



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHESCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI OUZOU

Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques

DEPARTEMENT DES SCIENCES GEOLOGIQUES

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER EN GEOLOGIE

Option : Ressources minérales et environnement



**Cartographie SIG au 1 /200.000 de la région de Tahifet – in Abeggui
(Hoggar central, Algérie), Géologie et Minéralisation associées**

Réalisé par :

IGOUDJILENE Mohammed

Soutenu publiquement le : 27

Devant le jury:

M. AMROUCHE Farid	MAA	FSBSA/UMMTO	President
M. ZEGHOUANE Hocine	MCB	FSBSA/UMMTO	Promoteur
M. HAMIS Ahmed	MAA	FSBSA/UMMTO	Examineur
M. DROUCHE Abdelmadjid	MAA	FSBSA/UMMTO	Examineur



**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHESCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI OUZOU

Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques

DEPARTEMENT DES SCIENCES GEOLOGIQUES

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER EN GEOLOGIE

Option : Ressources minérales et environnement

SUJET

**Cartographie SIG au 1 /200.000 de la région de Tahifet – in Abeggui
(Hoggar central, Algérie), Géologie et Minéralisation associées**

Réalisé par :

IGOUDJILENE Mohammed

Soutenu publiquement le : 27

Devant le jury:

M. AMROUCHE Farid	MAA	FSBSA/UMMTO	President
M. ZEGHOUANE Hocine	MCB	FSBSA/UMMTO	Promoteur
M. HAMIS Ahmed	MAA	FSBSA/UMMTO	Examineur
M. DROUCHE Abdelmadjid	MAA	FSBSA/UMMTO	Examineur

Remerciements

Au terme de ce travail, je voudrais exprimer mes reconnaissances et mes remerciements :

Je remercie en premier lieu et très particulièrement mon promoteur **Monsieur ZAGHOUANE.H** pour avoir proposé d'abord ce thème, puis m'a dirigé et conseillé tout au long de ce travail il n'a pas cessé de me faire profiter de sa grande expérience et suivre l'évolution de mon travail malgré ses multiples responsabilités. La qualité de ses exigences scientifiques, la confiance qu'il m'a témoigné et les moyens qu'il a mis à ma disposition m'a permis de mener à bien ce travail, qu'il trouve ici l'expression de mon profonde gratitude.

Un grand merci à **Monsieur AMROUCHE.F** qui a accepté de présider ce jury. J'espère qu'il trouvera ce travail à la hauteur.

Je suis très content que **Monsieur HAMIS.** a accepté d'examiner ce travail. Il a toujours fait preuve d'une grande générosité envers tout le monde et n'a jamais hésité à me tendre la main.

Je suis très content aussi que **Monsieur DROUCHE.** a accepté d'examiner ce modeste travail.

Je remercie aussi mes chers professeurs du département des sciences géologiques par qui j'ai été entouré durant le cursus pour leur bienveillance et leur encadrement.

Je remercie également toute l'équipe pédagogique du département des sciences géologiques de l'UMMTO.

Dédicaces

C'est avec profonde gratitude et un grand bonheur que je dédie ce travail à la mémoire de mon père qui ma tout donné sans rien en retour que dieu te grâce par son paradis je ne suis que le fruit de ton éducation et tes principes.

A ma mère qui ma guidé depuis ma naissance jusqu'à ce jour merci d'être un exemple de courage, de force et d'indépendance pour moi, je ferai de mon mieux pour être et rester une fierté à vos yeux, je vous doit ce que je suis aujourd'hui.

A mes chers frères Yasmina et Massi

A mes cousins et cousines

A ma copine Nadia qu'a été toujours a mes cotés et ma soutenu tout le long de ce cursus

A mes chers amis qui ont illuminé la route qu'on a prise ensemble : M. ali, k. Belaid, l. idir S. Menad, D. Farhat, O. Hassen, R. Kouciela

Sans oublier Okara ali, M. Rahim, C. soufian, C. said, K. radia, L. Kahina, Youyou, B. Fawzi, M. Ktia, I. Yanis, C. Toufik, A. Chafa, Monir, L. Kiki, C. Lysa, B. Abir, L. Sonia, A. Lynda, Sara, Rosa...

Résumé.

Depuis l'avènement de l'outil informatique, les SIG (système d'information géographique) sont de nos jours des outils technologiques incontournables d'affichage, d'analyse et de mise à jour des données géoréférencées. Ce qui permet une meilleure compréhension des phénomènes qui se produisent à la surface du globe terrestre.

Dans le présent mémoire, on se propose de réaliser une cartographie SIG en utilisant le logiciel Arc GIS portant sur la géologie, et les minéralisations de la partie sud de la région Hoggar central, cette région est constituée de trois cartes au 1/200 000 (Tahifet, In-Abeggui, In-Attei). Le travail consiste à extraire et à mettre sous forme de couche d'informations vectorielles, l'ensemble des entités géologiques et géologiques (lithologie, magmatisme, tectoniques, minéralisations) cette nouvelle forme de cartographie représentera une nouvelle forme des données numériques permettant la facilité de la mise à jour et une meilleure explication des données géologiques et minières.

Mots clés : SIG, Hoggar, Géologie, Cartographie.

SOMMAIRE

I .But et objectif du travail.....	1
II. Présentation de la région d'étude.....	1
CHAPPITRE I	
I.Introduction.....	3
II. Subdivisions structurales du Hoggar.....	4
II.1 Le Hoggar occidental.....	4
II.2 Le Hoggar central.....	7
II.3 Le Hoggar oriental.....	9
III.Subdivision du Hoggar en 23 Terranes	11
IV.Volcanisme du Hoggar	12
CHAPPITRE II	
INTRODUCTION :	13
I- La feuille de TAHIFET.....	13
I.1.LITHOSTRATIGRAPHIE ET PETROGRAPHIE.....	14
I.1.1-RÉGION DE L'OUA HÉLLÉDJENE	14
I.1.1.1.L'ensemble gneissique	16
I.1.1.2.L'ensemble méta-sédimentaire.....	17
I.1.2.RÉGION DE L'AGHEFSA.....	18
I.1.2.1.L'unité d'In Lefsaouène.....	21
I.1.2.2L'unité de l'Assendjef.....	22
I.1.4.LE MAGMATISME.....	23
I.1.3.RÉGION DE L'OUED TIN TARABTNE.....	24
I.2.METAMORPHISME.....	25
I.3. LE PLUTONISME.....	26
I.3.1 - LE PLUTONISME PRE A SYNTECTONIQUE (D1A)	26
2 - LE PLUTONISME SYNTECTONIQUE (D2A)	27
3 - LE MAGMATISME TARDI À POST-TECTONIQUE (D3A)	27
Tectonique et métamorphisme.....	28
LES DOMAINES STRUCTURAUX.....	28

I.4.MINERALISATION.....	33
II. Les feuilles IN-ABBEGUI et IN-ATTEI.....	33
Litho-stratigraphie.....	34
1 Protérozoïque	34
2 Paléozoïque	34
3 Quaternaire	34
Magmatisme.....	41
3.TECTONIQUE.....	46
4-MINERAUX UTILES.....	48
CHAPPITRE III	
1. Introduction	50
2-Définition de SIG.....	51
3-Composants du SIG	51
4-Comparaison entre les modes vecteurs et rasters	56
5. SIG et Géologie	58
5.1. Construction du SIG géologique.....	58
5.2. Architecture du modèle spatial	59
5.3. Méthode de construction d'un SIG	59
6. Domaines d'application	60
le SIG sous Arc GIS	60
1. Définition	60
2- Présentation du logiciel Arc GIS 10.....	60
CHAPPITRE IV	
1 .Application aux feuilles de Tahift-In Abeggui.....	65
Etapes suivies pour le traitement et vectorisation des cartes.....	66
1.1. a. Rappels théoriques.....	66
1.1. b. Géo-référencement.....	68
Les étapes suivies pour le géoréférencement d'une carte à l'aide d'ArcGIS 10 ...	68
1.1.c. Vectorisation d'une carte.....	73

I .But et objectif du travail :

Le but de notre travail consiste à moderniser et informatiser les données sur la géologie du Hoggar central. La cartographie SIG va rendre la gestion facile, et permet une meilleure connaissance de la distribution de la minéralisation, faire une mise à jour pour la géologie. A partir de ces informations on peut réaliser un système d'information géographique (SIG).

Aujourd'hui les nouvelles technologies utilisées dans le domaine de la géologie facilitent le travail aux géologues pour délimiter, extraire et aller droit vers l'information. La cartographie SIG permet de transformer des cartes sous format raster en format vecteur passant par une série d'application : géoréférencement, numérisation, vectorisation et l'analyse des données.

L'intégration de ces données dans un système d'information géographique devient de plus en plus nécessaire, en raison de sa capacité de stockage et la possibilité de traitement et d'extraction de l'information utile.

La création d'un système d'information géographique réunissant et conservant un large ensemble des 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 des cartes thématiques et méthodes utiles.

II. Présentation de la région d'étude :

Situation géographique, Climat, faune et flore.

La région est située dans l'extrême sud de l'Algérie, au centre du Massif du Hoggar et à une centaine de km à l'Est de Tamanrasset. La superficie Cartographiée de l'ordre de 11000 km² correspond à la coupure topographique régulière limitée par les coordonnées géographiques: longitude =6° et 7° Est et Latitude : 20° et 23° Nord.(fig1)

Cette région de même que l'ensemble des régions du Sud algérien souffre d'un Manque d'eau qui handicape le développement humain mais qui fait le bonheur des géologues, le Hoggar étant devenu, avec les effets conjugués des agents climatiques, un immense affleurement de vieux socle.

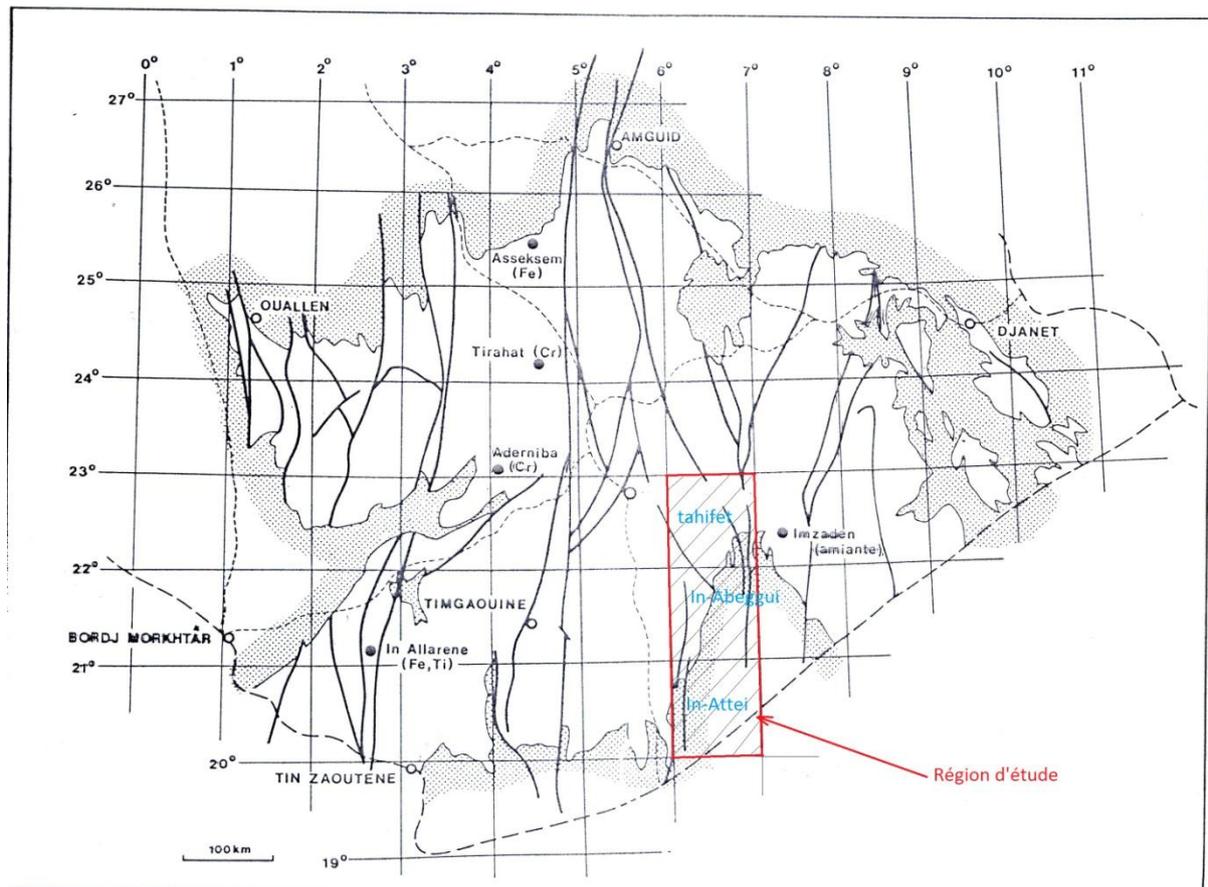


Figure 1 : région d'étude

Caractérisée par un climat désertique, aride et sec, avec de fortes température, un été très chaud avec des températures allant jusqu'à 45°C sous l'ombre et un hiver moyennement tempéré, avec des températures allant de 15°C à 25°C et nocturnes jusqu'à 0°C.

Les précipitations atmosphériques sont en général rares mais parfois dévastatrices. à cause de l'absence de la végétation.

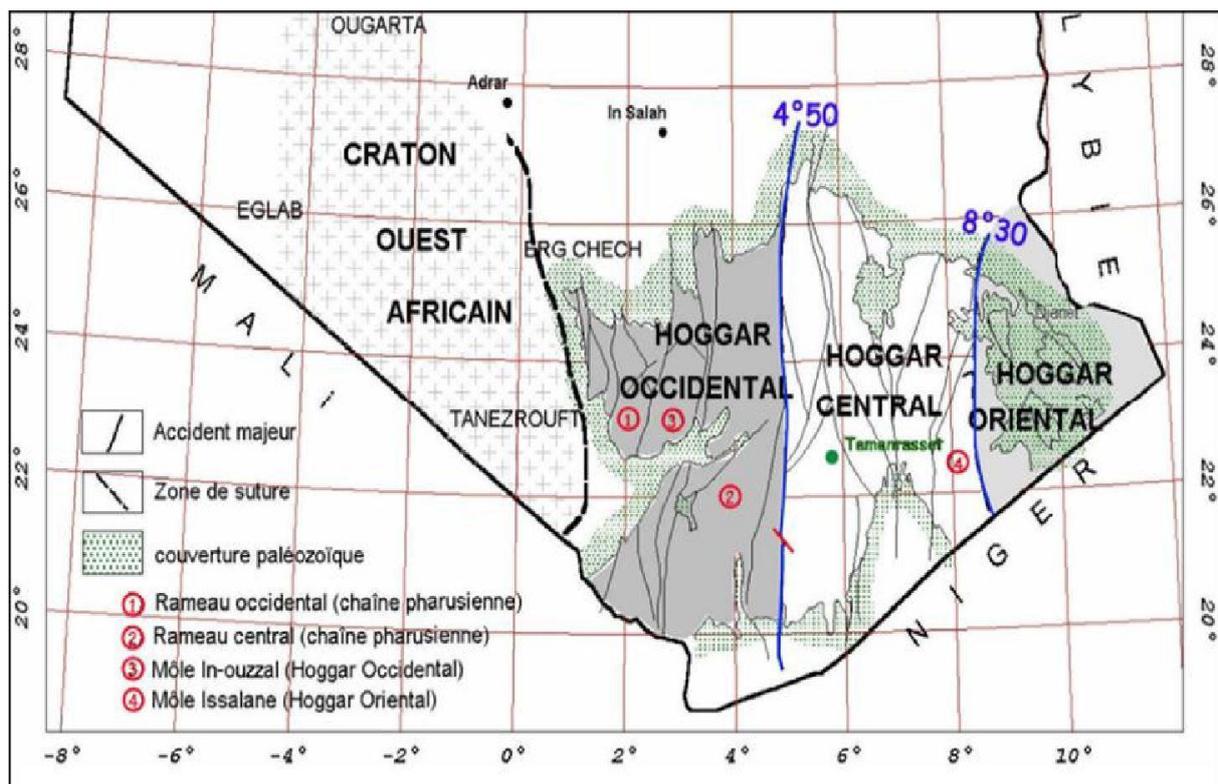
La faune du Hoggar, typique des régions désertiques, est essentiellement composée du fennec, de gazelle dorcas, du renard famélique, du mouflon à manchette, du rat épineux du daman des roches, scorpions, vipères etc...

La flore est pauvre, elle pousse en général dans les lits d'oueds et autour de certains points d'eaux permanents. Plus fréquemment les tamaris, l'acacia, graminées sauvage, les peupliers et l'armoise.

I. Introduction :

Le Hoggar est situé à environ 2000km au sud d'Alger. Avec ses 550 000 km² de superficie, il est le plus important constituant du bouclier touareg. Il se prolonge, au sud-ouest, au Mali, par le Massif des Iforas, et à l'Est, au Niger, par le Massif de l'Aïr, il est constitué de terrains d'âges archéens, éburnéens et panafricains.

Sa structuration, qui s'est effectuée principalement au cours de l'orogénèse panafricaine, est caractérisée par de grands cisaillements N-S d'échelle continentale, les accidents 4°50' et 8°30'. Ils le séparent en trois grands domaines qui sont de l'Ouest vers l'Est: le Hoggar occidental, le Hoggar central et le Hoggar oriental (Bertrand et Caby, 1978)

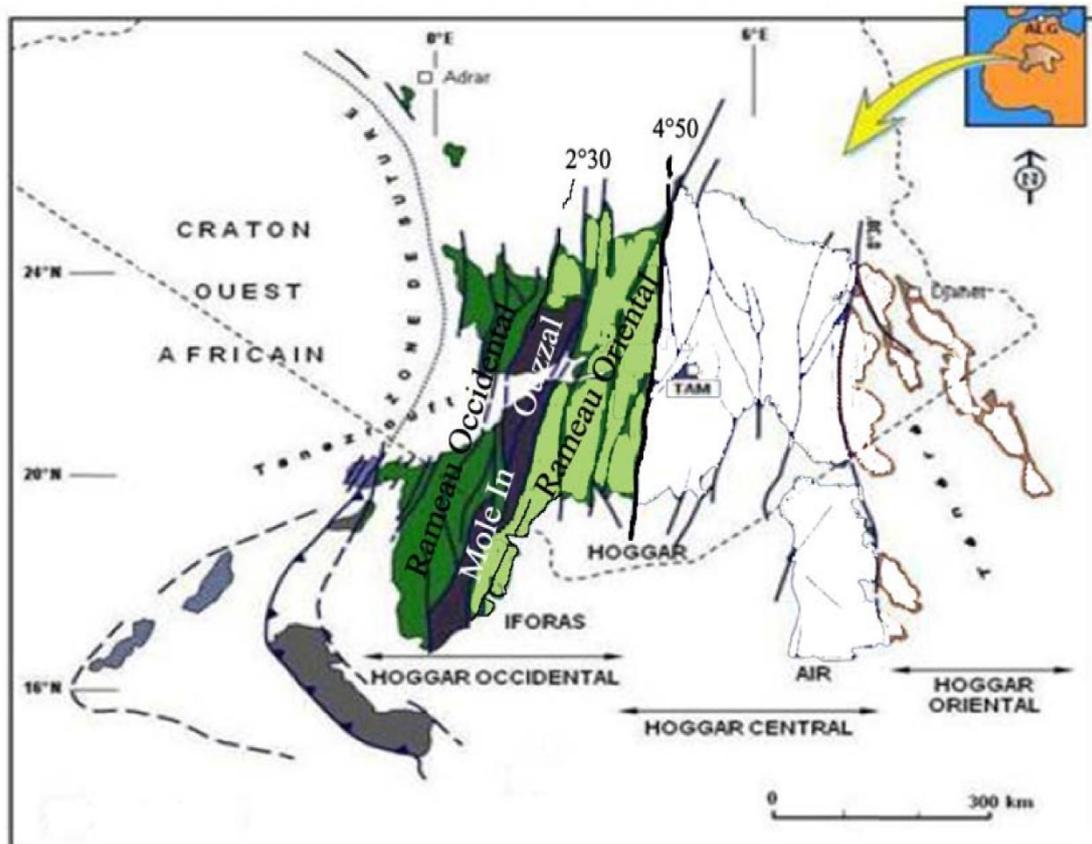


(Figure.2) Carte de situation du Hoggar.

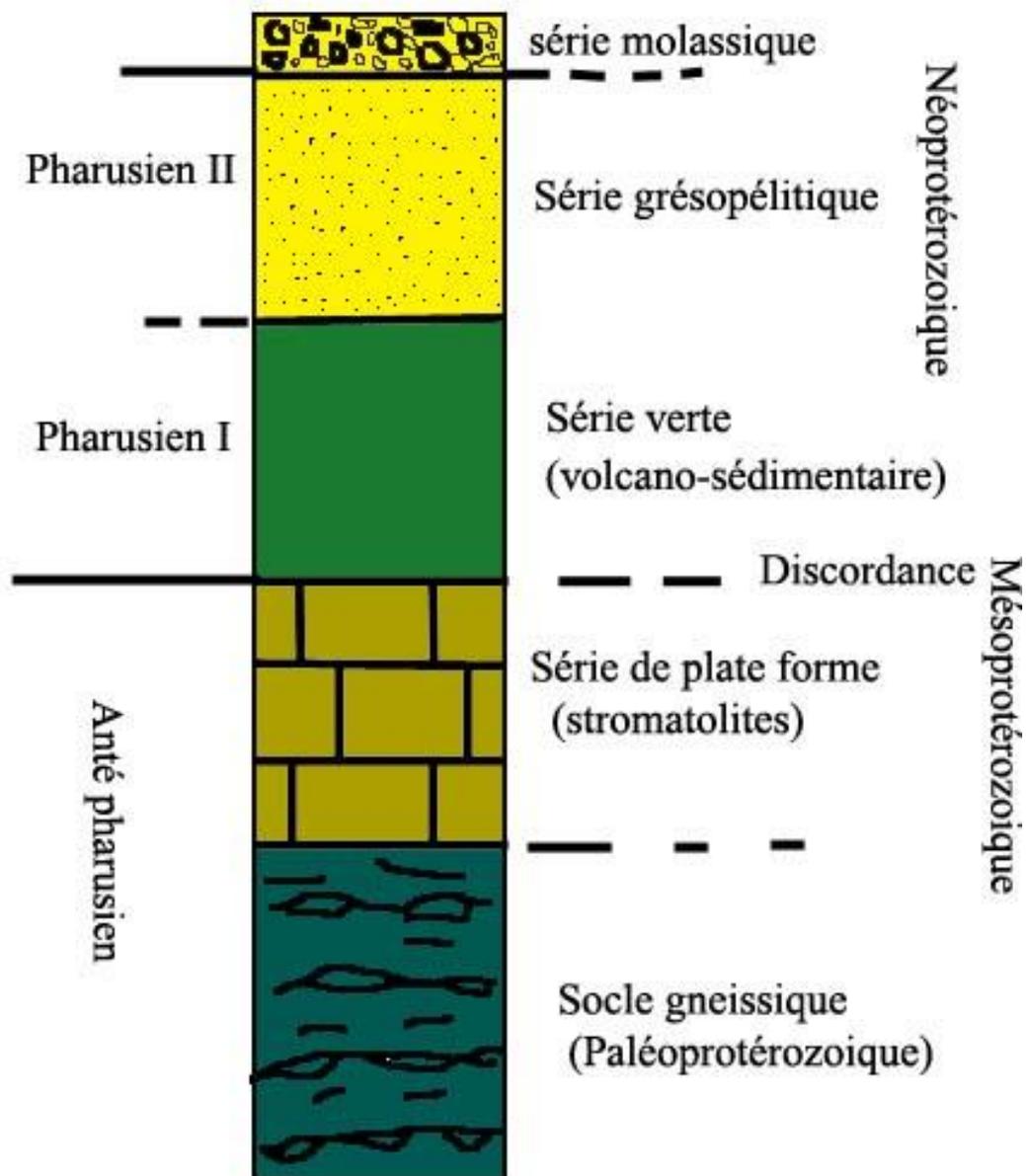
II. Subdivisions structurales du Hoggar

II.1 Le Hoggar occidental

- Région où affleure la chaîne dite pharusienne composée de deux rameaux (occidental et oriental) séparés par le môle granitique d'In Ouzzal d'âge archéen (Fig.3). Elle est constituée de deux séries volcano-sédimentaires épaisses d'âge Néoprotérozoïque (Pharusien inférieur et Pharusien supérieur) intrudées par un plutonisme orogénique très développé. Ces séries reposent sur un socle gneissique du Paléoprotérozoïque inférieur et des séries de plate-forme mal datées (séries de l'Ahnet et série à stromatolithes). L'ensemble est recouvert par une molasse importante (série pourprée) qui clôture le cycle orogénique panafricain (Fig.4).



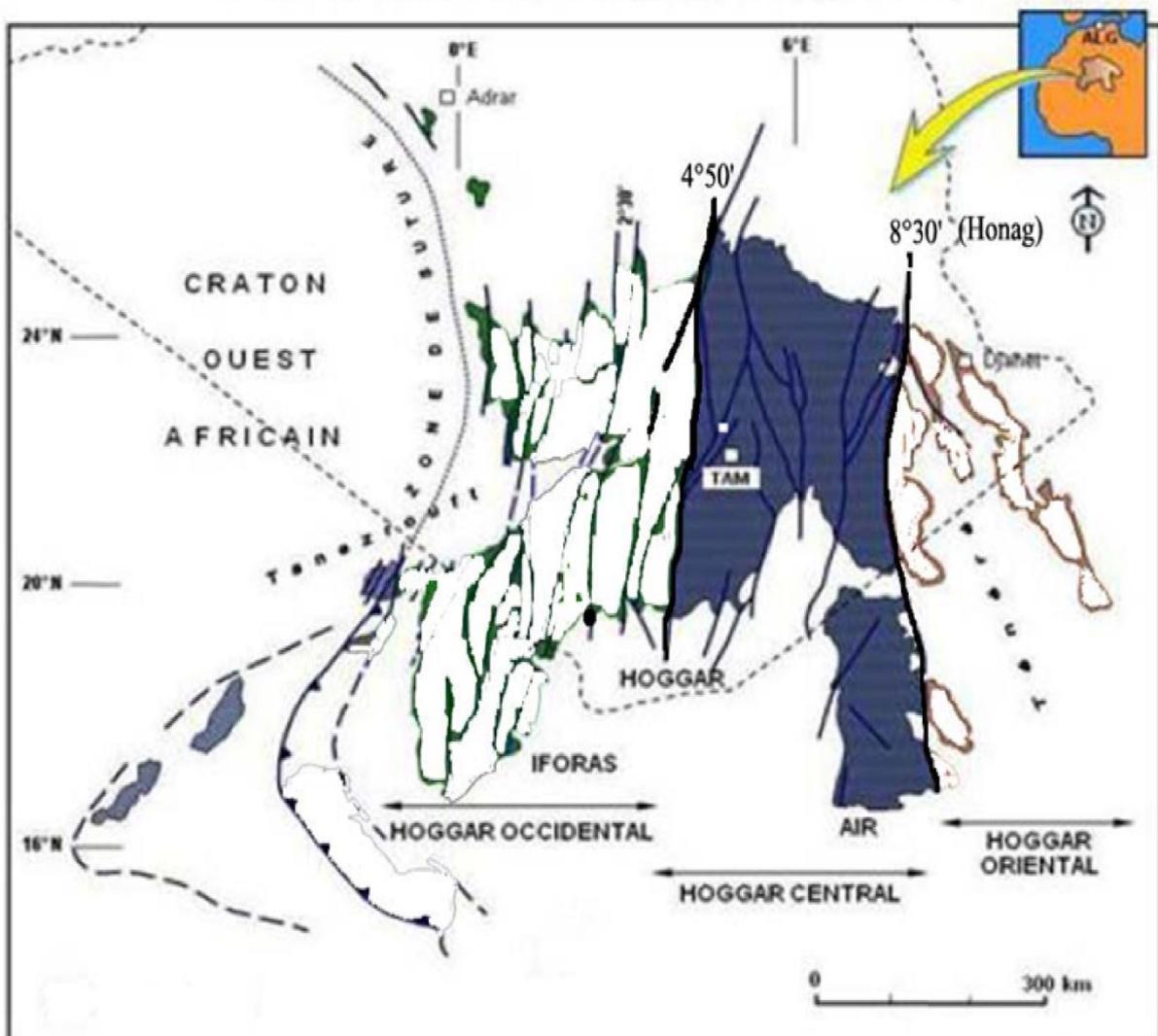
(figure.3) le Hoggar occidental (D'après Caby et al.,1981).



(Figure.4): log synthétique du Hoggar occidental

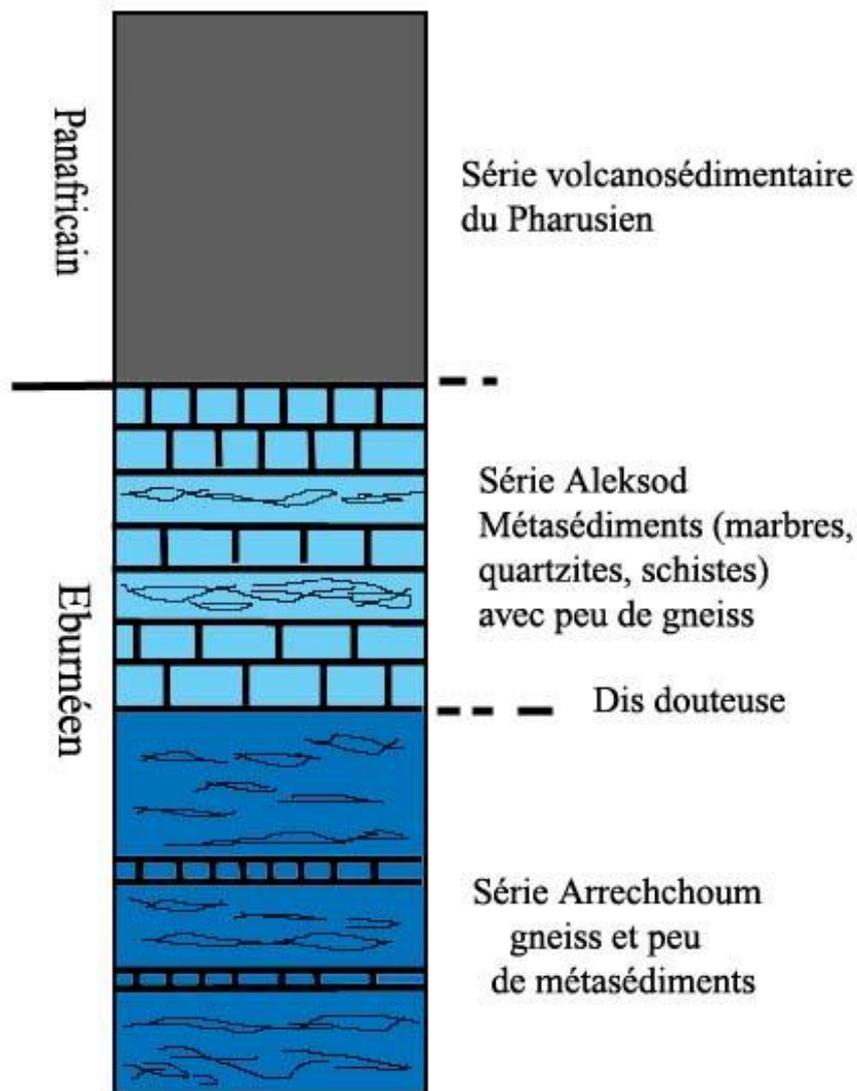
II.2 Le Hoggar central

- Limité à l'Ouest par l'accident $4^{\circ}50'$ et le $8^{\circ}30'$ à l'Est, il se prolonge vers le sud au Mali par le massif de l'Aïr. Cette partie du Hoggar est constituée des terrains précambriens polycycliques. L'orogénèse Panafricaine est le dernier événement qui a contribué à sa configuration actuelle. Cette région du Hoggar est constituée d'une amalgamation de sept terranes : Laouni, Azrou-n-fad, Tefedest, Egéré-Aleksod, Assodé-Issalane, Serouanout et Tazat (Black et al., 1994). (Fig.5)



(Figure.5) le Hoggar central (D'après Caby et al., 1981).

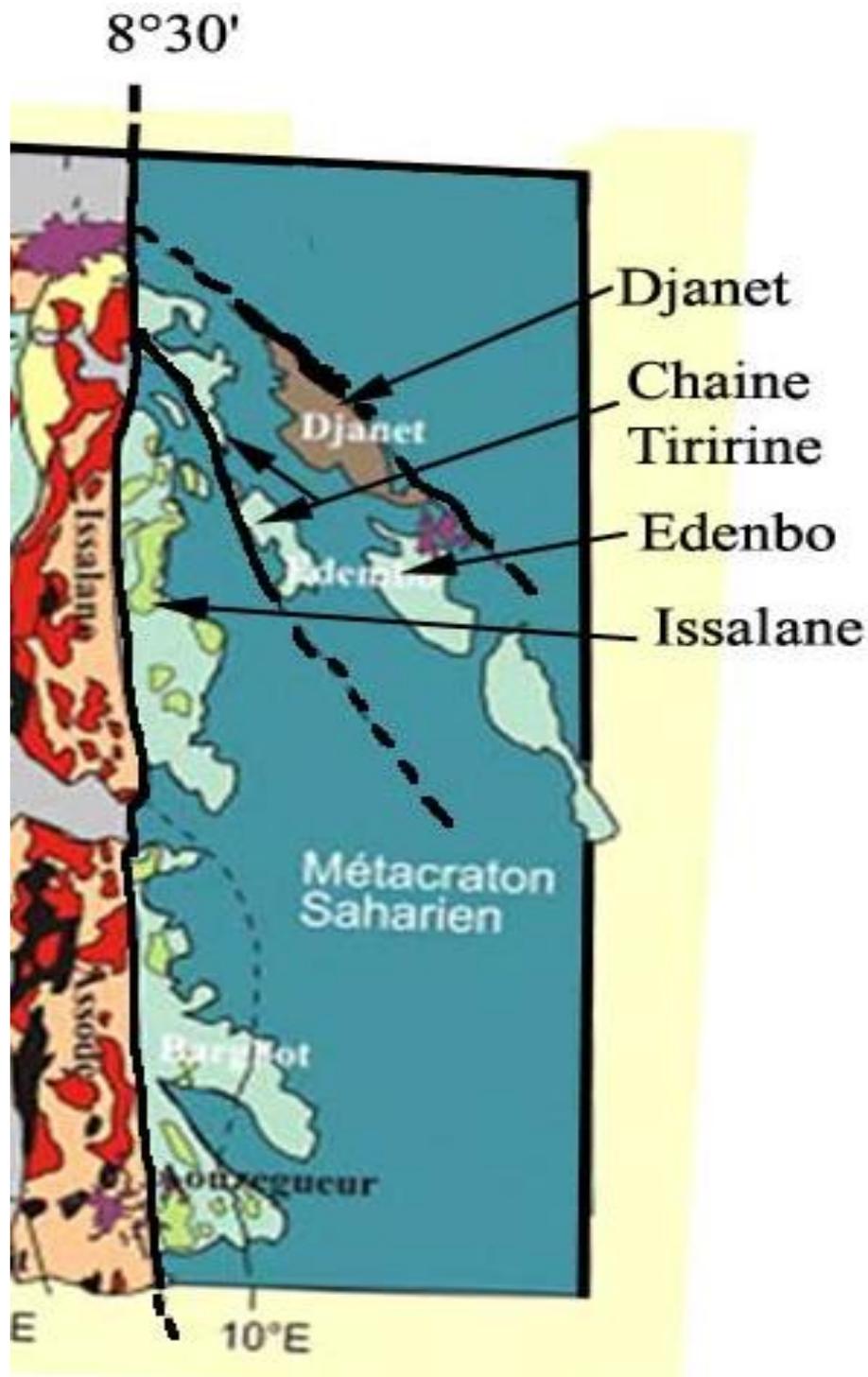
- Le Hoggar central dit polycyclique où dominent les ensembles gneissiques du Paléoprotérozoïque inférieur : (séries de l'Arechchoum et de l'Aleksod) recouverts en discordance par les séries volcanosédimentaires pharusiennes (Arefsa, Aleksod et Sérouenout). Toutes ces séries (voir fig.6) sont affectées par la tectonique panafricaine exprimée par des nappes de socle (lentilles éclogitiques) et sont largement intrudées par des batholites granitiques syn-orogéniques. La tectonique tardive s'exprime par les rejeux multiples d'accidents décrochants conjugués NS et NW-SE.



(Figure.6) log synthétique du Hoggar central

II.3 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.



(Figure.7) Le Hoggar oriental

1. La chaîne Tiririnienne : "série de Tiririne"

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

L'ensemble est recoupé par des granites syn à post-tectonique mis en place entre 600 Ma et 580 Ma (Bertrand et al 1978).

2. Le môle Issalane

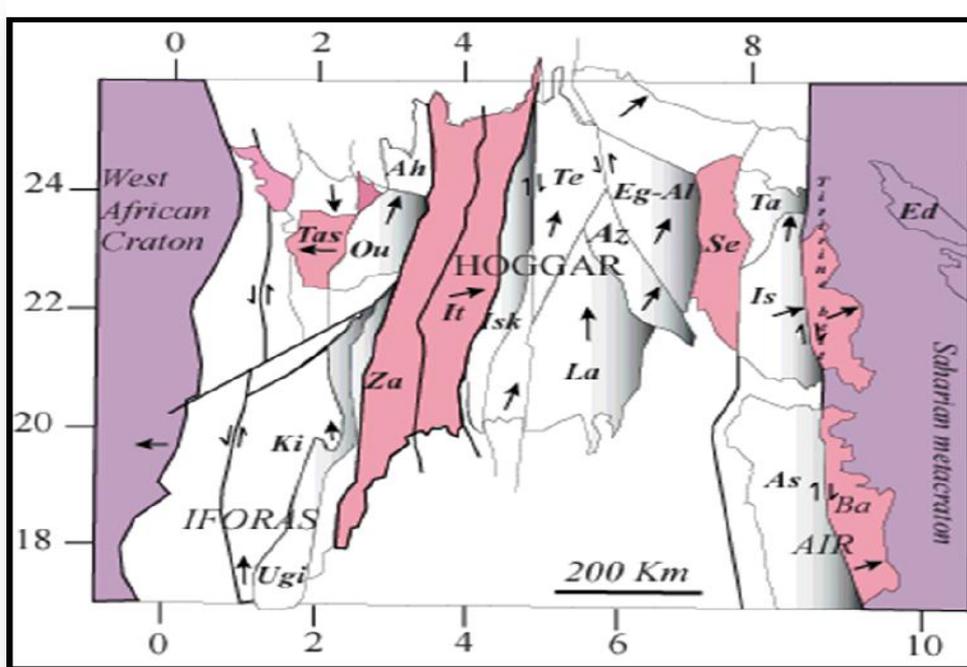
- Il est constitué essentiellement de métasédiments, de gneiss et de migmatites. Le contact de ce socle d'âge inconnu avec la série de Tiririne est chevauchant (Bertrand et Caby, 1970).

3. Le bloc Djanet - Taffassasset

- Ce bloc diffère du môle 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 dernières sont intrudées par un grand batholite syn à tardi-tectonique daté à environ 725 Ma (Caby et Andreaopoulos, 1987).

III. Subdivision du Hoggar en 23 Terranes

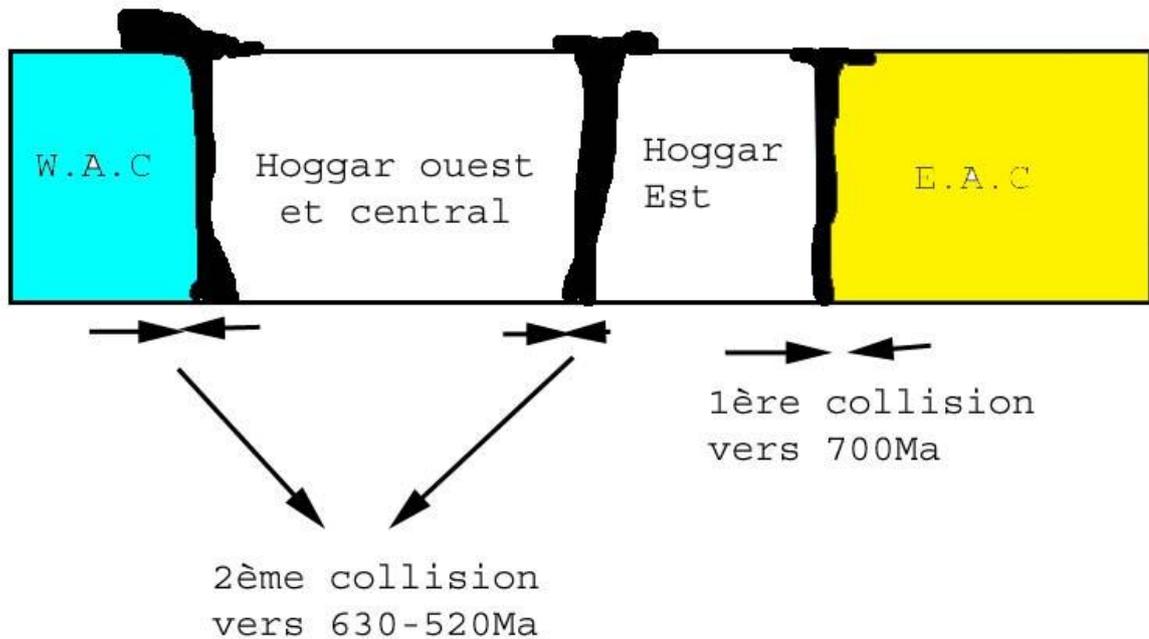
Terranes: Ce sont des aires continentales considérées comme des terrains exotiques, possédant des structures tectoniques majeures et des caractéristiques structurales, métamorphiques et magmatiques dont seul le facteur déplacement, peut résoudre le problème de corrélations entre ces blocs (Fig.8).



(Figure.8) Carte structurale du bouclier Touareg avec représentation des différents Terranes (Black et al. 1994).

- D'Est en Ouest les terranes sont ceux de Djanet (Dj), Edembo (Ed), Aouzegueur (Ao), Barghot (Ba), Assodé- Issalane (As-Is), Tchilit (Tch), Tazat (Ta), Serouenout (Se), Egéré-Aleksod (Eg-Al), Azrou-n-Fad (Az), Tefedest (Te), Laouni (La), Iskel (Isk), In Tedeini (It), Tin Zaouaten (Za), Tirek (Tir), Ahnet (Ah), In Ouzal (Ou), Iforas granulitic unit (Ugi), Tassendjanet (Tas), Kidal (Ki), Tilemsi (Til), Timetrine (Tim).
- Ces terranes ont leurs propres lithologies et caractéristiques tant du point de vue de la métamorphisme que du magmatisme ou de la tectonique.

- Ces terranes ont été assemblés au cours de deux phases principales (Liégeois et al; 1994) marquées par deux collisions majeures:
- La première entre le Craton Est Africain (CEA) qui se comporte en marge passive et les plus orientaux des terranes du bouclier Touareg à environ 700Ma.
- La deuxième oblique entre le Craton Ouest Africain (WAC) à l'Ouest. Elle débute à environ 630Ma et se continue jusqu'à environ 525Ma.



IV. Volcanisme du Hoggar

- C'est un volcanisme basique d'âge cénozoïque et quaternaire.
- Le Hoggar a connu d'abord un bombement lithosphérique puis un début de rifting pour certains ou un Hot spot pour d'autres.

CHAPITRE II
*
GEOLOGIQUE
DE
LA REGION D'ETUDE

INTRODUCTION :

Notre région d'études est composée de deux parties

La première partie comprend la feuille de TAHIFET et la deuxième partie les deux feuilles IN-ABBEGUI et IN-ATTEI

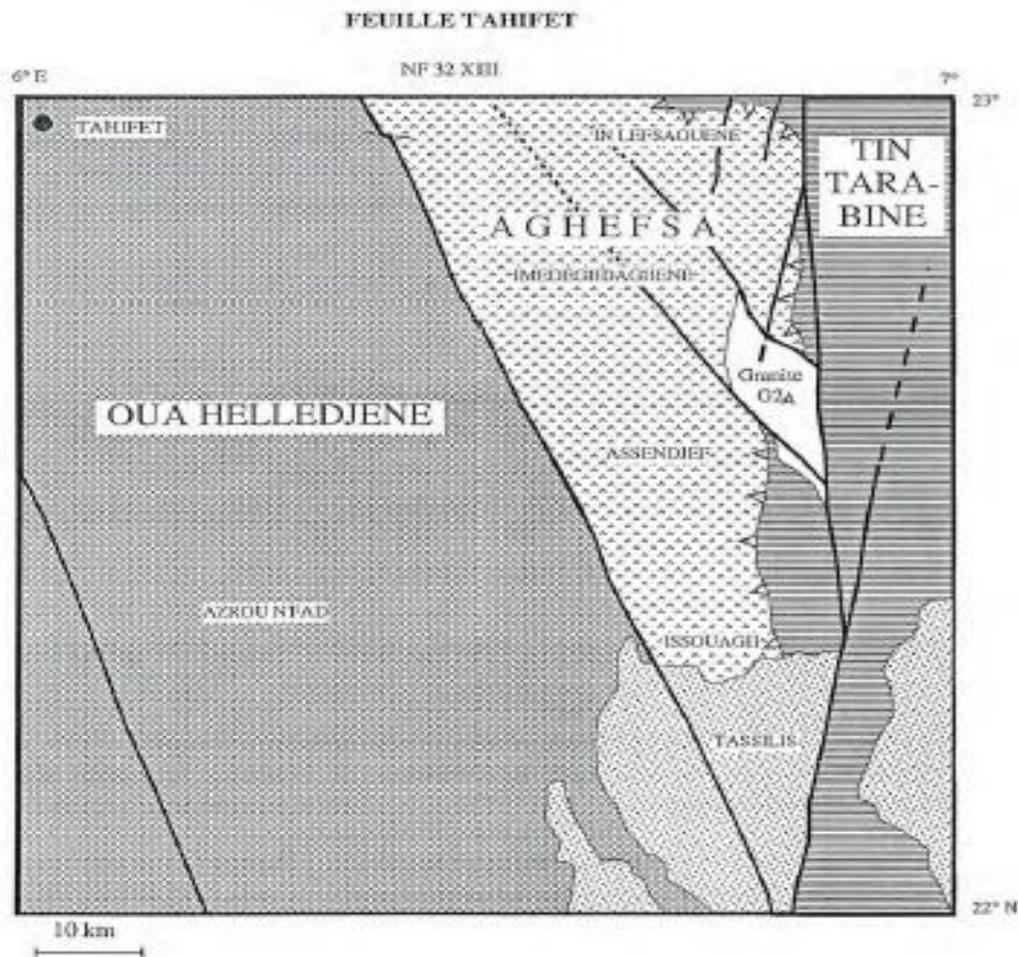
I- La feuille de TAHIFET :

Cette feuille limitée par les coordonnées (6°-7°) longitude. Est et (22°-23°) latitude Nord, se situe dans la partie centrale du Hoggar présentant un relief typique de petites montagnes, sillonné par de nombreuses vallées. Dans son ensemble, la région est passablement praticable mis à part les aires du développement du haut de la série de l'Aleksod, des blocs de roches pharusiennes et des fenêtres d'érosion dans les nappes basaltiques, interdisent leur intérieur aux véhicules.

La région de Tahifet a fait l'objet d'une thèse de doctorat (BRIEDJ, M 1993). deux levés géologiques partiels de reconnaissance à 1/200 000 (B.R.M.A .1955-57 et 1959-60) qui ont permis de dégager sur la base des travaux de Lelubre (1952) les grands ensembles litho-stratigraphiques.

- Aux mouvements tectoniques importants qui peuvent induire des redoublements de séries. C'est notamment le cas de l'Egeré où Duplan (1972) a établi une cartographie remarquable, sans tenir compte de l'empilement précoces de nappes (Latouche 1985).
- Au métamorphisme qui peut affecter différemment des formations identiques.
- Aux variations latérales de faciès qui peuvent être non négligeables sur l'étendue de la région étudiée ($\approx 10\ 000\ \text{km}^2$). Ainsi les corrélations d'un secteur à l'autre sont à considérer avec précautions.

La distribution géographique des affleurements des différents ensembles que nous avons cartographiés s'organise en trois régions naturelles à morphologies et contenus lithologiques bien distincts et nettement séparées par des contacts tectoniques majeurs. Ce sont d'Ouest en Est: la région de l'Oua Helledjène où affleurent essentiellement des terrains gneissiques à dominante méta-sédimentaire, la région de l'Aghefsa où sont confinés des unités volcano-détritiques affectées d'un métamorphisme très faible à moyen et la vallée de l'oued Tin Tarabine où on rencontre essentiellement des gneiss granitiques avec peu de méta-sédiments.



(Figure.9) : Carte schématique de situation des différents domaines décrits dans le texte (Briedj, 1993).

I.1.LITHOSTRATIGRAPHIE ET PETROGRAPHIE

I.1.1-RÉGION DE L'OUA HÉLLÉDJENE

Elle est bordée au Nord par les premiers reliefs imposants du massif volcanique de l'Atakor à la latitude du village de Tahifet, à l'Ouest par l'Oued Tahifet dont le lit est subméridien, au Sud par des grands regs (étendues sablonneuses) granito-gneissiques, au Sud-est par les plateaux gréseux des Tassilis sud et à l'Est par l'accident majeur de l'oued Afara Héouhine. Elle est caractérisée par la présence de deux grands ensembles qui se distinguent nettement en photo aérienne et sur le terrain respectivement par leurs morphologies et leurs lithologies différentes: un ensemble monotone affleurant dans les grandes dépressions, composé essentiellement de gneiss granitiques et d'amphibolites

et un ensemble de gneiss à dominante méta-sédimentaire (barres de quartzites et marbres) formant les zones montagneuses, généralement en synforme.

Le contact entre ces deux ensembles est bien tranché et on reconnaît facilement sur le terrain les gneiss granitiques par leur couleur grise ou rose avec de nombreux mobilisats plissés qui appartiennent au premier ensemble et les gneiss rouges ou gris-bleutés qui sont intimement liés aux alternances de quartzites et de marbres. Ce contraste brutal de lithologie entre un ensemble à dominante magmatique et un autre à dominante sédimentaire nous a conduits à supposer une coupure importante dans l'histoire de la région. Cependant nous n'avons observé nulle part de discordance stratigraphique ou tectonique. Nous signalerons toutefois l'existence de lentilles d'éclogites à l'interface entre ces deux ensembles (pourtour nord du batholite d'Azrou N'fad) et emballées dans les gneiss granitiques de l'ensemble de base plus au Nord (oued Azrou). De plus l'ensemble gneissique affleure toujours dans des dômes formant des antiformes alors que les méta-sédiments constituent des synformes couchées. Cependant, plus au Nord, dans l'Aleksod Bertrand (1974) a pu distinguer dans une région litho-logiquement comparable une discordance tectonique entre un socle gneissique (série de l'arechchoum) et une couverture méta-sédimentaire (série de l'Aleksod).

Par endroits il a été observé des discordances stratigraphiques, malheureusement non datées et mal calées c'est le cas dans la région des gours Oumellalen (Latouche 1978) et dans le Tazat (Blaise 1967, Bertrand et al 1968). Aussi, bien que localement nous n'avons aucun argument pour distinguer un socle et une couverture, si ce n'est l'architecture en dômes de l'ensemble gneissique et l'analogie des faciès avec les autres régions étudiées. Nous considérons, sous toutes réserves, que cet ensemble gneissique de base peut correspondre à un socle équivalent à la série de l'Arechchoum et l'ensemble méta-sédimentaire un équivalent de la série de l'Aleksod.

I.1.1.1.L'ensemble gneissique :

a - Contenu lithologique :

Cet ensemble affleure en dômes plurikilométriques constitués de puissantes séries monotones de gneiss granitiques (à botite ± amphibole) à des gneiss dioritiques et des amphibolites en bancs peu épais et parfois en lentilles

métriques. Ces gneiss présentent toujours une mobilisation importante qui se manifeste par une structure veinée et des filons nets pegmatitiques plissés. On rencontre parmi ces gneiss de rares intercalations peu épaisses (quelques mètres) de marbres et de quartzites à muscovite, parfois à sillimanite et rarement à grenat. Ces formations gneissiques, se caractérisent également par la présence de puissants massifs plus ou moins concordants d'ortho-gneiss granitiques et par des lentilles de gabbro-diorites. Si les corps basiques sont relativement faciles à cartographier par leur contraste de couleur sur le terrain et parfois sur la photo aérienne, les massifs granitiques de composition minéralogique souvent voisine de l'encaissant le sont difficilement.

b - Caractéristiques pétrographiques :

Les faciès principaux sont des gneiss granitiques à grano-dioritiques alternant avec des niveaux dioritiques, souvent migmatitiques. Plus rares sont les gneiss à biotite et grenat, parfois à sillimanite et les passées d'amphibolites. De rares niveaux métriques de quartzites et de marbres sont aussi inter-stratifiés dans ces gneiss. Les lentilles éclogitiques, parfois emballées dans les gneiss granitiques, sont décrites dans cet ensemble de base:

a) - Les gneiss granitiques à grano-dioritiques sont de couleur gris clair à rose. Ils présentent une prédominance de minéraux blancs: quartz et feldspaths avec une prépondérance des plagioclases (oligoclase-andésine) par rapport aux orthoses dans les variétés grano-dioritiques. La biotite est omniprésente en paillettes flexueuses parallèles à la foliation. Les minéraux accessoires les plus communs sont: l'apatite, le zircon.

b) - Les niveaux dioritiques sont caractérisés par leur couleur vert clair à vert foncé due à l'abondance de la hornblende. De la biotite est présente également dans ces niveaux. Le plagioclase, abondant est de l'andésine. Le quartz est rare. Les minéraux accessoires sont l'apatite, et de l'épidote secondaire.

c) - Les passées d'amphibolites tranchent bien sur le terrain par leur couleur noire et forment des niveaux peu abondants d'épaisseur métrique. Elles sont souvent boudinées et tronçonnées en lentilles à contour losangique par des plans de cisaillement réguliers (formant des structures C/S d'échelle métrique). Elles sont traversées systématiquement par des filonnets pegmatitiques plissés.

d) - Les gneiss à biotite et grenat montrent aussi une foliation gneissique marquée par l'alternance de lits millimétriques clairs (quartzo-feldspathiques) et sombres (biotite et grenat). Dans ces faciès, la cordiérite se présente sous la forme de nodules de pinnite.

e) - Les gneiss à grenat et sillimanite sont de couleur grise. Ils sont riches en plagioclases très altérés et en quartz fortement engrené. La sillimanite forme des prismes minuscules associés en paquets flexueux. Les grenats sont sub-automorphes, craquelés, avec des inclusions de biotite. Cette dernière est assez répandue en paillettes de couleur brun rougeâtre associée à la magnétite.

f) - Les gneiss migmatitiques comportent des filonnets pegmatitiques, quartzo-feldspathiques, souvent plissés. Dans certaines zones, en particulier dans le batholite de l'Azrou N'fad et près de son contact, on rencontre des faciès nébulitiques avec passage progressifs aux granites. Ces filonnets sont constitués de plusieurs générations.

C) - Les amphibolites à grenat :

Ces amphibolites forment des lentilles de dimensions variables (métriques à décamétriques) et sont d'une importance capitale pour la reconstitution de l'histoire de la région. Ces lentilles montrent une zonalité minérale du centre vers la périphérie marquée par la disparition progressive des grenats, très développés au centre.

I.1.1.2.L'ensemble méta-sédimentaire :

a - Contenu lithologique : Eu égard à la tectonique intense qui affecte ces différents ensembles, nous ne pouvons, au stade actuel de connaissance, distinguer clairement ce qui est interstratifié tectoniquement de ce qui est en contact stratigraphique. Des gneiss à sillimanite et grenat ainsi que des niveaux de quartzites et de marbres sont associés étroitement aux gneiss de base. Ce type d'association a déjà été décrit dans l'Aleksod (Bertrand 1974) et dans l'Amsinassène (Vitel 1979). Les grandes unités de méta-sédiments affleurent toujours dans de grandes synformes couchées et forment grâce à leur ossature quartzitique les reliefs les plus importants de la région.

Sur la base de considérations géométriques. Nous aurions trois grandes unités:

1- Les quartzites ferrugineuses en bancs discontinus (0,50 à 1 m d'épaisseur) sont toujours au contact des gneiss du "socle" présumé, ces quartzites peuvent

également être massives et pures (10 à 300 m d'épaisseur) ou à débit en plaquettes (quartzites à muscovite et sillimanite).

2- Des marbres purs. Ces niveaux de marbres sont souvent laminés dans les flancs de plis et épaissis dans les charnières. Les épaisseurs varient de 2m dans les flancs à 300 m dans les charnières.

3- Une série très épaisse (estimée à 3-4 km) et monotone de gneiss à biotite, sillimanite, grenat et (rare) cordiérite, avec des intercalations de micaschistes à biotite, sillimanite et grenat, de quartzites (purs ou à minéraux), de marbres et de gneiss calciques (pyroxène et épidote) en bancs métriques.

b - Caractéristiques pétrographiques :

Nous décrivons les roches de l'ensemble méta-sédimentaire sans préjuger ni de leur âge, ni de leur origine, d'après leur importance volumique décroissante: les gneiss, les micaschistes, les quartzites, les roches calciques et les gneiss à amphibole. Il faut cependant noter que certains faciès, en particulier les faciès à amphibole ont une composition minéralogique compatible avec une origine magmatique.

I.1.2.RÉGION DE L'AGHEFSA :

Elle est limitée au Nord, à l'Est et à l'Ouest par des contacts tectoniques majeurs et au Sud par des granites tardi à post-tectoniques et par les grès ordoviciens. Cette région de forme triangulaire est caractérisée par la présence à l'affleurement de puissantes unités volcano-détritiques et terrigènes lardées par un plutonisme important en volume. Ces unités sont affectées d'un métamorphisme faible, mis à part l'extrême nord (faciès amphibolite) et quelques zones restreintes liées aux granites, et présentent une structuration tectonique monocyclique, caractérisée par la présence d'une seule surface de schistosité qui affecte une stratification sédimentaire souvent reconnaissable. Ces terrains correspondent au Pharusien type de Kilian (1932) et Lelubre(1952).

C'est en effet dans l'oued Sersouf que fut définie la discordance stratigraphique classique entre le Suggarien et le Pharusien. Le Suggarien a été défini par Kilian (1932), à la suite de la découverte de conglomérats métamorphiques sur la rive droite de l'oued Sersouf, entre Arnane Haggarnine et Aït-Oklane près de la limite nord de la région étudiée. Ces conglomérats lui

permirent de distinguer deux termes dans l'Antécambrien du Hoggar: le Pharusien et le *Suggarien*. "*Le Suggarien est le terme le plus ancien et correspond au Précambrien qui a fourni ces conglomérats, au Précambrien qui lui est contemporain ou antérieur*". Le Pharusien correspond au "*Précambrien contemporain de ces conglomérats ou postérieur*" (Lelubre 1952).

Les observations nous montrent qu'en réalité les gneiss du "Suggarien" et les formations volcano-détritiques sont toujours en contact tectonique (nappes de charriage) avec accordance des schistosités et que nulle part il n'a été observé de discordance stratigraphique. Les conglomérats métamorphiques qui forment, d'après Kilian (1932) et Lelubre (1952), la base du Pharusien constituent en réalité des niveaux interstratifiés dans une unité volcano-détritique. L'argument principal pour ces auteurs est qu'une grande partie des galets de ce conglomérat est de composition minéralogique identique à celle du granite de Tiledenine attribué au cycle suggarien. De plus des observations au contact ouest de ce granite de Tilédénine ont confirmé que ce dernier recoupe à l'emporte pièce l'ensemble schistes volcano-détritiques et conglomérats identiques, qui localement présentent un pendage faible de 20° vers l'ouest. Ainsi on retrouve dans ce conglomérat aussi bien des galets de granites que de roches volcaniques. Il ne peut donc représenter la base du Pharusien (inconnue dans la région) tel que l'a admis Lelubre. Ce conglomérat forme une grande lanière discontinue qui se suit dans sa configuration actuelle (NS à NW-SE) à travers une grande partie du domaine de l'Aghefsa. Suite à ces observations nous proposons d'abandonner les termes de Suggarien et de Pharusien dans leur définition première qui est remise en cause. Cependant les géologues du Hoggar ont eu tendance ces dernières années à généraliser ces termes aux deux grands cycles orogéniques reconnus actuellement et qui correspondent respectivement à l'Eburnéen et au Panafricain.

Dans l'extrême sud de ce domaine, cet ensemble volcano-détritique qui se suit en continu du Nord vers le Sud montre une déformation très faible caractérisée par une verticalisation des coulées et l'absence de schistosité pénétrative. Les structures volcaniques primaires sont préservées. Sur ce complexe volcano-détritique repose en discordance angulaire un conglomérat polygénique à galets de roches volcaniques essentiellement et très hétérométrique. Le contact

de ce conglomérat est une surface de ravinement. Vers l'Ouest, toujours dans l'Adrar Issouagh, ce conglomérat, qui présente un pendage de 40° au NW, est associé à des alternances métriques de grès lithiques plus ou moins riches en débris et de conglomérats. Au dessus on rencontre de puissantes brèches volcaniques qui sont très développées plus au Nord-Ouest près de l'oued Afara Héouhine. Dans cette zone les brèches volcaniques et les conglomérats sont affectées par les plis ouverts droits subméridiens qui sont liés à l'évènement D2A.

Partant de l'Adrar Issouagh on passe vers le Nord-est après un accident tardif $N290^\circ$ à un ensemble volcanique peu déformé: affecté seulement d'une schistosité de fracture non pénétrative ($50-55^\circ$ au $N270^\circ$). Sur cet ensemble repose en discordance angulaire un conglomérat identique au précédent.

Ces volcanites associées à des niveaux schisto-gréseux passent en continu à des volcanites de plus en plus déformées vers le contact tectonique majeur avec le socle (région de l'Ouguellah). Cette déformation correspond à l'évènement DIA. Ainsi sur la base de ces observations nous avons distingué deux conglomérats:

(1) un conglomérat polygénique et hétérométrique inter-stratifié dans l'unité Assendjef qui est affecté par la déformation DIA (caractérisée par la schistosité subhorizontale et la linéation d'étirement subméridienne)

(2) un conglomérat polygénique et hétérométrique (Issouagh) en discordance angulaire sur cette unité de l'Assendjef déformée et affecté par la déformation D2A. Il faut noter cependant au stade de connaissance de la région qu'en tenant compte du caractère polygénique et hétérométrique de ces deux conglomérats d'âges différents, qui remanient un même matériel volcano-détritique et en particulier dans le Nord où les déformations sont importantes, il n'est pas exclu que des lambeaux de conglomérats de type Issouagh impliqués dans les déformations (D2A et D3A) ne soient confondus avec le conglomérat interstratifié. Sur la base de ces considérations lithologiques et structurales nous avons subdivisé les terrains à dominante volcano-détritique et peu métamorphiques dans l'ensemble en quatre unités. Du Nord vers le Sud, au dessus du contact tectonique majeur avec les gneiss de Tin Tarabine, on a:

(1) une unité de micaschistes à biotite et/ou muscovite et grenat dans la région

de l'oued In Lefsaouène (2) une unité de schistes ardoisiers dans la région de l'oued Immedéghdaghène (3) une unité volcano-détritique dans la région de l'oued Assendjef et (4) une unité molassique dans l'Issouagh .

I.1.2.1.L'unité d'In Lefsaouène :

a - Contenu lithologique :

Elle affleure uniquement sur une bande de quelques km de large dans la partie Nord de l'Aghefsa en accordance tectonique sur les gneiss du domaine de Tin Tarabine.

Elle est constituée essentiellement de micaschistes à muscovite dominante, biotite et grenat (500 m environ de puissance apparente), de micaschistes à biotite et grenat (100 à 300 m d'épaisseur apparente), et de marbres en plusieurs niveaux métriques (2 à 5m) interstratifiés. Ils sont souvent rubanés, de couleur gris bleutée et à texture saccharoïde. Les micaschistes sont largement envahis d'amphibolites qui montrent une concordance parfaite avec les micaschistes et pourraient correspondre à des coulées. Les amphibolites, de même que l'encaissant, sont recoupées par des filons puissants de granites qui constituent des digitations des plutons précoces (G 1) intrudés dans la région. L'épaisseur totale de cette unité est difficile à estimer du fait de la tectonique très intense, cependant l'épaisseur apparente totale est de l'ordre de 1 km. Ce problème d'épaisseur se pose pour toutes les formations rencontrées. On notera dans cette unité l'absence des quartzites et l'abondance des amphibolites.

b - Caractéristiques pétrographiques

Les micaschistes à muscovite et grenat, de couleur blanchâtre sur le terrain, sont les plus abondants. Mais très altérés. Les micaschistes à biotite et grenat de couleur gris noirâtre sont mieux conservés. La biotite est concentrée dans des lits millimétriques alternant avec des lits très riches en quartz qui donnent l'aspect, à l'oeil nu, d'une foliation gneissique.

I.1.2.2L'unité de l'Assendjef :

a - Contenu lithologique :

Au Sud, l'unité terrigène d'Imedeghdaghène semble passer progressivement à une unité volcano-détritique d'épaisseur apparente de 1,5 à 2 km, où dominent les roches volcaniques (basaltes, andésites et rhyolites). Associées à ces

volcanites elle contient aussi des intercalations de grès massifs ou versicolores (affectés de phénomènes hydrothermaux), des schistes gréseux avec des niveaux à dragées de quartz, des grès marneux et des niveaux épais (200 à 300 m) de conglomérats inter-stratifiés. Les dépôts carbonatés sont absents dans cette unité. Elle présente des états de déformation et de métamorphisme variables. Très peu déformée au Sud dans l'adras Issouagh où les structures volcaniques sont préservées, elle montre des gradients positifs de déformation et de métamorphisme vers l'Est et vers le Nord (cf Tectonique et Métamorphisme). On passe ainsi sur quelques kilomètres du domaine de l'Issouagh très peu déformé et métamorphique à des mylonites dans le faciès amphibolite au contact avec le socle gneissique de l'Ouguellah. Les relations de cette unité Assendjef avec l'unité d'Immedeghdaghène ne sont pas clairement établies en raison de la géométrie complexe des roches magmatiques (coulées et filons) et de la tectonique intense qui les affecte. Sur la carte géologique le passage d'une unité à l'autre est indiqué par un trait discontinu qui délimite grossièrement les limites des affleurements respectifs.

b - Caractéristiques pétrographiques :

C'est une unité volcano-détritique qui à la différence des autres unités (Imedeghdaghène et In Lefsaouène) est dépourvue de dépôts carbonatés. Elle est caractérisée aussi par l'abondance des termes volcaniques acides (environ 1/3 des affleurements de roches volcaniques), associés aux basaltes et qui sont absents dans les unités du Nord. Les faciès sédimentaires sont moins abondants à l'affleurement par rapport aux termes volcaniques. Ils sont constitués de schistes gréseux, de grès et des passées importantes de conglomérats interstratifiés et de grauwackes.

a) - Les schistes gréseux :

Ils forment plusieurs niveaux décamétriques intercalés indifféremment dans cette unité. Ils sont bien distincts par leur débit en plaquettes fines riches en micas blancs. On notera la présence d'un niveau caractéristique peu épais (3 à 5 m) de schistes micacés à "dragées" centimétriques de **quartz polycristallin**.

b) - les grés :

On rencontre divers faciès de grés: massifs à patine grise et versicolores (rouges à blancs) intercalés dans les schistes gréseux et les roches volcaniques.

Ces grès montrent par endroits des stratifications obliques ou des ripple-marks (oued Sersouf). Les faciès versicolores sont généralement à grain plus fin et d'aspect friable.

C) - Les conglomérats :

Ils sont polygéniques et les galets sont hétérométriques (1 à 20 cm). Leur observation à l'œil nu montre (dans des niveaux à petits galets) des débris de roches (50 à 60 %) plus ou moins arrondis de tailles variables (2 mm à 3 cm). Dans les niveaux déformés au Nord, ces éléments sont orientés et aplatis dans le plan de schistosité. Les éléments lithiques sont en grande partie constitués de rhyolites rouges, de granites roses à rouges et de roches basiques noires.

I.1.4.LE MAGMATISME :

Devant l'importance du magmatisme, affleurant sur des milliers de km² dans ces différents domaines (de natures et d'âges très variés, des massifs basiques à ultrabasiques de l'Oua Hellédjène aux basaltes de plateau disséminés, nous avons choisi de restreindre notre approche au magmatisme de l'Aghefsa. Ce dernier attribué au panafricain sur la base de critères structuraux et d'un âge Rb/Sr sur les rhyolites de l'Issouagh (583 ± 3 Ma) présente une grande variété de roches magmatiques. De plus, la reprise tectono-métamorphique, à l'instar des autres régions du Hoggar, semble a été très intense et a oblitéré les structures éburnéennes rendant indéchiffrables les relations entre les unités qui le composent.

Dans cette zone de l'Aghefsa nous avons décrit précédemment différentes unités litho-stratigraphiques, auxquelles est associé un magmatisme très diversifié. Ces unités sont affectées à des degrés variables par les déformations et le métamorphisme suivant leur position structurale dans l'édifice et leur âge relatif. Sur la base des relations structurales avec les unités litho-stratigraphiques nous avons reconnu cinq ensembles magmatiques :

1- Le magmatisme antérieur à la phase tectonique DIA représenté par de puissantes séries volcaniques diversifiées (basaltes à rhyolites) associées aux dépôts sédimentaires antérieurs à l'unité molassique (synchrone de l'évènement D2A) et qui montrent les mêmes paramètres de déformation que leur encaissant. Ces unités volcaniques ont été subdivisées en domaines géotectoniques distincts caractérisés par des lithologies différentes ainsi que

des degrés de métamorphisme et de déformation variables et séparés par des contacts tectoniques anormaux.

2- Le magmatisme synchrone de la phase DIA parmi lequel nous avons pu reconnaître un ensemble de granitoïdes précoces (groupe G 1) sous forme de plutons en feuillets épais mis en place en faciès amphibolite.

3 - Un magmatisme synchrone de l'évènement D2A (groupe G2) représenté par des massifs de forme lenticulaire de gabbros, tonalites et granites mis en place dans l'épizone.

4 - Un magmatisme de type explosif associé à la série molassique qui est affectée par cet évènement D2A. Du fait de son caractère composite ce volcanisme n'a pas été étudié.

5 - Un magmatisme tardi à post tectonique par rapport à l'évènement D3A qui regroupe les dernières manifestations ignées liées au cycle Panafricain et qui recoupent toutes les unités précédentes. Elles sont représentées par des granites en massifs circonscrits et non déformés et un réseau de filons de monzonites et de rhyolites.

I.1.3.RÉGION DE L'OUED TIN TARABTNE:

a - Contenu lithologique :

Dans la partie est du territoire étudié, la vallée de l'oued Tin Tarabine est occupée par des gneiss comparables à première vue aux gneiss de base de l'Oua Helledjène par la présence des alternances (d'épaisseur métrique) de gneiss granitiques et dioritiques sur de grandes étendues. On notera toutefois la présence ' de passées importantes (quelques centaines de mètres) de gneiss rouges (riches en feldspaths) qui sont interstratifiés dans cet ensemble. Cette zone de Tin Tarabine a été peu étudiée, les affleurements observés montrent beaucoup de niveaux d'amphibolites (d'épaisseur métrique) continus sur des kilomètres, encaissés dans ces gneiss monotones en particulier dans la partie nord. De rares bancs de quartzites purs et massifs et quelques lentilles de marbres affleurent dans cette mer de gneiss. On remarquera l'absence de grands ensembles méta-sédimentaires sauf peut être près du massif de Ti Messelel où affleurent quelques rares niveaux, peu épais de gneiss rouges, riches en muscovite, sillimanite et grenat et de quartzites qui rappellent l'ensemble méta-sédimentaire décrit plus haut. Le magmatisme de la région de

Tin Tarabine n'est pas décrit par manque d'observations. Ce massif à géométrie en feuillet épais, parallèle à la foliation générale, considéré comme synchrone de la tectonique tangentielle à vergence nord sera décrit avec le plutonisme panafricain de l'Aghefsa.

CONCLUSION :

Dans le domaine de l'Oua Helledjène les déformations acquises au cours de l'orogénèse panafricaine résultent de trois évènements:

(1) une tectonique tangentielle très forte à l'origine de plis isoclinaux de grande amplitude et de nappes crustales profondes.

Cette tectonique tangentielle a été datée dans son prolongement à l'Ouest (région de Tamanrasset) à 615 ± 10 Ma (Bertrand et al 1986 a).

(2) des décrochements majeurs senestres et de direction N 330° en conditions ductiles.

(3) Des décrochements subméridiens, dextres en conditions fragiles.

1.2.METAMORPHISME :

On peut subdiviser la région étudiée en trois domaines qui correspondent aux coupures structuro-lithologiques établies ci-dessus. D'Ouest en Est ce sont: le domaine de l'Oua Hellédjène, de l'Aghefsa et de l'oued Tin Tarabine.

- Le domaine de l'Oua Hellédjène :

Il correspond aux affleurements d'ensembles gneissiques qui se caractérisent sur le plan métamorphique par le faciès amphibolite de haut degré. Le métamorphisme panafricain dans cette région est caractérisé essentiellement par des minéraux index typiques du métamorphisme de basse pression et de haute température: sillimanite et cordiérite et des reliques granulitiques et éclogitiques locales.

- Le domaine de l'Aghefsa :

On observe une répartition spatiale du Sud vers le Nord partant de faciès schiste vert de bas degré au Sud au faciès amphibolite au Nord. Cette évolution apparente ne nous fournit pas forcément le chemin PTt (pression, température et temps) suivi par les roches les plus métamorphiques.

Le domaine de l'oued Tin Tarabine :

Il comprend des orthogneiss granitiques et dioritiques comportant des lentilles d'amphibolites de différentes tailles (m au km) et des intercalations de rares niveaux de méta-sédiments (quartzites, marbres et gneiss alumineux). Ils forment le soubassement des unités volcano-terrigènes de l'Aghefsa où ils affleurent en fenêtres dans la partie Nord au niveau de l'oued Sersouf et de l'oued Adjou. Les minéraux index que l'on observe sont caractéristiques du faciès amphibolite de haut degré: grenat, muscovite, biotite.

I.3. LE PLUTONISME :

I.3.1 - LE PLUTONISME PRE A SYNTECTONIQUE (D1A) :

Ce groupe comprend tous les termes plutoniques qui se mettent en place au cours de l'évènement DIA, caractérisé par une tectonique tangentielle importante à vergence nord.

Il est représenté essentiellement par les grands massifs de granitoïdes mis en place dans des plans de cisaillement au cours du fonctionnement de ces derniers. En effet, ils présentent une géométrie en feuillets épais à bords parallèles à la foliation régionale de l'encaissant. Ces massifs forment sur le terrain les grandes étendues planes (localement dénommées regs) avec de petits reliefs résiduels en boules typiques des granites.

2 - LE PLUTONISME SYNTECTONIQUE (D2A) :

Il comprend de grands massifs intrusifs de forme lenticulaire (Plusieurs km de long) et de compositions variables; il s'agit de gabbros (g), de tonalites (T) et de granites (G2) souvent associés spatialement et dont la mise en place est considérée synchrone de l'évènement D2A caractérisé par les décrochements ductiles sénestres de direction N 330. En effet, ces plutons recoupent sans ambiguïté les granitoïdes G 1 d'une part, et leur répartition spatiale suggère un contrôle de leur mise en place par ces décrochements, d'autre part. A ce groupe sont rattachés de nombreux massifs granitiques:

Tiledenine, oued Issekakaouine et oued Ihat plus au Nord. Les massifs basiques et intermédiaires occupent essentiellement la vallée de l'oued Assendjef et vers le Sud se prolongent jusqu'au pied de l'adjar Issouagh.

3 - LE MAGMATISME TARDI À POST-TECTONIQUE (D3A) :

Dans ce groupe (03) sont classées les dernières manifestations magmatiques liées au cycle orogénique panafricain. Il a été cartographié, uniquement dans l'Ouguellah, des Filons nettement affectés par les décrochements dextres, subméridiens qui caractérisent l'événement D3A. Ces filons qui montrent des virgations importantes en liaison avec ces décrochements. Le magmatisme qui est classé dans ce groupe 03 comprend les granites circonscrits tardifs par rapport à tous ces événements (D1A, D2A et D3A) et les filons rectilignes, non déformés. Ces granites n'ont pas été échantillonnés et l'un d'entre eux, de composition peralcaline, (massif de l'Ad je ma maye) a fait l'objet d'une datation Rb/Sr sur minéraux et roche totale qui a donné un âge de 510 ± 15 Ma interprété comme un âge minimum de mise en place (Bois sonnass et al 1970). Au Sud de l'adras Issouagh un autre massif granitique recouvert par les dépôts paléozoïques des Tassilis est supposé appartenir à ce groupe post-tectonique du fait de son caractère sécant et non déformé.

Tectonique et métamorphisme :

LES DOMAINES STRUCTURAUX :

Sur la base de la litho-stratigraphie et de la structure, la région étudiée a été subdivisée en trois domaines séparés par des contacts tectoniques majeurs. Ce sont d'Ouest en Est: Le domaine de l'Oua Helledjène, le domaine de l'Aghefsa et celui de l'oued Tin Tarabine. Nous avons peu d'observations sur le domaine de Tin Tarabine qui seront décrites avec celles du domaine de l'Aghefsa.

LE DOMAINE DE L'OUA HELLEDJENE :

Ce domaine est limité à l'Est et au Sud-Est respectivement par l'accident majeur de l'oued Afara Heouhine et les grès ordoviciens; il passe par contre progressivement vers le Nord-ouest aux reliefs volcaniques de l'Atakor (Girod 1971) et vers l'Ouest et le Sud-Ouest aux regs granito-gneissiques du sud de Tamanrasset. Il est caractérisé par une lithologie à dominante gneissique (para et ortho), par des mégaplis isoclinaux, plurikilométriques, très bien visibles sur les photos aériennes et la photo radar grâce à leur ossature quarzitique et par le degré de métamorphisme. Les ensembles gneissiques sont recoupés par un plutonisme important d'âge panafricain. La cartographie et l'observation des éléments structuraux de différentes échelles nous ont permis de définir trois

événements tectoniques successifs dans la région: l'événement DIH (H: Héliedjène), caractérisé par des déformations ductiles; l'événement D2H, marqué par des plis droits associés à des décrochements senestres et un événement D3H correspondant au fonctionnement de décrochement subméridiens dextres.

1- L'événement DIH :

Il correspond des plissements de surfaces métamorphiques à toutes les échelles d'observations. Ces plis isoclinaux (PI) sont associés à des surfaces de cisaillement majeur très probable. Deux familles de linéations sont liées à ces plis. Une famille très régulière subhorizontale et parallèle aux axes de plis et une famille plus rare perpendiculaire à ces derniers.

Les structures plissées :

a- Les plis isoclinaux (PI) : sont observables à toutes les échelles (km au cm) en particulier dans l'ensemble méta-sédimentaire, grâce à la variété lithologique qui sert de marqueur. Les axes de plis ont des directions comprises entre N110° et N60°, avec un maximum à N90°. Les plans axiaux correspondants, soulignés par la foliation métamorphique, sont subhorizontaux à peu pentes vers le Nord ou le Sud.

Des plis d'échelle métrique à décimétrique sont visibles dans les flancs et dans les charnières de ces derniers. La vergence apparente des plis isoclinaux est le plus souvent vers le Nord. En l'absence d'autres critères cinématiques ou de polarité litho-stratigraphique bien établie.

b - Les plis droits (P'I) : s'observent loin des grands accidents de l'oued Afara Héouhine et de l'Adrar Ayelloum en particulier dans la région des oueds Tamekendout et Azrou au Nord. Ce sont des plis ouverts E-W qui se distinguent par des axes subhorizontaux et de grands rayons de courbures déterminant des antiformes et des synformes de faibles amplitudes. Ils déforment les plis isoclinaux décrits cidessus et semblent en continuité avec la phase isoclinale E-W. Ils correspondraient au blocage de la tectonique tangentielle.

Foliations :

La surface plissée est déjà une surface métamorphique. Elle admet comme plan axial une nouvelle surface. Ces deux surfaces sont visibles aussi bien dans les gneiss de base que dans les métasédiments où la surface est souvent matérialisée par des mobilisats pegmatitiques. Dans les gneiss de base ces mobilisats précoces sont particulièrement développés

Linéations :

Elles sont associées à ces différents plis et sont souvent bien marquées. On peut les regrouper en deux familles de significations et de directions différentes: Lni (intersection et minéraux) et Lne (étirement).

a- Les linéations Lni : sont parallèles aux axes de plis isoclinaux et correspondent à des linéations d'intersection des surfaces S_n et S_{n+1} . Elles sont matérialisées par des alignements de minéraux phylliteux (micas) ou aciculaires (amphiboles) et pourraient correspondre à un étirement plus ou moins important perpendiculaire à la contrainte maximum. Elles sont très régulières et visibles dans tous les types de roche de l'Oua Helledjène. Elles ont été observées aussi bien dans les gneiss de base que dans les métasédiments, en particulier dans les quartzites alumineux. Cette linéation, le plus souvent subhorizontale, de direction maximum EW, est associée à la tectonique tangentielle

b- Les linéations Lne : sont moins répandues que les linéations Lni. Elles ont été observées dans des niveaux riches en phyllites, souvent en association avec la linéation Lni. Elles sont, comme Lni subhorizontales à peu de pentes mais de direction subméridienne.

Sur certains affleurements de quartzites cette famille est matérialisée par des cannelures subméridiennes très fortes ressemblant à des stries de glissement qui donneraient la direction de mouvement.

2. L'événement D2H

L'événement D2H est présent dans toute la région de l'Oua Helledjène; il est caractérisé par des décrochements NNW-SSE, des plis droits associés à ces décrochements senestres disposés en échelon, et dans les zones de mylonites, par une linéation subhorizontale parallèle aux décrochements. Un réseau complexe de filons subvolcaniques s'est mis en place lors de cet événement D2H et lors des phases plus tardives D3H. Il faut signaler à propos, que cette

déformation cassante (D2H et D3H) montre une histoire complexe qui se manifeste par des rejeux multiples, non déchiffrés, affectant les recouvrements paléozoïques.

Les décrochements NNW-SSE :

Le bâti structural est affecté au cours de l'événement D2H par une déformation discontinue importante (décrochements de l'oued Afara Héouhine et de l'Adrar Ayelloum), initiée en conditions profondes comme en témoignent les conditions métamorphiques (préservations de paragenèse du faciès amphibolite) et les plis en échelons qui affectent de manière ductile des lithologies variées.

Le décrochement de l'oued Afara Héouhine :

- Il constitue une structure majeure, qui traverse la totalité du bouclier du Hoggar. Le jeu en décrochement est attesté par:
- La présence continue de mylonites épaisses de 100m au moins et portant une linéation d'étirement très bien marquée, subhorizontale, parallèle au décrochement (N330°).
- Dans le compartiment ouest (Oua Helledgène), la virgation des structures isoclinales précoces qui indiquent un rejet sénestre conforme à la disposition des plis à charnières kilométriques, disposés en échelons d'axes 30° à 40° au NO° à 10° contemporains de ces mouvements. En effet en s'éloignant de ces décrochements ces plis NO° à 10° s'amortissent et disparaissent.
- Dans le compartiment est (Aghefsa), des plis (P2) d'amplitudes décamétriques et dyssimétriques, à plans axiaux subverticaux et d'axes à plongements très variables de 0° à 80° au N 100° à N330°. Ces plis sont d'axes N10° à NS loin des décrochements et changent d'orientation pour devenir parallèles (N330°) dans le couloir mylonitique, ce qui est conforme avec un rejeu sénestre.
- La préservation des paragenèses métamorphiques du faciès amphibolite (biotite, grenat, muscovite) dans le couloir mylonitique lui-même qui atteint une puissance de l'ordre de 100 à 150 m. Ces caractères sont des critères indirects pour une appréciation de la profondeur de fonctionnement de ce décrochement qui doit être importante.

Le Décrochement de l'Adrar Ayelloum :

Son tracé cartographique est de direction N 330° parallèle à celui de l'Afara Héouhine, il prolonge vers le Sud-Est le décrochement Est-Anfeg (Moulahoum

1988). Il affecte l'ensemble méta sédimentaire. La virgation et le déplacement de l'ossature quartzitique, très puissante localement, soulignent nettement le sens de déplacement sénestre. Le rejet horizontal apparent est de l'ordre de la dizaine de kilomètres.

Les plis en échelon :

Ces plis P2 peuvent être d'amplitudes hectométriques à décamétriques. Ils orientés NO° à 30° et sont postérieurs aux plis isoclinaux P1 qu'ils déforment. Les plis P2 sont spatialement associés aux grands décrochements. En effet ils s'amortissent en s'en éloignant de part et d'autre. Visibles sur des kilomètres, ils sont disposés en échelons. Leurs axes sont d'attitude très variable. Ils peuvent être peu pentés à subhorizontaux comme c'est le cas au niveau de l'oued Foutés où on observe des plis sur 2 à 3 kilomètres d'axes $N20^{\circ}$ à 30° droits à déversés vers le NNW qui reprennent les plis isoclinaux décrits plus haut. Par contre, au niveau de l'In Tekrioua des plis ouverts disposés en échelons et de même échelle montrent des axes pentés de l'ordre de 30 à 40° vers le NO° à 10° .

Les filons subvolcaniques :

Nous avons choisi de les signaler parmi les phénomènes liés à l'évènement D2H, bien qu'apparemment ils montrent une histoire encore très mal comprise et une partie de ces filons pourrait même être contemporaine de l'évènement DIH. En effet on a observé la présence de filons de microdiorites et de granophyres très schistosés et montrant une linéation. Ces filons forment un réseau complexe très développé sur toute l'étendue du batholite d'Azrou N'Fad et dans l'encaissant immédiat. Mis à part les filons sus-cités l'ensemble des filons ne montrent aucune déformation pénétrative. Ils correspondraient à des fentes de tension parallèles à la "contrainte principale". Ils sont répartis suivant deux familles délimitées par les directions $N100^{\circ}$ à 140° et NO° à 50° . On rencontre indifféremment des filons de différentes natures (dolérites microgranites et granophyres) dans les deux champs ainsi délimités. Les filons $N100$ à 140° sont précoces. Ils se seraient mis en place pendant le fonctionnement des décrochements D2H car ils sont disposés parallèlement à la direction de contrainte maximum. Ceux de direction NO° à 50° correspondraient à la réorganisation locale des contraintes pendant le

fonctionnement des décrochements subméridiens qui affectent nettement les précédents (N100° à 140°) et qui sont décalés.

3. L'événement D3H :

Il est caractérisé par une déformation du type fragile qui se manifeste par le fonctionnement de décrochements subméridiens dextres et probablement la mise en place d'une part importante du réseau filonien tardif. A cet événement sont rapportées aussi des failles plus tardives N290° senestres.

Les décrochements subméridiens :

Ils sont moins développés et sont plus tardifs que les accidents N 330°. En effet ils décalent les filons subvolcaniques tardifs (D2H). Par ailleurs ils ne développent pas de linéation d'étirement ni de couloir mylonitique important et montrent seulement une forte schistosité de fracture subverticale et des cataclasites. Dans le batholite d'Azrou n'fad, cependant les filons de directions extrêmes N 0° à 50° semblent être contemporains de ces derniers du fait que cette direction serait conforme à la direction de contrainte principale et que ces décrochements subméridiens décalent nettement les filons de direction N 100° à 140°. Ces décrochements sont à rejeux dextres et sont accompagnés de rejeux tardifs (dont ordovicien) des décrochements précoces N330°, déterminant ainsi des blocs losangiques. Nous citerons la faille de l'Azrou N'Fad et celle de l'oued Tahifet. Ces décrochements appartiennent probablement au même événement que les grandes failles de type 4°50 dans la région de Tamanrasset (Moulahoum 1988; Ball and Caby 1984, Boullier et Bertrand 1981).

I.4. MINERALISATION :

Introduction :

La minéralisation de la région d'étude est abondante et très variée

✚ ***Selon leur importance économique nous les avons regroupés en quatre catégories :***

-Indices

-PM (point minéralisé)

-AG (Anomalie géochimique)

- AM (Anomalie minéralogique)

✚ **Selon l'élément chimique recherché elle a été subdivisée en cinq catégories qui sont:**

- Minéralisations Aurifères (Métaux Nobles)
- Métaux rares, Terres rares et éléments radioactifs
- Les Platinoïdes
- Les Polymétau
- Autres éléments

II. Les feuilles IN-ABBEGUI et IN-ATTEI :

La région cartographiée (les feuilles In-Abeggui et In-Attei) se situe dans la partie méridionale du massif Hoggar (long 6-7°E et lat. 20-22°N), dont la surface totale fait 9500 km².), Le relief de la région est caractérisé par les formes pénéplainisées (cote absolue 550-900 m) avec des chaînes isolées, massifs (adrars) et de larges dépressions (oueds). Le climat est fort continental, désertique avec un grand gradient de température à partir de -5°C (décembre - janvier) jusqu'à + 55°C (aout). Les précipitations atmosphériques sont rares. La pluie tombe périodiquement, au printemps et en automne. Souvent cette saison de l'année est marquée par le vent violent et la tempête de sable. La végétation, présentée par des broussailles et arbres, est observée seulement le long de grands oueds.

Litho-stratigraphie :

Par la composition litho-pétrographique, le degré de métamorphisme et les relations entre les roches, les formations stratifiées du territoire étudié sont divisées en trois groupes suivants : Protérozoïque, Paléozoïque et Cénozoïque.

1 Protérozoïque :

a) Protérozoïque Inferieur est formé de deux séries essentielles :

1-Assise quartzito-gneissique

2-Assise gneissique

b) Protérozoïque supérieur est composé de deux séries distinctes:

1-Assise volcanique

2-Assise carbonato-terrigène

2 Paléozoïque :

- a) cambrien : série pourprée
- b) ordovicien : formation de tagrira
- c) silurien : formation de Tin Tarabine
- d) dévonien :
 - sous système moyen
 - sous système inférieur

3 Quaternaire :

Dépôt quaternaire récents et actuels

1-a-Protérozoïque inférieur :

Les roches du protérozoïque inférieur occupent la partie septentrionale de la feuille In Abeggui .elles sont rapportées au pharusien .

Ces roches sont datées du protérozoïque inférieur (gneiss, migmatite 2700-2000 MA) et moyen (1800-1000 MA) formation de la plate forme.

Faciès amphibolitiques elle sont déterminées comme les séries d'Arechchoum (gneiss, quartzo-feldspathiques) et Alexsode (roches métamorphiques fortement métamorphisée)

Nous les avons rapportées respectivement aux assises gneissiques et quartzito-gneissiques, étant en concordance et avant subi le même degré de métamorphisme qui correspond au faciès amphibolitique .

1-a-1Assise gneissique :

Les formations de l'assise gneissique parmi les granitoides du protérozoïque précoce et sont cartographiées sous forme de quatre (4) affleurements.

Les limites avec l'assise quartzito-gneissiques supérieure sont généralement tectonique et tectonisées , les champs essentiels de l'extension des assises gneissiques et quartzito-gneissique entrent en contact par chevauchement ,cette tendance de chevauchement se manifeste aussi des quatre affleurements ci haut mentionné la superposition des couches au NE .il est évident que l'assise gneissique en contact avec l'assise carbonato-terrigène du protérozoïque .

L'assise gneissique est constituée par les gneiss a biotite, amphibole et à mica souvent migmatisés aussi par les schistes cristallines granito-gneiss avec de rares niveaux et lentilles des amphibolites, des marbre dolomitisée .est à noter

que malgré une large gamme des roches les couches supérieures (sous jacents) de l'assise sont constituées par les gneiss et cristalloschistes à amphibole et par les amphibolites ; en grand partie ,et les couches sous-jacentes sont formés principalement par les gneiss à biotite , par la cristalloschistes et granotigneiss .

1-a-2-L'assise quartzito-gneissique :

La formations de l'assise quartzito-gneissique sont cartographiées sous forme d'un vaste champ, la partie septentrionale qui est observé sous discontinu.

Ce champ est discontinu à cause des larges fonds de vallée (oueds) et des affleurements isolés de l'assise gneissique. Cette assise est signalée dans les parties extrêmes NW sous forme de xénolites différentes modifiées dans les granitoides du protérozoïque inférieur.

Les limites de l'assise quartzito-gneissique avec les intrusions sont éruptives et celles avec l'assise gneissique sous-jacente sont tectoniques au tectonisées on peut mentionner plusieurs cas de la superposition concordante et concordante mais renversée avec cela on signale une étape unifiée de la sédimentation sous lacunes, on peut admettre selon toute probabilité que les bas représentent la stratification alternée des dépôts sablo-argileux.

La restitution de la succession stratigraphique des coupes de l'assise quartzito-gneissique est compliquée par la superposition isoclinale à pendage SW. Principalement la composition de l'assise est la suivante gneiss a grenat-biotite, sillimanite-biotite, a biotite-amphibolite et cristalloschistes.

Les roches de l'assise quartzito-gneissique reposent d'en bas en haut sur les gneiss migmatisée à amphibole, biotite-amphibole à grain moyen et grossier de 500 m d'épaisseur de l'assise gneissique.

D'après la lithologie, l'assise quartzito-gneissique et celle gneissique la déférence principale consiste à la présence des pyélites fort alumineuses dans l'assise quartzito-gneissique.

Les roches de l'assise quartzito-gneissique en tant que de l'assise gneissique on subi le même degré du métamorphisme régionale correspondant au facies a amphibolite ayant les même paragenèses typomorphes, minérales aussi que les index-minéraux. Leur développement, leur signification au cours de définition

de la gradation de métamorphisme contrairement à celle gneissique varie également.

Les associations d'après leurs types lithopétrographiques de riches basiques en principe répètent celle de l'assise gneissique. La migmatisation est plus rare que dans l'assise gneissique la différence entre les caractéristiques géochimiques des deux assises est les suivantes :

Dans l'assise quartzite-gneissique le fond géochimique pour le zinc est élevé, égale pour l'étain et inférieur pour le vanadium et chrome.

Dans l'assise gneissique le fond géochimique est élevé pour le chrome et égale pour le vanadium.

L'assise quartzite-gneissique est traversée par les granites du Protérozoïque tardif.

1-b-Protérozoïque supérieur :

Une faible métamorphisme (facies schiste vert et épidote) une composition spécifique terrigène-carbonato-volcanogène. Les champs de ces formations sont interprétés comme des nappes tectoniques (de charriage) formées par les métavolcanites et gruwackes du Protérozoïque tardif-pharusien.

1-b-1-Assise carbonato-terrigenne :

Grâce à l'étude au microscope ils ont déterminé trois types essentiels des roches de l'assise, schistes métamorphiques, grès métamorphisés et calcaires marmorisés, dolomites. Les schistes sont les plus répandus.

Les schistes sédimentaires qui doivent être décrits dans les caractéristiques de la couverture de la plate-forme et enfin les schistes métamorphiques dont la formation est due à la recristallisation métamorphique de la matière initiale.

Les grès qui ont subi le métamorphisme du faciès à schiste vert avec la formation des structures métamorphiques et des minéraux renfermant les reliques de la roche initiale. Sont associées à la formation métamorphisée représentent les roches gris foncées, gris rubanées, finement stratifiées.

Les calcaires marmorisés (marmorisation le processus de la recristallisation des calcaires en marbres) représentent des roches blanches, jaunes, jaune-verdâtres, grises rubanées et massives à cristaux fins et moyens.

Les grès quartziques de l'assise carbonato-terrigenne dans les conditions du faciès à schiste vert sont transformés en métagrès, en grès quartzitoides, dont

le ciment argileux et carbonato-argileux est transformé en chlorite, biotite, séricite.

Au total l'assise carbonato-terrigène est caractérisée par une répartition irrégulière des propriétés physique, ce qui est expliqué par des variation de sa composition lithologique.

1-b-2-Assise volcanique :

L'assise volcanique est cartographiée dans la partie extrême SW de la feuille IN-ABBEGUI, elle est représentée par la xénolite allongée ayant une configuration bizarre. L'absence de couches inférieures et supérieures ne permet pas de donner complètement la coupe et la puissance de l'assise. Elle est montrée d'en bas en haut :

Tufs métamorphisés de la composition montre à débris différents et à lentilles rare peu épaisses (jusqu'à 50 m), des tufs bréchique métamorphisées de composition andésitique et de composition dacitique.

Laves métamorphisées de la composition andésitique.

La description pétrographique est donnée pour les variétés basique des roches. Les andésites métamorphisées sont les roches massives porphyroïdes de couleur verdâtre-gris.

Le dacite métamorphisées représente une roche massive, danse finement grenue.

Les tufs sont caractérisés par une composition minérale très variée.

Dans la périphérie des affleurements de l'assise volcanique on observe la transformation en cornéennes et la mise en place des roches cornéennes dans les roches volcanites. Composition neutre et basique.

2-Paléozoïque :

Ce groupe contient les roches métamorphiques du cycle terminal de l'étape de développement de géosynclinale et des roches sédimentaire de la couverture de plate-forme.

a-Combrien série pourprée : Sont cartographies pour la première fois sur ce territoire. Ils sont observés dans un seul endroit au centre de la feuille In-

abeggui près de la bordure des tassilis, constituée par une série de microbloc tectonique dû à l'aspect spécifique et la composition des roches.

Les formations représentées d'en bas en haut reposant sur les granites désintégrés a grains moyens et fins :

Roches effusives détritique.

Conglomérats métamorphisées.

Grès grossies métamorphisées.

Grès aleuritique métamorphisés gris clair.

Les couches inférieures de série pourprée sont restes intactes. Le métamorphisme des roches de la série pourprée représente le degré du métamorphisme régional de la plus basse température.

b-Ordovicien :

Formation de Tagriré :

A partir de la formation de Tagrira de l'ordovicien prend source de la couverture de plate forme. Elle est largement développé dans les limite du périmètre cartographie, recouvrant presque toute la moitié orientale. La partie majeure des roches de la couverture de la plate-forme est décapée sous forme d'un massif tabulaire avec une escarpe nettement observé sur sa périphérie (Tassilis).

La cartographie des contours et de la composition pétrographie des roches sédimentaire effectuée par les chercheurs précédents n'est pas marquée par une grande différence.

L'âge de la formation d'après les vestiges de la forme vexillum et les restes fossiles de Tigillites n'est plus ancien que l'ordovicien.

C-Silurien :

Les dépôts du silurien sont répandus dans la partie centrale, ils forment le deuxième escarpement intérieur des Tassilis s'étant conservées sous forme de buttes témoin dans les limites du toit de la formation de l'ordovicien et sont répandus sous forme d'affleurement isolés sur les territoires des sables dunaire.

Ces dépôts décrits auparavant comme le niveau des argiles de Gotland sont aussi dates du silurien dans de différentes régions du Sahara algérien.

d-Système Dévonien :

Parmi les dépôts de plate-forme les roches du système Dévonien ont la plus grande extension superficielle dans la partie méridionale. Les roches du Dévonien inférieur sont affleurées entièrement et les dépôts du Dévonien moyen se trouvent partiellement sur le périmètre cartographique.

Dévonien inférieur :

La composition de la formation grès grossiers quartzeux à quartz-feldspathique à la base sont les gravelites .

Aspect généralisé de la coupe de formation d'en bas en haut :

Conglomérats à petits galets gravelites à grès grossiers (0,5-4 m) se transforme latéralement en grès à grain moyen à ciment argileux.

Stratification alternée des grès quartzeux avec des lentilles, les grès à ciment argileux à stratification oblique.

Grès grossiers quartziques à stratification oblique à ciment argilo-siliceux.

En conclusion de la caractéristique lithopétrographique des roches de la formation de Tadjert, il faut souligner une grande ressemblance aux niveaux micro et macroscopique entre les gravelites conglomérats et les grès de niveaux de base de cette formation.

Formation de Timouzeline :

Les dépôts déterminés du dévonien moyen sont développés d'une façon limitée en recouvrant une surface médiocre dans la partie extrême au SE .

Les roches de la formation de dévonien moyen reposent avec concordance sur les dépôts sous-jacents de la formation de Tadjert. Cette limite sur le terrain est décapée par le pied de l'escarpement sous forme d'ovale, la composition de la formation grès à grains fins et grossiers, grès quartzeux à feldspathique jusqu'à celui arkosique.

Les propriétés pétrophysiques des roches de la formation ne sont pas magnétiques et la densité moyenne est égale à $2,39 \text{ g/cm}^3$. La radioactivité des roches de la formation est différenciée le niveau quartz-feldspathique inférieur est caractérisé par la plus haute radioactivité.

L'âge du dévonien moyen de la formation de Timouzeline est daté sur la base de la ressemblance avec les dépôts du dévonien moyen voisinant directement au sud de la feuille d'In-Attei .

3-Quaternaire :

Dépôts Quaternaire supérieurs récents :

Les dépôts du quaternaire sont assez largement développés sur le périmètre cartographié. Nous avons rapporté ces dépôts à ceux non-différenciés récents du quaternaire supérieur d'une genèse complexe.

L'âge du pliocène-quaternaire inférieur dont sont datés les galets dans les massifs en forme de plateau situés dans les limites entre in abeggui et in attei n'est pas exclu pourtant la datation des galets est réalisée d'après les relations mutuelles relatives. L'absence de restes fossiles ne permet pas de déterminer l'âge sûr de ces dépôts et naturellement par conséquent, ils n'ont pas trouvé son expression sur la carte géologique.

Formation intrusives :

Les formations intrusives sont développées assez largement et recouvrent 60-65% du socle cristallin, d'après la composition des roches les caractéristiques pétrologique et géochimique, l'époque et les conditions de la création des formations intrusives de la région en question se divisent en quatre complexes qui se sont formés en trois étapes :

Magmatisme :

1-Corps intrusifs du protérozoïque précoce :

De petits corps des roches basiques et ultrabasiques transformées et ceux en forme de dykes, aussi que les complexes des granitoïdes autochtones liés généralement avec les roches métamorphosées dans le faciès à amphibolite de la série in-avaber.

L'extension des roches mafiques et ultramafiques du protérozoïque précoce est bien limitée. Les affleurements du complexe de zazir, en grande partie ne sont pas fixés sur les cartes à cause de leur petite échelle. Les roches de ce complexe ont en principe une forme ovale et arrondie, pratiquement presque tous les massifs.

L'amas de gabbros, porites cartographié sur la rive droite de l'igharghar est aussi constitué par plusieurs affleurements séparés. La structure du massif n'est marquée par aucune zonalité concentrique, les parties marginales du massif sont caractérisées par la présence des roches hybrides à structure schistifiée, à grains fins.

Le gabbro la composition essentielle de tout l'affleurement a la plus large extension, cette roche de couleur gris-foncée, verdâtre-gris jusqu'au noire. Les gabbros diorite se trouvent aussi dans le groupe des roches transformées. Le plus souvent ces roches sont les produits de la granitisation et de migmatisation.

Les proxénètes sont les roches à grain fin et moyen massives compactes dont l'extension sur le périmètre étudiée est limitée. Les diorites sont les roches granitisées localement cataclasites a texture gneissique.

Complexe de Tin-Begane : ce complexe à la plus large extension sur le périmètre cartographie il est développé sous forme de trois grands affleurements sur la rive droite de Tin-Amzi et sur la rive gauche de l'igharghar tout en formant la partie centrale du batholithe centrale du hoggar. En conclusion de la caractéristique pétrographique du complexe de Tin-Begane nous donnons en bref la description pétrographique des ces types principaux des roches selon les groupes, compte tenu des particularités texturales, et structurales de la composition minéralogique y compris sec type transformés et leurs produits en dykes et filon dans les granites on met en évidence 13 groupes les suivant :

1-Les granites massifs porphyroïdes à biotites avec la texture à grain moyen et gros à structure granitique porphyroïdes, les phénocristaux contiennent l'orthoclase, le quartz biotite

2-Les granites massifs porphyroïdes muscovitisés ou la structure hypidio-morphe, granitique à grain moyen et gris.

4-Les granites gneissoides non porphyroïdes muscovitisés elles sont à grain fins et moyen avec la texture plane ayant la structure assez variée

5-Les granites gneissoides porphyroïdes muscovitisés différent de ceux décrits ci- haut par la structure équi-granulaire ayant en même temps presque la même composition minéralogique.

6-Les granites gneissoides porphyroïdes à hornblende à structure massive et gneissoïde a structure hypidiomorphe.

7-Les granites gneissoides porphyroïdes à hornblende-biotite, à biotite out sous le microscope la texture gneissoïde faiblement orientée.

8-Les granites gneissoides non porphyroïdes à biotite sont caractérisés par la structure orientée

9-Les granites gneissoides porphyroïdes à hornblende à texture massive

10-Les granites gneissoides non-porphyroïdes à biotites sont caractérisés par la structure gneissoides orientée à grain moyen à gros grain moyen fin ayant la structure hypidiomorphe-grenne localement granoblastique et lépidogranoblastique

11-Les granites gneissoides non porphyroïdes à biotite hornblende sont les dernier type des groupes des roches à structure plane et orientée, ces dernières ont la transition graduelle de faciès avec les granites susmentionnés

12-Les granites massifs non porphyroïdes à biotite sont rencontrés souvent dans les lames minces, ils ont une structure massive parfois faiblement gneissifiée

13-Les grana-diorites massive, porphyroïdes à hornblende-biotite sont caractérisés par la texture massive par la structure porphyroïdes, et sont formées par l'andésine, orthoclase, quartz, biotite, hornblende, chlorite, oxydes des fers.

2-Formation intrusives de protérozoïque tardif :

Complexe d'IN-ABBEGUI : sur le territoire cartographie des formations magmatiques du protérozoïque tardif dont l'extension est limitée, sont caractérisées par la diversité d'après la composition minéralogique les particularités géochimiques et pétrochimiques la forme des corps, le cadre géologique et les conditions de leur formation, sur cette base elles sont divisées en 03 phases intrusives indépendantes.

Phase I : la première phase du complexe d'in-abbegui est représentée par les serpentinites, gabbros et diorites. Les serpentinites forment un petit massif dans la partie extrême méridionale de la feuille Tin-begane qui recouvre l'assise carbonato-terrigène du protérozoïque supérieur. le massif est fortement

percé par la faille générale de tinomzine

Dans la partie S-W de la feuille in abbegui le massif est composé par les gabbros diorite et percé à son tour par les granites grossiers à gros et moyen grain

Phase II : les granites, massifs à gros grain à grain moyen et gros, porphyroïdes à biotite de couleur gris avec une teinte rose représentent la deuxième phase du complexe in-abbegui.

il forment le massif in-abbegui percent les volcanites de l'assise volcanogene du protérozoïque supérieur et les gabbroides de la première phase de complexe in-abbegui de protérozoïque tardifs

les granites sont percés à leur tour par de petit amas des granito-porphyles de la première phase du complexe tilik du vend-combrien.

Les formations filoniennes de la IIème phase sont représentées par les aplites et par simples pegmatoides à quartz-feldspath , leur extension dans les granites de la deuxième du complexe in-abbegui et surtout des pegmatoides est beaucoup inferieure à celle dans les granites du tin-beggane du protérozoïque précoce. Les roches des phases I et II sont à peu-prés identiques selon la teneur en Rb et différent beaucoup selon la teneur en Li. Cette différence n'est pas considérable.

PHASE III : la troisième phase du complexe in-abeggui est représentée par les granites allochtones rosâtres- gris, gris rosâtres massifs grossie à biotite. Il forme trois massifs

Les trois massifs se trouvent dans la zones de l'influence de la feuille générale Tin-seririne, dans la limites du graben du protérozoïque tardif (pharusien) dans l'association avec les vulcanites de l'assise volcano-terrigène du protérozoïque supérieur

Le massif du nord est situé dans l'intervalle d'Aouiker et Elghessour, ses contacts avec les roches encaissantes sont d'habitude faiblement affleurée. Soit ils passent par les fonds des oueds soit ils sont superposes par les relations du massif avec les roches encaissantes sont d'éluviale-colluvial. Les relations du massif avec les roches encaissantes sont déterminées d'après la présence de nombreuses xénolites.

Le massif Zezedjnet à vingt kilomètres à l'Est du massif de Nord dans le bassin de l'oued aouiker sa périphérie accidentelle est surmontée par le gradin tectonisé des tassilis avancés qui est rectiligne à cause de la tectonisation, c'est pour cela la configuration du massif est sinueuse avec nombreux golfes et de petite caps le long de la bordure occidentale.

Dans la zone de contact des granites avec les volcanites à compositions neutro-basique on observe la formation des grano-diorites et dans la zone de contact avec les roches effusives à composition acide on observe la formation des métasomatites à chlorite-séricine.

Les roches de massif sont représentées par les familles des granites sub-alcalins.

Le massif sud est représenté par deux affleurements isométriques constitués par des granites massifs grossiers et rares des biotites selon la composition chimique

3-Intrusion vend-cambriennes : le complexe vend-cambrien est représenté par les massifs Tilik (dans les contours dépassent ceux d'anciens en 8-10 fois) et Hakoun (ancien granites) se trouvant dans le périmètre de la feuille Tinbegane il s'agit d'une série d'affleurements plus ou moins importants ressemblant sous forme de massif Nord et Sud ce que nous avons cartographié dans les parties centrale et septentrionale de la feuille In-abeggui.

La datation du complexe Tilik par vend-cambrien est basée sur le fait que les formations du complexe en question ont les relations éruptives avec le complexe tardiprotérozoïque et que les granites de ce complexe sont superposés par les conglomérats versicolores de la série pourprée et par les conglomérats basaux quartziques à petits galets de la série de Tagrira de l'ordovicien le complexe Tilik est divisé en deux phases la première phase est représentée par les stocks et la de petites intrusions et celle de deuxième par les formations sous forme de filon et dykes

Tectonique :

La région de l'étude au 1/200 000 est située dans les limites de la zone plissée en blocs de Hoggar central sud, et le nord de synclisé Mali-Niger. Le socle précambrien est représenté par un ensemble hétérogène complexe de roche divisé en deux étages structuraux protérozoïque inférieur et protérozoïque supérieur ces sédiments sont recouverts par les dépôts phanérozoïques considérés comme un troisième étage. Dans le plan elle a la forme d'un coin, se rétrécissant vers le Nord. En tout la région représente une partie d'un bloc dur antécambrien, conservant un long temps le régime stable de soulèvement et réagissant sur les forces tectoniques, qui se sont manifestées par l'apparition

des systèmes de fissures de l'orientation différente. La fragmentation du développement des roches métamorphiques du Suggarien, due au processus de la granitisation, largement manifester, l'homogénéité de la composition de ces roches ainsi que l'absence d'horizons marqueurs.

3.TECTONIQUE :

La surface étudiée englobe la partie marginale Sud du hoggar et le Nord de syncline Mali-Niger le socle précambrien est représenté par un ensemble hétérogène complexe de roches divisé en deux étages structuraux protérozoïque inférieur et protérozoïque supérieur.

Ces sédiments sont recouverts par les dépôts phanérozoïques, considérés comme un troisième étage structural.

3-1-Etage structural protérozoïque inférieur :

Les termes de cet étage sont largement rependu au Nord est constituent son socle des éléments structuraux principaux de l'étage se présentent en gros compartiments tectoniques allongés en direction méridienne, ils sont divisés par les zones de failles de grand profondeur déterminées d'après les données géolo-géophysique. Au point de vue morphologique ces compartiment correspondent anticlinoriums et aux grabens-synclinoriums. Les plus représentatives de termes stratifiés ont été révélées dans la composition de grabens synclinorium. Tandis que dans les horsts anticlinoriums elles n'étaient qu'on petit buttes témoins. L'étage protérozoïque inférieur est divisé en deux niveaux structuraux inférieur et supérieur.

3-1-1-Niveau structural inférieur :

Ce niveau est formé par les roches de la formation inférieur du protérozoïque inférieur formation amphibolite-gneissique et par les gabbroides du complexe volcano-plutonique du protérozoïque inférieur.

3-1-2- Niveau structural supérieur :

Ce niveau est représenté par la formation carbonato-schisteuse. La formation supérieure du protérozoïque inférieur ainsi que par les formations de granitoïdes autochtones (ultra- métamorphique) il est à noter que les formations de granitoïdes autochtones y prédominent constituant plus de

90% de la surface d'extension des roches de ce niveau. Le synclinal tassili correspond à la plus grande structure plicative du niveau supérieur. Il est allongé vers le Nord-est à 20 Km de long sur 8-9 Km de large, le pendage des roches dans les flans varie entre 30 et 55°. Dans les flans Est les roches du niveau structural inférieur sont chevauchées sur celle de la formation carbonato-schisteuse ne sont observés qu'en petits lambeaux dans le toit des massifs de granitoïde.

La formation des granitoïdes autochtones à été formé à la suite de la granitisation des termes du niveau inférieur, ainsi que de niveau supérieur, comme le résultat de ceci les massifs de granitoïdes autochtones ont conservé les particularités structurales des formations dont ils sont issus.

3-2-Etage structural du protérozoïque supérieur :

Cet étage est formé d'une série verticale de formations géologiques divisées en deux niveaux inférieur et supérieur :

3-2-1-Niveau structural inférieur :

Les termes du niveau structural inférieur sont représentés par un complexe à composition lithologique variable des roches volcano-sédimentaires et magmatique d'âge protérozoïque supérieur réunie en une formation volcano-terrigène. Au niveau d'érosion actuel ces termes forment de petits champs séparés allongés de direction subméridienne ils sont très fréquents dans les zones Préfailles des compartiments central.

La formation volcano-terrigène est représentée par une série verticale des faciès. Sa base est constituées basaltoides du membre inférieur de la formation volcano-terrigène qui vers le sommet de la coupes sont remplacés par les dépôts tuf-terrigènes.

3-2-2-Niveau structural supérieur :

Les termes de ce niveau sont représentés par la formation granito-rhyolitique englobant les faciès de rhyolites effusives et de dykes ainsi que les faciès de leuco granites alcalins et subalcalins de la composition magmatique du protérozoïque supérieur. La limite inférieur du niveau est nettement définie par la surface de discordance stratigraphique et angulaire et la limite supérieur par la superposition des sédiments de l'étage structural phanérozoïques sur les termes du niveau décrit.

3-3-Etage structural du phanérozoïque :

Une grande discordance d'ordre régional sépare les formations protérozoïques de celle phanérozoïque.

3-4-Accidents cassants :

Les accidents cassants sont très développés dans la région étudiée, ils jouent un rôle important dans la structure géologique régionale de même que dans la répartition des indices des minéraux utiles.

Les accidents cassants sont classés en deux groupes majeurs :

- 1- Zones de faille de suture qui déterminent la structure compartiment de la région.
- 2- Faille de première et la deuxième ordre qui déterminent la structure tectonique actuelle de socle.

4-MINERAUX UTILES :

Le présent chapitre décrit les sites de minéraux utiles de différents types génétiques il a été pris pour base de classement suivant des sites de minéraux utiles à savoir :

- les gisements assemblage naturel de la masse minérale dans le sous sol propre à l'exploitation compte tenu de la qualité, quantité et d'autres critères économiques
- l'indice de minérale assemblage naturel de la masse minérale dans le sous sol dont la qualité est conforme aux normes de l'industrie imposées aux gisements, mais à l'opposé de ces dernières, compte tenu du degré de l'étude.
- point de minéralisation sites de minéraux utiles faible en ressources et en qualité, mais en évidence visuellement et approuvée par les résultats d'échantillonnages
- l'anomalie géochimique sites de minéraux utiles à teneur élevée en composants utiles (ou en minéraux métalliques).

4-1-minéraux utiles métallifères :

4-1-1 Métaux ferreux : il s'agit du fer et du manganèse constatés lors des travaux dans les limites du territoire étudié.

a-fer : les indices mis en évidence dans les limites de territoire étudié sont des types génétiques métamorphogènes, résiduel et sédimentaire (stratiforme).

-Les indices de fer du type résiduel localisé dans les limites étudiées ne présentent pas à notre avis d'intérêt pratique étant petit en dimension.

-les indices de fer du type sédimentaire (stratiforme) sont liés aux niveaux de limonites colitiques du dévonien supérieur. Il a été constaté 07 indices et 02 point de minéralisation sur la feuille In-Attei. Selon l'examen au microscope le minerai de fer a la texture oolithique et la structure massive, les oolithes sont ovales et concentrique.

b-Manganèse : la minéralisation en manganèse est associée à la brèche tectonique de composition polymathique reposées dans les marbres du protérozoïque inférieur, d'après les résultats d'analyse dans le ciment des brèches la teneur en manganèse est supérieure à 1% et la teneur en molybdène 0,001%. Les teneurs élevées en manganèse (0,6-1%) ont été constatées dans les zones de brechification des granites gneissiques du protérozoïque inférieur et dans les grès fortement schistifiés du membre supérieure de la formation volcano-terrigène du protérozoïque supérieur.

1-2-Métaux non ferreux et rares :

c-Cuivre : les anomalies géochimiques de cuivre localisées dans les roches schistifiée du protérozoïque inférieur sont du type génétique hydrothermale de température moyenne d'après les résultats d'analyse la teneur en cuivre est de 0,03-0,1%.

d-Plomb : les plus grands sites à minéralisation en plomb, mis en évidence dans les limites de la feuille laouni sont du type génétique hydrothermale.

La minéralisation métallifère est associée aux filons et corps lenticulaires de roches ferro-siliceuses replissant des fissures de deux directions. Les filons les plus puissants jusqu'à 1 m et les lentilles sont concordants à l'accident tectonique sublatitudinal.

D'après les résultats d'analyse chimique de quelque échantillon au marteau prélevée dans les roches ferro-siliceuses la teneur en plomb et jusqu'à 1%, cuivre 0,5%.

e-Zinc : dans les limites de territoire étudié il a été localisé plus de deux anomalies géochimiques de zinc la métasomatose de haute température des

roches carbonatées dans la zone d'exocontacte de massif granitique est à notre avis responsable des teneurs anormales en zinc dans les scarns

Les granites de ce complexe montrent le Clarke positif de concentration de zinc
f-Nickel : d'après les résultats d'analyse spectrale des échantillons géochimiques prélevés dans les points de minéralisation de teneur en nickel supérieurs à 0,3%

g-Etain, Wolfram : il a été constaté que dans les limites du territoire étudié les processus pegmatitiques hydrothermal ont provoqué la concentration de l'étain et du wolfram. Les anomalies géochimiques du type génétique magmatique caractérisent la minéralisation disséminée en étain et en wolfram dans les granites du complexe magmatique du protérozoïque supérieur

-type génétique hydrothermal : les anomalies d'étain et de wolfram de ce type génétiques faisant partie de la formation stonn-wolfamifère

-type génétique pegmatitique : dans les limites de territoires étudiés il a été mis en évidence de nombreuses anomalies géochimiques d'étain du type génétique pegmatitique toutes les anomalies sont associées aux pegmatites à microcline-quartz-biotite localisées dans les roches du protérozoïque inférieur.

-type génétique magmatique : il s'agit des anomalies géochimiques associées aux granites du complexe magmatique du protérozoïque supérieure.

h-Tantale, Niobium : les indices de niobium et de la tantale dans les limites du territoire étudié sont des types génétique pneumatolitique hydrothermale pegmatitique et magmatique

Les indices de niobium et de tantale de ce type génétique connus sur le territoire étudié sont localisées dans les limites des champs minier gisement et indices stonn-wolframifère.

La minéralisation en niobium et en tantale est associée aux apogranites sub-alcalins à albite-quartz-microcline muscovite et à quartz-albite muscovite.

i-béryllium : les indices des minerais les points de minéralisation et les anomalies géochimiques mis en évidence dans le

S limites de territoires étudiés sont des types génétique hydrothermale pneumatolitique- hydrothermale et pegmatitique. Le type de la minéralisation en béryllium dans les roches brèches tectoniques et les roches sédimentaires de la couverture de plate-forme n'a pas été déterminé.

j-Molybdène : d'après les résultats d'analyse spectrale des échantillons géochimiques prélevés dans les roches la teneur en molybdène est de 0,001-0,025%.

Les anomalies géochimiques associées aux zones des accidents tectoniques sublatitudinaux (60-75°) et localisées dans les roches sédimentaire fortement ferruginisées (rarement quartzifiées) de la couverture de plate-forme sont du type génétique indéterminé.

k-Bismuth : les concentrations élevées du bismuth dans les limites du territoire étudié ont été signalées dans les filons quartzeux, localisés dans les roches du protérozoïque inférieur et supérieur. Les indices de bismuth sont du type génétique hydrothermal.

4-2-Métaux précieux :

a-Or : les indices d'Or dans les limites de territoire étudié sont des types génétiques hydrothermal, sédimentaire et téléthermal

-type hydrothermale : la minéralisation aurifère de ce type génétique est associée aux filons quartzeux et aux quartzites secondaires localisés dans des roches métamorphisées du protérozoïque inférieur et supérieur

-type génétique sédimentaire : dans les limites du territoire étudié il a été délimité un placier alluvial

Le placier alluvial est associé aux terrasses alluviales du quaternaire il s'agit des galets composés sur 80% de débris bien roulés de quartz surmontant des argiles à texture rubanée du néogène quaternaires, d'après les résultats d'analyse spectre-horométrique la teneur en Or est de 0,6g /t

-type téléthermal : les indices de ce type sont associés aux roches sédimentaire fortement fissurées, bréchifiées ou schistifiées de la couverture de la plate-forme.

Les indices d'Or localisés dans les roches accidentées de la couverture de la plate-forme ne présentent pas actuellement d'intérêt pratique.

Il est impératif à notre avis de poursuivre l'étude de la minéralisation en Or dans les roches accidentées de la couverture de plate-forme, il s'agit notamment des terrains d'extension de la formation de plate-forme voisinant avec des secteurs endogènes minéralisés en Or.

b-Argent : les indices d'argent dans les limites du territoire étudié sont associées aux zones des accidents tectoniques à forte bréchification et foliation des roches.

4-3- Elément dispersés et des terres rares :

a-Lanthane et cérium : les teneurs élevées en lanthane et cérium dans les limites étudiées sont enregistrées dans les conglomérats quartzeux du cambro-ordovicien (type génétique sédimentaire) et dans les zones bréchification marquant des accidents tectoniques (indices du type génétique indéterminé).

-type génétique sédimentaire (stratifié) : il s'agit des points de minéralisation associées aux conglomérats quartzeux de base du cambro-ordovicien. Les conglomérats à teneur élevées en lanthane et en cérium sont fortement ferruginisés.

-Type génétique indéterminé : il s'agit des points de minéralisation associées aux zones de bréchification des granites ce dernier marquent des accidents tectoniques.

b-Zirconium : Dans les limites du territoire étudié il a été mis en évidence des teneurs en Zirconium dans les granites leucocrates du complexe magmatique du protérozoïque supérieur.

Les teneurs élevées en Zirconium concernant tous les types génétiques résultent de la présence soit du zircon accessoire (dans les roches magmatiques) soit des grains détritiques du zircon (dans les roches sédimentaires) il s'en suit ainsi que les indices de Zirconium dans les limites du territoire étudié ne présentant pas d'intérêt pratiques.

CHAPITR : III

Système d'information

Géographique

1. Introduction :

Le concept SIG a été établi en 1963, proposé par le topographe canadien R.F. Tomlinson, le SIG a commencé à pénétrer et à être appliqué dans les différents pays, dans les différents domaines. Avec le support matériel et logiciel de l'informatique, traiter et manipuler les données géo spatiales, utiliser le modèle géographique à analyser les données, le SIG s'est rapidement impliqué dans la science informatique, la science de l'information, la télédétection, la géographie, la cartographie, les études environnementales, les études de ressources, devient une nouvelle interdisciplinaire. Le SIG couvre une grande variété, donc sa définition a différentes manières.

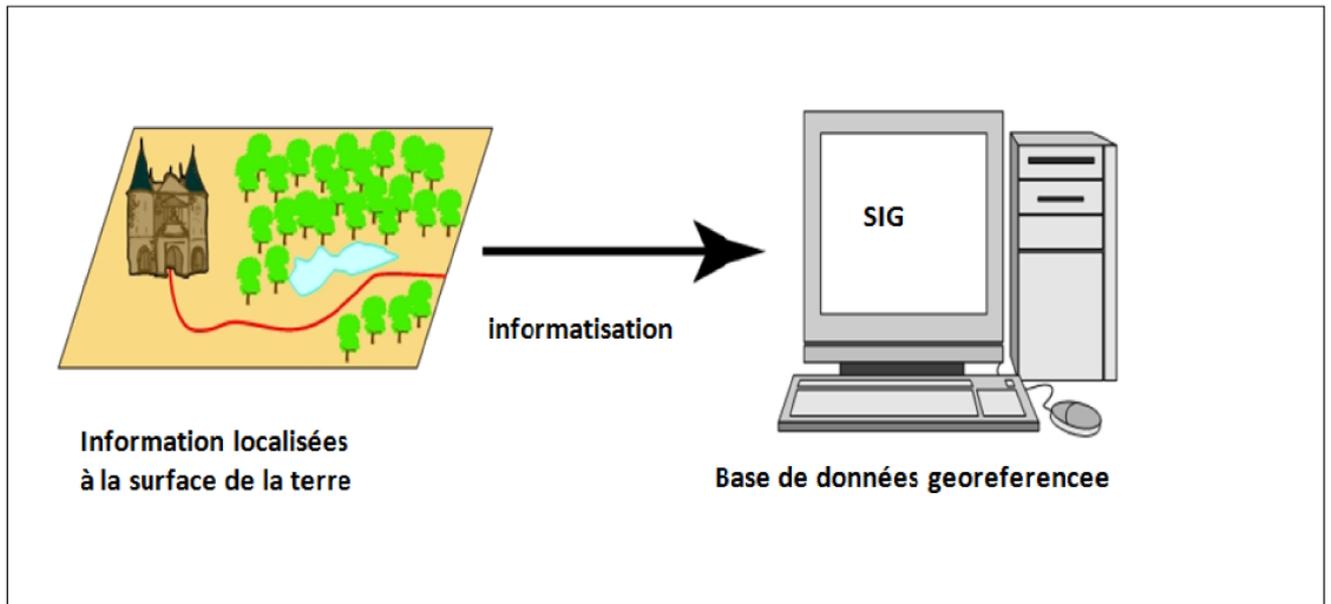
Comment définir un système d'information géographique ? La plupart des auteurs privilégient un des critères suivants : les composants d'un SIG, ses fonctionnalités ou sa finalité (objectifs). Devant la multiplicité des définitions ayant cours dans des disciplines scientifiques et des secteurs d'activité différents (LAKHOUA, 2007). Dans le présent travail, nous avons retenu la définition qui répond le mieux aux objectifs de notre travail.

2-Définition de SIG

Un SIG est un système d'information capable d'organiser et de présenter des données alphanumériques spatialement référencées, c'est est un outil qui permet d'acquérir, de stocker, d'organiser, de gérer, de traiter et de restituer des données géographiques sous forme de plans et de cartes (cartographie intuitive et évolutive).

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

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.10) :Schéma explicatif du SIG

3-Composants du SIG

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



(Figure.11) : Composants d'un Système d'Information Géographique

1-Les logiciels : les logiciels offrent les fonctions élémentaires suivantes:

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

2-Les Données : constituent la partie la plus importante du SIG. Elle se compose de :

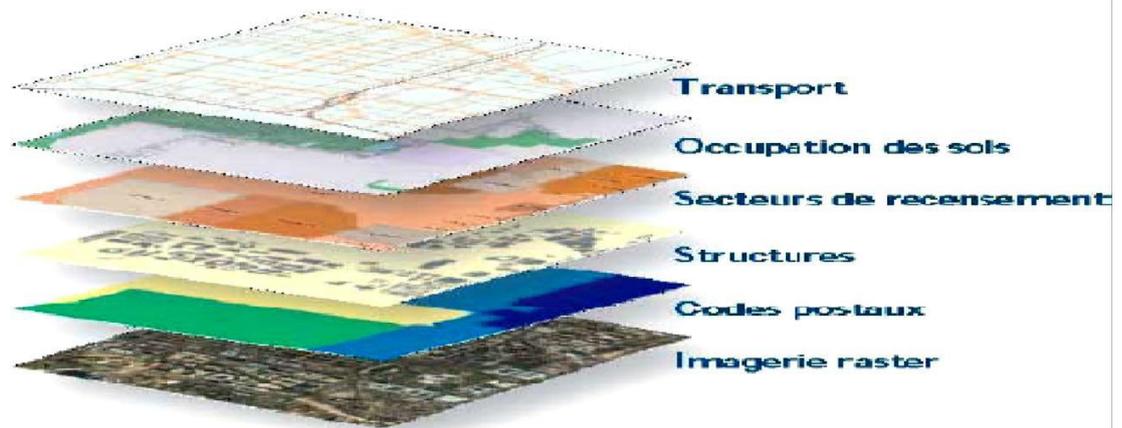
2-1- Données attributaires :

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

2-2- Les objets géographiques :

Elles sont organisées en couches. Chaque couche d'information fait référence à un thème, 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).

Dans un SIG, un système de coordonnées terrestres (sphérique ou projectif) permet d'éréférencer les objets dans l'espace et de positionner l'ensemble des objets les uns par rapport aux autres. Les objets sont généralement organisés en couches, chaque couche rassemblant l'ensemble des informations se rapportant à un même thème donné.



(Figure.12): Couches d'un Système d'Information géographique (URBANI, 2006).

Avec un SIG, les relations entre les objets peuvent être calculées et donner naissance à des points d'intersection afin d'éviter la répétition d'objets superposés. Ainsi, une parcelle bordant une route aura les mêmes sommets que ceux définis pour la route.

2-3- Les métadonnées :

Un SIG manipule des données provenant de différentes sources.

Celles-ci sont, aussi, accompagnées d'informations caractérisant la source elle-même, soit encore de données sur les données : des métadonnées. Ces dernières apportent, par exemple, des informations sur la nature des données, Le système de projection, l'étendue géographique, et la date de saisie.

(MARTIN, 2004).

3- Les matériels : le traitement des données à l'aide des logiciels se fait en utilisant un ordinateur. Pour faciliter la diffusion des résultats produits par un SIG, de plus en plus de systèmes adoptent une architecture clientserveur (MARTIN, 2004).

• **Les savoir-faire :** un SIG fait appel aux connaissances, savoirs, savoirfaire de nombreux domaines: géographie, cartographie, analyse des données et des processus (analyse Merise, Unified Modeling, Langage), informatiques, statistique, urbanisme, hydrologie... Cette approche pluridisciplinaire impose la collaboration d'experts appartenant à des domaines très différents (MARTIN, 2004).

4- 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.

5-Méthodes : La mise en oeuvre et l'exploitation d'un SIG doit respecter certaines règles et procédures propres à chaque discipline.

Couche

Un SIG stocke les informations sous la forme de couches thématique pouvant être relié les unes des autres par leurs coordonnées géographiques. Chaque couche va contenir un ensemble de données (couches de réseau routier, couches de réseau urbain etc.). C'est en rassemblement ces différentes couches que l'on obtiendra la carte finale représentant toutes les données géographiques pertinentes.

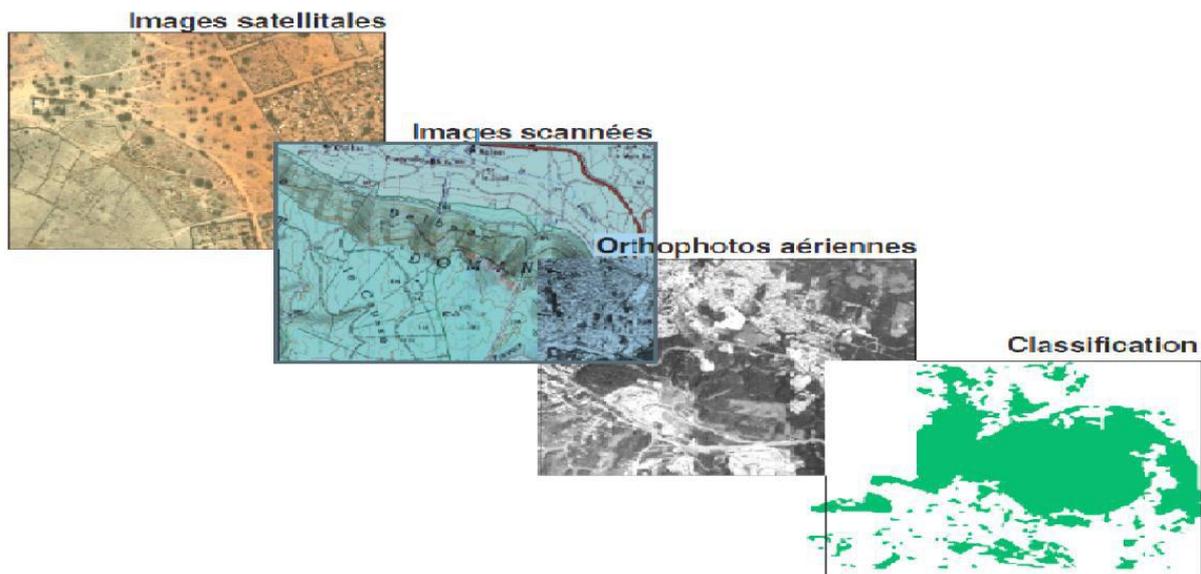
Référence géographique

Deux types de données sont à prendre en compte lorsqu'on veut étudier une carte : les données attributaires et les données spatiales.

Deux modes de représentation spatiale des données sont majoritairement utilisés : le mode vectoriel et le 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. 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.13): Exemple de quelques données raster (BONNET M.2012)

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 attributaire.

· **LES POINTS :**

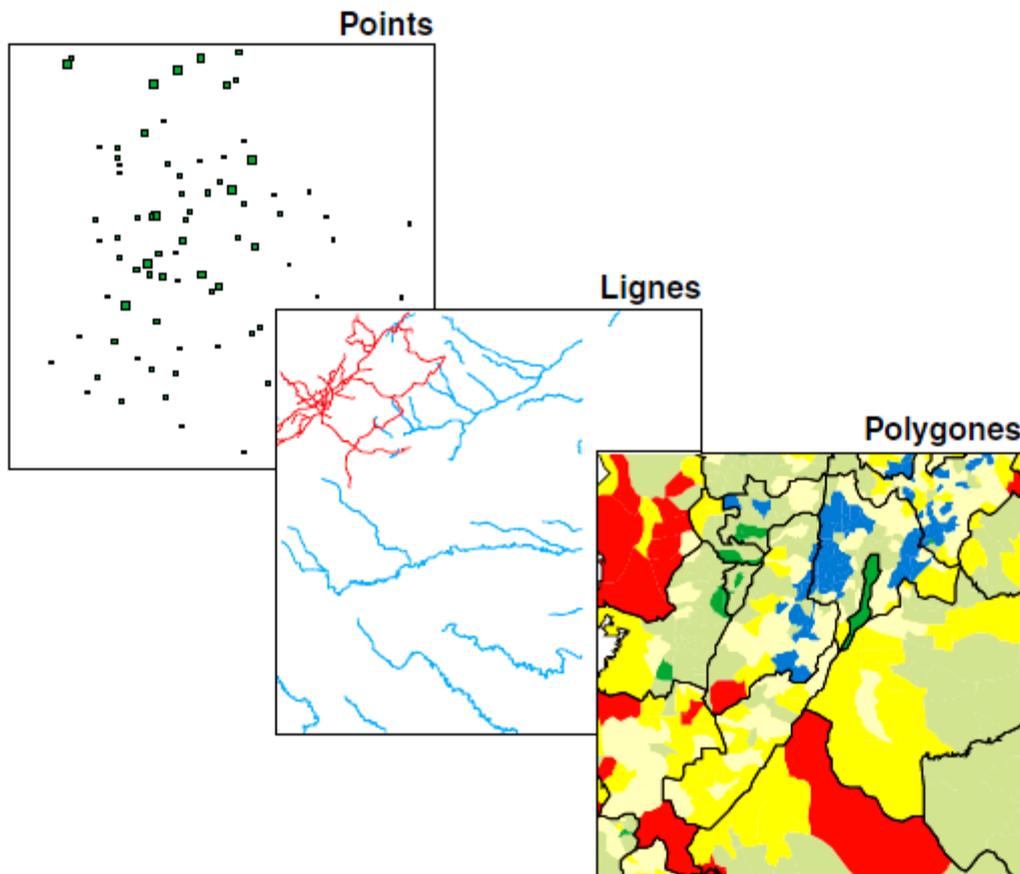
Ils définissent des localisations d'éléments séparés pour des phénomènes géographiques trop petits pour être représentés par des lignes ou des surfaces qui n'ont pas de surface réelle comme les points cotés.

· **LES LIGNES :**

Les lignes représentent les formes des objets géographiques trop étroits pour être décrits par des surfaces (ex : rue ou rivières) ou des objets linéaires qui ont une longueur mais pas de surface 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.14): Données vecteurs exemples.

4-Comparaison entre les modes vecteurs et rasters :

Les modes vecteurs et rasters se distinguent par une organisation différente de données, ils restent cependant complémentaires en permettant à l'utilisation d'élargir les champs de son investigation pour des applications et des traitements très variés. Chaque mode à des avantages et des 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 le choix de l'utilisateur.

Certaines applications peuvent même faire appel aux deux modes [tableau01].

.Tableau 01 : Avantages et inconvénients des deux types de structure des SIG.

MODE	AVANTAGES	INCONVENIENTS
RASTER	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Structure de données simple. ✓ Compatible avec des données à distance senties ou analysées. ✓ Procédures spatiales simples d'analyse. 	<ul style="list-style-type: none"> * Exige un plus grand espace mémoire sur l'ordinateur. * Selon la taille de Pixel, le rendement graphique peut être moins agréable. * Les transformations de projection sont plus difficiles. * Plus difficile de représenter des rapports topologiques.
VECTEUR	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Exige moins d'espace de mémoire à disque. ✓ Les rapports topologiques sont aisément maintenus. ✓ Le rendement graphique ressemble plus étroitement aux cartes tirées par la main. 	<ul style="list-style-type: none"> * Structure de données plus complexes. * Non compatible avec des données à distance senties. * Le logiciel et le matériel sont souvent plus chers. * Quelques procédures spatiales d'analyse peuvent être plus difficiles. * Recouvrement des multiples cartes de vecteur est souvent long.

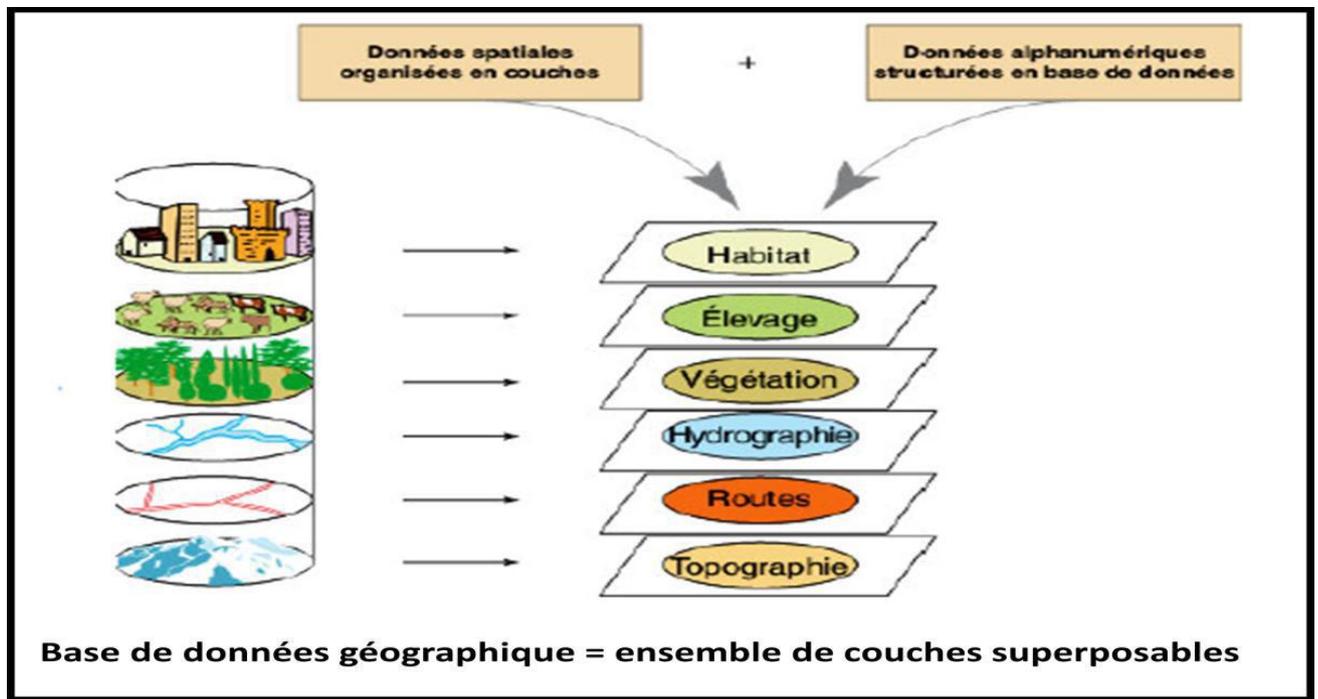
La structuration des données SIG se fait par couches, qui sont des ensembles d'éléments d'éléments (données géométriques et attributaires).

Ainsi, une image raster, ou un ensemble d'objets vectoriels peuvent constituer une couche. Généralement, on assemblera dans une couche les objets faisant partie d'une même thématique. On rassemblera par exemple

Dans une couche nommée « Voirie » les objets de type « ligne » correspondant aux routes, aux sentiers etc., alors que d'autres objets linéaires (fleuves, canaux etc.) seront regroupés dans une couche distincte (dans ce cas, la couche « Hydrologie »).

Si l'affichage d'une couche permet déjà la réalisation d'analyses intra couches, la grande force des SIG est de permettre la visualisation simultanée de différentes données par la superposition de couches, la superposition à volonté de couches de thèmes différentes permet d'obtenir une représentation des données adaptée aux besoins d'analyse, complexe et riche en information, notamment au niveau des

interactions spatiales et thématique à partir de là, tout ou presque est possible grâce aux analyse multicritères et multicouche.



(Figure.15): Structure de l'information géographique dans un SIG (Habert,2000).

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).

5. SIG et Géologie:

5.1. Construction du SIG géologique:

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

- Décrire fidèlement et de manière exhaustive le contenu de la carte Géologique.
- Associer les différents objets constitutifs de la carte dans des thèmes conformes à, 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.

5.2. Architecture du modèle spatial :

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

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

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

5.3. Méthode de construction d'un SIG :

Schématiquement, une carte géologique est constituée de surfaces auxquelles sont attribués des codes de couleur permettant de distinguer les différentes unités de terrains. La réalité est cependant plus complexe.

Chaque surface est circonscrite par des segments de lignes qui sont les « objets (briques) élémentaires » de la carte. Certaines de ces lignes cumulent plusieurs significations géologiques (limite d'affleurement, niche d'arrachement et limite de tassement rocheux par exemple).

Dans le SIG chaque ligne appartiendra à un ou plusieurs thèmes.

Comme élément constructif de polygones ou comme élément linéaire) signification structurale ou morphologique.

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

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

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

L'attribution discriminante des lignes dans le thème de construction

Permet d'extraire de manière semi-automatique les éléments de base des différents types de ligne et polygones.

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

6. Domaines d'application :

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

Citons cependant :

Géologie (prospection minière)

Tourisme (gestion des infrastructures, itinéraires touristiques) ;

Marketing (localisation des clients, analyse du site) ;

Planification urbaine (cadastre, POS, voirie, réseaux assainissement) ;

Protection civile (gestion et prévention des catastrophes) ;

Transport (planification des transports urbains, optimisation d'itinéraires) ;

Forêt (cartographie pour aménagement, gestion des coupes et sylviculture) ;

Biologie (études du déplacement des populations animales) ;

Télécoms (implantation d'antennes pour les téléphones mobiles).

B- le SIG sous Arc GIS:

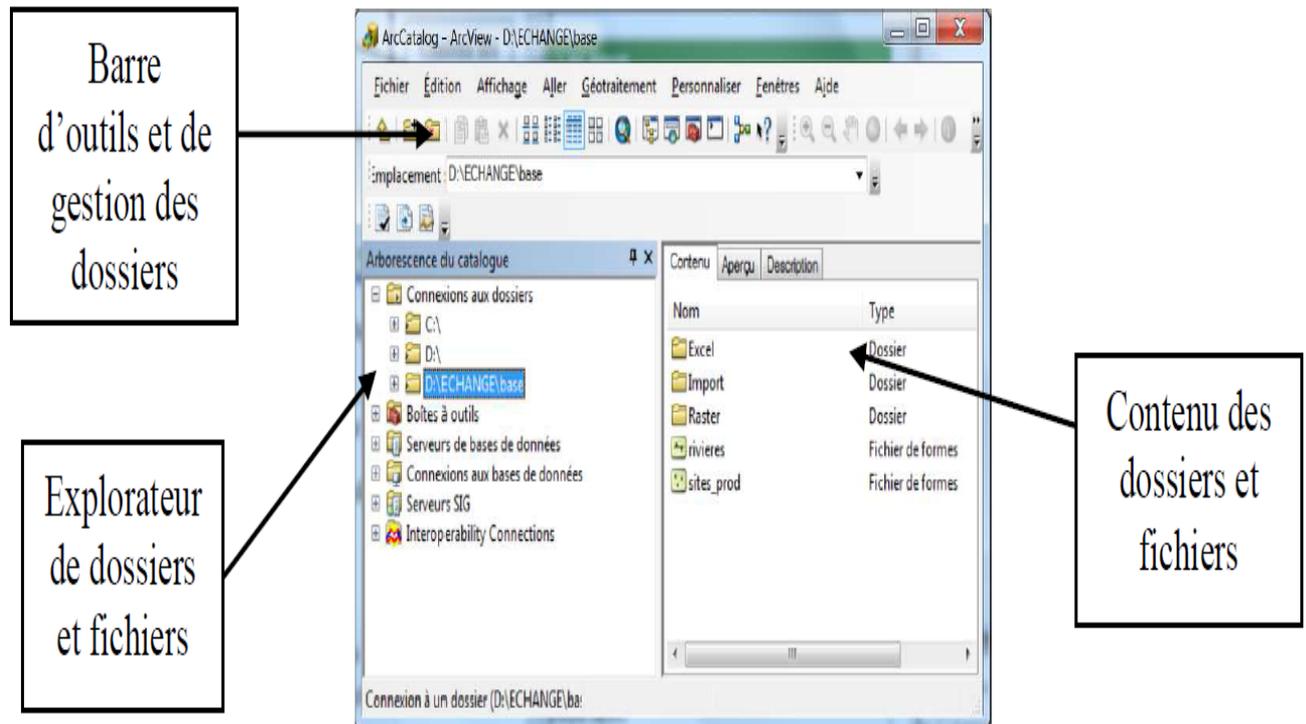
1. Définition :

Arc GIS est un logiciel permettant d'élaborer des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG). Le logiciel offre de nombreuses potentialités pour la manipulation, la gestion, l'analyse et l'édition des données spatiales, le stockage, la mise à jour, la manipulation, et le traitement de données géographiques.

2- Présentation du logiciel Arc GIS 10 :

Le logiciel ArcGIS comprend trois applications principales : **ArcCatalog** ; **ArcMap** et **ArcToolbox**.

2-1 ArcCatalog : ArcCatalog nous permet de passer en revue, d'organiser, de distribuer et de modifier les éléments de propriétés des données (fig.)

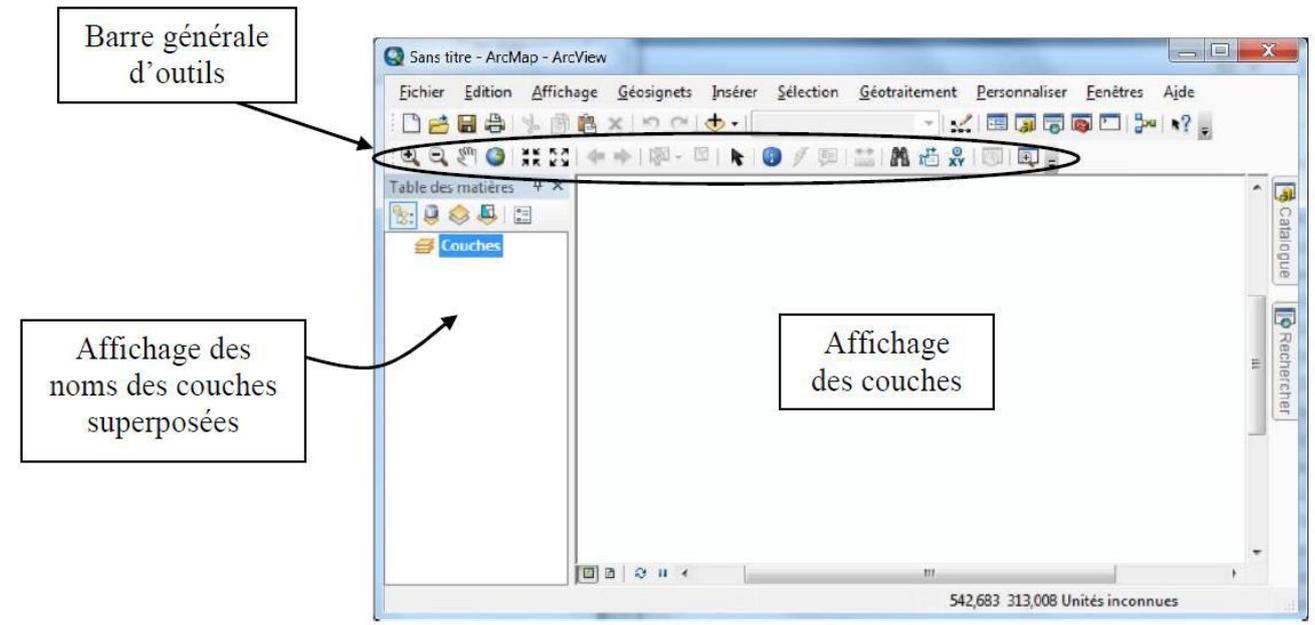


(Figure.16): L'interface d'ArcCatalog.

2-2. ArcMap :

C'est l'application principale d'Arc Info Desktop. Elle permet de visualiser les données, de les saisir et les mettre à jour, d'effectuer des analyses, ainsi que de cartographier et mettre en pages ces données.

-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 : fig



(Figure17): L'interface d'ArcMap.

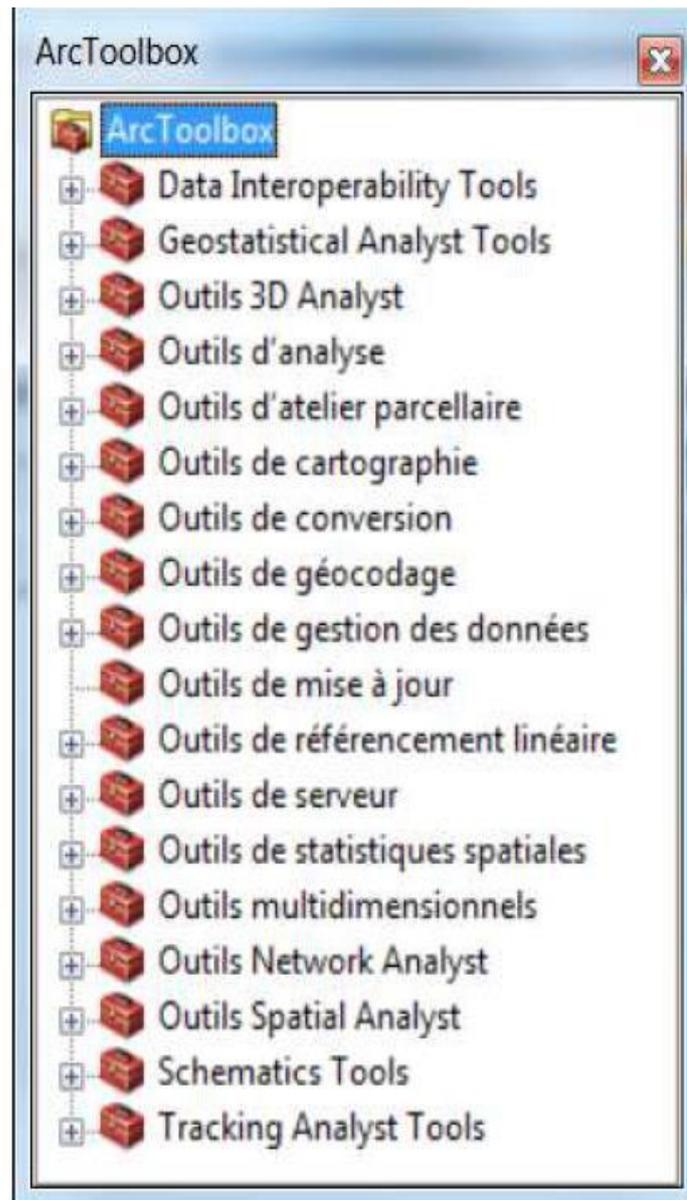
2-3. ArcToolbox :

C'est une interface graphique des commandes "ARC". Elle 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.

Convertit aussi les formats de données pour l'importation ou l'exportation de fichiers, ainsi que les changements de projection. On peut ouvrir la fenêtre ArcToolBox à l'aide du bouton Afficher/Masquer la fenêtre ArcToolBox qui se trouve sur la barre d'outils standard, ou en sélectionnant géotraitement > ArcToolBox.

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

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



(Figure.18): *L'interface de l'ArcToolbox.*

CHAPITRE IV :



LE SIG

APPLIQUE A LA REGION

D'ETUDE.

1 .Application aux feuilles de Tahift-In Abeggui :

Pour le traitement de données nous avons utilisé le logiciel SIG ArcGIS développé par la compagnie américaine ESRI, ce logiciel facilite grandement la vectorisation et le traitement d'une carte au format raster (scannée).

Les données raster utilisés sont les cartes géologiques réalisées aux dépens de l'Office National de Recherche Géologique et Minière, anciennement nommé « Entreprise Nationale de Recherche Minière ». les cartes utilisées sont les suivantes :

- ✓ La Feuille Tahift
- ✓ La Feuille In Abeggui
- ✓ La Feuille In Attei

Les Données de minéralisation ont été obtenues par la compilation de nombreuses rapports et thèses (Syntchouk 1987,1984. Rapports de la recherche systématiques réalisés par les auteurs A.Kiniakine et A.Chadtchinev, inventaire de minéralisations de l'ORG...etc.)

On insiste à préciser que le traitement de chaque carte s'est fait d'une manière individuelle, dans un SIG apart, qu'on a ensuite rassemblé pour vous donner une image générale de tout le travail qui a été réalisé.

1.1. Etapas suivies pour le traitement et vectorisation des cartes:

1.1. a. *Rappels théoriques :*

1.1.a.1. *Système de Coordonnées de Référence :*

Il y a deux types de « Système de Coordonnées de Référence », Systèmes de coordonnées géographiques et Systèmes de coordonnées projetées

Systèmes de coordonnées géographiques :

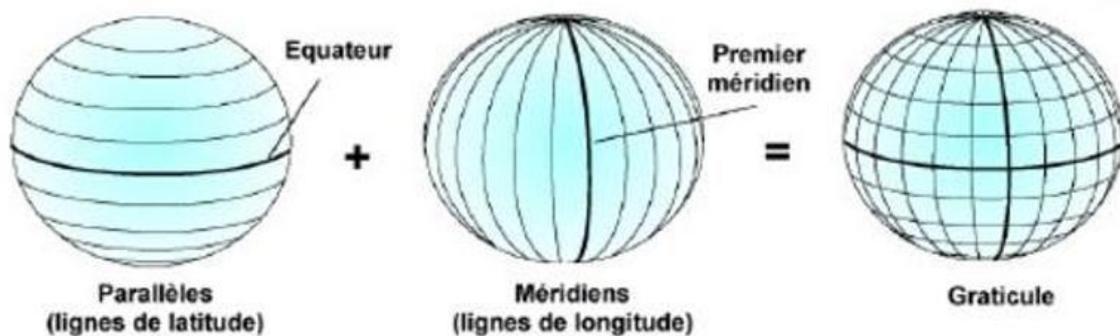
Un système de coordonnées géographiques (GCS, geographic Coordinate System) utilise une surface sphérique à trois dimensions pour définir des emplacements sur la Terre. Un GCS est souvent confondu avec un DATUM,

lequel n'est en fait qu'une partie d'un GCS, ce dernier comprend une unité angulaire de mesure, un méridien principal et un DATUM (basé sur un ellipsoïde).

Il en existe plusieurs pour des raisons historiques, techniques et d'usage, cependant le système de coordonnées le plus utilisé est le WGS 84.

Les projections cartographiques ne sont en aucun cas une représentation précise de la terre à chaque projection.

Pour nos cartes nous avons utilisés le système de coordonnées UTM « Transverse Universelle de Mercator » ce système de coordonnées a son origine sur l'équateur a une Longitude spécifique. Maintenant, les valeurs Y augmentent vers le sud et les valeurs X augmentent vers l'Ouest.



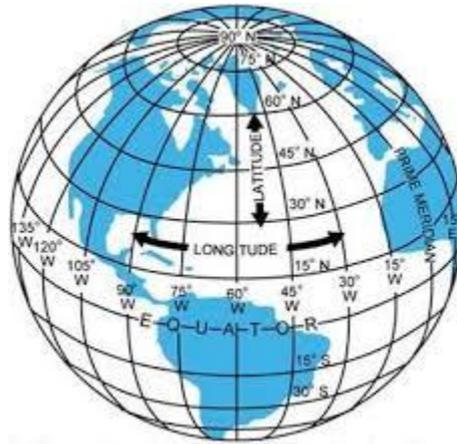
(Figure.19): Les parallèles et les méridiens constituant un graticule.

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

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

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

L'illustration suivante projette le monde sous forme d'un globe avec les valeurs de longitude et de latitude.



(Figure.20): Globe terrestre avec les valeurs de longitude et de latitude.

✚ Systèmes de coordonnées projetés :

Un système de coordonnées projetées se définit sur une surface plane, à deux dimensions. Contrairement à un système de coordonnées géographiques, un système de coordonnées projetées possède des longueurs, des angles et des surfaces constants dans les deux dimensions. Un système de coordonnées projetées est toujours basé sur un système de coordonnées géographiques, lui-même basé sur une sphère ou un ellipsoïde.

La projection UTM découpe la terre en 60 fuseaux de 6° de part et d'autre de l'équateur. L'Algérie se situe en zone 31N, mais aussi 29,30 et 32.



(Figure.21): Fuseaux horaires du sud de l'Algérie.

1.1. b. Géo-référencement :

Le géoréférencement est l'opération d'attribution des coordonnées géographiques à un fichier image raster. Sur ArcGIS ceci est aussi appelé « Calage », il faut noter qu'il est indispensable de caler chaque carte raster avant de pouvoir l'utiliser dans une base de données.

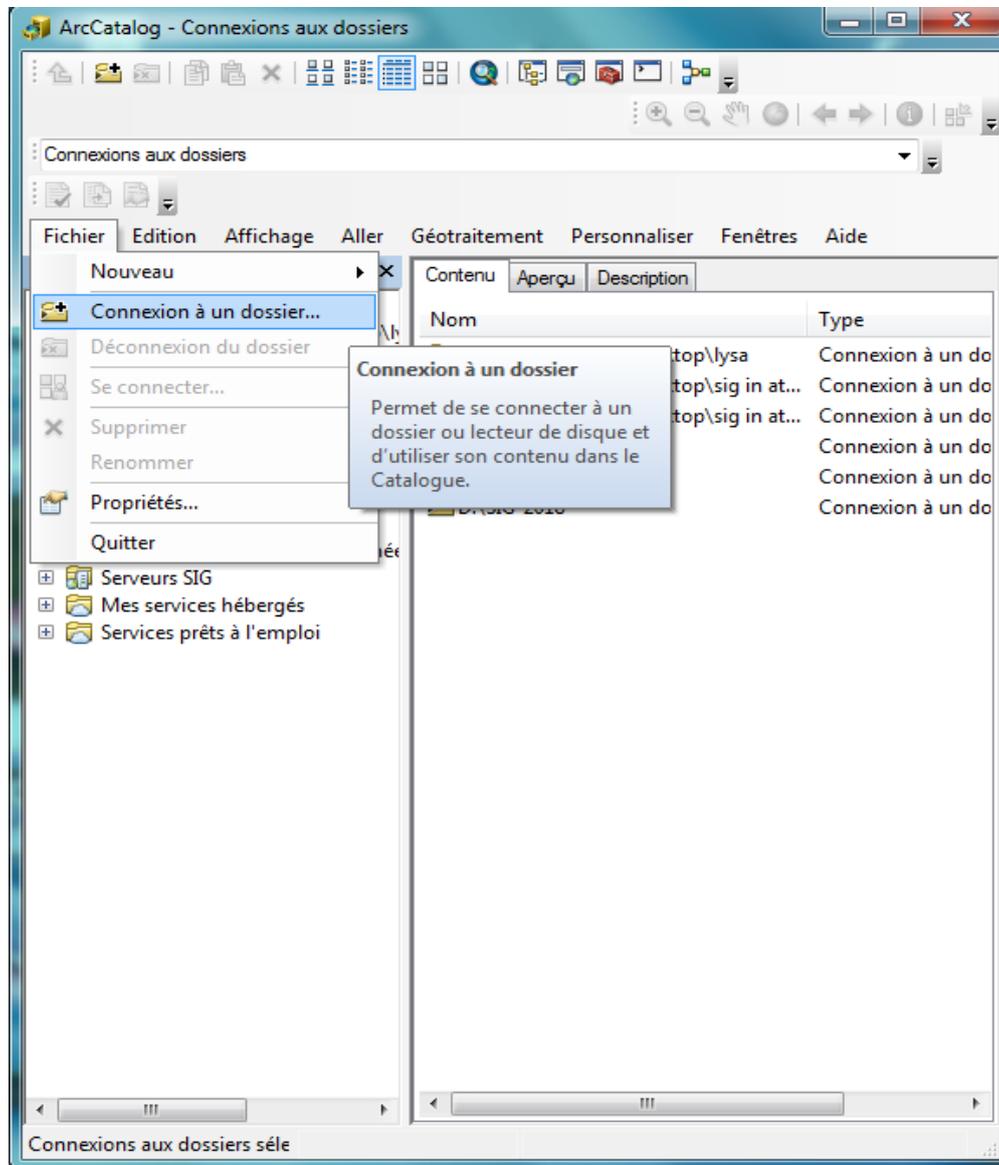
Pour que le travail soit correct et précis, il faudrait opter pour un système de projection unique de la mesure du possible, pour éviter les déformations sur les entités ainsi que les erreurs lors des calculs d'analyses spatiales. Pour nos cartes on a utilisé le système de projection « UTM » Nord Sahara 32

Les étapes suivies pour le géoréférencement d'une carte à l'aide d'ArcGIS 10 :

- 1) Démarrer ArcCatalog.
- 2) Se connecter à un dossier :

Cette étape nous permet de se connecter à un dossier contenant les informations qu'on recherche (le fichier Raster pour notre cas).

Pour faire ceci il existe deux méthodes, et ici en a utilisé la première qui consiste à se connecter à un dossier via le menu Fichier → Connexion à un dossier → Cartes Raster (par exemple).

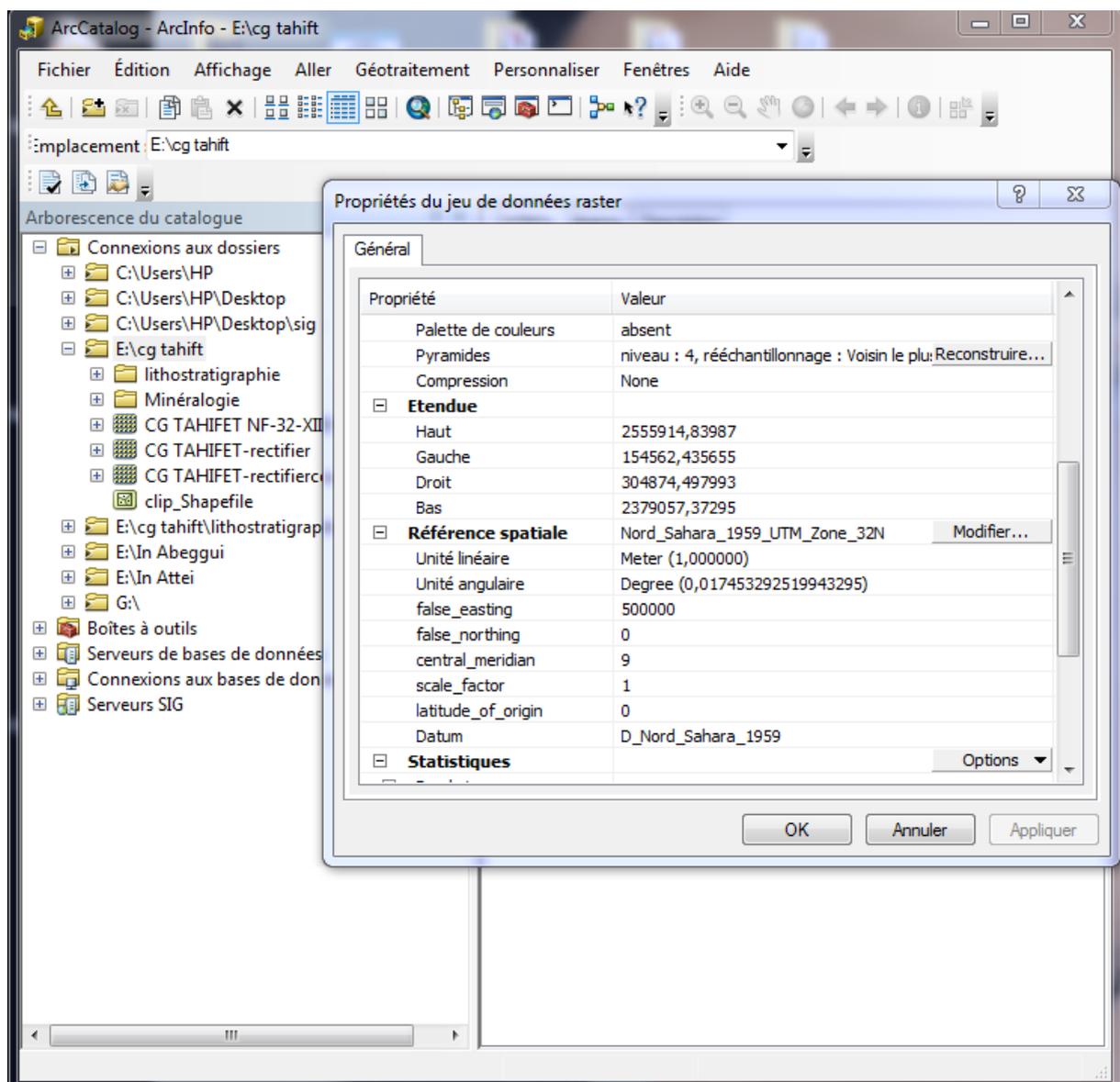


(Figure.22): Connexion à un dossier via ArcCatalog:

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

3) Choix du système de coordonnées dans ArcCatalog :

On sélectionne notre carte qui est en format raster → On effectue un clic droit dessus → Propriétés → Références spatiales → Modifier → Sélection → Références spatiales → Système de coordonnées projetés → UTM → Africa → Choisir le système de coordonnées qui convient (Nord_Sahara_1959_Zone32N pour nos cartes.) → Ok.

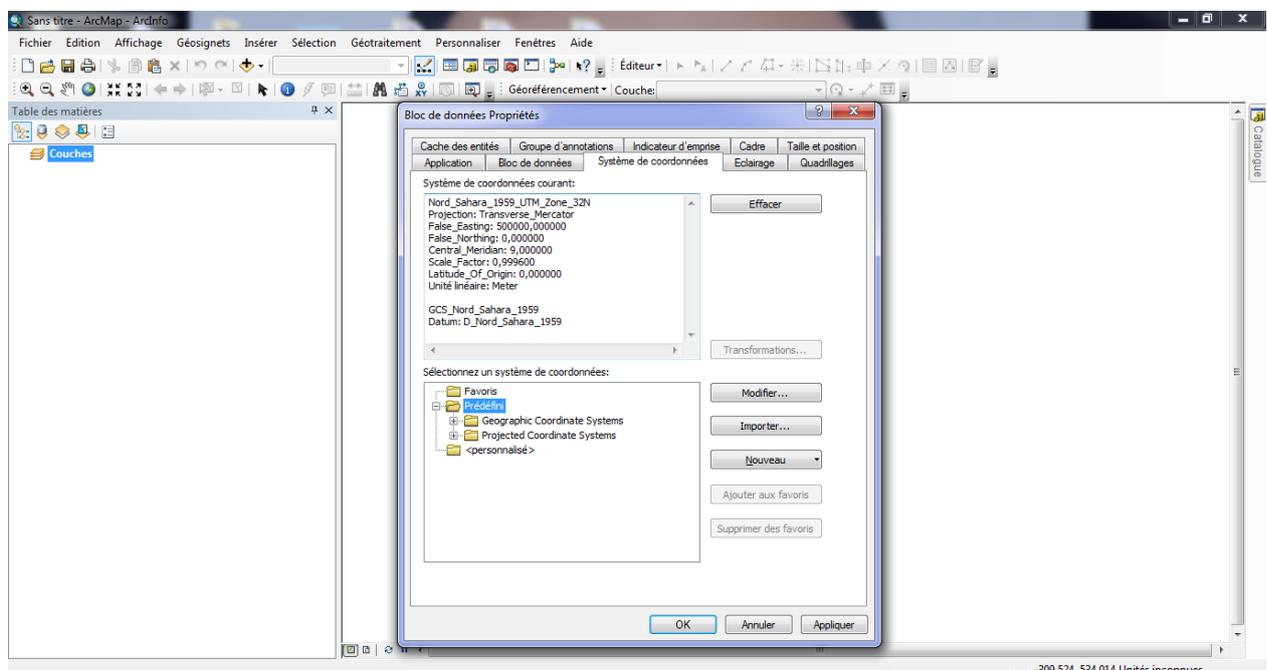


(Figure.23): Attribution d'un système de coordonnées projetées via ArcCatalog.

4) Choix du même système de coordonnées dans ArcMap :

Pour éviter les problèmes de calage, il est nécessaire d'attribuer le même système de coordonnées dans ArcMap, pour ce il suffit de démarrer ArcMap et choisir « carte vierge », une fois ceci fait on se retrouve dans l'interface ArcMap.

Dans la table des matières (à gauche) on sélectionne « Couches » → Clic droit dessus → Propriétés → Système de coordonnées → Prédéfini → Système de coordonnées projetées → UTM → Africa → Choisir le système de coordonnées qui convient → OK.



(Figure.24): Attribution d'un système de coordonnées via ArcMap.

5) Importation de la carte à caler depuis ArcCatalog vers ArcMap :

Cette opération s'effectue en quelques clics, il suffit de sélectionner la carte à géoréférencier et la glisser (maintenir clic gauche dessus et la glisser) dans l'interface d'ArcMap.

Une fois ceci fait, une fenêtre s'ouvre dans ArcMap nous proposant la création de pyramides, on confirme en appuyant sur OK. Et la carte s'affiche

dans la table des matières (la partie à gauche de l'interface ArcMap) dans l'arborescence des couches.

Il faut noter que la création des pyramides permet d'alléger la carte donc de rendre plus rapide les manipulations.

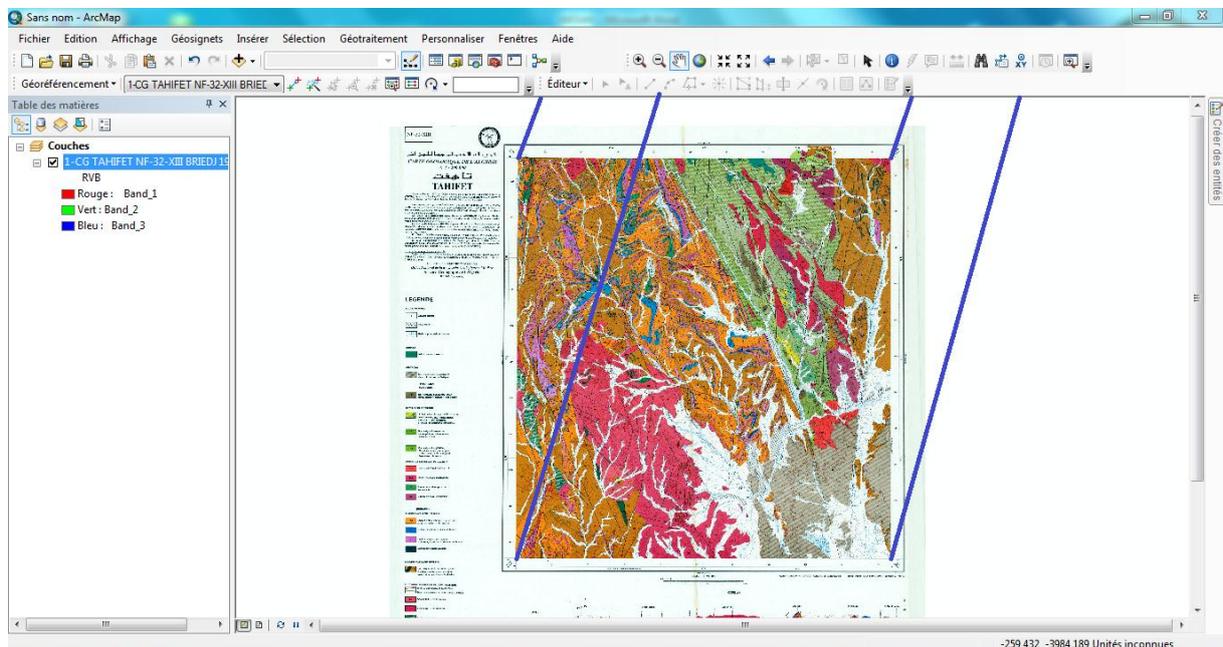
6) Ajouter les points de contrôle :

Cette étape comprend l'utilisation de l'outil « Géoréférencement » rendu disponible dans la barre d'outils d'ArcMap via le menu Personnaliser → Barres d'outils →Géoréférencement.

Cette fonction d'ArcMap, comme son nom l'indique, nous permet de géoréférencier les données Raster.

Afin de géoréférencier la carte on procède comme suit

Dans l'outil « Géoréférencement » on décoche l'ajustement automatique → Cliquer sur Ajouter des points → Entrer DMS → y introduire quatre points selon la projection initiale de la carte raster → Cliquer sur le bouton Visualiser la table des liens un tableau s'affiche contenant nos quatre points → Cliquer sur transformation → Cocher Ajustement automatique → OK.



(Figure.25): Calage de la carte géologique.

1.1.c. Vectorisation d'une carte :

A ne pas confondre avec digitalisation, ou numérisation.

Une numérisation est le passage d'une information sur un support quelconque (papier, électrique...) à un support informatique. 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).

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

- Une faille par un trait (Polyligne).
- Un affleurement par une unité surfacique (Polygone).
- Une minéralisation par un point.

Les étapes suivies pour la vectorisation sont les suivantes :

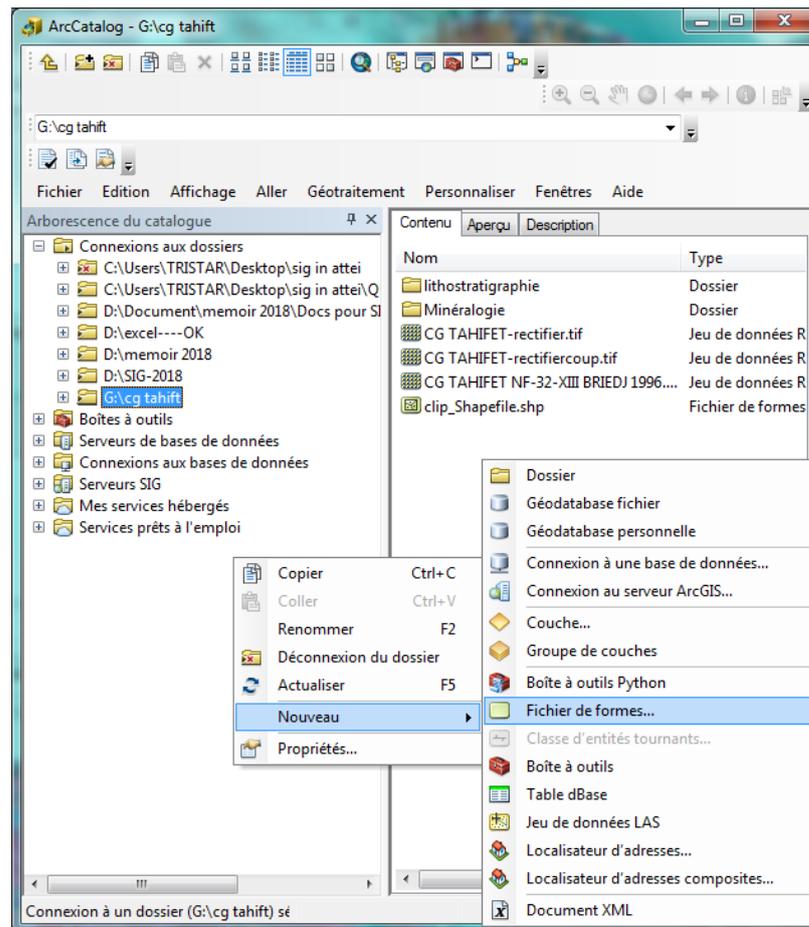
a) Création d'une couche « fichier de formes » via ArcCatalog:

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, et tous les objets d'une même couche doivent être du même type géographique (point, ligne ou polygone).

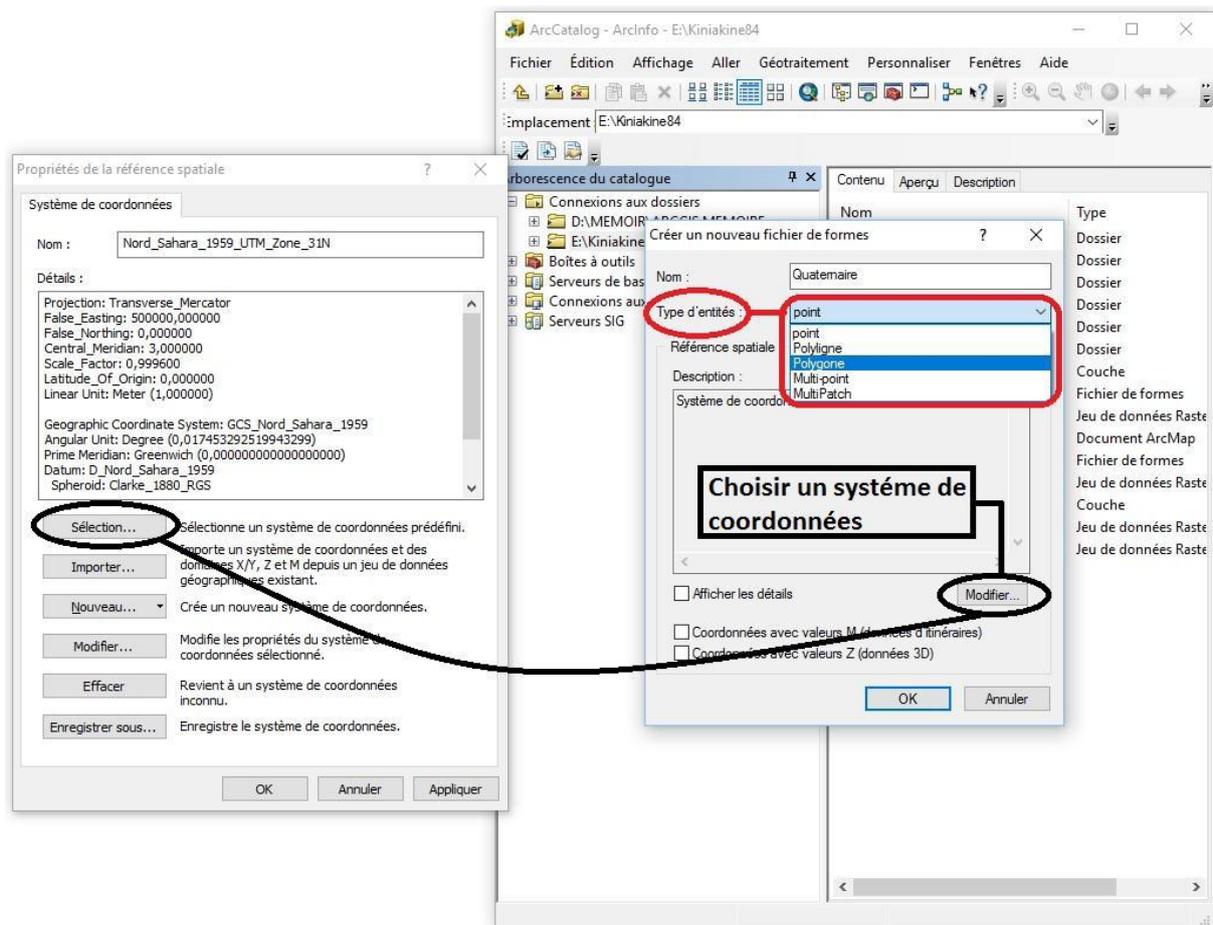
Pour la création d'un fichier de formes on procède comme suit :

Dans l'interface ArcCatalog clic droit sur blanc → Nouveau → Fichier de formes



(Figure.26): Créer un fichier de formes.

Par la suite on nomme le fichier de formes qu'on veut créer, on spécifie le type de couche (Polygone / Polyligne / point), et on attribue le système de coordonnées (qui doit être identique à celui de la carte dans ArcMap).



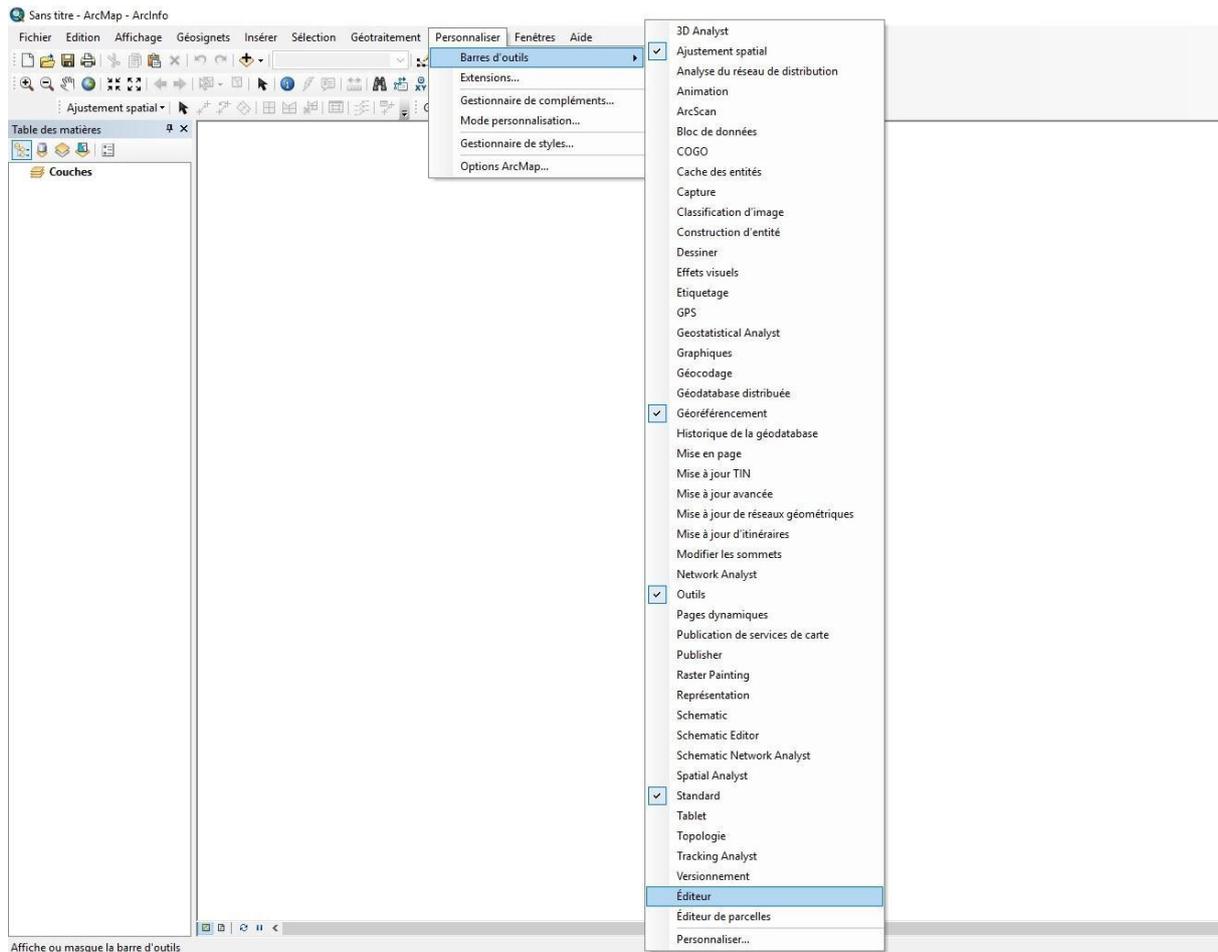
(Figure.27): Choix du type d'entité et du système de coordonnées.

Et pour finir, on fait glisser le fichier de formes dans l'interface ArcMap.

b) Entamer la vectorisation dans ArcMap via l'outil Editeur :

Pour pouvoir vectoriser notre nouvelle couche (fichier de formes), on aura besoin de l'outil « Editeur »

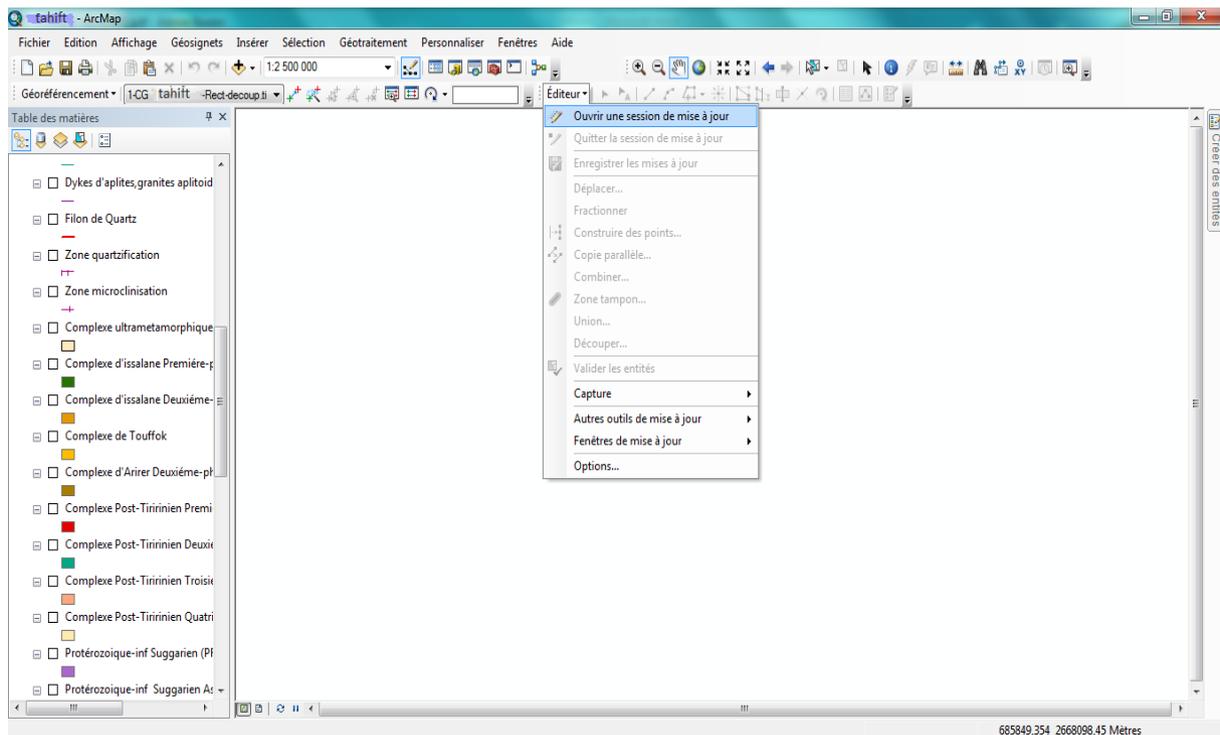
Pour activer l'outil « Editeur » : Dans ArcMap on clique sur Personnaliser → Barres d'outils → Cocher → « Editeur »



(Figure.28): Activer l'outil Editeur.

Maintenant que l'outil Editeur est disponible, on peut modifier la couche, pour ceci il suffit d'appliquer ces quelques étapes :

Un clic gauche sur Editeur → Ouvrir une session de mise à jour → Choisir la couche voulue → Activer l'outil « Segment » et vectoriser l'entité polygonale voulue.



(Figure.29): Ouvrir une nouvelle session de mise à jour.

Pour enregistrer le travail, il suffit de cliquer sur « Editeur » puis faire « Enregistrer les mises à jour ».

Après avoir suivi toutes les étapes cités ci-dessus (géoréférencement, vectorisation) on est arrivé à produire les différentes couches d'informations (lithostratigraphiques, magmatiques, tectoniques...etc.) de manière cohérente.

c) Vectorisation surfacique « Polygone » :

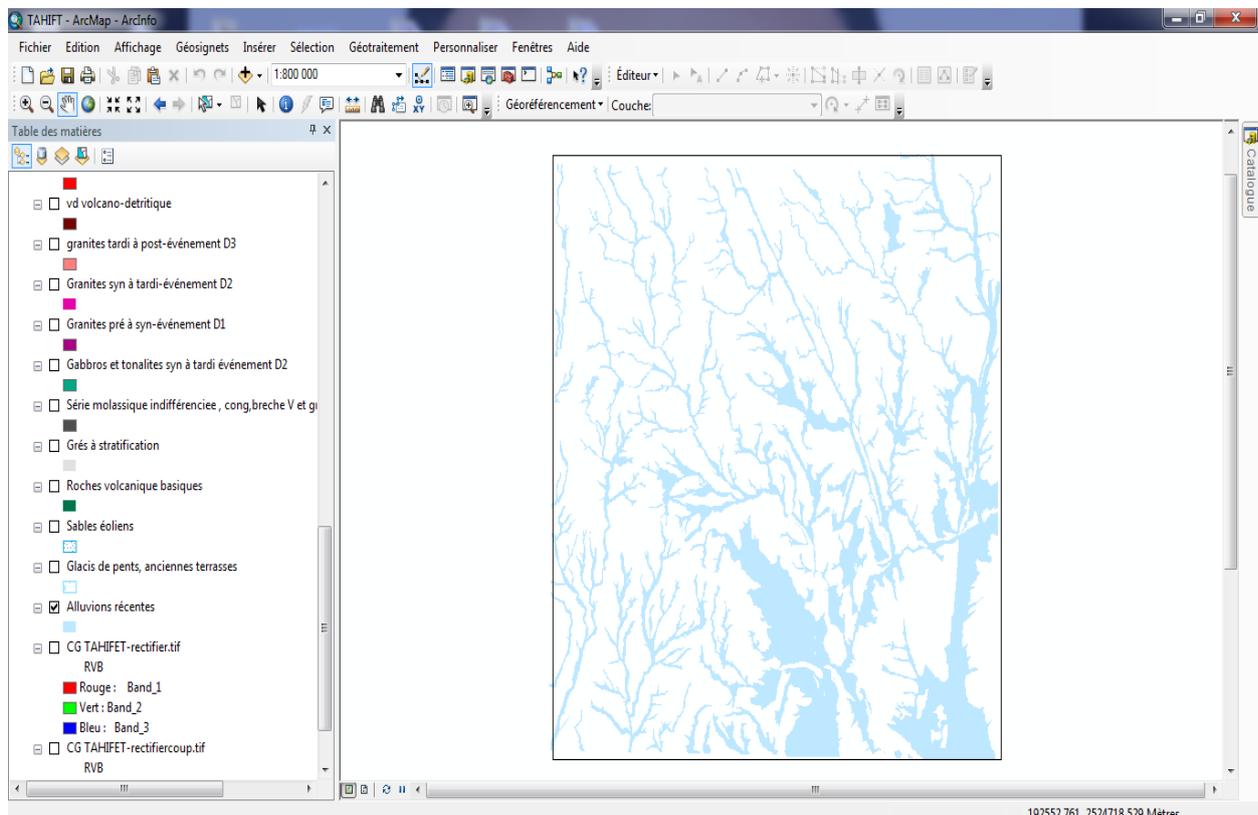
Les entités surfaciques sont des surfaces entièrement fermées par des segments de ligne droite, des arcs circulaires, des arcs elliptiques et des courbes de Bézier entre les sommets. Elles permettent de représenter des entités naturelles et conformes à l'exécution qui sont dotées de régions planes fermées.

Pour la création d'une entité surfacique, il suffit de créer un fichier de formes « Polygone ».

On prend exemple la carte de TAHIFT pour démontrer les différentes étapes suivies pour la vectorisation des cartes.

❖ La Litho-stratigraphie :

Pour procéder à la vectorisation des couches litho-stratigraphiques on a commencé par la vectorisation de la formation litho-stratigraphique « Alluvions récentes ».

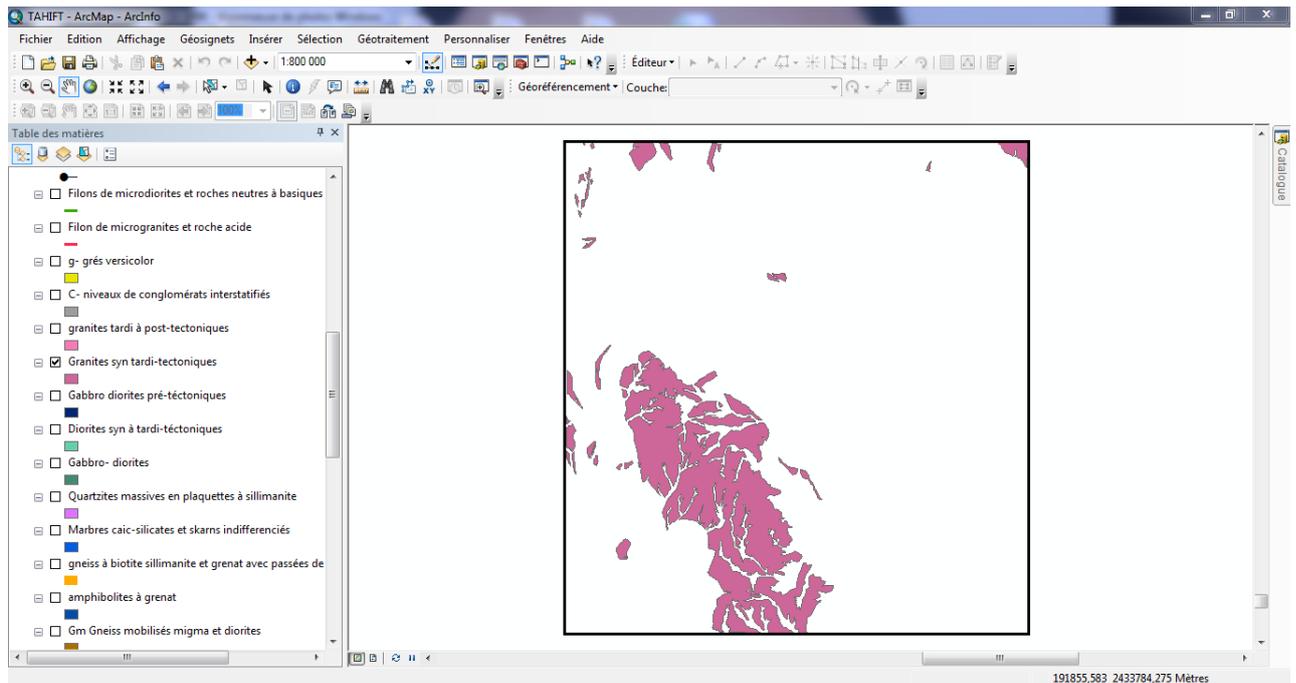


(Figure.30): Vectorisation de l'entité polygonale alluvions récentes

En procédant de la même manière pour toutes les entités litho-stratigraphiques constituant (pour cet exemple) la carte de TAHIFT, nous avons pu vectoriser tous les couches « Polygones » représentant les formations litho-stratigraphiques.

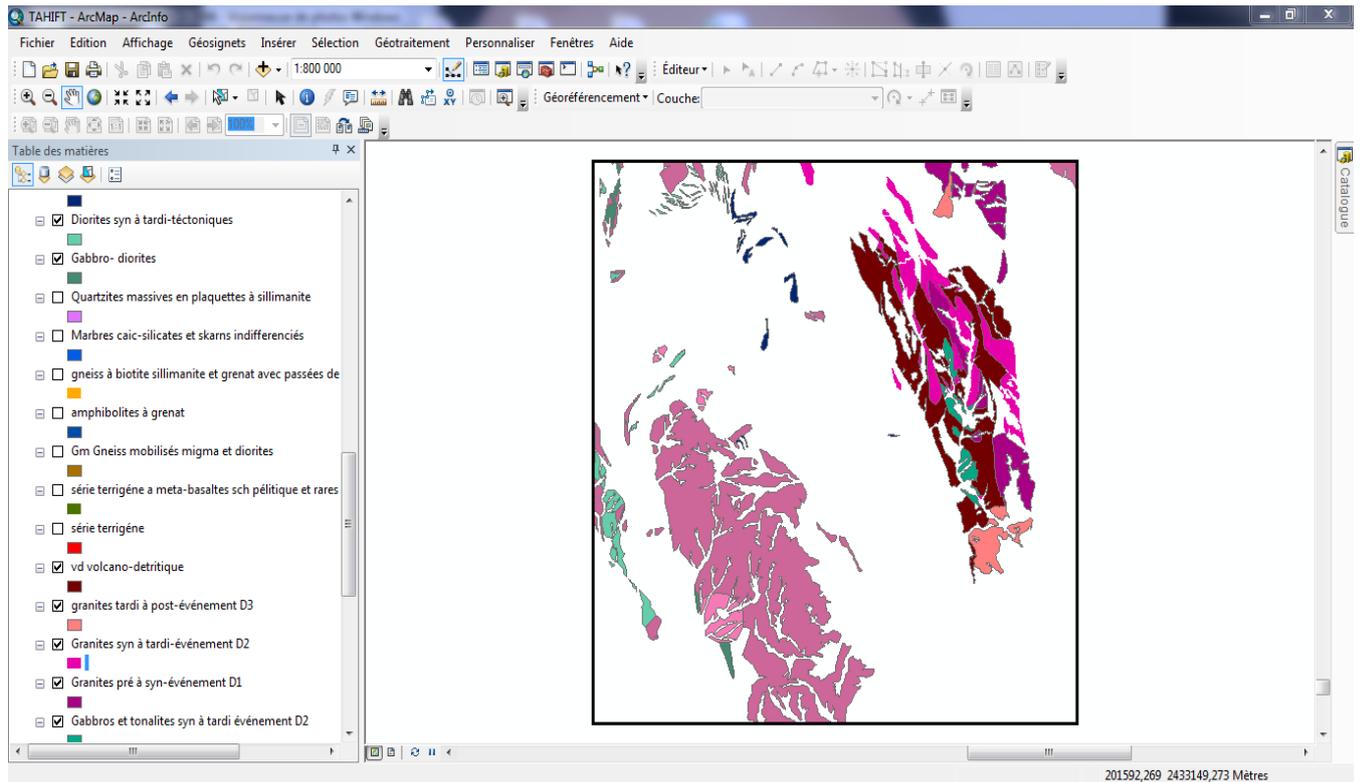
❖ Magmatisme :

Pour procéder à la vectorisation de l'information sur le magmatisme, nous avons procédé de la même manière que pour les couches lithostratigraphiques.



(Figure.31): Exemple de vectorisation d'une couche magmatique

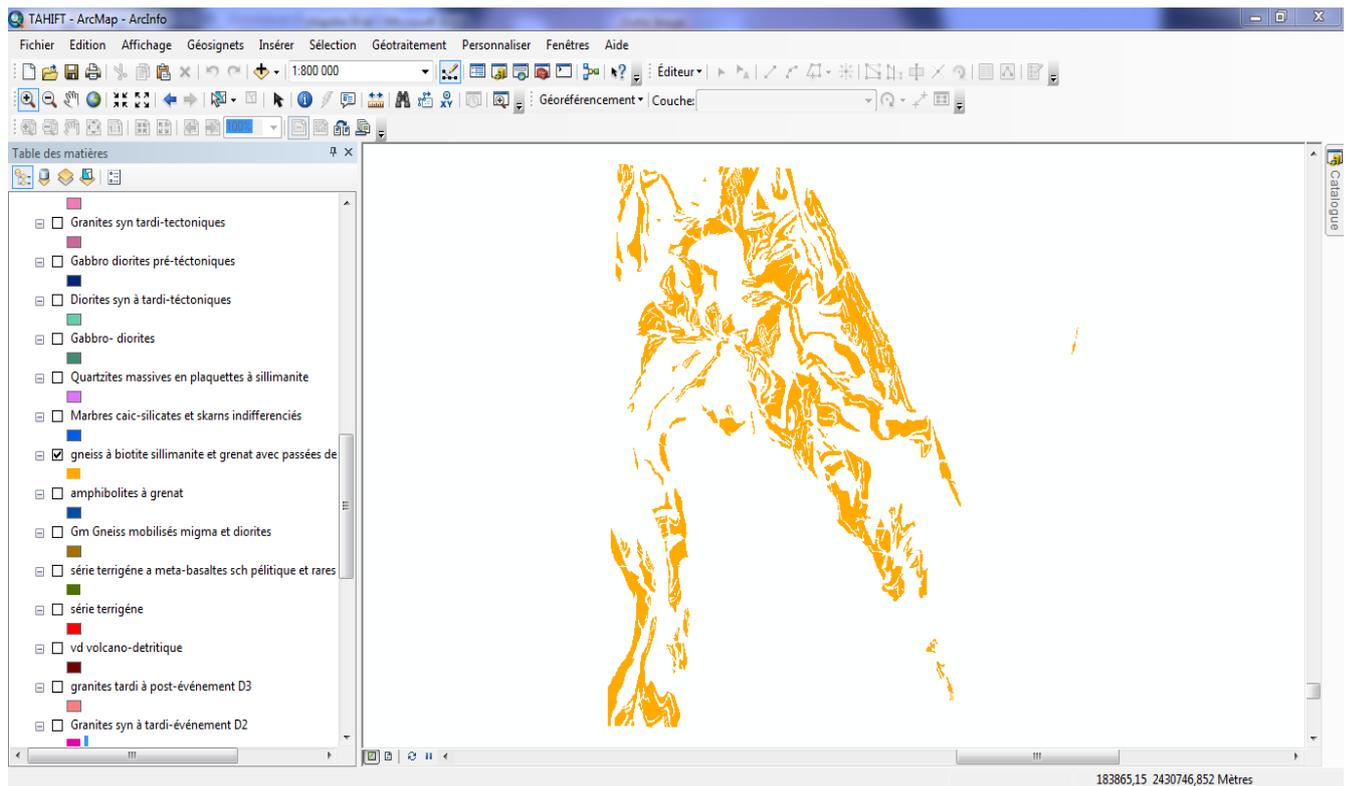
En procédant de la même manière pour toutes les couches, on a pu vectorisé l'ensemble des couches « polygone » qui représentent les formations magmatiques.



(Figure.32): Exemple de vectorisation des couches magmatiques

❖ Métamorphisme :

En procédant de la même manière que pour la vectorisation des couches magmatiques et lithostratigraphiques, on a pu vectoriser l'ensemble des couches qui représentent le métamorphisme sur la carte Tahift , qui est représentée par les formations du protérozoïque terminal.



(Figure.33): Exemple de vectorisation de couche métamorphique

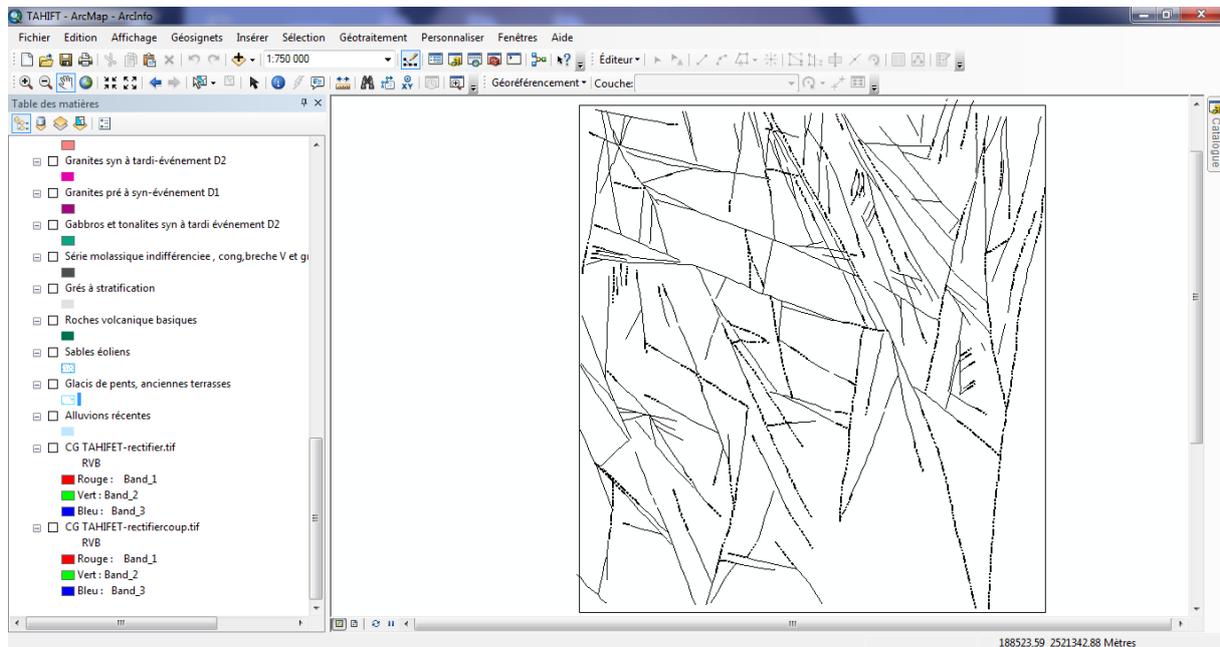
d) Vectorisation linéaire « Polyligne » :

Les entités polygones 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.

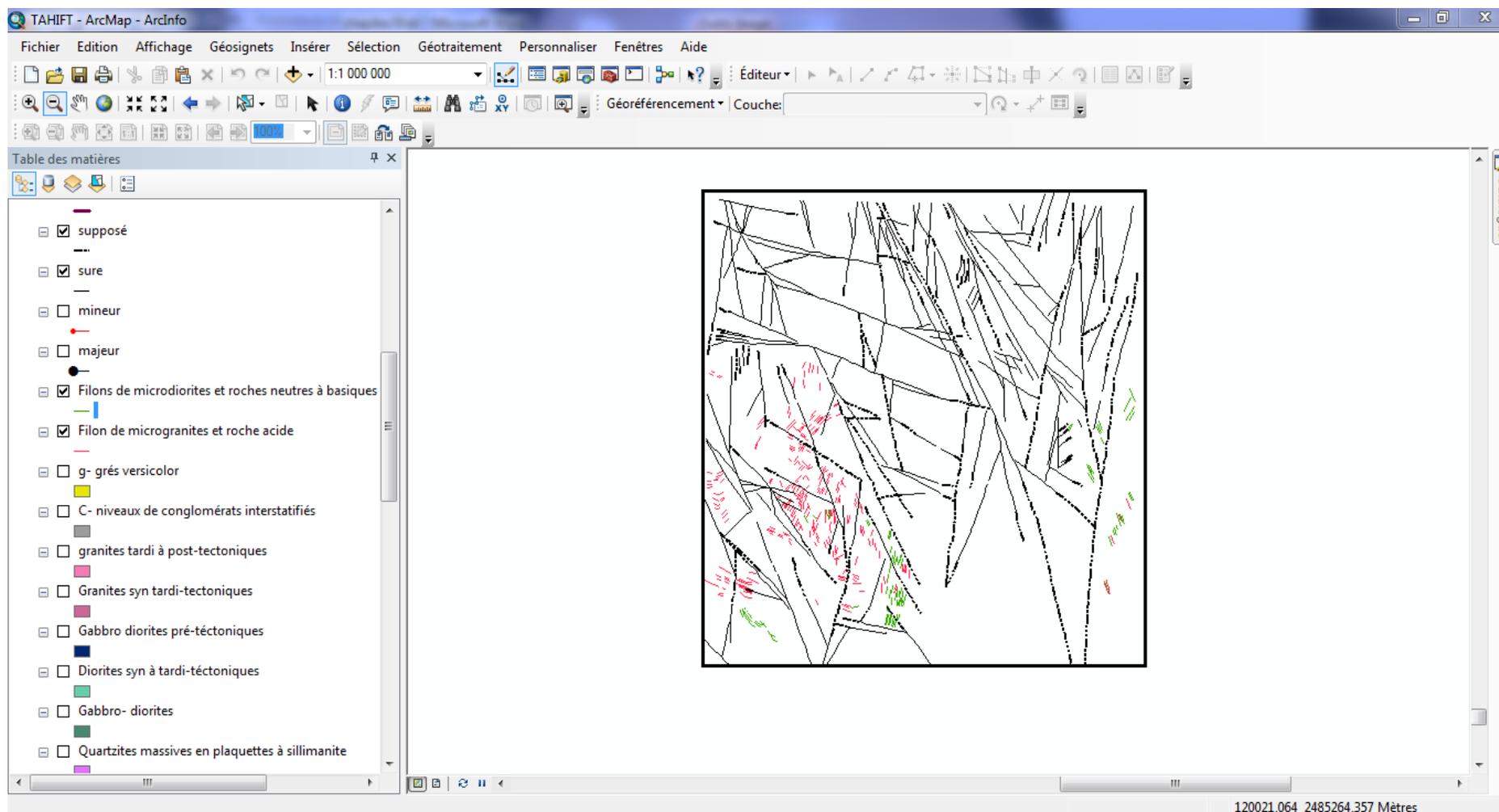
➤ Tectonique :

Pour la vectorisation de la tectonique (failles, chevauchements, dykes...etc.) (Feuille de Tahifet pour exemple) nous avons suivis les mêmes étapes que pour la vectorisation surfacique citée quelques pages auparavant, c'est-à-dire :

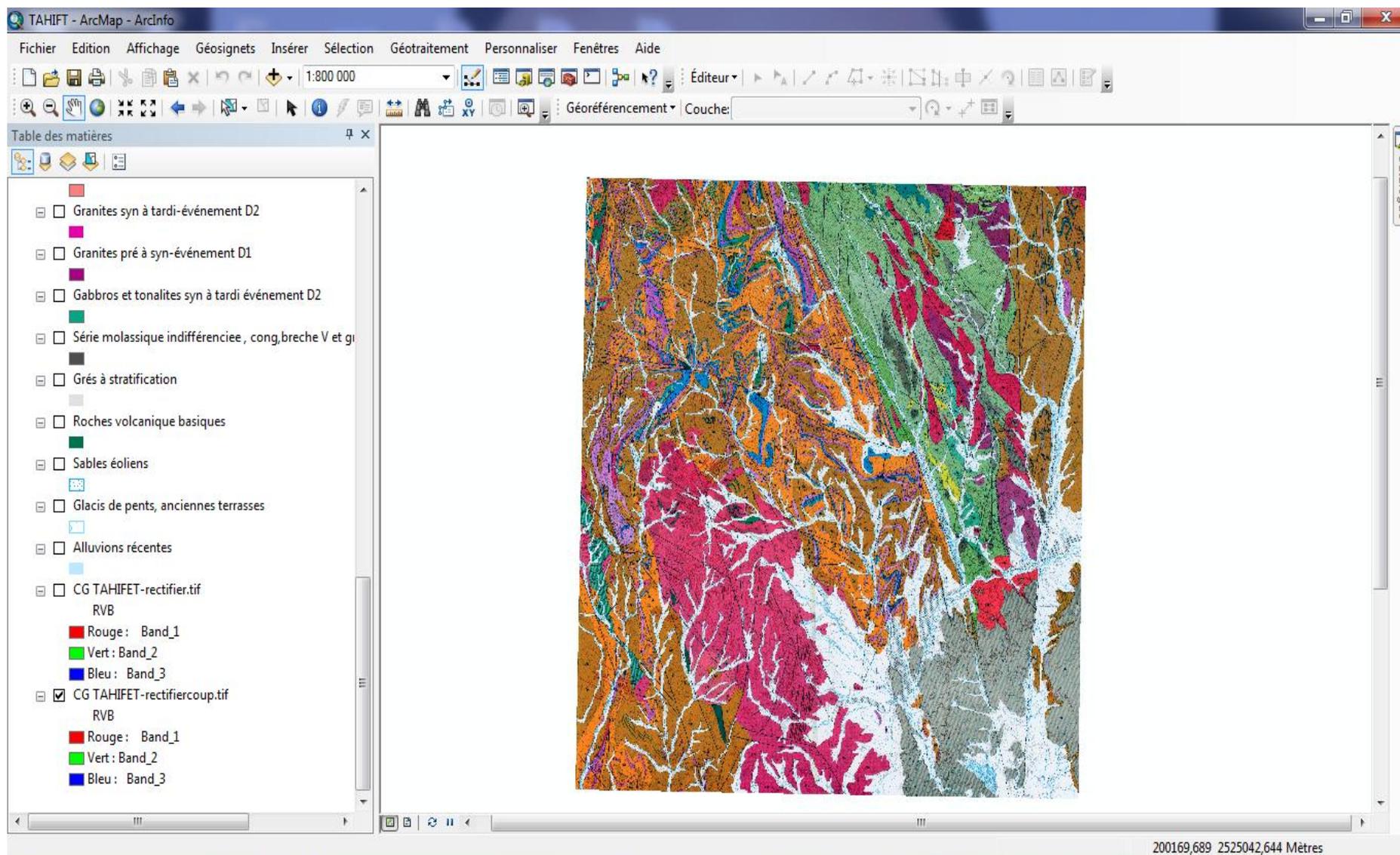
Suivre les mêmes étapes pour la création d'un nouveau fichier de formes, et il suffit de changer le « Type d'entités » en « Polyligne ».



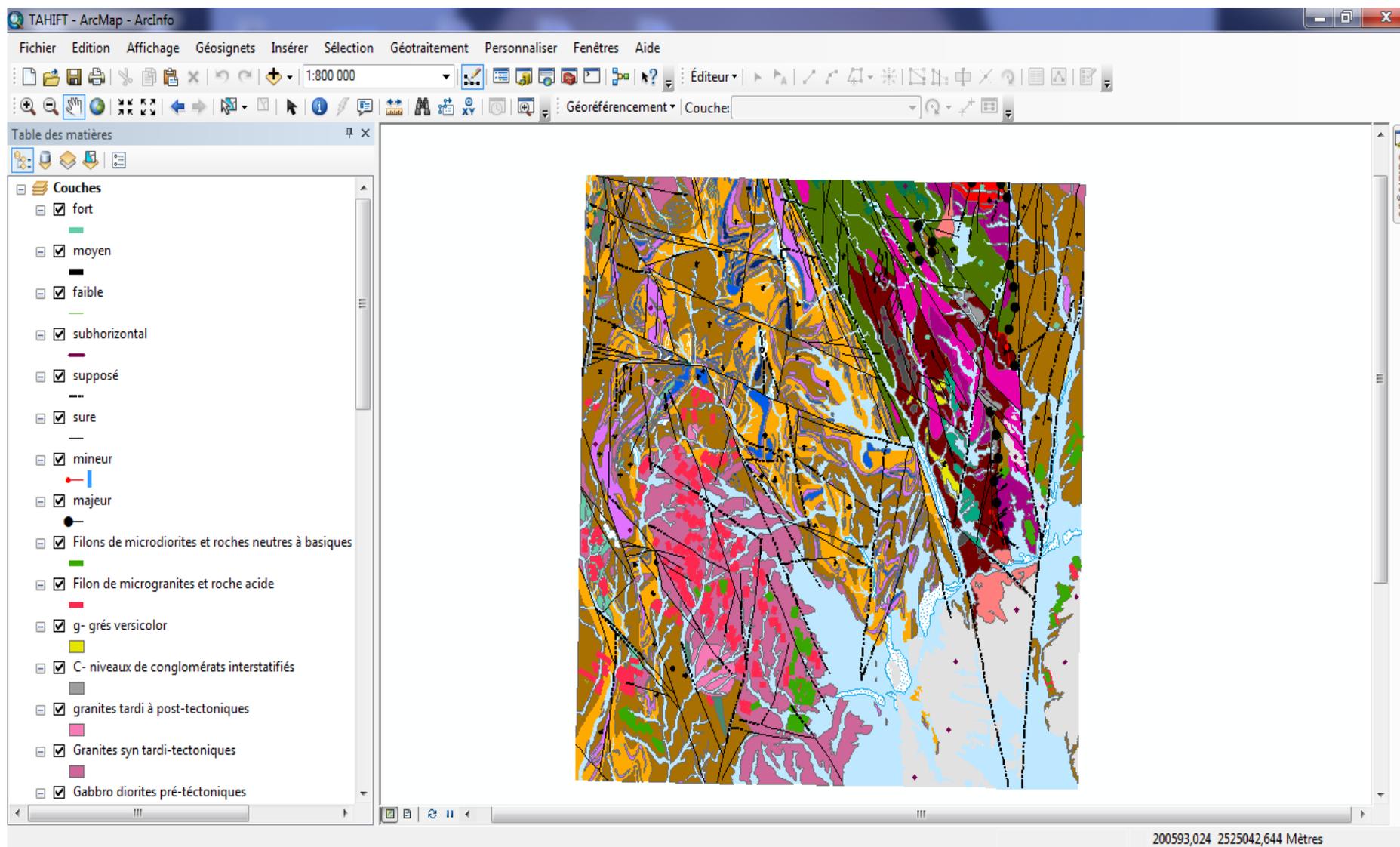
(Figure.34): Exemple de vectorisation linéaire (Failles).



(Figure.35): Vectorisation linéaire complète de la feuille de Tahift à 1/200.000



(Figure.36): Carte raster.(exemple Tahift)



(Figure.37): Carte vectorisée. (Exemple Tahifet)

e) Vectorisation ponctuelle (points) :

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.

Pour pouvoir vectoriser des points, on suit les mêmes étapes que pour la création d'une couche Polyligne ou polygone, la seule différence sera le choix du type d'entité qui sera « point »

➤ Création d'un fichier Excel :

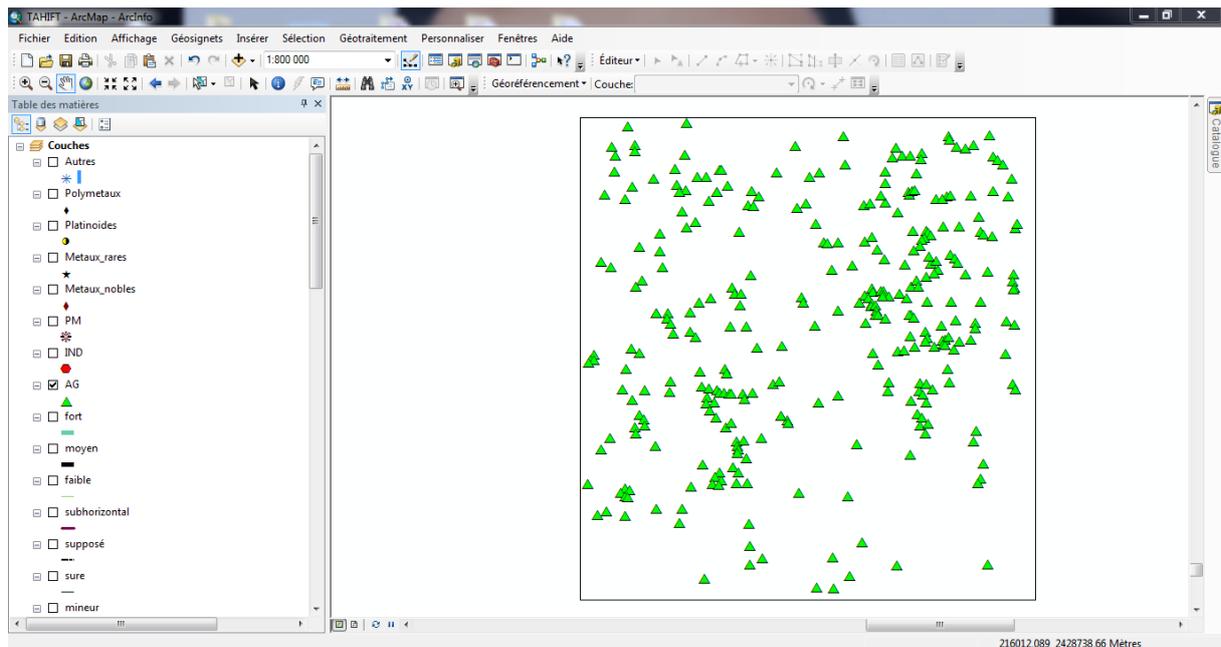
Après la compilation de nombreuses données acquises durant notre recherche bibliographique méticuleuse et approfondie, tel que les travaux effectués sur le Hoggar centrale par Syntchouk, Kiniakine et Chadtchinev...etc. nous avons pu élaborer un fichier Excel des plus complet traitant les minéralisations métaux nobles, polymétalliques, métaux rares, platinoïdes...etc. que nous avons subdivisé de sorte à faire ressortir chaque minéralisation à part, et chaque type de minéralisation (indice, point minéralisé, anomalie géochimique...etc.). Ce qui nous permettra par la suite d'effectuer une analyse thématique de l'ensemble des cartes traitées.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Type de gîte	lat DEC	long DEC	element esnt	element seco	Direction	longueur	analyses spectrale (%)	Nature de gîte
2	AG	22,98889	6,08278	Ag	Ti			1g/t	sables alluvio-proluvionnaires
3	AG	22,92639	6,05556	Ag				1 g/t	schlich prélevé dans formation alluvio-proluvionnaires
4	AG	22,89167	6,05556	Ag				1g/t	schlich prélevé dans depots alluvio-proluvionnaires
5	AG	22,80833	6,21250	Ag	Ti			1 g/t	prélevé dans formations alluvio-proluvionnaires
6	AG	22,89944	6,29722	Ag	Pb			>1g/t	
7	AG	22,83056	6,50000	Ag	Au, Bi	320°		8 g/t	filons de quartz
8	AG	22,77500	6,74722	Ag	Au, Pb			5g/t	dyke de rhyolite quartzifié, l'encaissant granite rose
9	AG	22,78611	6,85417	Ag				1,5g/t	pelite gris micacée
10	AG	22,58889	6,18472	Ag				>1g/t	analyse spectrale prélevé dans depots alluvio-proluvionnaires
11	AG	22,53889	6,81944	Ag	Bi,Cu, Sn			4g/t	zone de chiffonnage
12	AG	22,52500	6,80000	Ag				1,5g/t	zone de granites
13	AG	22,41667	6,58056	Ag		NE30°		2g/t	quartz gris clair amorphe à enduits de malachite
14	IND	22,38694	6,29167	Ag	Bi,Pb,Sn,NB,Mo,Me,Zr,Ti,Ag			<3g/t	indice de minerai
15	PM	22,75000	6,17917	Ag	Pb, Cu, Au, As	NE 30°	1 Km	100 g/t	filon quartzeux dans gneiss biotitique, quartz gris bleuatre
16	PM	22,60972	6,68889	Ag	Au, Ar	NW340°		>10g/t	quartzit gris à gris brunatre
17	AG	22,59167	6,23611	Ar				0,01	pegmatite à tourmalineet à tache de ferruginisation
18	AG	22,02778	6,61389	Ar				0,02	filon quartzeux dans granitogneiss
19	AG	22,00000	6,57778	As				0,01	formation proluvio-alluvionnaires
20	AG	22,81528	6,71111	As				0,02	schistes gris
21	AG	22,90000	6,75417	As		NW300°	200m	0,01	filon quartzeux quartz limonitisé et hématitisé
22	AG	22,86389	6,75000	As				0,01	interlite de métagrés dans schiste phyllitiques
23	AG	22,84583	6,81389	As		submeridionale		0,02	métapelites à filons quartzeux
24	AG	22,85278	6,83333	As				0,01	schistes à filons quartzeux bréchiqie
25	AG	22,62361	6,28306	As	Li			0,01	xénolites d'amphibolite gris foncé broyée dans granite roses

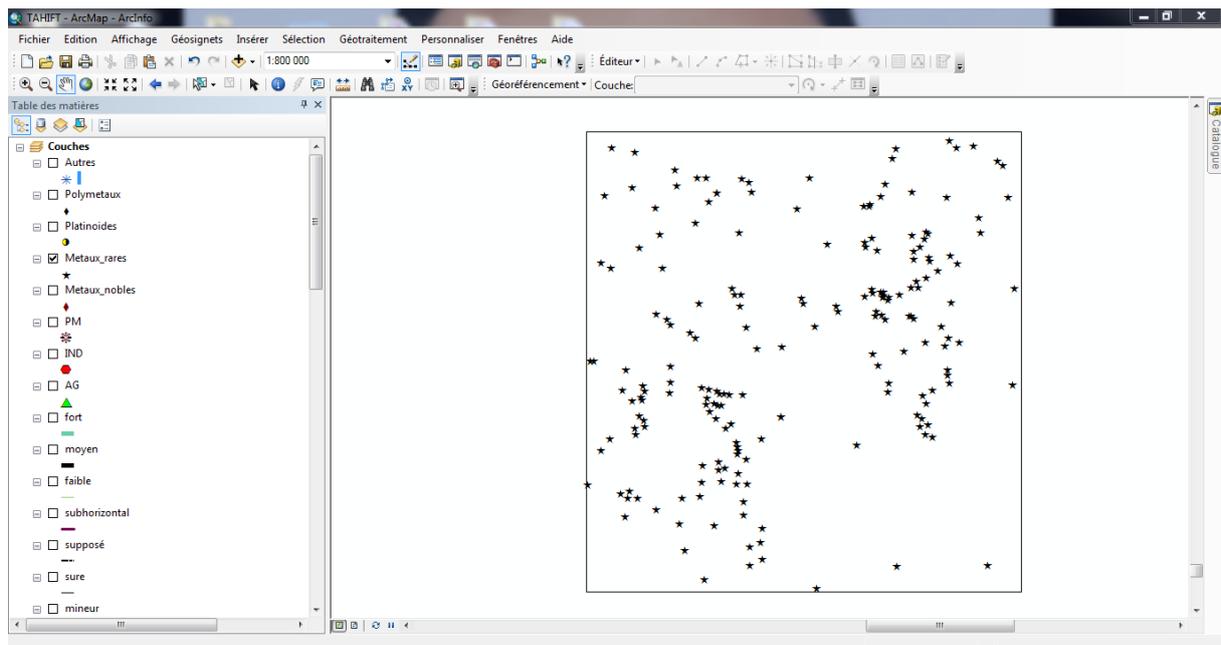
(Figure.38): Exemple de fichier Excel.

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 :

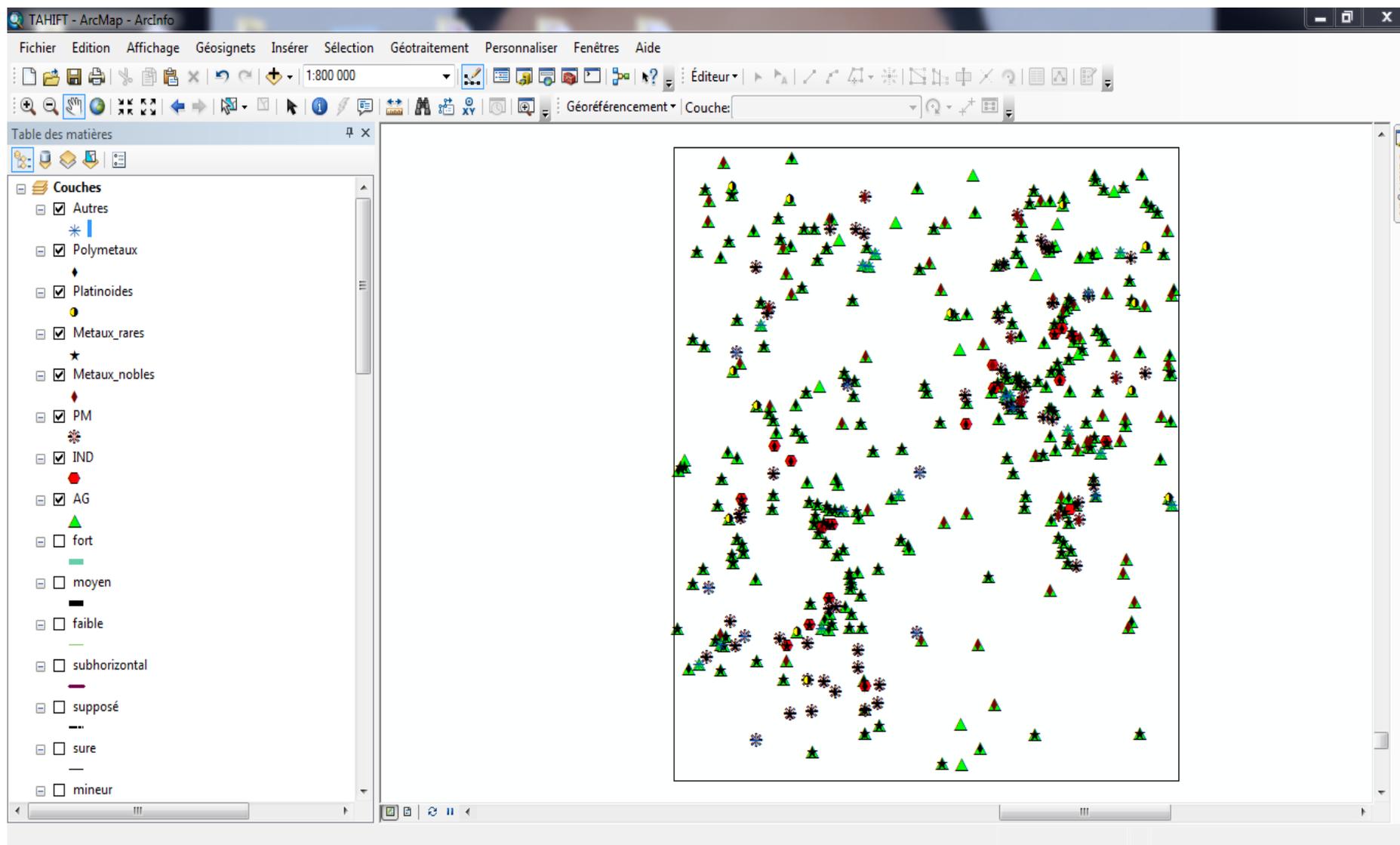
Fichier → Ajouter des données → Ajouter des données XY → Choisir la table → modifier la référence spatiale en choisissant « Geographic Coordinate Systems → World → WGS1984.prj ».



(Figure.39): Exemple d'une couche ponctuelle (Anomalie Geochimiques).



(Figure.40): Exemple d'une couche ponctuelle (Métaux rares).



(Figure.41): Couches ponctuelles de la feuille de TAHIFT à 1/200.000

f) Mise en page :

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

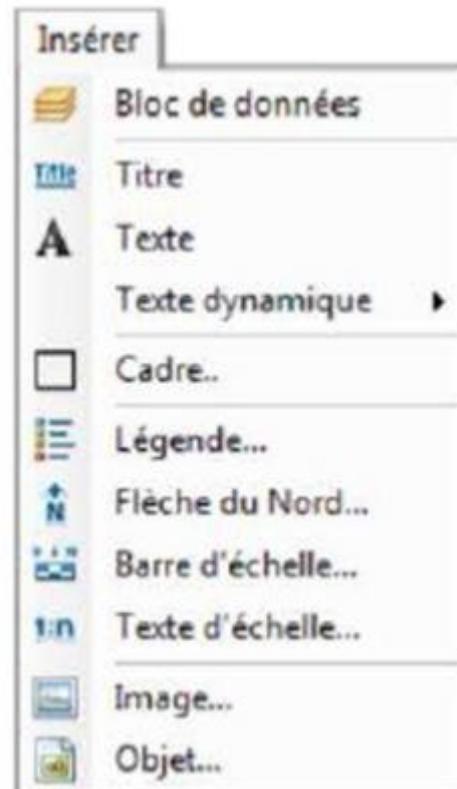
La mise en page d'une carte est une combinaison, de plusieurs éléments nécessaires dans une carte à savoir :

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



(Figure.42): Mode mise en page dans l'interface ArcMap.

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



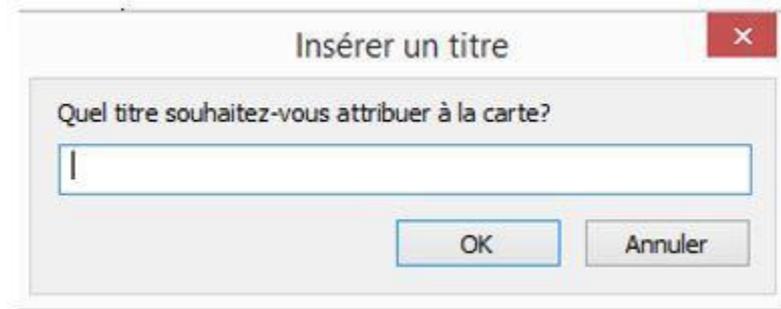
(Figure.43): Liste d'items disponibles à l'insertion.

- Ajouter du texte :

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

- Ajouter un titre :

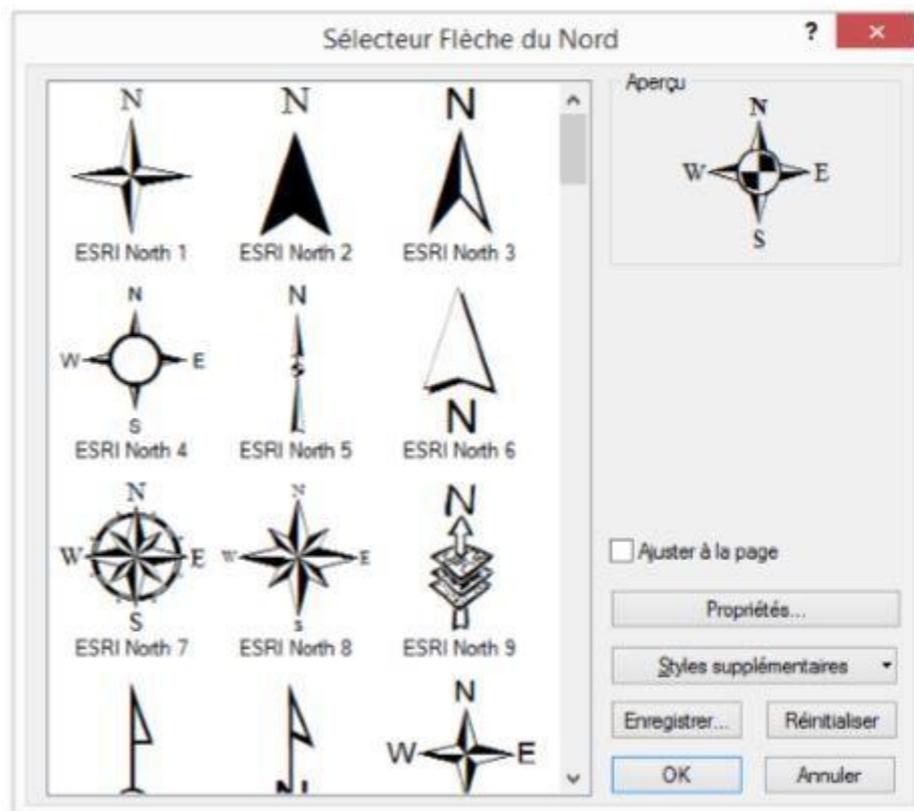
Insérer → Titre.



(Figure.44): Boite de dialogue pour insérer un titre à la carte.

- Ajouter une orientation :

Insérer → Flèche du Nord.

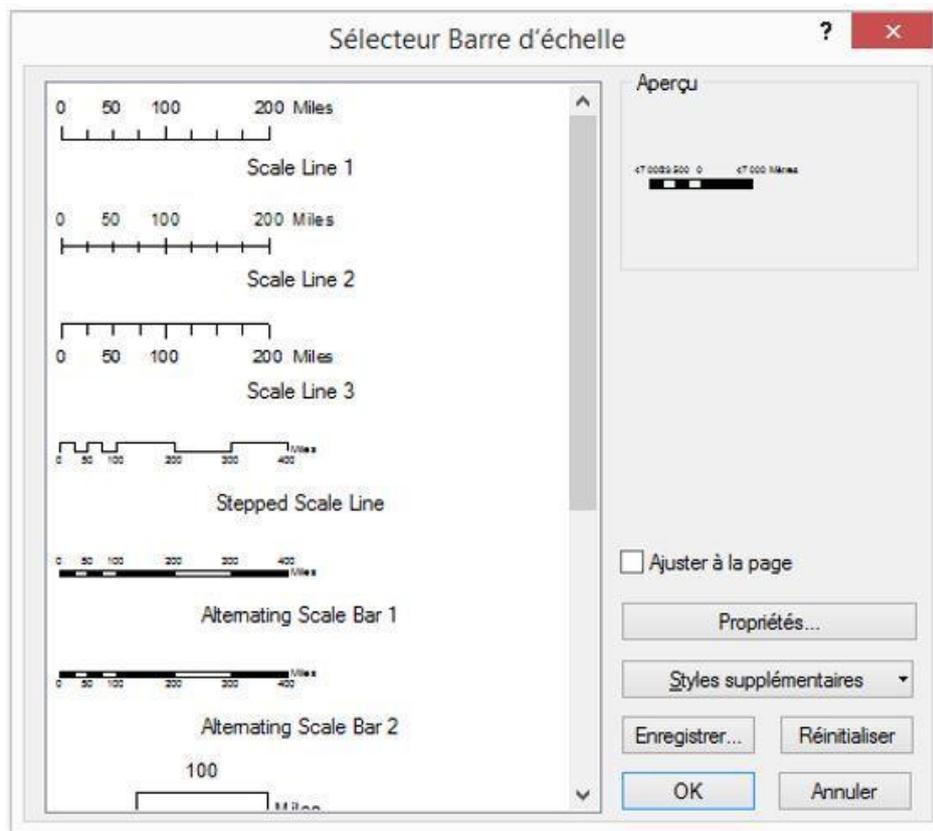


(Figure.45): Sélection d'une flèche de Nord.

Il est aussi facile d'importer une flèche personnalisée.

- Ajouter une échelle graphique :

Insérer → Barre d'échelle.

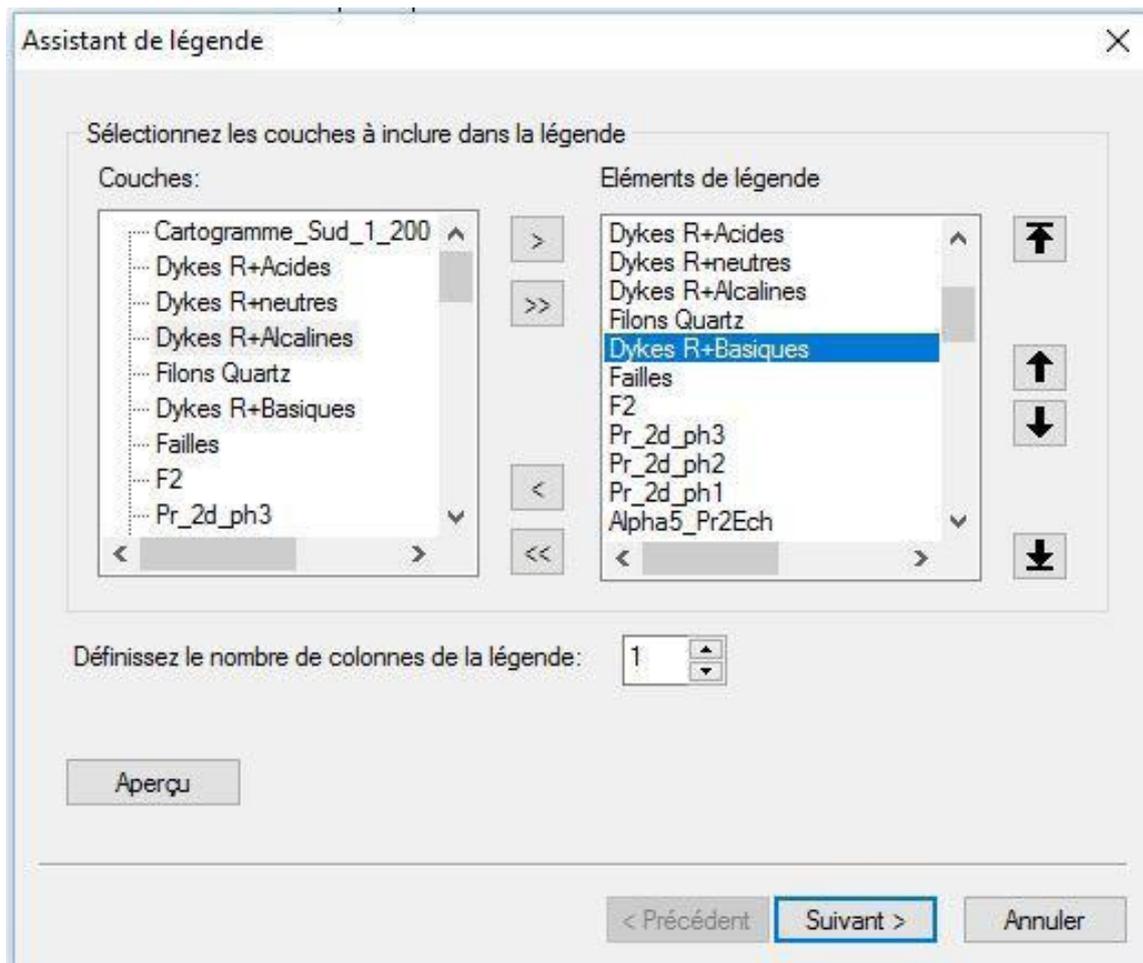


(Figure.46): Sélection d'une barre d'échelle.

➤ Ajouter une légende :

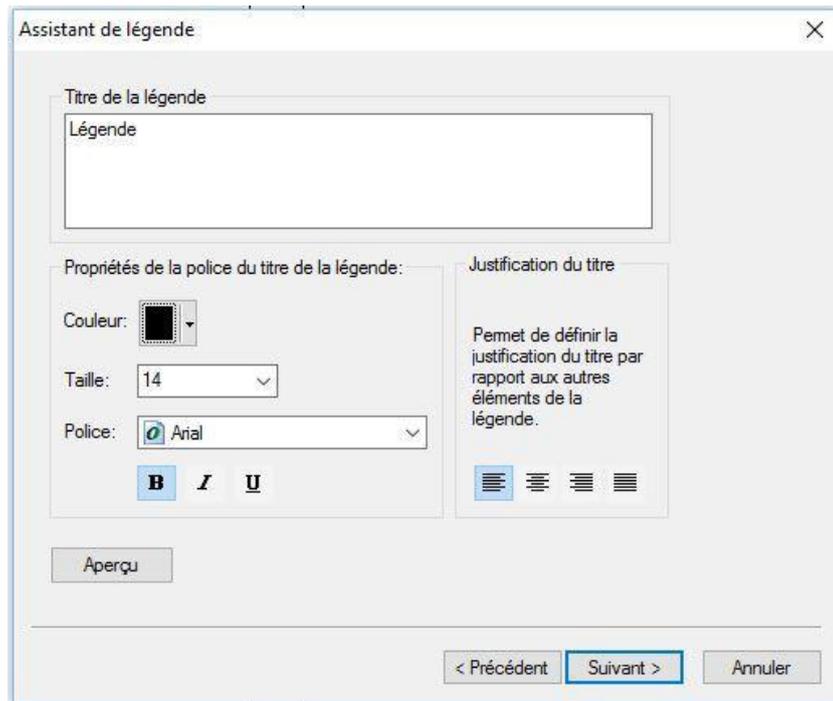
Insérer → Légende.

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



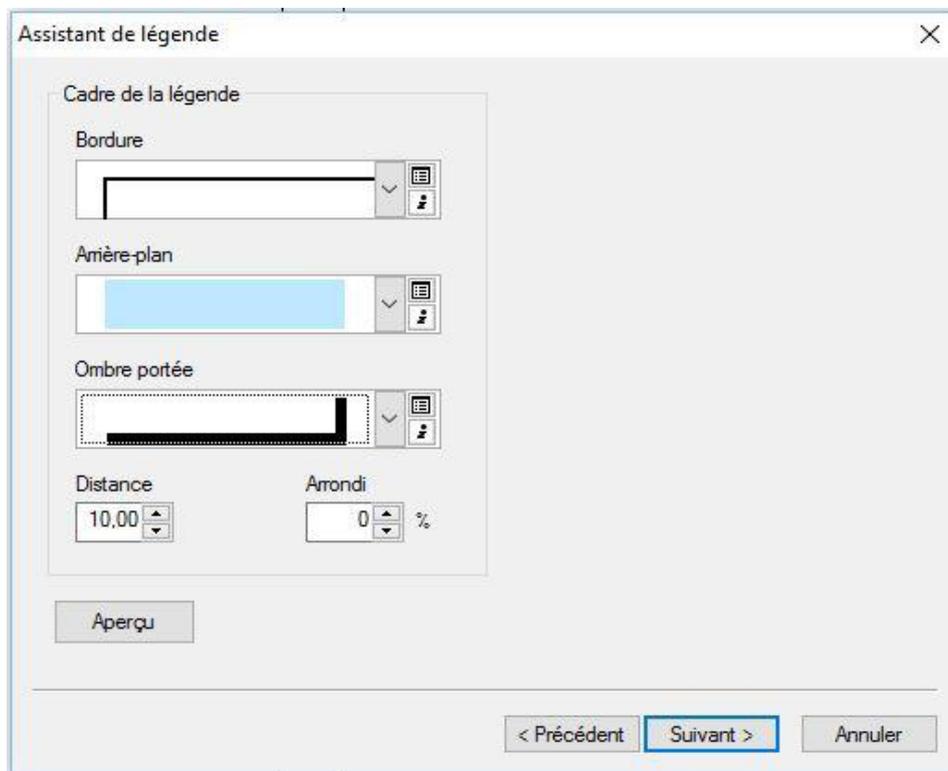
(Figure.47):L'assistant de légende (1).

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



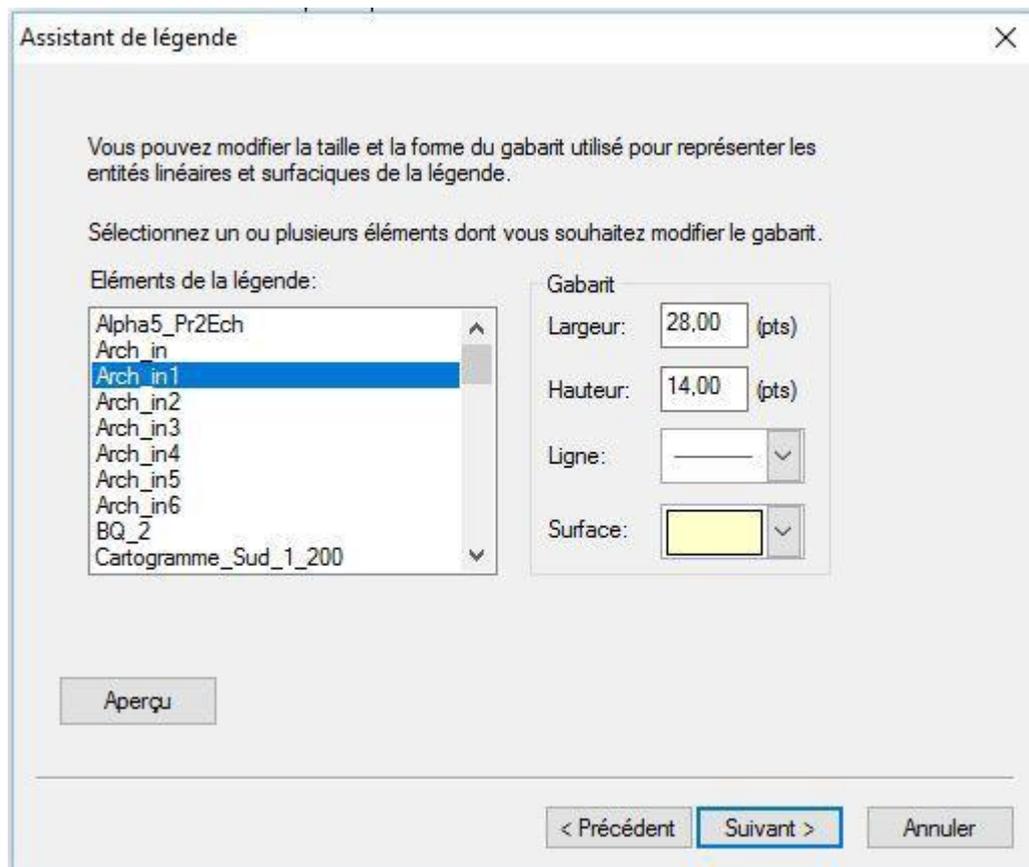
(Figure.48): L'assistant de légende (2).

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



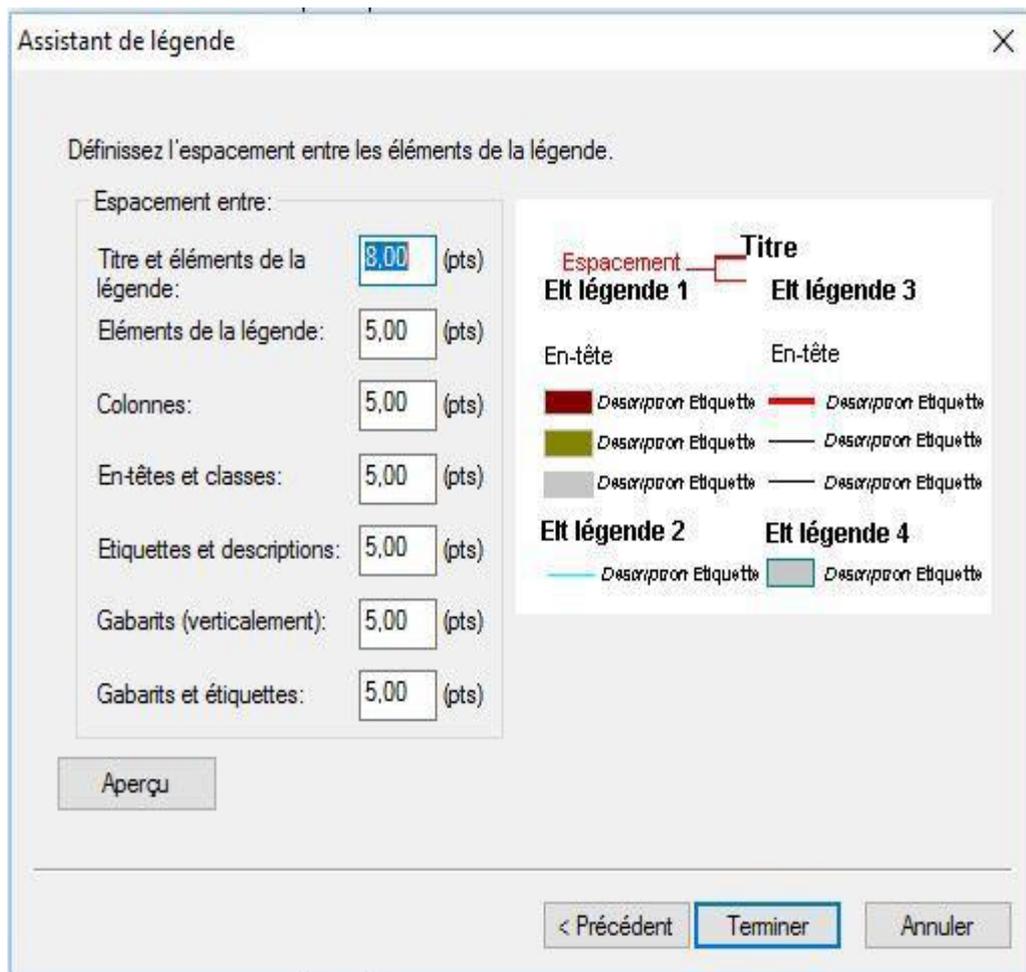
(Figure.49):L'assistant de légende (3).

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



(Figure.50): L'assistant de légende (4).

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



(Figure.51):L'assistant de légende (5).

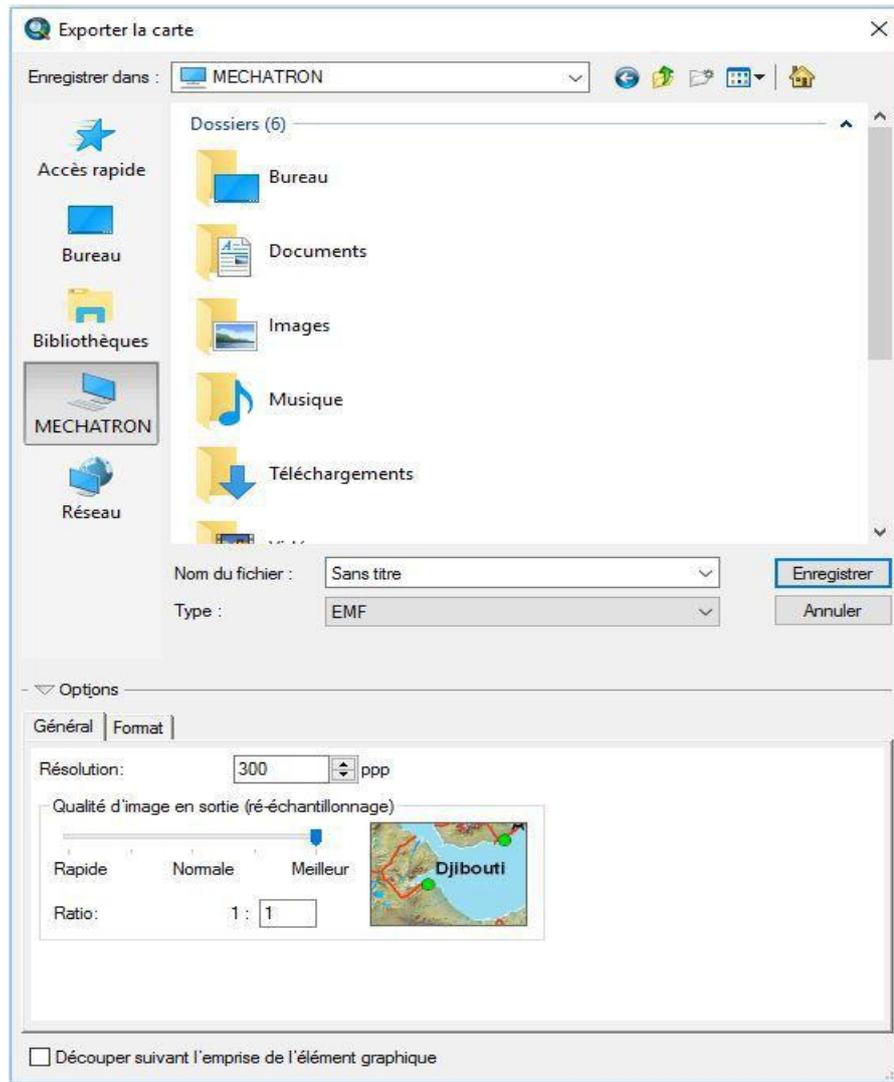
Après avoir paramétré tout ça, notre Légende apparaît et on peut choisir sa position et son cadrage. A noter qu'on peut à tout moment modifier les styles de chaque élément, le cadre, la taille et la position de la légende, en effectuant un clic droit sur la légende → Propriétés.

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

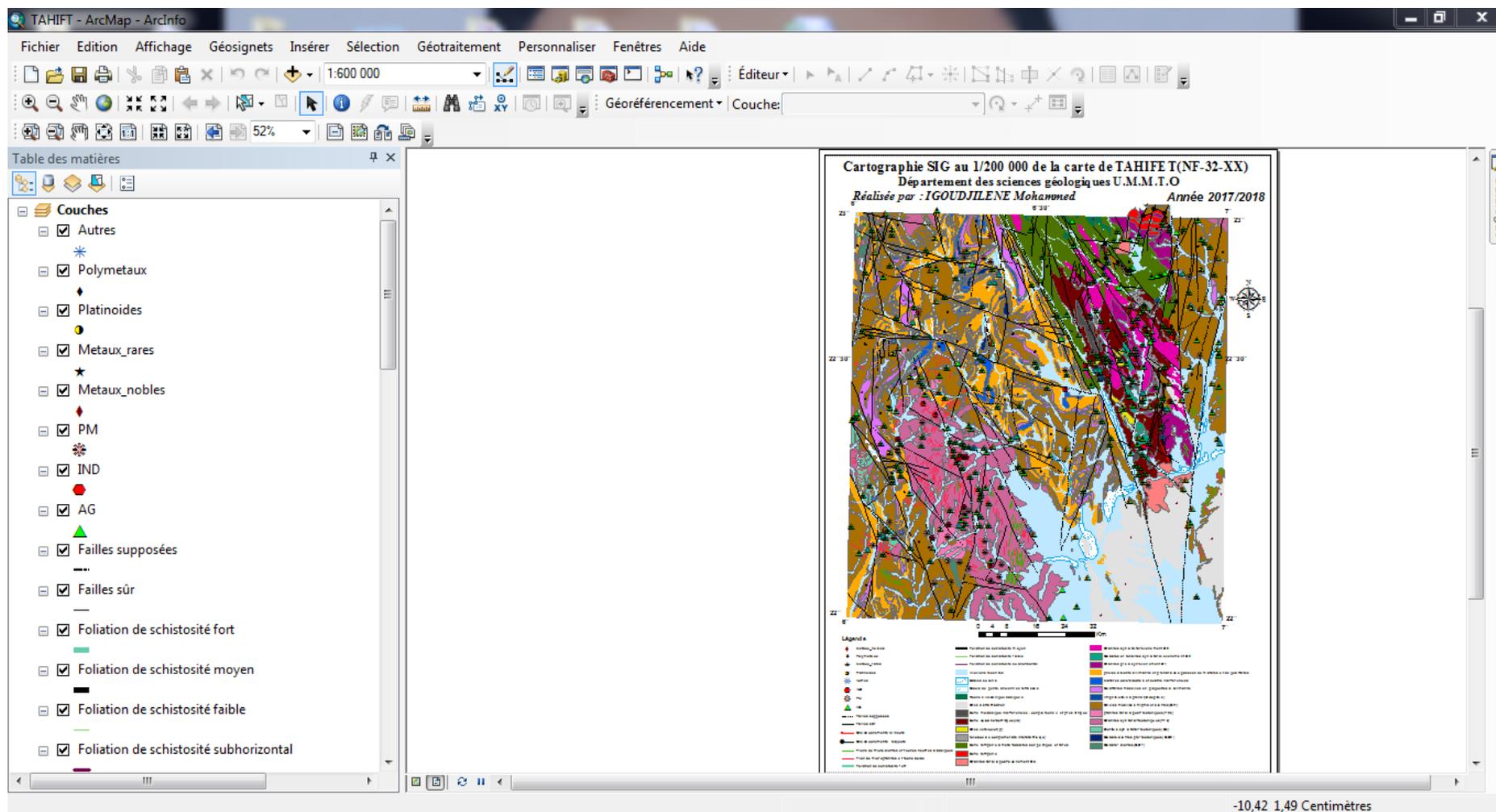
Une fois la mise en page achevée, on peut l'imprimer directement depuis le menu « Fichier → Imprimer » ou bien de l'exporter afin de l'insérer dans un document.

Pour exporter : Menu fichier → Exporter la carte.

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



(Figure.52): Choix de la résolution et du format de l'image en sortie.



(Figure.53): Carte finale

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail, mené dans le cadre du thème de recherche intitulé « Cartographie SIG au 1/200.000 de la région de Tahifet- in abeggui (Hoggar, Algérie) : Géologie et minéralisations associées. ». Le travail qui consistait à l'élaboration d'un SIG de cette feuille a permis d'avoir un résultat double, transformer la carte géologique existante en une nouvelle forme de données numériques qui permet de rendre les informations géologiques facilement manipulables et leur meilleure gestion et organisation.

L'objectif principal de ce travail a été largement atteint, le SIG géologique minier complet de la région, a été réalisé par compilation d'un grand nombre de données géologiques et géologiques.

Ce SIG a joué un rôle déterminant en facilitant l'accès aux différentes couches qui représentent les formations géologiques, il a permis également un stockage des informations dans une base de données archivées qu'on pourrait utiliser ultérieurement pour d'autres études.

Le support utilisé pour le stockage de cette dernière est un support numérique donc présentant l'avantage d'une péremisation et un accès plus simple et plus rapide.

La mise à jour des données géographiques et des données alphanumériques nécessite des méthodes et des processus de travail clairement définis dès la mise en place du SIG.

Finalement, le « SIG de la région » nous a permis de :

- Créer une nouvelle forme de stockage de données numériques renfermant un grand volume de données géologiques et géologiques de manière définitive.
- Ces données à références spatiales permettent une localisation précise de l'information recherchée.
- Il permet d'actualiser et de convertir des données sans avoir recours à d'autres formes de données.

LISTE DES FIGURE

(Figure.1): région d'étude	2
(Figure.2) Carte de situation du Hoggar.....	3
(figure.3) le Hoggar occidental (D'après Caby et al., 1981).....	4
(Figure.4): log synthétique du Hoggar occidental.....	5
(Figure.5) le Hoggar central (D'après Caby et al., 1981).	6
(Figure.6) log synthétique du Hoggar central	7
(Figure.7) Le Hoggar oriental	8
(Figure.8) Carte structurale du bouclier Touareg avec représentation des différents Terranes (Black et al. 1994).....	10
(Figure.9) : Carte schématique de situation des différents domaines décrits dans le texte (Briedj, 1993).....	13
(Figure.10): Schéma explicatif du SIG.....	51
(Figure.11) : Composants d'un Système d'Information Géographique.....	51
(Figure.12): Couches d'un Système d'Information géographique (URBANI, 2006).....	53
(Figure.13): Exemple de quelques données raster (BONNET M.2012).....	55
(Figure.14): Données vecteurs exemples.....	56
(Figure.15): Structure de l'information géographique dans un SIG (Habert, 2000).....	58
(Figure.16): L'interface d'ArcCatalog.....	61
(Figure.17): L'interface d'ArcMap.....	62
(Figure.18): L'interface de l'ArcToolbox.....	63
(Figure.19): Les parallèles et les méridiens constituant un graticule.....	66
(Figure.20): Globe terrestre avec les valeurs de longitude et de latitude....	67
(Figure.21): Fuseaux horaires du sud de l'Algérie.....	68

(Figure.22): Connexion à un dossier via ArcCatalog.....	69
(Figure.23): Attribution d'un système de coordonnées projetées via ArcCatalog.....	70
(Figure.24): Attribution d'un système de coordonnées via ArcMap.....	71
(Figure.25): Calage de la carte géologique.....	72
(Figure.26): Créer un fichier de formes.....	74
(Figure.27): Choix du type d'entité et du système de coordonnées.....	75
(Figure.28): Activer l'outil Editeur.....	76
(Figure.29): Ouvrir une nouvelle session de mise à jour.....	77
(Figure.30): Vectorisation de l'entité polygonale alluvions récentes.....	78
(Figure.31): Exemple de vectorisation d'une couche magmatique.....	79
(Figure.32): Exemple de vectorisation des couches magmatiques.....	80
(Figure.33): Exemple de vectorisation de couche métamorphique.....	81
(Figure.34): Exemple de vectorisation linéaire (Failles).....	82
(Figure.35): Vectorisation linéaire complète de la feuille de Tahift à 1/200.000.....	83
(Figure.36): Carte raster.(exemple Tahift).....	84
(Figure.37): Carte vectorisée. (Exemple Tahifet).....	85
(Figure.38): Exemple de fichier Excel.....	87
(Figure.39): Exemple d'une couche ponctuelle (Anomalie Geochimiques).....	88
(Figure.40): Exemple d'une couche ponctuelle (Métaux rares).....	88
(Figure.41): Couches ponctuelles de la feuille de TAHIFT à 1/200.000....	89
(Figure.42): Mode mise en page dans l'interface ArcMap.....	90
(Figure.43): Liste d'items disponibles à l'insertion.....	91
(Figure.44): Boite de dialogue pour insérer un titre à la carte.....	92

(Figure.45): Sélection d'une flèche de Nord.....	92
(Figure.46): Sélection d'une barre d'échelle.....	93
(Figure.47):L'assistant de légende (1).....	94
(Figure.48): L'assistant de légende (2).....	95
(Figure.49):L'assistant de légende (3).....	95
(Figure.50): L'assistant de légende (4).....	96
(Figure.51):L'assistant de légende (5).....	97
(Figure.52): Choix de la résolution et du format de l'image en sortie.....	98
(Figure.53): Carte finale	99

Bibliographie

-Les recherches systématique et le levé géologique au 1/200 000 effectués au sud du Hoggar centrale feuille in – atei.

-Catalogue des gisements de minéralisation et anomalies géochimique feuille tahifet.

Caby R (1970)- une zone de décrochement dans le Nord-ouest de Sahara central Algérie

- These de doctorat de Mr BRIEDJ Moussa

- Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en sciences de la terre de Monsieur ALLAOUI Mohammed

- Alexandre. H, 2014. Université de Lausanne, Systèmes d'Information Géographique (SIG).

- Antoine. D, 2012. Travaux Pratiques sur les Systèmes d'Information Géographique.

- ARMINES, 1977. Inventaires et perspectives des ressources minérales du Hoggar.

- Bellal. M. et al, 1991, Rapport final sur les recherches systématiques et levé géologique à l'échelle 1/200 000 dans les limites de la feuille Tin Felki.

- BLINNIKOV. V et al, 1991. Rapport sur les résultats des travaux de recherches systématiques et levé Géologique à 1/200.000 réalisés sur les feuilles Tesnou et Ifetessene en 1987-90.

- BOUKHALFA. L, 1987. Diversité et signification géodynamique des complexes ultrabasiques, basiques d'âge Protérozoïque supérieur du Rameau Oriental Pharisien de la chaîne Panafricaine.

- CABY. R, 1972. Evolution pré-orogénèse site et agencement de la Chaîne pharusienne dans le Nord-Ouest de l'Ahaggar (Sahara Algérien). Sa place dans l'orogénèse Pan-Africaine en Afrique Occidentale, actes du colloque international sur les corrélations du Précambrien.
- Guerreiro. F, 2012. Fiches d'aide à ArcGIS 10.x Desktop.
- Huisman. O. et al. 2009. Principles of Geographic Information Systems.
- Pierre. B, 2007. Metier Graduate Training Course no. 2 – Montpellier.
- Sintchouk. Y. A. et al, 1993. Géologie et métallogénie du Hoggar Volume II, Livre III.
- Sintchouk. Y. A. et al, 1993. Géologie et métallogénie du Hoggar Volume II, Livre IV.
- Site Internet : O.N.T, Alegria

Annexes hors texte

- ✚ Cartographie SIG de la feuille au 1/200.000 de tahifet.
- ✚ Cartographie SIG de la feuille au 1/200.000 d'IN-Abeggui.
- ✚ Cartographie SIG de la feuille au 1/200.000 d'IN-Atei.