatif pour éviter toute mauvaise interprétation de la carte produite.

III.2.1.5.a. Création d'une mise en page :

La création d'une mise en page permet d'éditer une carte complète pour l'imprimer ou l'exporter dans un format image standard.

Toute carte se doit de contenir :

- un titre, permettant d'identifier et de se référer à la carte
- une légende, explicitant les symboles et couleurs utilisées
- une échelle
- une orientation (flèche du Nord)
- une source : auteur(s), année...
- le système de projection utilisé

Pour peaufiner le projet, on sélectionne la mise en page dans le menu Affichage > Mode mise en page ou en cliquant sur le symbole de mise en page.

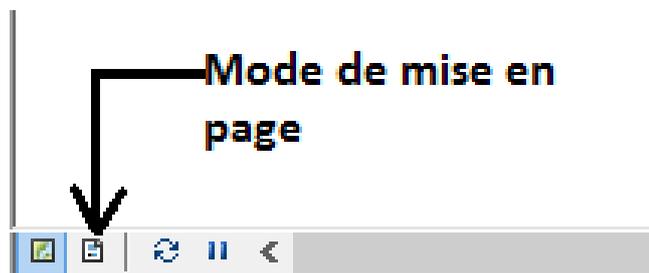


Figure III.40: choisir le mode de mise en page

Pour ajouter des éléments indispensables à notre carte on est allé dans le menu puis insérer et ensuite sélectionné l'item désiré.

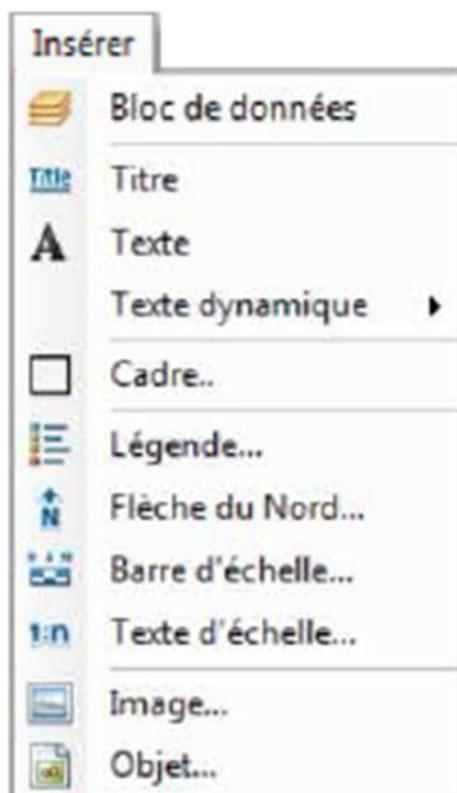


Figure III.41: liste d'item à ajouter

- Ajouter du texte:

Clic sur **A** > puis sur la carte à l'endroit désiré.

On peut par la suite modifier la taille, police, l'orientation, l'habillage.

- Ajouter un titre :

Insérer>Titre >

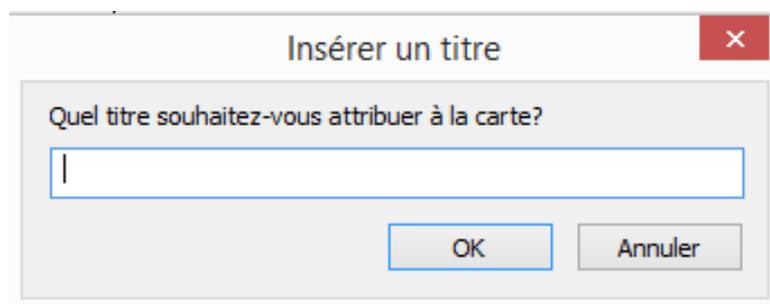


Figure III.42: boîte de dialogue pour insérer un titre à la carte

CHAPITRE III : LE SIG TAMANRASSET

- Ajouter une orientation :

Insérer > Fleche du nord  >

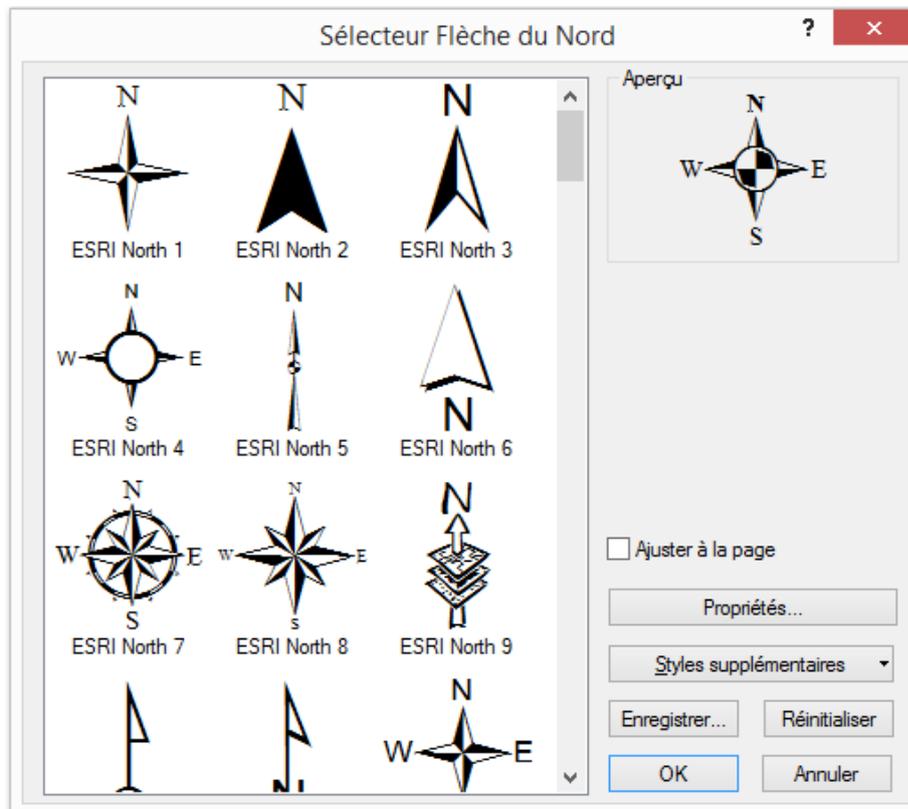


Figure III. 43: sélecteur flèche du Nord

Il est aussi possible d'importer une flèche de notre choix si besoin.

- Ajouter une échelle graphique :

Insérer > Barre d'échelle  >

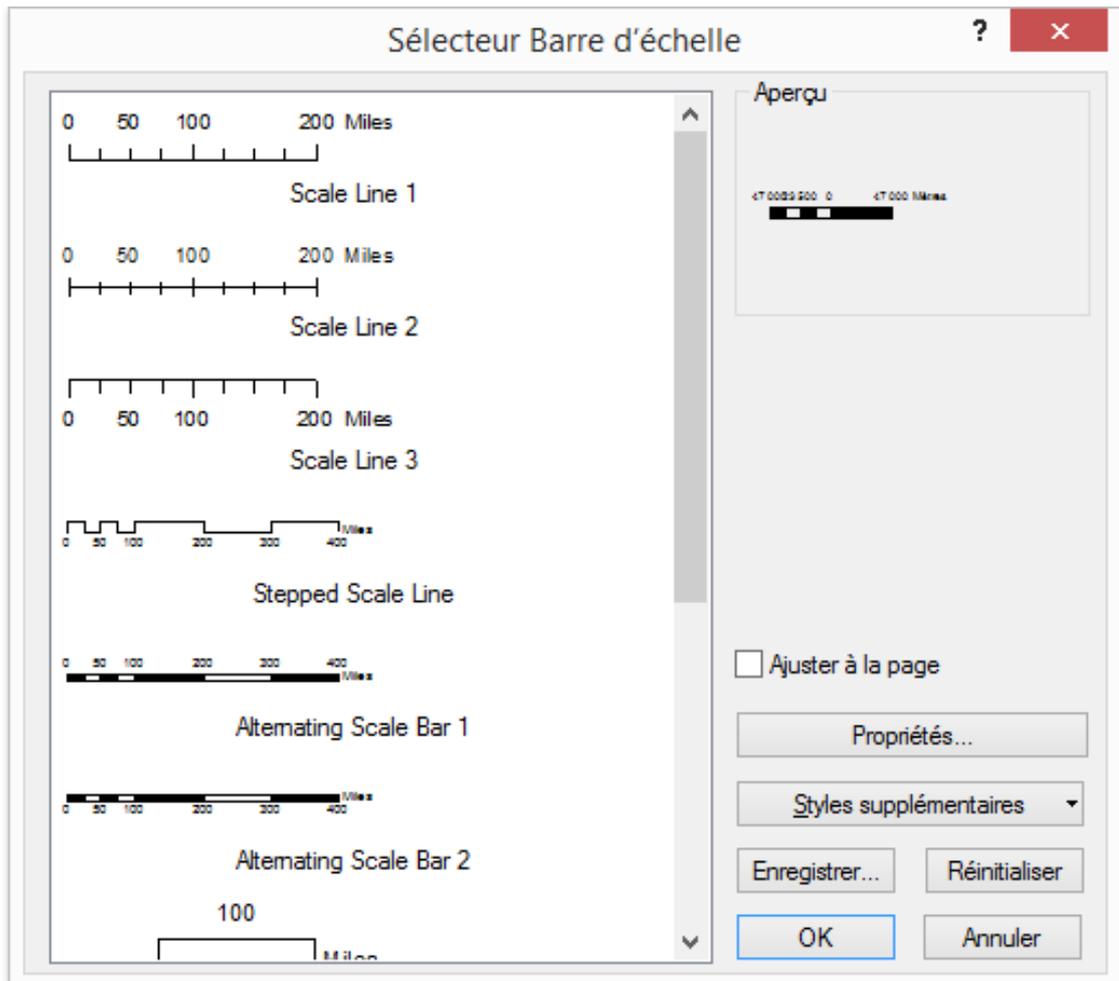


Figure III. 44: sélecteur barre d'échelle

- Ajouter une légende :

Une commande spécifique existe pour en créer une décrivant toutes les informations contenues dans la carte.

Menu insérer> Légende >

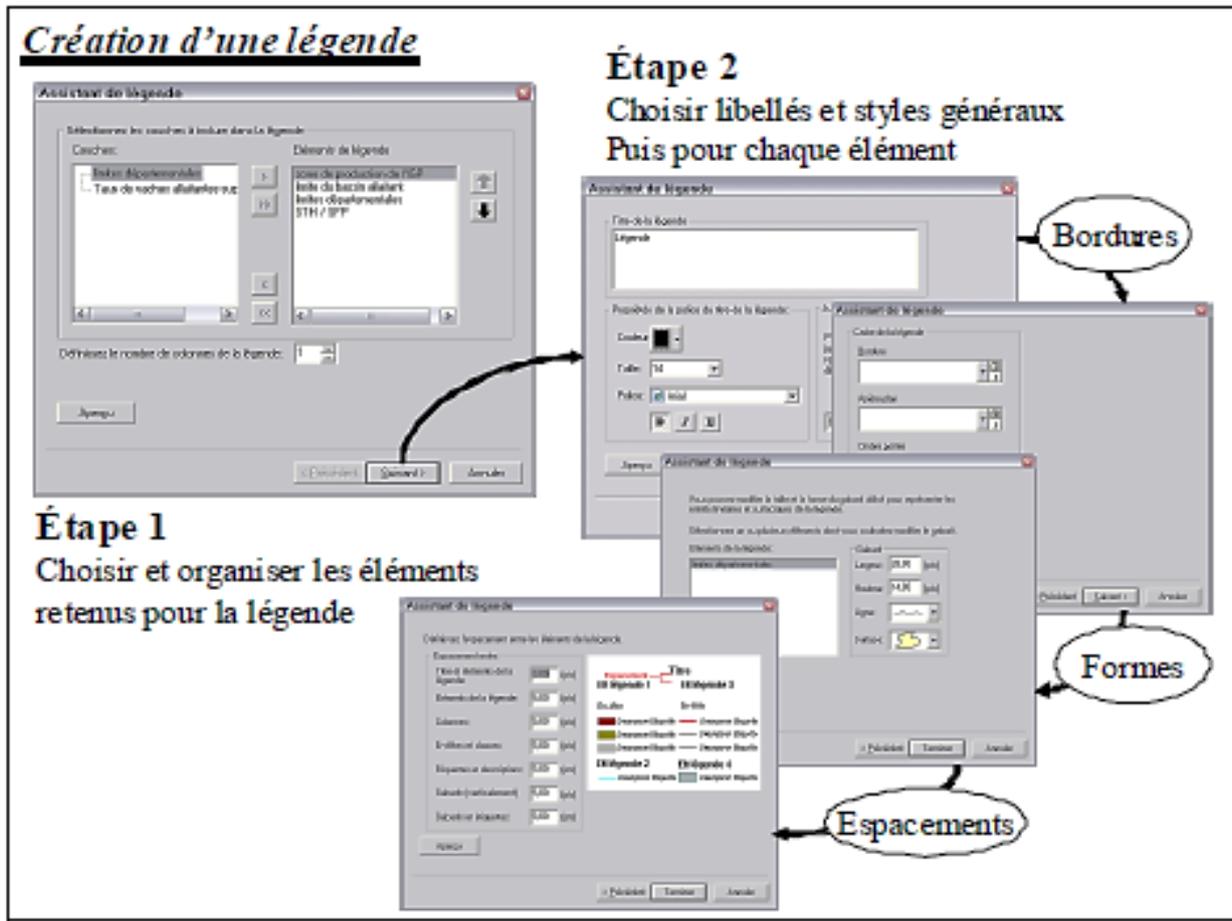


Figure III. 45: étapes pour créer une légende

La première fenêtre permet de sélectionner les couches qui seront intégrées dans la légende et de faire varier l'ordre d'apparition (organisation).

La seconde permet de faire varier le titre de la légende alors que la troisième, organise l'aspect général (contour, fon...).

L'intérêt de la quatrième est la possibilité de faire apparaître des entités autrement que par défaut.

La dernière fenêtre modifie l'espace entre les éléments de la légende.

Après avoir paramétré tout ça, une nouvelle fenêtre légende apparaît.

Les styles de chaque élément sont à modifier dans les propriétés de la légende elle-même par un double-clic sur celle-ci.

CHAPITRE III : LE SIG TAMANRASSET

III.2.1.5.c. Exportation de la mise en page :

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

Pour exporter : menu fichier > Exporter la carte.

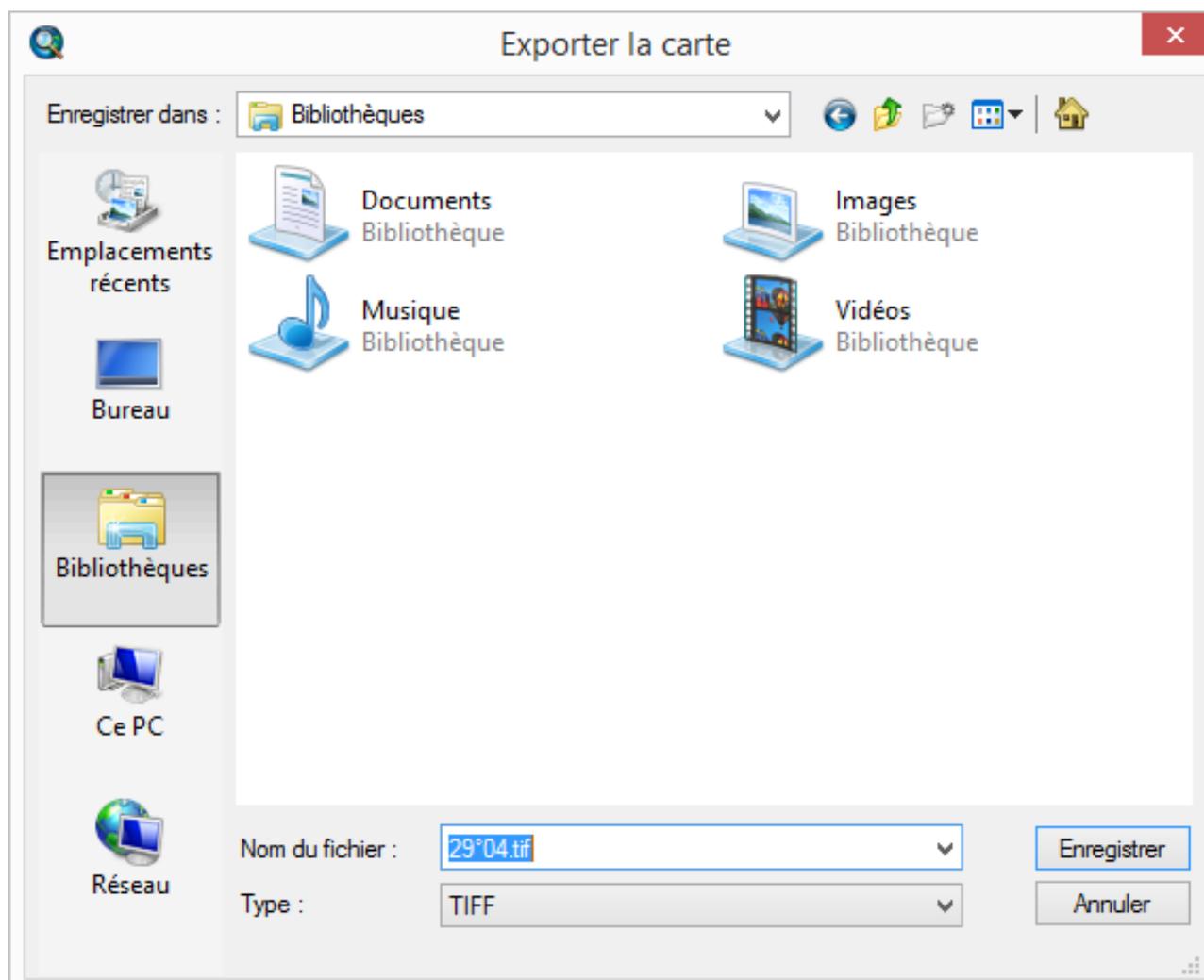


Figure III. 48: choix de format d'image

La boîte de dialogue représentée ci-dessus propose les différents formats d'image exportable (type).

III.3. Conclusion :

Les SIG nous permettent de représenter et de travailler avec des données liées à des coordonnées géographiques par l'intermédiaire de logiciels (ArcGis).

On peut les voir comme l'hybridation entre des logiciels de gestion de base de données, de dessins vectoriels et de traitement d'image. Ils réunissent en une même interface les fonctionnalités de ces trois types d'application et y ajoutent nombre d'opérations rendues possibles par leur combinaison.

Ils permettent, par exemple, de visualiser et d'imprimer des cartes comprenant différents contenus thématique ou des informations statistiques, de répondre à des questions basées sur la configuration spatiale des objets étudiés, d'analyser des images aériennes ou satellitaires, de modéliser des cartes, de faciliter la prise de décision sur le terrain, etc.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale :

Ô combien ont été compliquées et éprouvantes nos recherches et notre laborieux travail sur ce thème si captivant qui nous a permis d'acquérir et de partager de nouvelles connaissances et de maîtriser un domaine et un logiciel qui quelques mois auparavant nous étaient étrangers

Tout ingénieur, chercheur ou bien étudiant ayant travaillé sur la feuille de Tamanrasset attestera de la richesse de cette région d'un point de vue géologique et minéralogique entre autres.

Le massif cristallin du Hoggar appartient à la chaîne panafricaine et est traversé par deux accidents majeurs ce qui lui vaut une subdivision en trois compartiments (de l'Est à l'Ouest, on distingue le Hoggar Oriental, le Hoggar Central polycyclique et le Hoggar Occidental). Un fractionnement plus récent a vu le jour en 1994 basé sur le concept des terranes.

Tamanrasset présente une lithologie variée et hétérogène constituée de terrains datant du Quaternaire à l'Archéen dont les terrains à l'extrémité occidentale de la feuille et constituent en partie le mole In ouzzalien, structuré sous forme d'un vaste compartiment en forme de triangle pris entre les formations des deux rameaux Pharusien du Hoggar occidental en passant par le Cenézoïque- Quaternaire; marqué par deux phases, une première phase émissive assez intense, uniquement basaltique et de dynamisme vraisemblablement Strombolien et une seconde moins intense, le Mésozoïque caractérisé par une formation sédimentaire dénommée « Continentale intercalaire », le Paléozoïque ; formations attribuées aux dépôts du Cambrien inférieur (série pourprée) et ceux du Cambro-Ordovicien ou Ordovicien (les formations Tassiliennes), Le Précambrien dans lequel on distingue deux séries métamorphiques, une série volcanogène constituée essentiellement de roches volcaniques d'affinité calco-alcaline , et une série terrigène composée d'une alternance de grés, pélites, aleurites, schistes et conglomérats intraformationnels.

Le Hoggar dans la feuille étudiée est le théâtre d'une forte activité magmatique. Au Panafricain II affleurent les complexes post-tectoniques type " Taourit", Les granites tardi à poste-tectonique de type "Iskel", Les complexes syn à tardi – tectoniques de type "Imezzarene" et Les granites pré à syn-tectoniques de type Aouilène, les granites tardi à a post-tectoniques (G3), les granites Syn à Tardi-tectoniques Type Tifferkit (G2) et le Complexe près à Syn-Tectonique » Type ANFEG (G1) alors qu'au Panafricain I on observe Les complexes

CONCLUSION GENERALE

syn à tardi-tectoniques de type « Tin Tekadiouit-Taklet dont Le complexe Afrédaféda, les complexes granitiques Tin teckadiouit – Taklet et les complexes basiques et ultrabasiques. Le magmatisme anté-panafricain est représenté sur la feuille par les Orthogneiss pré-tectonique de type Akfou.

La physionomie actuelle du Hoggar, serait façonnée suite à une succession d'événements très complexe, à savoir : l'Archéen (Ouzalien), Eburnéen et le panafricain (si en exclue un événement hypothétique dit Kibarien). L'orogénèse panafricaine est la mieux exprimée vu sa puissance son extension. Au cours du panafricain (750-550Ma), le Hoggar a subit un cycle de Wilson complet, une aire d'océanisation suivie d'une subduction puis une collision avec le craton Ouest africain, plusieurs événements orogéniques l'ont donc affecté.

Des gisements d'or, wolfram et d'étain constituent un potentiel minier majeur à exploiter ou à explorer dans le futur ainsi que la présence de terres rares, cuivre, plomb, zinc, argent et j'en passe. Après des récoltes minutieuses des mois durant d'information si précieuse sur les indices, points minéralisés, anomalies et gisement on a abouti sur la conclusion que tant d'indices pouvant être aisément exploités et qui ne le sont toujours pas, et que le sud algérien regorge de richesses mal considérés ou délaissés au profit de l'or noir.

L'élaboration d'un SIG géologique et minéralogique de la feuille de Tamanrasset est un travail complexe qui exige de la patience, la précision, une maîtrise poussée du logiciel ArcGis et nécessite beaucoup de temps.

En quelques mots, les SIG sont des logiciels permettant de représenter et de travailler avec des données liées à des coordonnées géographiques. On peut les voir comme l'hybridation entre des logiciels de gestion de base de données, de dessin vectoriel et de traitement de l'image. Ils réunissent en une même interface les fonctionnalités de ces trois types d'application et y ajoutent nombre d'opérations rendues possibles par leur combinaison. Ils permettent, par exemple, de visualiser et imprimer des cartes comprenant différents contenus thématiques ou des informations statistiques, de répondre à des questions basées sur la configuration spatiale des objets étudiés, d'analyser des images aériennes ou satellitaires, de modéliser des cartes prédictives, etc.

En plus d'être moins onéreuses pour l'éditeur de la carte, ils minimisent les erreurs ils permettent de faire des mises à jour très facilement, et permettent en outre de mener des analyses poussées sur les données. Mais leur plus grand avantage est de constituer des vraies

CONCLUSION GENERALE

banques de données géographiques qui peuvent fournir beaucoup plus d'informations que le papier à lui seul et permettent de superposer et combiner différentes données géographiques et de varier librement la manière dont on les représente, afin de mieux faire ressortir et de mieux pouvoir analyser les structures et phénomènes étudiés.

Dans le cadre de l'exploration minière, les SIG vont permettre une connaissance précise de la structure géologique des sols, la prospection minière, la contrainte des terrains, les caractéristiques des tracés de la ressource, l'implantation et les caractéristiques des éléments exploitées.

Finalement, les couches SIG peuvent être entrées dans des logiciels statistiques afin d'appliquer des analyses plus ou moins dans des programmes de simulation afin de modéliser des phénomènes.

GLOSSAIRE :

- Analyse spatiale :

Étude de la position et de la forme des entités géographiques, ainsi que des relations entre elles.

- Attribut :

Caractéristique d'une entité cartographique.

- Barre d'outils Éditeur :

Barre d'outils permettant de créer et de modifier des entités et leurs attributs dans ArcMap.

- Base de données SIG :

Ensemble de couches cartographiques (comprenant leurs entités et les informations qui les décrivent)

- Bloc de données (data frame) :

Bloc sur la carte qui affiche des couches occupant la même zone géographique. Une carte peut contenir un ou plusieurs blocs de données. (Exemple une zone d'étude et sa localisation à une petite échelle).

- Cellule :

Unité élémentaire d'un fichier raster.

- Champ :

Colonne d'une table. Chaque champ contient les valeurs d'un attribut unique.

- Classe d'entité (feature class) :

Représentation conceptuelle d'une entité géographique : points, lignes, polygones. Dans une géodatabase, classe d'objets stockant des entités et possédant un champ de type géométrie.

- Classification :

Regroupement de valeurs d'attributs en catégories ; tous les membres d'un groupe sont représentés par le même symbole.

- Construction :

Forme représentant la géométrie d'une entité. La construction permet de voir exactement la composition d'une entité, tous ses sommets et segments étant visibles. Pour modifier la géométrie d'une entité, vous devez modifier sa construction. Pour créer une entité, vous devez

au préalable créer une construction. Vous ne pouvez créer que des constructions linéaires ou surfaciques, car les points ne possèdent ni sommet, ni segment.

- **Coordonnées géographiques :**

Position à la surface de la Terre, exprimée en degrés de latitude et de longitude.

- **Coordonnées projetées :**

Mesure de positions sur la surface du globe, exprimée en un système à deux dimensions : un axe horizontal X représentant la direction Est-Ouest et un axe vertical Y représentant la direction Nord-Sud. Une projection cartographique transforme la latitude et la longitude en coordonnées x,y dans un système de coordonnées projetées.

- **Couche (layer) :**

Ensemble d'entités géographiques semblables. Une couche référence des données géographiques enregistrées dans une source de données, telles que les fichiers de formes, les couvertures, les classes d'entités des géodatabases, les images. Une couche définit leur affichage.

- **Diagramme :**

Ou Graphique. Représentation graphique de données tabulaires.

- **Document ArcMap :**

Fichier .MXD contenant un ensemble de couches de données et leur représentation cartographique.

- **Données géographiques :**

Informations décrivant des objets à la surface de la Terre, notamment leur position géographique, leur forme. Les données géographiques peuvent se présenter sous forme de données localisées, données tabulaires ou données image.

- **Echelle :**

Relation entre les dimensions des entités d'une carte et celles des objets géographiques réels qu'elles représentent, généralement exprimée sous forme de fraction ou de rapport.

- **Élément cartographique :**

Composant graphique tel qu'une barre d'échelle, une flèche du Nord... figurant sur la carte.

- **Entité ou entité cartographique :**

Représentation d'un objet du monde réel sur une couche d'une carte.

- **Entité linéaire (linear feature) :**

Forme figurant sur une carte et représentant un objet du monde réel trop étroit pour être décrit en termes de surface. Exemples d'entités linéaires : voies, rivières, courbes de niveau, etc.

- **Entité ponctuelle :**

Forme représentant, sur une carte, un objet géographique trop petit pour être représenté par une ligne ou par une surface.

- **Entité surfacique ou polygonale :**

Forme géométrique représentant un objet géographique aux dimensions trop importantes pour pouvoir être représenté sous la forme d'un point ou d'une ligne. Exemples d'entités surfaciques (ou polygonales) : pays, zones de recensement, lacs, etc.

- **Etiquette (label) :**

Texte ajouté à une carte pour faciliter l'identification des entités.

- **Fichier de formes (shapefile) :**

Format de stockage de données vectorielles et attributaires. Un fichier de formes est enregistré dans un ensemble de fichiers (SHP, SHX, DBF) et contient une seule classe d'entités.

- **Forme (shape) :**

Caractéristique géométrique d'un objet géographique (entité). La plupart des objets géographiques peuvent être représentés sur une carte à l'aide de trois formes élémentaires : point, ligne et polygone.

- **Géodatabase :**

Base de données relationnelle proposant des services de gestion de données géographiques. Elle contient des tables, des classes et jeux de classes d'entités. Correspond à un fichier .MDB (Microsoft Access)

- **Géoréférencement :**

Localisation en coordonnées cartographiques de données raster ce qui permet de les afficher, de les interroger et de les analyser avec d'autres données géographiques.

- **Grille (grid) :**

Représentation géographique du monde sous forme de tableau contenant des cellules carrées de taille égale réparties en lignes et colonnes. Chaque cellule est référencée par sa localisation géographique x,y.

- **Groupe de couches :**

Ensemble de couches ayant l'apparence et le comportement d'une couche individuelle dans la table des matières d'ArcMap.

- **Légende :**

Contient un exemple de chaque symbole de la carte suivi d'un texte décrivant l'entité qu'il représente.

- **Limite partagée :**

Segment ou limite commune à deux entités. Par exemple, dans une base de données de parcelles, les parcelles adjacentes partagent une limite.

- **Mode données :**

Vue d'un document ArcMap permettant l'observation, l'affichage et l'interrogation des données géographiques. Cette vue masque tous les éléments cartographiques tels que les titres, les flèches du Nord et les barres d'échelle.

- **Mode mise en page :**

Vue permettant la définition de l'agencement des données géographiques et des éléments cartographiques sur la page.

- **Point :**

Forme définie par une paire de coordonnées x,y.

- **Projection (cartographique) :**

Formule mathématique transformant la position d'entités de la surface courbe du globe en une surface plane sur la carte. Un système de coordonnées projetées utilise une projection pour transformer les positions exprimées en valeurs de latitude et de longitude en coordonnées x,y. Les projections entraînent des distorsions d'une ou plusieurs des propriétés spatiales suivantes : distance, surface, forme et direction.

- **Raster :**

Représente une source de données s'appuyant sur une structure de grille pour stocker les informations géographiques. Voir grille et image.

- **Résolution :**

1. Précision avec laquelle une échelle cartographique donnée peut décrire la position et la forme des entités géographiques. Plus l'échelle de la carte est importante, plus la résolution peut être élevée. A mesure que l'échelle décroît, la résolution diminue et les limites des entités doivent être lissées, simplifiées ou complètement effacées. Par exemple, il se peut que de petites zones doivent être représentées comme des points.
2. La taille de l'entité la plus petite peut être représentée sur une surface. 3. Le nombre de points en x et y dans un raster.

- **Segment :**

Ligne connectant des sommets dans une construction.

- **Sélectionner :**

Créer un sous-ensemble dans un groupe d'entités ou d'enregistrements.

- **Session de mise à jour :**

Les modifications de données vectorielles ou attributaires ont lieu lors d'une session de mise à jour (de 'Ouvrir une session de mise à jour' dans le menu Edition à 'Quitter la session de mise à jour').

- **Source de données (data source) :**

Données géographiques telles que couverture, fichier de formes, raster ou géodatabase.

- **Style :**

Ensemble d'éléments à utiliser pour créer des cartes ou à placer sur les cartes. Les styles comprennent des éléments tels que les symboles, les barres d'échelles, les couleurs de remplissage...

- **Symbole :**

Représentation graphique d'une entité individuelle ou d'une classe d'entités.

- **Symbologie :**

Critères permettant de définir les symboles matérialisant les entités d'une couche. La caractéristique d'une entité peut influencer la taille, la couleur et la forme du symbole utilisé.

- **Système de coordonnées :**

Méthode de précision de la localisation d'entités du monde réel sur la surface du globe.

- **Table (attributaire) :**

Informations relatives aux entités figurant sur une carte, stockées sous forme de lignes et colonnes. Chaque ligne correspond à une seule entité (enregistrement) et chaque colonne (champ) contient les valeurs correspondant à une seule caractéristique.

- **Table des matières :**

Liste de toutes les couches d'un document ArcMap et affichage de ce que représentent les entités de chaque couche.

Bibliographie :

- Azzouni-Sekkal, A., Liegeois, J.P., Bechiri-Benmerzoug, F., Belaidi-Zinet, S., Bonin, B., 2003. The “Taourirt” magmatic province, a marker of the very end of the PanAfrican orogeny in the Tuareg Shield: review of the available data and Sr–Nd isotope evidence. *J. Afr. Earth.*
- Bendaoud, A., Derridj, A., Ouzegane, K. et Kienast, J-R. 2004 Granulitic metamorphism in the Laouni terrane central Hoggar. *Key Points on African Geology –KPAG-* Edited by Nasser Ennih, Jean-Paul Liegeois and Bob Thomas. *J. Afr. Earth.*
- Benyahia, O., Haddoum, H., Ouzegane, K., Bendaoud, A., Djemai, S., Kienast, J-R. 2005. Influence panafricaine puis phanérozoïque des shear zones sur le socle éburnéen de la région de Tamanrasset, *Afr. Geosci.*
- BRIEDJ, M., 1994. Etude tectonique de la région de Tahifet (Hoggar central, Algérie). Implications géodynamiques. Thesis Université de Nancy 1, France 201 p. (unpublished).
- BRMA. 1961. Carte géologique du Sahara massif du Hoggar à 1/500.000. Eds. BRGM, Paris.
- BROWN, G.C., 1982. Calco-alkaline intrusive rocks ; their diversity and evolution to volcanic arcs,
- Bernard-Griffiths, J., Fourcade, S., Kienast, J.R., Peucat, J.J., Martineau, F., Rahmani, A. 1996. Geochemistry and isotope Sr, Nd, O study of Al-Mg granulites from the In Ouzzal Archaean block Hoggar, Algeria. *J. Metamorphic Geol.*
- Bertrand, J.M., 1967. Existence de plissements superposés dans le Précambrien de l’Aleksod (Ahaggar oriental). *Bull. Soc. Géol. Fr.*
- Bertrand, J.M., 1971. Caractères structuraux, pétrographiques et géochimiques de la mobilisation syntectonique dans les gneiss du Précambrien de l’Aleksod (Ahaggar oriental, Sahara central). *Bull. Soc. Géol. Fr.*,
- Bertrand, J.M., 1974. Evolution polycyclique des gneiss du Précambrien de l’Aleksod Hoggar central, Sahara algérien. Aspects structuraux, pétrologique, géochimiques et géochronologiques. CNRS Paris, France,
- Bertrand, J.M., Caby, R. 1978. Geodynamic evolution of the Pan-African orogenic belt: a new interpretation of the Hoggar shield Algerian Sahara. *Geol. Rundsch.*
- Bertrand, J.M., Caby, R., Ducrot, J., Lancelot, J., Moussine-Pouchkine, A., Saadallah, A., 1978. The late Pan-African linear fold belt of Eastern Hoggar Algeria. Geology, structural development, U-Pb geochronology, tectonic implications for the Hoggar shield. *Precamb. Res.*

- Bertrand, J.-M., Jardim de Sa', E.F., 1990. Where are the Eburnean–Transamazonian collisional belts?. *Can. J. Earth Sci.*
- Bertrand, J.M., Lasserre, M. 1973. Age éburnéen de la série de l'Arechchoum (Hoggar central, Sahara algérien).
- Bertrand, J.M., Lasserre, M. 1976. Pan-African and pre-Pan-African history of the Hoggar Algerian Sahara in the light of new geochronological data from the Aleksod area *Precamb.Res.*
- Bertrand, J.M., Michard, A., Boullier, A.M., Dautel, D., 1986. Structure and U/Pb geochronology of Central Hoggar Algeria: a reappraisal of its Pan-African evolution. *Tectonics.*
- Beswick, A. E. 1982. Some geochemical aspects of alteration and genetic relations in komatiitic suites. In *Komatiites*. Eds. N. T. Arndt, E. G. Nisbet. London.
- Black, R., Caby, R., Moussine-Pouchkine, A., Bayer, R., Bertrand, J. M. L., Boullier, A.-M., Fabre, J., Lesquer, A., 1979. Evidence for late precambrian plate tectonics in West Africa. *Nature.*
- Black, R., Latouche, L., Liégeois, J.P., Caby, R., Bertrand, J.M., 1994. Pan-African displaced terranes in the Tuareg shield central Sahara. *Geology*
- Black, R., Liégeois, J.P., 1993. Cratons, mobile belts, alkaline rocks and continental lithospheric mantle: the Pan-African testimony. *J. Geol. Soc. London.*
- Bonin, B., Azzouni-Sekkal, A., Bussy, F., Fellag, S. 1998. Alkali-calcic and alkaline post-orogenic PO granite magmatism : petrologic constraints and geodynamic settings. *Lithos.*
- BOURCART, J. 1923. Un voyage au Sahara, note préliminaire sur les résultats géologiques de la mission O. Olufsen au Sahara. *B. Cong. Afr. Fr. Paris.*
- CABY R, ANDREOPOULOS-RENAUD U (1987) : le Hoggar oriental, Bloc cratonisé à 730 Ma dans la chaîne panafricaine du Nord du continent africain. *Precamb. Res.*
- CABY, R., (1970). . La chaîne pharusienne dans le NW de l'Ahaggar (Sahara central; Algérie): sa place dans l'orogénèse du Précambrien supérieur en Afrique. Thesis, University of Montpellier, France and 1983 Publication de la Direction des Mines et de la Géologie, Algiers, Algeria.
- CABY, R., 1973. Les complexes précambriens du nord de l'Adrar des Iforas ; leurs relations chronologiques et structurales et leur place dans la chaîne panafricaine du Sahara central. *C.R. Acad.Sc. Paris.*
- CABY, R., 2003. Terrane assembly and geodynamic evolution of central-western Hoggar: a synthesis. *Journal of Earth Sciences.*

- CABY, R., ANDREOPOULOS-RENAUD U AND PIN, C., 1988. Late proterozoic Arccontinent and continent-continent collision in the panafrican trans-saharan belt of Mali, Contribution to IGCP.
- CABY, R., ANDREOPOULOS-RENAUD, U., 1985. Etude pétrostructurale et géochronologie U/Pb sur zircon d'une métadiorite quartzique de la chaîne panafricaine de l'Adrar des Iforas (Mali). Bulletin de la Société Géologique de France 8,
- CABY, R., ANDREOPOULOS-RENAUD, U., 1987. Le Hoggar oriental, bloc cratonisé à 730 Ma dans la chaîne pan-africaine du nord du continent africain. Precambrian Research.
- CABY, R., ANDREOPOULOS-RENAUD, U., 1989. Age U-Pb à 620 Ma d'un pluton synorogénique de l'Adrar des Iforas (Mali). conséquences pour l'âge de la phase majeure de l'orogène pan-africaine. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris.
- CABY, R., ANDREOPOULOS-RENAUD, U., GRAVELLE, M., (1982). Cadre géologique et géochronologique U/Pb sur zircon des batholites précoces dans le segment panafricain du Hoggar central (Algérie). Bulletin Société Géologique France
- CABY, R., ANDREOPOULOS-RENAUD, U., GRAVELLE, M., 1982. Cadre géologique et géochronologie U/Pb sur zircon des batholites précoces dans le segment panafricain du - Hoggar central (Algérie). Bulletin de la Société Géologique de France
- CABY, R., ANDREOPOULOS-RENAUD, U., LANCELOT, J.R., 1985. Les phases tardives de l'orogénèse pan-africaine dans l'Adrar des Iforas oriental (Mali): lithostratigraphie des formations molassiques et géochronologie U/Pb sur zircon de deux massifs intrusifs. Precambrian Research
- CABY, R., ANDREOPOULOS-RENAUD, U., PIN, C., 1989. Late Proterozoic arccontinent and continent-continent collision in the Pan-African Trans-Saharan belt of Mali. Canadian Journal of Earth Sciences.
- CABY, R., BERTRAND, J.M.L., BLACK, R., (1981). Oceanic and continental collision in the Hoggar Iforas Pan-African segment Precambrian Plate-tectonics. Ed.: Elsevier,
- CABY, R., BERTRAND, J.M.L., BLACK, R., 1981. Oceanic closure and continental collision in the Hoggar-Iforas Pan-African segment. In: A. Kröner, (Ed.), Precambrian Plate Tectonics. Elsevier,
- CABY, R., MONIÉ, P., 2003. Neoproterozoic subduction and differential exhumation of western Hoggar (southwest Algeria) : new structural, petrological and geochronological evidence. Journal of African Earth Sciences,
- CABY, R. ET ANDREOPOULOS U (1983) : Age à 1800 Ma du magmatisme subalcalin associé aux métasédiments monocycliques dans la chaîne panafricaine du Sahara central. Journal of African earth Sciences. Vol.1 N°34

- CAHEN, L., SNELLING, N.J., DELHAL, J., VAIL, J.R., BONHOMME, M., LEDENT, D., 1984. *The Geochronology and Evolution of Africa*. Clarendon Press, Oxford.
- CHAPPEL, B W., AND WHITE, A J R. , 1984. Source rocks of I-type granites and S-t in the Lachlan fold belt, SE Australia. *Phil. R. Soc. London.* .
- CHEILLETZ, A., BERTRAND, J.M.L., CHAROY, B., MOULAHOU, O., BOUABSA, L., FARRAR, E., ZIMMERMANN, J.L., DAUTEL, D., ARCHIBALD, D.A., BOULIER, A.M., (1992). Géochimie et géochronologie Rb-Sr, K-Ar et 40A/39Ar des complexes granitiques pan-africains de la région de Tamanrasset (Algérie) : relation avec les minéralisations Sn-W associées et l'évolution tectonique du Hoggar central. *Bulletin Société Géologique France*
- Haddoum H., 1992. Etude structurale des terrains archéens du môle In Ouzzal Hoggar occidental, Algérie. Thèse de Doctorat d'état U.S.T.H.B.,
- Haddoum, H., Choukroune, P. et Peucat, J.J., 1994. Evolution of the Precambrian InOuzzal block (Central Sahara, Algeria). *Precambrian Research*,
- Kilian, C., 1932. Sur les conglomérats précambriens du Sahara central : le Pharusien et le Suggarien. *C.R.Soc.Géol.France*,
- Latouche, L., Liégeois, J.P., Boughrara, M., Navez, J., Guiraud, M., 2000. PanAfrican thrust sheets and eclogites in the central Hoggar terranes (Tuareg shield, Algeria). 18th. Coll. *African Geology, Graz, 3-7 July 2000, J. Afr. Earth Sci., 30, 4A*,
- Lelubre, M., 1952. Recherches sur la géologie de l'Ahaggar central et occidental Sahara central. *Bull. Serv. carte géol. , Algérie*,
- Liégeois, J.P., Bertrand, J.M., Black, R., 1987. The subduction- and collision-related Pan-African composite batholith of the Adrar des Iforas Mali: a review. In: Kinnaird, J., Bowden, P. Eds., *African Geology Review*. John Wiley, London, pp. 185–211. and *Geological Journal*
- ALLEGRE, C., CABY, R. 1972. Géochronologie absolue du Précambrien de l'Ahaggar occidental. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris 275, 20952098*. (Bessoles 1977)
- Liégeois, J.P., Black, R., Navez, J., Latouche, L., 1994. Early and late Pan-African orogenies in the Air assembly of terranes Tuareg shield, Niger. *Precamb. Res.*
- Liégeois, J.P., Latouche, L., Boughrara, M., Navez, J., Guiraud, M., 2003. The LATEA metacraton Central Hoggar, Tuareg shield, Algeria: behaviour of an old passive margin during the Pan African orogeny. *J. Afr. Earth Sci.*
- Liégeois, J.P., Latouche, L., Navez, J., Black, R., 2000. Pan-African collision, collapse and escape tectonics in the Tuareg shield: relations with the East Saharan Ghost Craton and the West African craton. *J. Afr. Earth Sci*

- Liégeois, J.P., Navez, J., Hertogen, J., Black, R. 1998. Constrating origin of postcollisional high-K calc-alkaline and shoshonitic versus alkaline and peralkaline granitoids. The use of sliding normalization. *Lithos*,
- Peucat, J.J., 1983. Géochronologie des roches métamorphiques (Rb-Sr et U-Pb). Exemples choisis au Groëland, en Laponie, dans le massif Armoricaïn et en Grande Kabylie. Mémoire - de la Société Géologique et Minéralogique de Bretagne,
- Peucat, J.J., Bernard-Griffiths, J., Codie, K.C., 1989. Sr,Nd and Pb isotopic systematics in the Archaean low-to high-grade transition zone of southern India: synaccretion vs postaccretion granulites. *Journal of geology*,
- Peucat, J.J., Mahabaleswar, Jayananda, M., 1993. Age of younger tonalitic magmatism and granulitic metamorphism in the south Indian transition zone (Krishnagiri area); comparison with older peninsular gneisses from the Gorur-Hassan area. *Journal of Metamorphic Geology*,
- Peucat, J.J., Capdevila, R., Drareni, A., Choukroune, P., Fanning, M., BernardGriffiths, J., Fourcade, S., 1996. Major and trace element geochemistry and isotope Sr, Nd, Pb, O systematics of an Archaean basement involved in a 2.0 Ga VHT 1000°C metamorphic event: In Ouzzal massif,Hoggar, Algeria. *J. Metamorphic Geol.*
- Peucat, J.J., Drareni, A., Latouche, L., Deloule, E., Vidal, P., 2003. U–Pb zircon TIMS and SIMS and Sm–Nd whole-rock geochronology of the Gour Oumelalen granulitic basement, Hoggar massif, Tuareg shield, Algeria. *J. Afr. Earth Sci.*
- Picciotto, E., Ledent, D., Lay, C., 1965. Etude géochronologique de quelques roches du socle cristallophyllien du Hoggar Sahara central. Actes 151e Coll. Intern. C.N.R.S. Géochronologie absolue, 277-289, Edit. C.N.R.S. Paris.
- Benaïssa Houria (2013) : Etude cristallochimique des tourmalines des filons de quartz aurifères de l'indice de Seldrar, Terrane d'Iskel (Hoggar occidental), UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID – TLEMCEM
- Lahrèche Zoubida Nardjes (2015) : élaboration d'un SIG pour la cartographie lithologique et linéamentaire de la région e « Mékalis-Tirkount »
- Petit Robert 2014 : définition de la Géomatique
- CARTOTHÈQUE JEAN-MARIE-ROY ???
- Antoine DENIS, Université de Liège (ULg) Arlon Campus Environnement : initiation à ArcGis.
- Esri : nouveautés d'ArcGis10 **Années???**

Sites internet :

<http://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/>

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_d%27information_g%C3%A9ographi que](https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_d%27information_g%C3%A9ographi_que)

<http://www.sig-geomatique.fr/sig-sig.html>

<http://www.ign.fr/>

<http://seig.ensg.ign.fr/>

infoterre.brgm.fr

<http://www.sigea.educagri.fr/>

<https://www.clionautes.org/spip.php?article553>

<http://cnig.les-argonautes.fr/>

<http://www.geomag.fr/>