

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU



FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES

DEPARTEMENT DES SCIENCES GEOLOGIQUES.

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de Master en sciences de la
Terre et de l'Univers.

Option : Ressources Minérales et Environnement.

Thème

Cartographie SIG du Nord de l'Iskel (Hoggar, Algérie):
Géologie et minéralisations associées.

Réalisé par : KARECHE KARIM.

MAKETA PETER.

Encadré par : Dr. ZAGHOUANE. H.

Soutenu publiquement le : 09/07/2017 Devant le jury composé de :

Mr BENABI. M. S.	Maître de conférence	U.M.M.T.O	Président
Mme IZRI. D.	Maître assistante A.	U.M.M.T.O	Examinatrice
Dr ZAGHOUANE. H.	Docteur (FSBSA)	U.M.M.T.O	Promoteur

Promotion : 2016/2017

Remerciements

Au terme de ce travail, nous voudrions adresser nos sincères remerciements à notre promoteur Monsieur ZAGHOUANE.H pour son confiance qu'il nous a donné en nous proposant ce thème. Nous aimerons lui adresser nos s'insérés remerciements pour sa disponibilité, son dynamisme, son encouragements et son orientation tout au long de ce projet.

Nous tenons à remercier infiniment les membres du jury qui ont accepté d'examiner et de juger notre travail Mr : BENNABI.M.S et Mme IZRI. D.

Nous tenons à remercier le Doyen, le vice Doyen, le Chef de département et aussi à tous nos chers professeurs de département STU du l'UMMTO, par qui nous a été entouré durent le cursus pour leur bienveillance, leur encadrement et leurs dévouements, merci mes chers enseignants.

Nous remerciements vont s'adresser aussi à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration du présent travail, à tous nos amis et collègues pour leur soutien moral tout au long de la réalisation de ce projet.

Dédicaces

A ceux qui m'ont tous donné sans rien en retour

A ceux qui m'ont guidé depuis ma naissance jusqu'à ce jour

Et ceux à qui je dois tant :

**A Mes très chers parents Djegdjiga Rabah pour leur amour s'insère
envers moi ;**

A Ma grande mère Ouerdia ;

A Mon oncle Mohend ;

A Ma tante Arezika ;

A Mes Frères Djamel, Ahmed et Hocine ;

A Mes Sœurs Rachida, Nacera et Nadia ;

A Ma femme Lilia ;

A Mes Nièces Manel, Mellissa, Cilina, Kamilia, Wissam.

A Mon Neveu Toufik ;

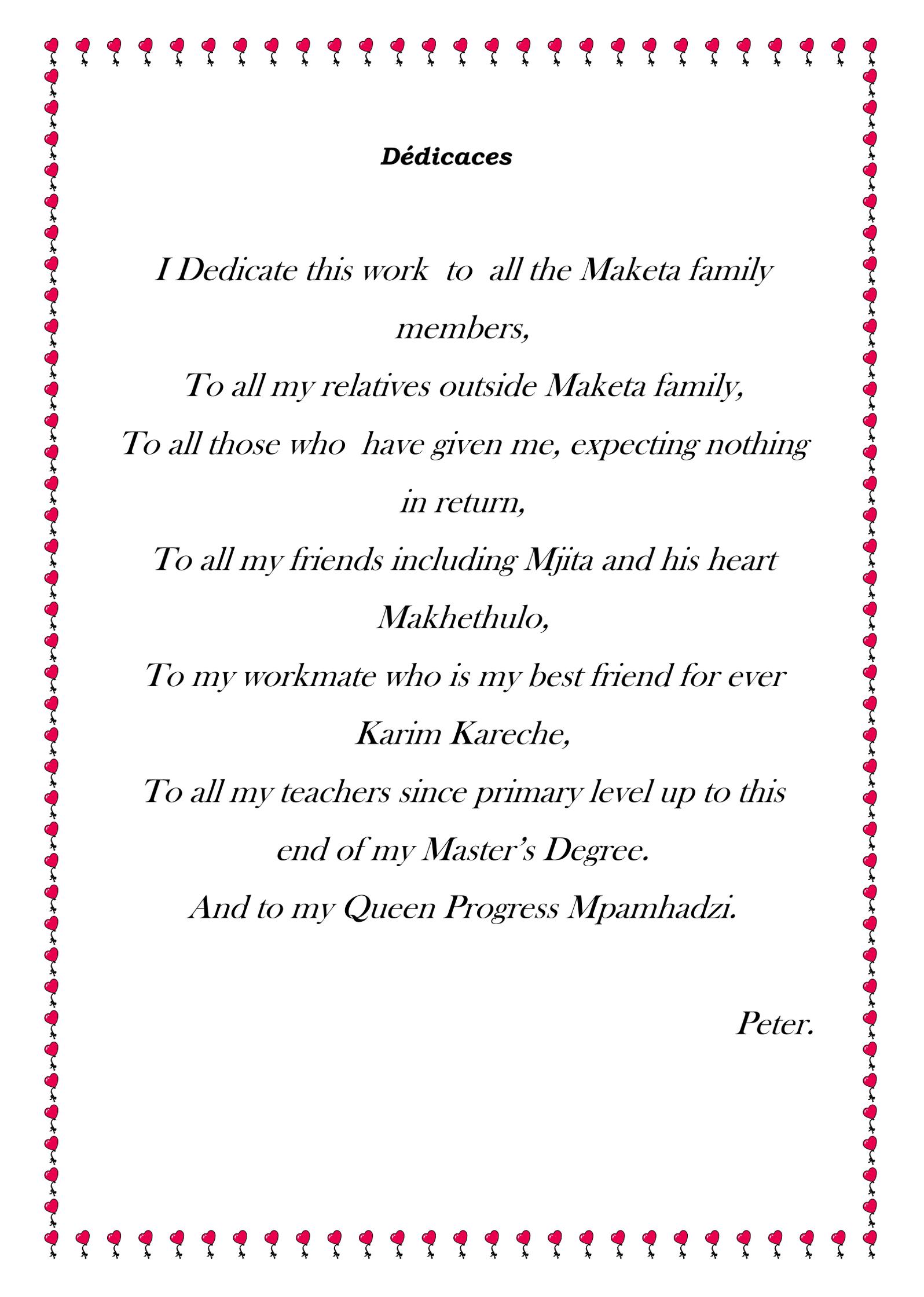
A Mes cousins et cousines ;

A mon binôme qui est mon cher ami Maketa Peter ;

**A Mes Amis, Amine, Adel, Younes, Idir, Hakim, Tita, Sàadi, Salim,
Bilal, Ghani, Massinissa, Rabah, Mohend, Pedro, Fatah, Lyes, Hamza,
Mohend Said, Rachid, Mhend, Sidi Ali, Hafidh, THiziri, Tarik, Kader,
Malika, Feyrouz, Tidia, Asma, Nadia,..... ;**

**A toutes les personnes dont je n'ai pu citer les noms,
ayants accordé leur soutiens dans les moments les plus durs.**

KARIM



Dedicaces

*I Dedicate this work to all the Maketa family
members,*

*To all my relatives outside Maketa family,
To all those who have given me, expecting nothing
in return,*

*To all my friends including Mjita and his heart
Makhethulo,*

*To my workmate who is my best friend for ever
Karim Kareche,*

*To all my teachers since primary level up to this
end of my Master's Degree.*

And to my Queen Progress Mpamhadzi.

Peter.

Résumé.

Depuis l'avènement de l'outil informatique, les SIG (système d'informatique géographique) sont devenus de nos jours des outils technologiques incontournables d'affichage, d'analyse, 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 nord de la région d'Iskel cette région est constituée de six cartes ou 1/200 000 (Tesnou, In Ecker, Ifetessene, Garet el Djenoun, Assekrem, Tin Felki). 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 obtenue représentera une nouvelle forme des données numériques permettant la facilité de la mise à jour.

Mots clés : SIG, Hoggar, Iskel, Géologie, Cartographie.

Abstract.

Since the invention of computer science, the GIS (Geographical Information Systems) has now become a powerful technological tool of displaying, analysing, updating of georeferenced data. This allows a deep understanding of phenomena of the global surface of the Earth.

In this dissertation, we have constructed a GIS cartography using the ArcGIS software basing on the geology, the mineralisation of the North part of the Iskel region. This region is constituted by six maps of the scale of 1/200 000 (Tesnou, In Ecker, Ifetessene, Garet El Djenoun, Assekrem, Tin Felki). This work is to extract and to put all the set of geological entities and ore deposits, in the form of vectorised information layers (lithology, magmatism, tectonics, mineralisation), this new form of obtained cartography will represent a new form of numerical data permitting an easy updating of data, especially the management of geological resources.

Key words : GIS, Hoggar, Iskel, Geology, Cartography.

CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE.

1. But et objectif du travail.....	1
2. Situation géographique, climat, faune, et flore.....	1
3. Géologie de la région d'Iskel	4
3.1 Introduction.....	4
3.2 Les trois grands domaines structuraux du Hoggar.....	4
3.2.1 Le Hoggar occidental.....	5
3.2.2 Le Hoggar central.....	7
3.2.3 Le Hoggar Oriental.....	7
3.3. Le terrain d'Iskel.....	8

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE SECTEUR D'ETUDE.

1. Introduction.....	10
2. Géologie de la feuille Tesnou et Ifetessene.....	11
2.1. Introduction.....	11
2. 2. Stratigraphie.....	11
2.2.1. Protérozoïque.....	12
2.2.1.1. Protérozoïque Inferieur.....	12
2.2.1.2. Protérozoïque supérieur.....	13
2.2.2. Paléozoïque.....	16
2.2.2.1. Système Ordovicien.....	16
2.2.2.2. Système silurien.....	18
2.2.2.3. Silurien - Dévonien inferieur indifférencies....	18
2.2.2.4. Système dévonien.....	18
2.2.2.5. Dévonien Moyen.....	20
2.2.3. Cénozoïque, Quaternaire.....	20
2.2.4. Dépôts Quaternaires supérieurs actuel.....	20
2.3. Magmatisme Intrusif.....	21
3.1. Le complexe pré-orogénique de protrusions ultramafiques.....	21

3.2. Le Complexe Intrusif Pré – Orogénique.....	22
3.3. Complexe Intrusif Syn -Tardi- Orogénique.....	24
3.4. Complexe intrusif post-orogénique.....	26
3. Géologie de la feuille Tin Felki et Assekrem.....	27
3.1. Introduction.....	27
3.2. Stratigraphie.....	28
3.2.1. Premier ensemble.....	28
3.2.2. Deuxième ensemble.....	30
3.3. Magmatisme.....	37
3.4. Tectonique.....	40
3.5. Minéralisation.....	41
4. Géologie de la feuille I-N-EKER et GARET EL DJNOUN.....	43
4.1. Introduction.....	43
4.2. Stratigraphie.....	43
2.2.1. Protérozoïque inférieure et moyen.....	43
2.2.2. Système Quartenaire.....	44
4.3. Magmatisme.....	45
4.3.1. Formation magmatisme du Suggariens.....	45
4.3.2. Formation magmatisme pharusiennes.....	45
4.3.3. Roches filoniennes.....	46
4.4. Tectoniques.....	46
4.5. Minéralisation.....	48
4.5.1. Tantale et Niobium.....	48
4.5.2. Etain.....	50
4.5.3. Wolframite.....	51
4.5.4. Lithium.....	53
4.5.5. Cérium et Lanthane.....	53
4.5.6. Or (Au).....	54
4.5.7. Cuivre, Plomb, Zinc.....	55
4.5.8. Molybdène.....	56

CHAPITRE III : LE SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE.

1. Introduction.....	57
2. Le mode de représentation spatiale des données.....	58
2.1. Données raster.....	58
2.2. Données vectorielles.....	60
3. Les domaines d'application.....	61
4. Les fonctionnalités des SIG.....	61
4.1. Acquisition des données.....	61
4.2. Digitalisation (vectorisation).....	62
4.3. Structuration et modélisation des données.....	62
4.4. Traitement des données.....	63
4.5. Gestion des données.....	63
5. Géoréférencement.....	64
5.1. Définition.....	64
5.2. Première étape: Définition de l'espace de travail.....	64
5.3. Deuxième étape : Le système de projection.....	64
5.4. Troisième étape : la projection des données.....	64
6. Les avantages du SIG et des logiciels SIG pour réaliser une analyse spatiale.....	65
7. La projection cartographique.....	65
7.1. Définition.....	65
7.2. Projections géographiques.....	66
7.3. Différentes types de projection.....	67
8. Systèmes de référence géographique.....	68
8.1. Description de système de référence géographique.....	68
8.2. Le système Universel Transverse Mercator.....	68
9. Exemples des logiciels SIG.....	69
10. Présentation du logiciel ArcGIS.....	70
10.1. Introduction.....	70
10.2. Présentation de l'interface ArcMap.....	70
10.3. Présentation de l'interface ArcCatalog.....	71

10.4. ArcToolbox.....	72
-----------------------	----

CHAPITRE IV : LE SIG APPLIQUE A LA REGION D'ETUDE.

1. Introduction.....	73
2. Les étapes suivies, de début jusqu'au géoréférencement de la carte.	74
2.1. Insertion de la carte (image raster) vers ArcMap.....	74
2.2. Attribution de La référence spatiale.....	75
2.3. Géoréférencement de la carte.....	78
3. La vectorisation des différentes formations géologiques.....	79
3.1. Vectorisation des Failles.....	79
3.2. Vectorisation des formations géologiques.....	80
4. Préparation d'un fichier Excel.....	81
5. La minéralisation.....	83
5.1. La minéralisation en fonction des éléments utiles recherchés.....	83
5.2. La minéralisation en fonction de type du gite.....	86
6. Habiller la carte.....	88

CHAPITRE V : CONCLUSION GENERALE.....

89

BIBLIOGRAPHIE.....	V
--------------------	---

LISTE DES ANNEXES.....	VI
------------------------	----

ABREVIATIONS.....	VII
-------------------	-----

LISTE DES FIGURES.....	XI
------------------------	----



CHAPITRE I :

INTRODUCTION

GENERALE

1. But et objectif du travail

Le but de notre travail consiste à moderniser et informatiser les données sur la géologie et la minéralisation de la zone d'Iskel nord. La cartographie SIG va rendre la gestion facile et une meilleure connaissance de la distribution de la minéralisation et de faire une mise à jour pour la géologie à partir de ces informations on peut réaliser un système d'information géographique (SIG) facilite la tâche aux entreprises minières, aux géologues miniers et aussi aux étudiants.

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. Le but de ce travail est d'élaborer une cartographie SIG pour notre zone d'étude Iskel nord. 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 Iskel nord,(Fig :01) dont l'utilisation nous permettra la présentation des informations collectées et organisées sous forme des cartes thématiques et méthodes utiles.

2. Situation géographique, Climat, faune et flore.

Le Hoggar ou (Ahaggar) est situé au sud du Sahara algérien et couvre une superficie 550 000 Km², se situe à 2000 Km au sud d'Alger. Sa capitale économique Tamanrasset a les coordonnées suivantes : longitude 5°27', l'attitude 22°41'.

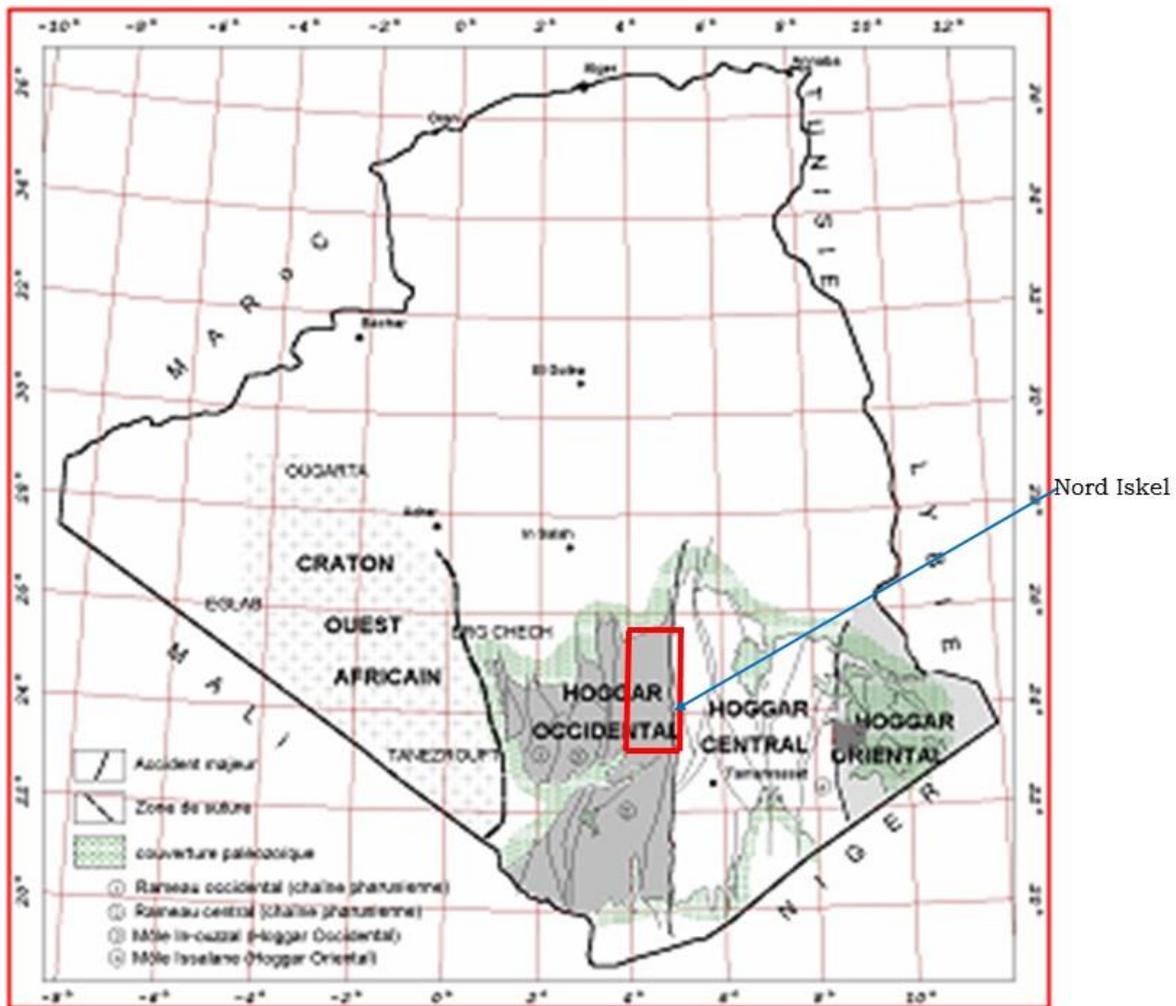


Fig 01 : Carte de l'Algérie montrant la localisation de la région d'étude (N. Boumas 2001)

Cette région est caractérisée par un climat désertique, aride et sec, avec de fortes fluctuations de 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. A cause de l'absence de la végétation.

La faune du Hoggar, typique des régions désertiques, est représentée en général par les dromadaires, antilopes, gazelles et rares mouflons, les gerboises, scorpions, vipères, fennecs, hyènes.

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.

Le Hoggar est considérée comme le plus beau site naturel au monde et une zone touristiques par excellence. Dunes de sable de couleur dorée, gueltes et beaux méandres et canyons creusés profondément dans les lits d'oueds à travers les tassilis, levés et couchers du soleil indescriptible.

La société touarègue

La société touarègue est une société organisée autour d'un sage des sages (l'Amenokal). Chaque tribu possédait son propre chef (Amrar). Ce sont ces chefs de tribus (Imrarène) qui élisent l'Amenokal. La langue des touaregs (Imouhar), dérivée du berbère, s'appelle tamahaq. L'écriture s'appelle Tifinagh, chez les Touaregs les traditions sont essentiellement orales (Site Internet : O.N.T, Alegria).

Les limites de la région d'étude ont des coordonnées géographiques qui sont 4°-6° Longitudes et 23°-26° latitudes, La région comprend six feuilles à l'échelle de 1/200 000, qui sont : Garet El Djenoun, In Ecker, Assekrem, Ifetessene, Tesnou, et Tin Felki (Fig : 02).

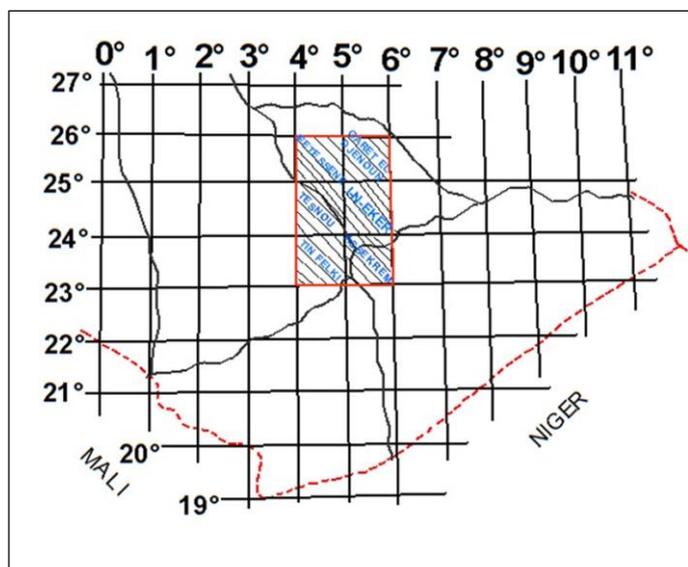


Fig 02 : Situation géographique de la région d'étude (Maketa et Kareche 2017).

3. Géologie de la région du Hoggar

3.1 Introduction.

La région Nord de l'Iskel fait partie du rameau oriental du Hoggar composé des terranes du Hoggar occidental.

Le massif du Hoggar est un bombement précambrien couvrant environ 550.000 km². Il est entouré par les formations sédimentaire du Paléozoïque inférieur, dont le pendage est faible, et couvrent les bordures nord et sud. Il est masqué à l'Ouest par les dépôts crétacés et quaternaires.

Les roches du substratum précambrien du Hoggar sont caractérisées par des zones de cisaillements, d'orientation dominante N-S, délimitant des blocs crustaux comprenant différents terrains dont la géologie varie des ceintures ophiolitiques aux méta-sédiments. Les affleurements dominants du Hoggar sont des granites calco-alcalins créés par la fusion d'un mélange partiel en profondeur résultant de la collision avec le craton Ouest africain. Les zones de cisaillement, N-S, verticales ou sub-verticales, divisent le Hoggar en blocs allongés.

Le Hoggar fait partie de la chaîne panafricaine transsaharienne, il est caractérisé par sa subdivision classique en trois compartiments longitudinaux et l'existence de deux grands accidents tectoniques subméridiens ; (l'accident 4°50' et l'accident 8°30') qui délimitent le Hoggar, à l'Est de l'accident 8°30' c'est le Hoggar oriental et à l'Ouest de l'accident 4°50' c'est le Hoggar occidental.

3.2 Les trois grands domaines structuraux du Hoggar.

Le Hoggar a été subdivisé en trois grands domaines structuraux à partir de la classification litho-stratigraphique et des événements tectono-métamorphique (Fig 03), qui sont Hoggar Occidental, Central et Oriental. Ces trois parties sont séparées par les deux accidents majeurs subméridiens (4°50' et 8°30').

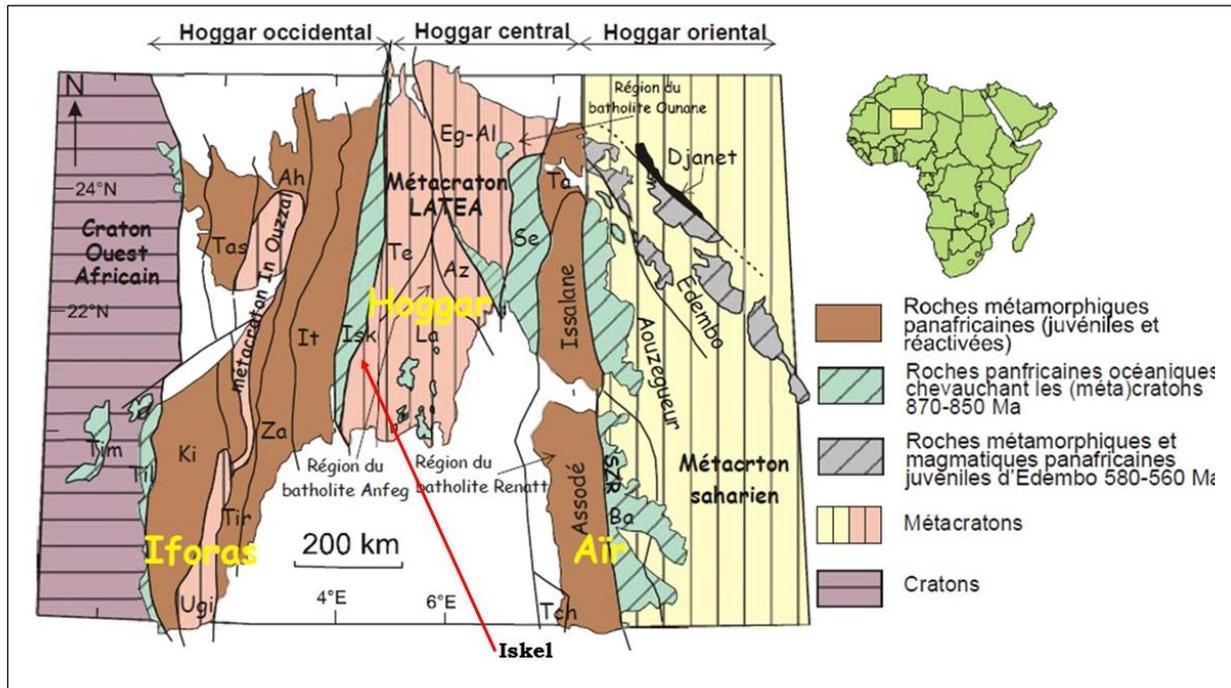


Fig 03: Le schéma montrant les subdivisions du Hoggar (Liégeois et al. 2000)

- Hoggar Oriental : Dj (Djanet), Ed (Edembo), Ao (Aouzegueur).
- Hoggar Central : As-Is (Assodé-Issalane), Se (Serouenet), Eg-Al (Egéré-Aleksod), Az (Azou-n-Fad), Te (Tefedest), La (Laouni).
- Hoggar Occidental : Isk (Iskel), Te (In Tedeini), Za (Tin Zaoutine), Tir (Tirek), Ou (In Ouzzal), Ugi (Iforas), Tas (Tassendjanet).

3.2.1 Le Hoggar occidental.

Il est limité à l'ouest par le Craton ouest africain et à l'Est par l'accident $4^{\circ}50'$. Il est subdivisé en deux rameaux (oriental et occidental) séparées par le môle In-Ouzzal (terrine d'In-Ozzal) formé de matériaux d'âge archéen structurés et métamorphisés à l'Eburéen. Il constitue un vaste domaine où affleurent essentiellement des formations volcano-sédimentaires.

a) Le rameau oriental : comprend quatre principales séries d'âge néo protérozoïque se distinguant par leur lithologie et leur chronologie relative. Ce sont de bas en haut : la série de plate forme à stromatolites, la série volcano-sédimentaire, la série détritique et la série volcanogène (BOUKHALFA.L, 1987).

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

Dans le rameau oriental, il a été distingué quatre terrains qui sont : Iskel, In Tedeini, Tin Zaouatene, et Tirek.

b. Le rameau occidental comprend :

- Des fragments d'un socle gneissique d'âge paléo-protérozoïque injectés par des granites datés à 2090 Ma.
- La série à stromatolithes dans le NW du Hoggar, d'âge Méso-protérozoïque, métamorphisée dans le faciès amphibolite comparable à celle du rameau oriental ;
- La série volcano-sédimentaire, d'âge Néo-protérozoïque, discordante sur cette dernière.

Dans ce rameau, trois terrains d'allongement N-Sont été individualisés : Kidal, Tassendjanet, et Ahnet.

(1) **Kidal** caractérisé par un socle de gneiss du paléoprotérozoïques à noyaux granulitiques supposés d'âge archéen (similitude avec le môle In Ozzal), qui supporte en discordance, d'une part, des séquences supracrustales de plate-forme du Néoprotérozoïque intrudées par des granitoïdes déformés d'âge 695 Ma et, d'autre part, des formations molassiques sous forme de bassins isolés, recoupées par des batholites de granitoïdes calco-alcalins fortement potassiques vers 570-630Ma ;

(2) **Tassendjanet** comprenant des gneiss éburnéens recouverts en discordance par la série à stromatolithes (Néoprotérozoïque) à laquelle s'associent des lentilles de roches ultrabasiques serpentinisées, elles-mêmes recouvertes par une série volcano-sédimentaire épizonale ;

(3) **Ahnet** caractérisé surtout par le développement de quartzite à séricite, deltaïque (post Eburnéen) et de rhyolites datées à 1800 Ma et qui sont surmonté par la série à stromatholite.

La série molassique (Eocambrien) est répartie à travers tout le Hoggar sous forme de bassins isolés développés surtout au NW. Ils contiennent un matériel sédimentaire qui reflète le démantèlement des formations avoisinantes et dans lequel s'intercalent plusieurs niveaux de matériel volcanique essentiellement rhyolitique, daté au NW du Hoggar à 520Ma. Cette série correspond à l'ultime étape de l'orogénèse panafricaine. D'un point de vue structural, impliquant les rejeux d'anciens accidents, au cours de la sédimentation de cette série.

3.2.2 Le Hoggar central.

Constituant la partie médiane du massif, limitée par les deux accidents majeurs. Le Hoggar Central est plus complexe et hétérogène du point de vue lithologique et structural.

Il comporte très peu de matériel sédimentaire ou volcanique d'âge protérozoïque supérieur, il est dominé par des formations d'âge protérozoïque inférieur et archéen.

Dans ce compartiment on regroupe deux séries types :

- a) **La série de l'Arechchoum** : Composée d'ortho-gneiss tonalitiques ou granitiques ; les roches dominantes sont des gneiss gris à grain fin, constitués de quartz, d'oligoclase et de biotite.
- b) **La série de l'Aleksod** : Représente une série méta-sédimentaire de plate-forme composée de quartzites, marbres, métapelites et roches volcano-détritiques, le tout associé à un grand volume de roches basiques et de migmatites granodioriques.

2.2.3 Le Hoggar Oriental.

Il est caractérisé par la chaîne « Tiririnienne » d'âge panafricain tardif ; chaîne à caractère linéamentaire encadrée à l'Est et à l'Ouest par deux socles plus anciens et structuralement différents l'un de l'autre. Dans ce compartiment, trois sous domaines peuvent être distingués :

- a) La chaîne Tiririnienne : Edifiée au Panafricain tardif, elle est séparée du socle par une discontinuité majeure traduisant un dépôt sur une surface d'érosion qui montre des roches métamorphiques et magmatiques très diverses, cette zone est constituée d'arkoses, de conglomérats et de calcaires à Stromatolithes.
- b) La zone péritiririnienne (Tafassasset – Djanet) : Elle est constituée de larges batholites de granites calco-alcalins, de dépôts de type Flysch, de roches de type calco-silicatées ainsi que de roches volcaniques et plutoniques pré-tectoniques avec des granites, des gneiss et des roches ultrabasiques.
- c) Le môle Issalane : Situé à l'Ouest, il est constitué essentiellement de granites et de gneiss ainsi que de formations méta sédimentaires (quartzites, marbres, pélites et roches calco-silicatées).

2.3. Le terrain d'Iskel

Le terrain d'Iskel est un bloc exotique au sein du bouclier touareg. Le terrain d'Iskel est constitué par un faciès d'ancienne plate-forme sédimentaire recoupée par des silts mafiques et ultra mafiques, des granites calco-alcalins à 870 Ma et des granites potassiques à 840 Ma.

Dans ce terrain affleurent essentiellement des dépôts de plate-forme de type sédimentaire et volcano-sédimentaire, des sillons de roches basiques et ultrabasiques serpentinisées, des granitoïdes calco-alcalins.

L'Iskel correspond au cycle du Pharusien I (~900-840 Ma), constitué par "l'unité de Timesselarsine". Les formations volcano-sédimentaires comprennent des conglomérats, greywackes, pélites et marbres de type plate-forme, des basaltes en pillows de type intra plaque et des pyroclastites interstratifiées. Elles sont associées, dans la région de Silet-Abankor, désignant un complexe de roches basiques et ultrabasiques (serpentinites, diabases, basaltes) issues de la différenciation d'un magma tholéitique, seul témoin d'un domaine océanique Néo-protérozoïque.

Les complexes de granitoïdes calco-alcalins, sont représentés par de grands batholites de diorites quartziques, granodiorites et rares granites potassiques calco-alcalins, datés 868 Ma (tonalite de Tin-Tékadiouit) et l'autre à 839Ma (granite de Taklet).



CHAPITRE II :

GEOLOGIE

DE SECTEUR D'ETUDE.

1. INTRODUCTION.

La région d'Iskel Nord (zone d'étude) est composée de six feuilles de 1/200 000, Nous avons classés les six feuilles en trois parties. Chaque partie est composée de deux feuilles de mêmes caractéristiques géologiques (Lithostratigraphie, tectoniques, minéralisations) ;

- a) Feuille de Tesnou avec la feuille d'Ifetessene.
- b) Feuille de Tin Felki avec la feuille d'Assekrem.
- c) Feuille d'In Ecker avec la feuille de Garet El Djnoun.

2. GEOLOGIE DES FEUILLES TESNOU ET IFETESSENE.

2.1. Introduction.

La région ayant fait l'objet des études est située dans la partie Nord-Ouest du massif du Hoggar, étant limitée par les coordonnées suivantes : 4-5° longitude E, et 24-26° latitude N, ce qui intéresse le territoire des feuilles Tesnou et Ifetessene couvrant, au total, une superficie de plus de 20000 Km².

La limite sud du territoire étudié se trouve à 150 Km au Nord-Ouest de la ville de Tamanrasset, centre économique du Hoggar et à 15 Km à l'Ouest du village d'In-Ecker.

Pratiquement, toute la moitié nord de la feuille Ifetessene se caractérise par un relief assez accidenté,

La partie sud du périmètre de travaux est représentée à 50 % par un modèle de terrain aplani avec certains reliefs élevés. En même temps, les parties NW et SE de la feuille Tesnou sont assez accidentées. Les altitudes des points culminants des adrars atteignent 1000 m - 1100 m (rarement 1500m - 1731 m).

Les adrars et les plateaux sont recouverts d'un dense réseau d'oueds secs peu profonds. (BLINNIKOV. V et al, 1991)

2.2. 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 : Protérozoïque, Paléozoïque et Cénozoïque.

➤ Protérozoïque.

a) Protérozoïque Inferieur est formé de deux séries essentielles :

- i. Série inférieure amphibolitique et gneissique.
- ii. Série supérieure gneissique.

b) Protérozoïque supérieur est composé de cinq séries distinctes:

- i. Série volcano-sédimentaire.
- ii. Assise inférieure volcano-sédimentaire.
- iii. Assise moyenne terrigène.
- iv. Assise supérieure volcanogène.

v. Série terrigène.

➤ Paléozoïque.

a) Système Ordovicien : il est constitué principalement de trois étages :

- i. Ordovicien inférieur, qui correspond à la série des Ajers.
- ii. Ordovicien inférieur et moyen indifférenciés, qui forme la série d'In-Tahonite.
- iii. Ordovicien supérieur, composé de la série de Tamadjert

b) Système silurien.

- i. Série de l'Imirhon.

c) Silurien - Dévonien inférieur.

- i. Série de l'Azédjrad, sous la série inférieure.

d) Système dévonien.

- i. Dévonien inférieur :
- ii. Gedinien qui forme la série de Tamelrik.
- iii. Siegenien, composé de la série samene.
- iv. Emsien, qui correspond à la série grès-argilitique.

e) Dévonien moyen.

- i. Givetien.

➤ Cénozoïque, Quaternaire.

Terrain actuels du Quaternaire supérieur.

2.2.1. Protérozoïque.**2.2.1.1. Protérozoïque Inférieur.**

On y distingue deux assises gneissiques : inférieure et supérieure.

a). Assise Inférieure (Amphibolitique-Gneissique).

L'attribution de l'assise au Protérozoïque inférieur est due à un degré élevé du métamorphisme régional (facies amphibolitique) et a une composition monotone, essentiellement mesocrate et melanocrate, des formations qu'elle renferme.

Les affleurements de l'assise en question sont cartographiés dans la partie Sud-Est du territoire de la feuille Tesnou, dans un bloc compris entre les failles 4°30'et 4°50', au cœur d'une structure en horst-anticlinal. Le contact inférieur, ainsi que le contact supérieur sont tectoniques, c'est pourquoi les relations avec les unités stratigraphiques sous-jacentes et sus-jacentes restent imprécises.

Sur le plan général, l'assise est formée de gneiss à biotite et a amphibole-biotite avec des niveaux d'amphibolites. Cette gamme monotone de roches est représentée par des plis isoclinaux de forme capricieuse allant jusqu'au micro plissement. Par endroits, il existe des migmatites plutôt artéritiques, injectées.

b). Assise Supérieure (Gneissique).

Les roches de cette assise ont été cartographiées dans la partie Est des feuilles Tesnou et Ifetessene, à l'Est de la grande fracture de 4°50'. Elles sont percées par de nombreuses intrusions du complexe protérozoïque tardif, morcelées en compartiments par de nombreuses failles, ployées en plis isoclinaux linéaires.

L'assise supérieure gneissique est constituée par des gneiss à biotite, à amphibole-biotite, a amphibole, souvent migmatisés, des granitogneiss, avec de rares niveaux et lentilles d'amphibolites, de pyroxenolites et de marbres.

2.2.1.2. Protérozoïque supérieur.

Selon l'échelle a trois termes du Protérozoïque, il est rapporté au Protérozoïque moyen la série Ahnet, dont la formation, selon les données de R. Caby (1983) a eu lieu dans la période de 1500 à 1000 Ma. Ses dépôts marquent une étape subcratonique particulière dans l'histoire géologique du Hoggar. Ainsi donc, l'étape protérozoïque supérieure de l'évolution de la région a débuté il y a 1000 + 50 Ma. Cette date correspond au début de la sédimentation de la série a stromatolites, c'est-à-dire, de l'assise inférieure de la série volcano-sédimentaire.

Les données existantes sur la chronologie radiométrique confirment la position chronologique que la série à Stromatolites (926, 933, 914 Ma - Bertrand (1974) et 962, 941 Ma par la méthode Rb-Sr).

Les formations du Protérozoïque supérieur occupent une position structurale linéaire, se trouvant dans les anches (fosse pharusien central) ou dans les dépressions volcano-tectoniques, délimitées par des linéaments tectoniques de mise en place profonde.

Par la composition litho-pétrographique, les particularités formationnelles, l'appartenance à différentes étapes de l'évolution de la région, les dépôts du Protérozoïque supérieur sont divisés en deux séries.

a) Série volcano-sédimentaire.

Cette série regroupe les soi-disant pharusien inférieur et supérieur, c'est-à-dire, la série à stromatolithes et la série verte (greywackes) selon R. Caby (1977), La série correspond à un cycle tectono-magmatique complet : depuis les étapes de l'extension jusqu'à l'orogénèse.

Selon les caractères lithologiques, la série est subdivisée en trois assises nettement différenciées : inférieure, moyenne et supérieure.

b) Assise inférieure volcano-sédimentaire

Les dépôts de l'assise inférieure sont cartographiés sur les flancs du fosse pharusien central, surtout sa bordure orientale, le long de l'accident 4°30'. Les formations de l'assise affleurent dans une bande large de 4-8 et plus kilomètres et s'allongent en Direction Subméridienne à travers toute la feuille de Tesnou et plus au Nord, en atteignent pratiquement la bordure de Tassili (feuille d'Ifetessene).

Les aires d'extension de l'assise sont caractérisées par une structure compartimentée discontinue, en mosaïque, qui est due à des contraintes tectonique résultant en failles inverses et décrochements. Il semble que l'assise inférieure, sur le flanc Est du "fosse pharusien", se présente en forme

d'un pli en crête, renverse vers l'Ouest. Au cœur de ce pli, il affleure des niveaux de calcaires marmorisés, correspondant apparemment à la partie moyenne de la coupe de l'assise.

Le contact de l'assise avec les formations sous-jacentes est partout de nature tectonique. Les relations avec les formations sus-jacentes de l'assise moyenne terrigène sont également tectoniques, bien que la composition litho-pétrographique des deux assises laisse envisager leur concordance. Dans l'ensemble, l'assise est constituée par des formations terrigènes, volcanogènes carbonatées. Relativement régulier et continu en direction, le niveau de calcaires marmorisés s'amincit et disparaît dans la région des flancs Sud et Nord du massif granitique des Tesnou, étant remplacé, par le facies de meta-pyroclastites.

c) Assise moyenne terrigène

L'assise moyenne comprend la plus grande extension sur le territoire étudié, en formant la partie centrale du Fosse pharusien central, affecte d'anticlinorial constitués de batholites de Tazouni et d'Indeberene. Dans l'ensemble, l'assise remplit le cœur d'une grande structure en graben

Une telle position tectonique concernant le mode de gisement de l'assise a permis de déchiffrer la succession stratigraphique des roches qui la composent. (R. Khassanov, 1976). Ceci est d'autant plus important que les niveaux - repères font pratiquement défaut dans la composition de l'assise. Le contact inférieur de l'assise est partout tectonique, Bien qu'il soit tectonisé, le contact supérieur représenté par endroits la disposition discordante d'un épanchement de volcanites acides à intermédiaires de l'assise supérieure sur l'assise inférieure. (R. Khassanov, 1976).

L'assise en question est constituée essentiellement par des grès quartzo-feldspathiques, arkosiques et à greywackes, et par des schistes argilo-charbonneux et phyllitoides à niveaux (0,1-5 m) de microquartzites et de roches carbonatées.

d) Assise Supérieure volcanogène

Les dépôts de l'assise supérieure prennent une extension considérable. Ils sont développés surtout dans la partie occidentale et moins bien dans la partie orientale du territoire de la feuille Tesnou, ainsi que dans les parties ouest et centrale de la feuille d'Ifetessene (Adrar Tisselliline). Les formations constituant l'assise sont localisées dans d'importantes fosses volcano-tectoniques, mises en place sur les flancs du Fosse central pharusien, et forment de grandes nappes et des corps extrusifs linaires. Elles reposent sur le substratum avec une discordance azimutale (topographique). Plus souvent, les contacts avec les roches sous-jacentes sont de nature tectonique.

L'assise est constituée par des metarhyolites, metarhyodacites, porphyres quartzeux, laves agglomérées et sphéroloïdes, leur metatufs, ignimbrites. Par endroits, dans la partie inférieure de la coupe, on observe des méta-andésites-dacites et même des basaltes (feuille d'Ifetessene). En outre, on rapporte à cette assise des corps subvolcaniques de granites, granodiorites, porphyres decito-rhyolitiques, porphyres granodioritiques.

2.2.2. Paléozoïque.

Les dépôts du groupe paléozoïque sont représentés par des roches terrigènes, argileuses et carbonatées de l'Ordovicien, du Silurien et du Dévonien. Ils couvrent 30 % environ du territoire de la feuille Ifetessene.

2.2.2.1. Système Ordovicien

a) Ordovicien Inferieur.

Les dépôts de cet âge sont regroupés en série des Ajjers. Ils forment la partie inférieure dans la coupe de la couverture paléozoïque, en affleurant en gradins en bordure de l'aire d'extension du Paléozoïque inférieur. La série repose partout avec lacune de ravinement et en discordance angulaire sur le socle précambrien. Elle représente une assise monotone de grès quartzeux blanc-jaunâtre, de préférence à grain petit à moyen, des intercalations de grès à gros grain et graveleux, à stratification oblique et parallèle.

La partie inférieure de la coupe comporte des bancs peu puissants (0-0,4 m) de gravelites et conglomérats quartzeux. Sur le plan lithologique, les

roches de la série des Ajjers représentent des formations monominérales typiques des croutes d'altération chimique remaniées. Le ciment des grès est de type jointif, interstitiel de nourrissage, argileux, parfois celui quartzeux. Parmi les minéraux argileux il se prédomine la kaolinite, tandis que les minéraux accessoires sont à dominante du zircon (80-90% en fraction lourde).

Elle est attribuée à l'Ordovicien inférieur sur la base de la confrontation avec les formations analogues à la faune prouvée sur la feuille Tin-Senasset (Kostik, 1986).

b) Ordovicien inférieur et moyen non-différencies.

Elle se compose de grès feldspathiques quartzeux, à petit grain, en strates fines parallèles. Sa partie supérieure est formée de grès en plaquettes quartzites. La limite inférieure de la série semble concordante avec la série des Ajjers et la limite supérieure est constituée par une surface érodée, recouverte par des grès grossiers massifs de la série de Tamadjert. L'épaisseur maximale de la série ne dépasse pas 45 m. Son âge est déterminé par corrélation avec les coupes de la série à faune prouvée, situées plus au Nord.

c) Ordovicien Supérieur.

La série de Tamadjert est la plus développée parmi les formations ordoviciennes sur le territoire d'études. Au point de vue lithologique, la limite inférieure de la série est très nette et passe par la surface ravinée des diverses couches de la série sous-jacente d'In Tahouite ou de la série des Ajjers.

La limite supérieure de la série est marquée par l'apparition dans la coupe des argilites du Silurien. Dans la succession des roches, il se prédominer des grès quartzeux massifs, à grain variable, parmi lesquels les variétés à gros grain et graveleuses sont les plus rependues. La partie inférieure de la coupe est caractérisée par la présence de bancs formes de graviers et de galets, dont la composante détritique est représentée par du quartz et par des grès et aleurolites sous-jacents.

2.2.2.2. Système silurien.

Les formations siluriennes sont développées dans la partie nord de la feuille Ifetessene, c'est-à-dire entre les ressants internes (ordoviciens) et externes (dévonien) des Tassilis. Selon la carte géologique établie par la SONATRACH (1972) pour la feuille Ifetessene, les dépôts siluriens sont individualisés en série de l'Imirhou.

La série de l'Imirhou (Sim) affleure dans le Nord-Ouest de la feuille Ifetessene et est principalement constituée par des argilites avec intercalations d'aleurolites, de grès et de marnes. La coupe de la série se caractérise assez souvent par des modules concentriques d'aleurolites et de grès consolidés par un matériel argileux à hématite.

2.2.2.3. Silurien - Dévonien inférieur indifférenciés.

Les dépôts de cet âge sont extrêmement pauvres en fossiles caractéristiques, c'est pourquoi leur datation porte une certaine part de l'arbitraire et ils sont réunis, par critères lithologiques, en sous-série inférieure de la série de l'Asedjrad (SONATRACH, 1972).

2.2.2.4. Système dévonien

Ses formations jouissent d'une large extension au Nord de l'Adrar Tifirine, en formant des plateaux accidentés. Diverses couches de roches dévoniennes composent des crêtes arquées, ce qui aide à les identifier avec certitude. Deux termes inférieurs du Dévonien affleurent dans les limites du territoire étudié.

Le Dévonien inférieur est représenté par trois étages : Gedinien, Siegenien et Emsien.

a) Le Gedinien.

Il est constitué par des formations de la série de Tamelrik qui sont largement développées dans le champ des dépôts ordoviciens. La série présente une alternance fréquente de grès quartzeux et feldspathiques-quartzeux stratifiés, gris-jaunâtre, à petit grain et de grès argileux gris-violet, d'aleurolites et d'argilites microlites. Il existe des bancs de grès quartzitoides

et graveleux. De nombreuses traces d'un régime de sédimentation néritique sont typiques des roches de la série.

La puissance de la série est de 90 à 120 rn.

b) Le Siegenien.

Les dépôts de la série sont localement rependus dans le coin Nord-Ouest de la feuille Ifetessene. La limite inférieure de la série constitue de grès fins gris violet reposant sur les argilites et aleurolites microlitées de la série de Tamelrik. La limite supérieure est concordante et est soulignée par des argilites et aleurolites argileuses de l'Emsien. L'essentiel de la série se compose de grès fins gris-violet. En quantités subordonnées interviennent des lits de grès argileux, d'aleurolites et de grès grossiers à de rares galets d'aleurolites et de grès grossiers à de rares galets d'aleurolites. Les couches argileuses sont souvent ferrugineuses et colorées en brun.

La puissance de la série, calculée par procédé géométrique, s'élève à 80-100m.

c) Emsien.

La série grès-argilitique, concurremment avec le Dévonien moyen, a une extension extrêmement limitée (le coin Nord-Ouest extrême de la feuille Ifetessene). La limite inférieure de la série est lithologiquement bien nette et se voit tracée par le toit des grès à petit grain, de teinte gris-violet, sous-jacents.

La série est faite de grès quartzeux, à petit grain, blanc-jaunâtre, roses et gris-violet avec des intercalations d'aleurolites et d'argilites, moins souvent de grès grossiers contenant des impuretés de grains de graviers et de petits éléments d'aleurolites. La présence d'hieroglyphes et la ferrugination constituent un trait caractéristique.

Dans les régions voisines, la puissance de la série se monte à 160 m ; celle de la feuille Ifetessene semble proche de ce chiffre. L'âge de la série est défini

par analogie avec les territoires avoisinants ou elle est caractérisée par des fossiles de Brachiopodes de l'Emsien.

2.2.2.5. Dévonien Moyen.

Sur la carte géologique de la SDNATRACH, seul le Givetien représente le Dévonien moyen. Le Givetien représente une alternance de bancs de calcaires dolomitiques, à grain gros et petit, finement stratifiés, bleuâtre, tandis que la partie supérieure d'argileux et d'aleurolites à gros grain avec intercalations d'argilites bleues et couleur cerise.

2.2.3. Cénozoïque, Quaternaire.

Dans les limites du territoire étudié les terrains quaternaires prennent une assez large extension. Génétiquement, ils sont hétérogène et représenté par des dépôts éoliens, alluvionnaires, par des éboulis de pente et torrentiels des épandages, ainsi que par des éluvions, qui sont typiques des surfaces plates des partage des eaux dans la bande de développement des batholites granitoïdes de Tazouni, Mouhidir, Indeberene etc.

Chronologiquement, on les regroupe en dépôts quaternaires supérieurs et actuels indifférenciés.

2.2.4. Dépôts quaternaires supérieurs – actuels.

Son extension est limitée par les Oueds, Les fragments de terrasses relativement hautes (jusqu'à 3 m) ne sont observés que sur l'amont des grands Oueds (Tirahart, etc.) et situés dans les zones d'un relief à basses montagnes ravine. Dans de tels secteurs, les coulées de boue sont étroites et forment dans les Oueds des tranchées naturelles.

Des hautes terrasses sont souvent accompagnées (spatialement) d'épandages torrentiels des cônes de déjection. Les champs d'épandages torrentiels se localisent au pied des adras et forment, par endroits, des bandes assez longues et larges jusqu'à 10 Km ou bien des portions de terrain isométriques à surface plate. De telles formations ont l'air de couvertures ou de manteaux constitués d'éboulis de pente et de dépôts torrentiels. Elles

comportent du matériel caillouteux et leur nuisance atteint 4 m. De petits Oueds les entaillent avec la formation d'une sorte de trachées à pentes abruptes, ce qui rend difficile le mouvement des moyens de transport.

2.3. Magmatisme Intrusif.

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

2.3.1. Le complexe pré-orogénique de protrusions ultramafiques.

Les roches ultramafiques prennent une extension extrêmement limitée sur le territoire étudié étant rencontrées épisodiquement au sein des roches métamorphiques des assises inférieures et supérieures (gneissiques) du Protérozoïque précocé, ainsi qu'au milieu des formations aussi bien magmatiques que sédimentaires – métamorphiques du Protérozoïque supérieur.

Elles forment de petits corps en forme de lentilles et de dykes, de 0,2 x 0,01 Km à 3,2 x 0,5 Km de dimensions, en relation avec des zones faillées et une fracturation élevée des roches. Assez souvent, leurs corps lenticulaires rappellent des boudins. Leurs contacts avec les formations encaissantes sont généralement peu visibles, mais les modifications au voisinage des contacts se traduisent aussi par des zones de schistification, de serpentinisation, d'amphibolitisation.

Étant donné que les corps de roches ultramafiques se localisent dans des zones faillées l'absence des traces de l'action thermique sur les roches encaissantes le caractère pluri-facial des processus surimposés (auto

métamorphisme, métasomatose, cataclase) permettent de supposer leur déplacement en état solide, c'est-à-dire, ces corps représentent des protrusions. Les roches ultramafiques sont constituées de serpentinites apopéridotitiques, moins souvent apopyroxénitiques.

2.3.2. Le Complexe Intrusif Pré – Orogénique.

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

La structure interne du pluton est assez complexe en raison d'un large développement de zones cataclassées et des textures directives surimposées (influence de l'orogénèse panafricaine). Les contacts entre les variétés des roches de différentes phases, des gabbros aux plagiogranites-tonalites, n'ont pas de limites tranchées par suite des processus d'hybridisme. En règle générale, ils sont tétanisés. Sur le Flanc Ouest du Fosse pharusien Central, les intrusions du complexe sont représentées par de petits corps linéaires jalonnant des Failles, il se peut qu'à ce complexe se rapportent également des granodiorites cataclassées avec textures directives, comportant des dykes subméridiens peu puissants, constitués de porphyres rhyolitiques (racines, chenaux d'accès de l'assise supérieure (volcanogène) de la série volcano-sédimentaire du Protérozoïque supérieur).

Des dykes similaires sont aussi typiques du flanc Est du "Fosse pharusien central", or, à l'état fragmentaire, à proximité de l'accident du 4°50', se sont conservés des blocs (compartiments), faits de roches de l'assise supérieure (volcanogène).

La phase gabbroïque précoce n'a pas de localisation précise dans l'espace mais dans l'ensemble, elle se rattache aux flancs du pluton (pluton d'Adjerar). Elle ne forme pas de grandes intrusions, à l'exception de deux massifs relativement importants situés au Sud et au Nord de l'Adrar Tesnou (Tinalendis et Inoudade respectivement).

L'essentiel du pluton est constitué de diorites, de diorite quartziques, de monzodiorites de la deuxième phase et de granodiorites à hornblende-biotite de la troisième phase. Le pluton abonde en xénolites (enclaves) et blocs résiduels de roches encaissantes de la partie inférieure de la série volcano-sédimentaire, le long des contacts avec lesquels se manifestent largement des altérations métasomatiques (épidotisation, feldspathisation potassique, quartzification etc.).

a) Première Phase.

La première phase de la mise en place du complexe est représentée par des gabbros massifs, moins souvent rubanés (cataclases), à grain fin à moyen, plus rarement à grain grossier et pegmatoides. Les gabbroïdes forment des corps en dykes, liés à des failles, ainsi que constituent une série de petits massifs sur le flanc Ouest du pluton d'Adjerar. Le massif d'Inondale représente un corps sub-isométrique (12 X 8 Km), allongé en direction méridienne, à structure interne concentrique confuse, qui est souligné par des formes en crêtes arquées du microrelief, développé dans le massif. Le massif gabbroïque de Tinalendis, situé plus au Sud, n'a pas de caractères morphologiques bien exprimés. Les contacts des deux intrusions avec les diorites sont graduels ou tectonisés, et avec les roches encaissantes, ils sont tectoniques. Les deux massifs sont constitués par des gabbros leuco- et mésocrates à grain petit et gros.

b) Deuxième phase.

Les roches représentant la deuxième phase de mise en place forment l'essentiel du pluton et sont constituées de diorites et de diorites quartziques (tonalites), de monzodiorites quartzifères et quartziques. Toutes ces roches sont reliées entre elles par l'intermédiaire des transitions graduelles

pratiquement sur toute l'extension du pluton, les diorites et les diorites quartziques de la deuxième phase sont percées par des granitoïdes de la troisième phase et par des granites du complexe post-orogénique sous-forme de petits stocks, auxquels sont liés des filons et dykes de leucogranites, pegmatites et granites pegmatoïde qui y sont largement développés. La partie centrale du pluton comporte également de gros "lambeaux" de gabbroïdes altérés de la première phase.

c) Troisième phase.

A la troisième phase du complexe on rapporte les plagiogranites et les granodiorites, présentant des contacts intrusifs, nettement accusés, avec les diorites encaissantes, bien que parfois, les contacts soient de nature tectonique.

La structure interne des intrusions n'est pas homogène. En règle générale, leur partie périphérique est constituée de variétés à grain fin, la partie centrale - de celles à grain gros à moyen, entre lesquelles il existe des passages graduels.

A la périphérie, les intrusions de la troisième phase abondent en filons et dykes de granites pegmatites et d'aplites. Macroscopiquement, les plagiogranites et les granodiorites représentent des roches grises, gris-rosâtre, à grain gros à petit régulier, parfois porphyroïdes.

2.3.3. Complexe Intrusif Syn -Tardi- Orogénique.

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

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

Le massif de Tazouni est cartographié sur la Feuille de Tesnou et représente un grand batholite qui s'étend sur une longueur de 110 Km. On direction subméridienne en traversant pratiquement toute la Feuille du Nord au Sud et en débordant sur la feuille de Tin-Felki. On distingue deux phases de mise en place du batholite caractérisées par des groupes déterminés de roches magmatiques:

- i. diorites, diorites quartziques, granodiorites ;
- ii. granodiorites, plagio-granites et granites à biotite à grain gros, porphyroïdes.

a) Première Phase.

A la phase précoce de la mise en place on rapporte les diorites les diorites quartziques et les granodiorites, occupant généralement des parties périphériques du batholite de Tazouni. Elles sont le plus largement répandues sur les flancs nord et ouest du batholite et sont en relation avec l'aire d'extension de l'assise moyenne (terrigène) de la série volcano- sédimentaire.

Les formations intrusives de cette phase ont des contacts intrusifs actifs avec des roches stratifiées, en constituant un large lisère (de centaines de mètres à 1.5 Km) de cornéennes de contact.

Les roches de la phase ne sont pas homogènes de par leurs composition et particularités structuro-texturales. Leur granulométrie diminue régulièrement vers les contacts.

b) Deuxième Phase.

Les formations intrusives de la deuxième phase de mise en place sont largement développées dans les parties centrale et orientale du batholite de Tazouni. Les granites de phase plus tardive de mise en place constituent le massif d'Indeberene (feuille Ifetessene), ainsi qu'une partie du massif batholite de Moujdir (partie Ouest des feuilles Tesnou et Ifetessene).

Aussi bien le massif d'Indeherene que celui de Moujdir sont, dans l'ensemble, conformes à la structure plissée de la région, bien que les limites du massif de Moujdir avec les roches encaissantes soient, dans la plupart des cas, tectoniques.

Les xénolites de roches encaissantes sont fréquentes dans le massif d'Indeherene et son flanc Nord est marqué par la présence des "roof pendants" ("pendeloques du toit"). Il semble que les parties apicales de l'intrusion épargnées par l'érosion aux endroits où se localisent ces "rentrants" du toit, contrôlent ici un large développement de filons et de dykes de quartz feldspathiques de puissance variable, un certain enrichissement des granites en alcalis.

2.3.4. Complexe intrusif post-orogénique.

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

Les caldeiras-plutons sont représentés par les massifs circulaires d'Amadjar et d'Assartes avec des bordures leucocrates externes vaguement exprimées.

La bordure leucocrate du caldeira-pluton se manifeste assez distinctement sous forme d'un arc tourne vers l'Est. La majeure partie des massifs du complexe se rapporte aux diapirs-plutons, dont les représentants les plus marquants sont les intrusions bien connues de Tesnou, Imehellatene, Edjeleh, Tin Akor etc.

Des corps en dykes et filons de composition acide et neutre sont également inclus dans le complexe en question. Leur direction majeure des structures cassantes. Assez souvent ils "cicatrisent" les fractures d'extension secondaires d'orientation E – W environ et, parfois, les fractures arquées (de contraction) (partie Ouest de la feuille d'Ifetessene, massif de Moujdir). Ces dykes percent les granitoïdes du complexe syn-tardi-orogénique. En même

temps, leurs relations avec les "jeunes" granites ne sont pas établies pour le territoire de l'étude. De petits dykes et filons d'aprites et pegmatites, se regroupant dans les zones d'endomorphisme et d'exomorphisme des massifs intrusifs, appartiennent sans aucun doute au complexe post-orogénique. Il semble que la mise en place des formations intrusives du complexe ait été pluri-phrasée.

3. La géologie de la Feuille de Tin Felki et Assekrem.

3.1. Introduction.

La feuille TIN - FELKI étant le prolongement naturel au Nord du rameau central de la chaîne pharusienne (RCCP), est donc la suite des grands traits structuraux et géologiques mis en évidence dans les feuilles déjà étudiées plus au Sud (SILET, TIMGAOUINE, etc.), Néanmoins, certaines différences sont mises à jour ,

Le Protérozoïque est subdivisé en 03 ensembles :

- a) Un ensemble inférieur correspondant au Pr1.
- b) Un ensemble moyen correspondant au Pr2.
- c) Un ensemble supérieur correspondant au Pr3.

Ce dernier, équivalent au Pharusien correspondant à un seul cycle, le Panafricain est subdivisé en :

- a) Série inférieure, de plateforme, (Quartzite, marbre).
- b) Série moyenne volcanodétritique.
- c) Série supérieure, discordante, représentée par un volcanisme basique. Cette série supérieure recouvre même les granites et granodiorites du complexe différencié AFEDAFEDA.
- d) Série de conglomérats polygéniques. Ces conglomérats considèrent dans nos travaux comme le début d'une série discordante pseudo-mollassique, alors qu'il était supposé être le terme inférieur de la " Série grèsopelitique" de M. GRAVELLE, 1969.

Le magmatisme mis en place lors de l'orogénèse Pan-africaine est subdivisée en complexes.

- a) Complexe ultrabasique SEKSENE AHNI.
- b) Complexe différencié AFEDAFEDA équivalent à TINTIKADOUIT.
- c) Complexe granitoïde ADERNIBA équivalent à IMEZZARENE.
- d) Complexe post-tectonique.

Tectoniquement, la feuille est compartimentée en blocs méridiens et blocs Nord-Est.

Certains blocs sont favorables pour des minéralisations telles que celles de l'or (Au), de W, Sn, du Ni, ... (Bellal. M. et al, 1991).

3.2. Stratigraphie.

La classification stratigraphique adoptée dans la région est basée principalement sur des critères lithologiques et métamorphiques. Deux ensembles nettement distincts caractérisent le périmètre d'étude considéré par nos travaux. Ces deux ensembles, juxtaposés, mis en contact par la faille centrale 4°50' représentent des niveaux structuraux différents et sont d'âge différent. Les formations de cet ensemble sont classées et groupées en séries et assises sans rapport avec le sens stratigraphique des termes.

3.2.1. Premier ensemble.

Les Formations du Protérozoïque inférieur d'après la classification en vigueur " Inventaire et prospective des ressources minérales du Hoggar " Alger 1977, avec un âge absolu compris entre 2000 et 2700 M.A. Les séries types identifiées sont :

- Série de TASSENDJANET (R. CABY, 1967),
- Série de l'ARECHCHOUM,
- Série de GOUR OUMELALEN (L. LATOUCHE, 1972).

Cet ensemble, domaine du Hoggar central polycyclique présente des affleurements monotones en bancs subméridiens avec un relief très peu accusé, avec un dénivelé de 100 m au maximum.

Cet ensemble est intrudé par deux (02) plutons granitiques circonscrits longeant la faille centrale 4°50'.

Il est aussi sillonné par des dykes de roches aplitiques de direction assez variable, les dykes méridiens sont peu nombreux, tandis que ceux de direction NE - SW prédominent. On note aussi quelques dykes de direction latitudinales, alors que les aplites de direction NW - SE sont pratiquement absentes.

En certaines zones, la densité des dykes est très importante ; cette densité de dykes coïncide avec des failles importantes de direction NE - SW qui pourraient laisser supposer une ébauche de compartimentation NE car ces failles NE - SW laissent apparaître une différence dans la lithologie de cet ensemble.

Cet ensemble n'est pas subdivisé en séries car il n'a pas été échantillonné par des lames minces représentatives pour chaque unité. La partie centrale, située entre la faille NE - SW, est représentée par des gneiss passant progressivement à des gneiss granitoïdes homogènes. Au-delà de ces cassures, la composition lithologique comprend des gneiss oreilles, des amphibolites, ainsi que des formations Métasédimentaires, soient des quartzites, cipolins ou marbres et schistes cristallins.

La zone de mylonite le long de la faille 4 50' étant absente pour la région des gneiss granitoïde. Et l'existence des massifs granitiques laissent supposer une différence lithologique dans cet ensemble.

Lithologiquement cet ensemble est constitué par :

a). Gneiss granitoïdes : ce sont les affleurements qui caractérisent la partie centrale de l'ensemble. A première vue ils présentent l'aspect d'une roche ignée soumise à une cataclase.

b). Gneiss oreilles : Ce sont des affleurements restreints, "en paquets" de 2.8 m d'épaisseur parmi les gneiss à amphiboles et les amphibolites. Sous le microscope, il présente une structure lepto-porphyro-granoblastique. IL est constitué par le quartz en granoblastes xenomorphe à extinction roulante, le plus souvent à contours flous fortement engrène avec les minéraux avoisinants. Par ailleurs il constitue à lui seul des lits de 1-2 mm d'épaisseur.

c). Amphibolites : C'est une roche sombre, mesocrate, de couleur vert sombre. Elle représente la presque totale superficie de l'ensemble stratigraphique au Nord et au Sud. Elle se débite en lames dans un relief très peu accusé.

d). Schistes cristallins : Au Sud de la feuille, ces roches forment des niveaux de petites étendues affleurant avec des amphibolites, des niveaux de quartzites et des lentilles de marbres.

C'est une roche schisteuse à structure lepidogranoblastique composée à 45 % de quartz xenomorphe à extinction onduleuse, et il présente aussi une légère recristallisation.

e). Quartzites : Ce sont en général des niveaux assez rares qui ont été recoupés au Nord et au Sud de l'ensemble. Assez restreints en épaisseur (1 à 2 m environ), ces niveaux marquent nettement la direction et les zones de plissement des structures.

f). Marbres : Ce sont de petites lentilles communes à tout l'ensemble mais tout de même avec une fréquence notable parmi les amphibolites. Ce sont de petits affleurements de 30-50 m d'extension et d'épaisseur 4-5 m, rarement 15-20 m. La couleur est variée, mais la teinte brun-ocre prédomine. Ces marbres sont sillonnés de petits filonnets de quartz boudiné d'épaisseur 2-4 cm.

3.2.2. Deuxième ensemble :

Ce deuxième ensemble affleurant dans le périmètre d'étude constitue en fait une partie du rameau central de la chaîne Pharusienne qui s'étend sur une grande superficie limitée à l'Est par la faille 4°50' et à l'Ouest par la mole IN OUZZAL.

La cartographie du périmètre d'étude ne permet de différencier les formations selon les âges définis comme Pr3 et Pr4. On prendra comme exemple le niveau de conglomérat longeant le faciès greso-pelitique à l'Est

et/ou à l'Ouest qui était considéré comme étant le terme antérieur de ce faciès constitue en fait le sommet de tout l'ensemble. Ce niveau de conglomérats qui renferme des galets d'origine plutonique mimant les granodiorites et diorites quartzitiques du complexe magmatique AFEDAFEDA, des galets d'origine volcaniques (basiques, intermédiaires et acides), contient en sus des galets de grès, tuffogrès, carbonates provenant du démantèlement probable du faciès dit grès-pélimitique.

(a). Série inférieure: Cette série comprend deux assises spatialement isolées l'une de l'autre. Ces assises peuvent être équivalentes (bassins isolés ou la sédimentation se fait dans un régime de plate-forme avec des séquences volcaniques et/ou plutonique d'ampleur inégale pour chaque bassin).

Assise inférieure : Elle affleure sous forme de lambeau conservé dans les diorites et diorites quartzitiques au Nord et à l'Est du massif de IMEHELLATENE. Cette assise dont la coupe la plus complète trouve son extension plus au Nord, dans les limites de la feuille TESNOU. Elle est nommée " Série dioritoïde " par Y. SINTCHOUK, (1984) et dont la lithologie a été donnée par V. MAKHOV, 1972 (rapport SONAREM. H.134).

Les roches affleurant dans le périmètre d'étude dessinent une structure plissée d'axe méridien à NNW (340-350). Le pendage est abrupt, de l'ordre de 60-70°, à l'Est de l'assise, et, il est nettement plus doux à l'Ouest, soit 30-40°.

La lithologie est assez variée, mais la coupe est essentiellement composée d'amphibolites, soit 70-80 % du volume de l'assise. Le reste est formé de schistes, de petites lentilles de marbre et de petites passées de quartzites. Toute l'assise est sillonnée de traînées de roches ultrabasiques serpentines d'envergures réduites et de fréquence relativement importante.

Amphibolite : Généralement c'est une roche massive, mésocrate, de teinte vert-sombre, très souvent litée, parfois ocellée bancs puissants injectés par des granites – granodiorites sills selon la direction des amphibolites.

Elles font état d'un méta-gabbro à texture orientée. En affleurement, c'est la même " amphibolite " litée ou oreillée.

Schistes à chlorite : Ce sont des passées de très faible épaisseur (d'ordre décimétrique à 1 m au maximum) qui apparaissent dans la partie orientale de l'assise avec les quartzites cipolins...

Skarn (à épidote et grenat) : Ce sont des petits niveaux de roches carbonatées skarnifiées par le plutonisme granitique avoisinant. De teinte blanches, grises ou rougeâtres, ces niveaux s'étendent sur 50 à 80 m avec une épaisseur de 3 - 5 m, parfois 10-15 m, dans la partie orientale de l'assise.

Quartzite : Elle, se présente sous forme de niveau très mal exprimé, à l'Est dans la partie orientale de l'assise ; l'épaisseur de ce niveau discontinu atteint 2 m au maximum, mais il est présent tout le long de l'affleurement -l'assise. L'ensemble de l'assise de part, sa lithologie particulière (amphibole - schiste à chlorite - roches carbonatées skarnifiées - quartzites) et par le degré de métamorphisme assez prononcé facies amphibolitiques, présente l'aspect d'une assise relativement ancienne, et, c'est ce qui a motivé son positionnement dans la colonne stratigraphique.

Assise supérieure: Spatialement, cette assise se développe le long de la faille centrale 4 50'. Au Nord du pluton granitique jeune de TEGORAK, elle se présente en forme de croissant nettement dessinée par les quartzites et carbonates (marbres). Son extension septentrionale s'exprime sous forme d'un affleurement longiligne de 30 km environ pour une puissance moyenne de 1.5 à 2 km.

Cette assise est remarquable par un niveau de quartzite brun, rubanée ainsi que des niveaux de marbres qui atteignent parfois 500 m de puissance. Cette assise est recoupée à l'Ouest par l'unité orientale du complexe AFEDAFEDA. Les roches de contact sont matérialisées par des cornéennes et skarn.

La lithologie de cette unité s'exprime comme suite :

Gneiss à grains fins : Ce sont des roches mésocrates, de teinte verdâtre sombre à lits blancs fins.

Les composants des blancs sont représentés par du quartz, des feldspaths potassiques et des plagioclases engrenés les uns dans les autres. Les plagioclases sont séricitisés.

Ces minéraux clairs constituent des niveaux alternés par des lits de biotite en lamelles fines et allongées, à contours irréguliers. La roche est localement traversée par des veinules de quartz.

Schistes amphibolitiques : Ce sont des niveaux de 20-30 m d'épaisseur, de couleur verte, friable et au toucher soyeux.

Quartzites : Ce sont des niveaux repères qui dessinent à merveille les structures. Au Sud, au niveau de la structure sous forme de croissant, la puissance est supérieure à 70 m. C'est un quartzite rubanée, brune et blanche à muscovite, à structure lepidogranoblastique, essentiellement constituée de quartz (70 % environ) granoblastique, xenomorphe à extinction roulante.

Marbres : Les niveaux de marbres sont nombreux. On y rencontre des lentilles restreintes ainsi que de vastes affleurements s'étendant sur plusieurs centaines de mètres. Les teintes sont très variables : blanches, verdâtre, brune, rubanée etc.

Cette assise renferme, ou est sillonnée par des dykes ou sills de roches basiques de semi-profondeur métasomatisés. Ce sont des sills et/ou des volcanites complétant la série à quartzites et marbres.

b). Série moyenne Volcanodétritique.

Cette série est subdivisée en trois (03) assises :

- i. Assise inférieure : Assise détritique franche.
- ii. Assise moyenne : Assise volcanogène avec des passées détritiques, en l'occurrence des conglomérats, grès, perlites et des niveaux importants de carbonates (marbres).
- iii. Assise supérieure : C'est une assise composée de matériel volcanique acide (dacite, rhyolite tuff, brèches).

b.1. Assise inférieure:

La distribution spatiale de cette assise s'inscrit comme suit :

- Un affleurement sous forme de bande méridienne discontinue au sein du septum central. C'est une bande étroite de 0.5 à 1 km de large.
- Un affleurement à l'Ouest de la faille 4°13', intrudé par le pluton ADERNIBA représenté par le matériel détritique franc. En cet affleurement, il y a une auréole de métamorphisme progressif de contact (thermométamorphisme).
- Un affleurement au Nord-Ouest de la feuille représentée par des bandes méridiennes d'épaisseur variable (de 0.5-1 km à 5-6 km).

b.2. Assise moyenne:

Cette assise est bien exprimée dans le périmètre d'étude et représente la majorité des formations métamorphiques du Pharusien s.l.. Il ne serait pas exact de l'isoler nettement de l'assise qui la précède, car les deux assises sont intimement liées.

Ces deux assises sont concordantes et la transition est exprimée par le matériel tuffo-détritique ainsi que par des passées détritiques à la base de cette dernière assise.

b.3. Assise supérieure.

Cette assise se développe dans le périmètre d'étude selon les affleurements étroits en structures plissées à axes subméridiens.

Au Nord-Ouest de la feuille, c'est un affleurement longiligne continu de 60 km de long environ pour une largeur de 2 à 4 km. Il longe les assises inférieure et moyenne. Le contact avec ces dernières est exprimé par une faille méridienne. Ce contact intrusif est confirmé par les dykes basiques (diabase) sillonnant de manière sécante cette assise.

A l'Est, cette assise se matérialise par un affleurement relativement réduit, en structures plissées à axes méridiens intrudés par les granites attachés au complexe AFEDAFEDA.

Plus au Sud, la continuité de l'assise est exprimée par des affleurements étroits (40-50 m) de matériel tuffogènes (brèches volcaniques, agglomérats).

Partout où est exprimée cette assise elle débute, ou comporte, du matériel pyroclastique en niveaux puissants atteignant 1 km d'épaisseur et parfois plus.

c). Série supérieure. (Volcanisme basique).

Cette série de volume réduit se développe exclusivement au Nord-Ouest du périmètre d'étude sous forme de deux affleurements locaux.

Le premier, au Nord, En affleurement rectiligne de 2 km d'épaisseur, continue au-delà, dans le périmètre de la feuille TESNOU. Sa partie Sud est plus trapue, avec une épaisseur de 5 km au maximum et se termine en biseau sur 11-12 km.

Le second, au Sud, est plus réduit avec une direction (de l'affleurement) de 20-30 N.R. L'épaisseur est de 1 à 1.5 km avec des extrémités renflées. Ce volcanisme possède un trait particulier ; il recouvre les granites et granodiorites de l'ADRAR TINADJAR, en ayant au préalable une discordance des plus nettes - ou elle repose effectivement - sur la série volcano-detritique Pr3. Ce caractère essentiel a motivé le fait que cette formation est considérée comme série à part entière. Ce volcanisme se présente sous forme de structures plissées à axes subméridiens, donc il a subi les contraintes des événements tectono-métamorphiques liés au Pan-Africain (cycle), avec néanmoins des roches relativement fraîches appréciées sur terrain.

d). Série de conglomérats.

Cette série est ainsi séparée car elle débute, ou marque le début d'une série de démantèlement de ce que l'on pourrait nommer " socle "

La composition du matériel du conglomérat provient du démantèlement de ce "socle" à savoir le matériel de la série volcanodétritique (laves basiques, neutres, grès, tuffogrès, dacites, rhyolites, carbonates, marbres...) et les granites granodiorites les intrudant. Notons tout de même que les galets de roches plutoniques ne sont reconnus pour le complexe ADERNIBA (IMEZZARENE - TIMMISSAO).

Le matériel de démantèlement composant cette série provient des roches de socle citées précédemment certaines formations brillent par leur absence, tels les galets des roches ultrabasiques.

La composition du matériel de cette série est fonction de roches qui l'alimentent, pour un terrain où dominant les volcanites acides on a un conglomérat avec des galets de rhyodacites en grande proportion.

A l'Est de la feuille, il y a la présence de lentilles conglomératiques de dimensions réduites au sein du Septum Central, parmi la série volcanodétritique. Les galets les composants sont essentiellement des volcanites et des granites granodiorites.

Plus au Nord, au niveau de l'Adrar TANATARAM, la série est représentée par une lentille de conglomérats et de grès grossiers.

e). Les dépôts quaternaires.

Ce sont essentiellement les dépôts de recouvrement alluviaux et éoliens.

e.1. Dépôts alluviaux (ou oueds) :

Le réseau hydrographique est très important dans la région. Les oueds de grande envergure, tel le TEKOUYAT dont le lit dépasse 1-2 km, pourrait avoir une épaisseur de dépôts appréciables. La puissance maximale des alluvions est de 12 m. Ce sont des terres argileuses de teinte noire (limon), des sables bruns et des sables grossiers gris avec des graviers et galets.

e.2. Dépôts éoliens :

Ces dépôts sont formés essentiellement de sable fin et constituant des dunes de sables.

f. Dépôts de cailloutis :

Ce sont les brèches de pente. Elles se développent généralement à la base des chaînes montagneuses (base du massif TEGORAK). Des dépôts analogues forment les grands plateaux ou regs tel celui correspondant au massif de granite d'ADERNIBA. Ces dépôts ont en général une faible épaisseur.

3.3. Magmatisme.

Les formations ignées représentent environ 70 % de la superficie totale de la feuille de Tin Felki et d'Assekrem.

L'étude des spécificités caractérisant ces formations permet d'élaborer une classification en complexe propre au périmètre d'étude, en tenant compte des travaux antérieurs.

Donc, compte tenu des études faites dans les feuilles limitrophes rapport SONAREM-EREM, thèses, travaux de géologues français...), enrichies par les observations des géologues, une classification chronologique a été élaboré comme suit :

- a) Complexe ultrabasique SEKSENE AHNI.
- b) Complexe différencié AFEDAFEDA.
- c) Complexe granitoïde ADERNIBA.
- d) Complexe post - tectonique de TAOURIRT.
- e) Volcanisme anorogénique récent.

a). Complexe ultrabasique.

Sur terrain, ces formations ultrabasiques sont représentées par des lentilles de puissance métrique (2.5 à 12-15 mm) sous forme d'alignements méridiens à subméridiens. Le fait de classer ces roches sous forme de complexe magmatique isole est régie par leur individualisation spatiale : les formations ultramafiques, sous un corps alignés (lentilles) coïncident inévitablement avec les zones profondément faillées.

Deux (02) alignements principaux jalonnées par ces roches de manière discontinue sont relevés. La continuité des affleurements plus au Sud prolonge les alignements dans les périmètres des feuilles SILET, TIMGAOUINE et TIN REHROH.

b). Complexe AFEDAFEDA.

C'est le prolongement au Nord des massifs TIN - TIKADIOUIT et TAKLET de SILET. Ce complexe affleure sur plus de 40 % de la superficie totale de la feuille. Spatialités trois (03) unités le distinguent.

(b).1 L'unité orientale :

Cette unité est représentée par une bande tout à fait au Nord, cette bande rejoint l'unité centrale tout en s'estompant progressivement.

A l'Est, elle intrude la série inférieure à quartzite et cipolin au Sud, et est limitée directement par la faille centrale 4°50' au Nord. En son flanc occidental, elle recoupe la série moyenne volcanodétritique. Les formations de cette unité forment un domaine monotone avec un relief très peu accidenté, avec néanmoins des affleurements plus compacts constitués principalement de roches plus basiques mais de taille réduite relativement.

Les roches qui constituent cette unité sont représentées par des granites, granitoïdes, monzonite, syénite, diorite, gabbro et amphibolite. Les granites et granodiorites, se débitant en boules, prédominent largement en superficie, représentant environ 70-75 % de l'espace de l'unité. Les termes plus basiques, en l'occurrence des diorites et localement des gabbros, sont plus ou moins imposants.

Un second massif de roches neutre-basiques, limitant à l'Est la série volcanodétritique, se présente sous forme de bande linéaire de direction subméridienne, et qui prend de l'ampleur au Nord du massif TIHALIOUINE.

(b.2). L'unité centrale.

Cette unité représente la plus imposante superficie dans manifestation de ce complexe. Elle s'étend sur toute la feuille du Sud au Nord pour une largeur moyenne de 30-35 km environ. Dans sa partie orientale, le massif recoupe nettement la série volcanodétritique. A l'Ouest il est limité par la faille 4°13', le mettant en contact avec le complexe granitoïde ADERNIBA.

Les deux unités, orientale et centrale, sont intimement liées spatialement, puisqu'elles ne font qu'un au Nord du périmètre.

Toutefois, la limite effective entre les deux unités, qui ont chacune ses propres caractéristiques pétrographiques, est matérialisée par la faille intrapharusienne 4°38'.

De part, sa grande représentation spatiale, cette unité renferme une grande variété de facies de roche qui sont considérés comme étant le résultat d'une différenciation d'un même magma, de termes basiques aux termes acides en passant par les gabbros, diorites, granodiorites, ...

De même que pour toutes les unités la composition des roches façonne une topographie correspondante. Les massifs basiques forment des affleurements compacts, alors que les granites granodiorites forment des regs plus ou moins clairsemés et un débit en boules caractéristique.

(b.3). L'unité occidentale.

Cette unité est séparée du reste, isolée par rapport aux deux unités précédentes. Cet isolement est matérialisé par un autre complexe granitoïde - Complexe ADERNIBA, limite par le prolongement de la faille 4 ° 13' au Nord, et la faille 4 08' du Nord de la feuille.

Dans sa partie la plus renflée, il est large de 15-18 km environ. A l'Ouest, l'assise rhyolitique le limite tout en étant nettement recoupée. Cette unité y est représentée aussi par de petites intrusions recoupant nettement la série volcano-détritique, tel que le massif TIN ADJAR, assez réduit de dimensions (4 x 8 km environ) ainsi que par d'autres manifestations encore plus réduites. La distribution des facies basiques est :

- Au centre Ouest du massif TADAZIT, les diorites et gabbro-diorites couvrent un espace relativement réduit.
- La série volcano-détritique est recoupée par un petit massif basique, longiligne, constitué de lamprophyres.
- Le massif TIN ADJAR, malgré son extension réduite, est représenté par une grande variété de roches : amphibolite, gabbro, diorite et granite.

c). Complexe granitoïde ADERNIBA

Dans les limites de la feuille TIN FELKI, ce complexe est représenté par deux massifs granitiques distincts, repartis de part et d'autre de la faille 4°06' matérialisé par la chaîne de lentilles de roches ultrabasiques de l'oued

ADERNIBA. Le premier massif, le plus imposant, est exprimé par une bande de direction subméridienne 0-5 NNE qui s'étend sur toute la longueur de la feuille du Sud au Nord. Les formations de ce complexe, les granites et deux cortèges aplo pegmatitiques, recoupent sans équivoque les formations de la série volcano-détritique.

En surface, la topographie de ce complexe est l'un de ses traits particuliers. C'est un plateau ou reg, monotone et plat, pratiquement nu, avec de rares affleurements sous forme de carapaces ou en boules isolées dans ce plateau désolé. Ce complexe n'est représenté que par les granites granodiorites à grains variables souvent porphyroïde.

d). Complexe post - tectonique de TAOURIRT.

Les plutons dans ce complexe affleurent au sein de deux ensembles indifféremment à l'Est et à l'Ouest de la faille centrale 4°50'. Ce sont des massifs circonscrits, présentant des limites nettes avec l'encaissant, avec une configuration plus ou moins ovale, à l'exception du massif IMEHELLATENE-ISSEDENNE qui a eu deux présentent un corps imposant par la taille. Il s'étend sur plus de 30 km de long pour une largeur de 7 à 10 km. La majorité des massifs présentent dans leurs parties, selon leur type, une orographie importante avec un dénivelé atteignant parfois 600 à 700 m.

Les premières données ont été fournies par M. LELUBRE, 1952, qui a distingué dans la composition des intrusions quelques variétés représentées par des granites à gros grains et parfois porphyroïdes ainsi que des leucogranites albitisés et muscovitisés à grains moyens et fins.

3.4. Tectonique.

Toutes les formations affleurant dans les limites du périmètre d'étude (feuille TIN FELKI) ont subi des déformations tectoniques faisant partie (ou entrant dans le cadre) de celles qui ont affecté l'ensemble du bouclier Hoggar lors des multiples événements tectonométamorphiques dont l'ultime est le PAN-AFRICAN entre 650 et 500 M.A. (ARMINES 1977).

Les déformations relevées dans le périmètre d'étude se résument notamment en une tectonique plicative souple et en tectonique cassante.

La tectonique souple est représentée par des plis à axes subméridiens relativement homogènes touchant la totalité des formations pharusiennes. Les observations de terrain, l'établissement des coupes géologiques locales et l'étude des lames minces ont permis de définir une seule phase de plissement engendrant des plis droits, parfois légèrement coches vers l'Est avec une direction axiale N.S., ce qui en résulte qu'on observe sur terrain des facies de roches linéaires dans la direction méridionale avec un pendage moyen de 60° à 70° vers l'Ouest. Ces plis sont déterminés dans les séries ou assises purement détritiques par les séquences ou facies observés. La tectonique cassante est matérialisée par deux principaux systèmes de failles.

- Un système subméridien précoce, matérialisé par de grandes ruptures engendrant une compartimentation de même direction. Cette compartimentation est, d'après le rejet de ces failles, d'ordre variable.
- La faille centrale 4°50' met en contact des niveaux structuraux différents et d'âge différent. La chaîne Pharusienne à l'Est et les formations du Hoggar Central Polycyclique à l'Est, le long de laquelle se développe une intense zone de mylonites. R. CABY (1982), soutient que ce type de fractures sont des décrochements dont les déplacements latéraux atteignent ou dépassent la centaine de kilomètres.

3.5. Minéralisation

Le Septum Central constitue par la série volcano-détritique recoupé par les granitoïdes du complexe AFEDAFEDA et les formations ultrabasiques du complexe SEKSENE AHENI recelent la plus grande densité de points de minéralisation surtout le Ni. Notons par ailleurs que la densité des points de minéralisations et anomalie géochimique pour certains éléments tels que : Ni, As, Cu-Pb-Ag, etc., sont localisés au voisinage des accidents méridiens-subméridiens, les accidents N.E., et, l'intersection de ces deux systèmes. Sur

l'ensemble des points de minéralisation relevé qui sont au nombre de 63, 70 % sont attribués au Ni, Cu, Pb, Ag.

A l'inverse des éléments sus-cités, la distribution de l'or est localisée dans un bloc de direction N.E. limites par deux (02) accidents majeurs de même direction. L'indice d'ISSELFANE, le gisement TEKOUYAT et le gisement polymétallique de TAN CHAFFAO font partie de ce même bloc N.E.-S.W. L'indice d'ISSELFANE pourrait connaître une extension vers le Sud (Nord de la feuille TIN FELKI) car certains échantillons de Stream-Sédiment ont livré des résultats très satisfaisants (4 g/t.) en aval de cet indice.

Les points de minéralisation d'étain sont liés en général aux plutons jeunes et à leur cortège filonien. Pour le tungstène, deux points minéralisés sont relevés au N.E de la feuille dans le domaine gneissique.

L'or est lié aux filons quartzeux ; il est généralement accompagné par la galène - pyrite - chalcopryrite. Les filons quartzeux sont fortement redressés, simples ou ramifiés, isolés ou constituants des champs (ex: champ filonien de TEKOUYAT). Une grande proportion des filons aurifères paraît liée au développement de roches basiques cataclasées, et est localisée au voisinage de grandes failles méridiennes et des failles NORD-EST (N.E.) SUD-OUEST (M. Bellal, 1991)

La compilation des données antérieures montre que l'or est essentiellement lié au Protérozoïque supérieur, dans le Rameau Central de la chaîne Pharusienne.

4. Géologie de la feuille In Ecker et Garet El Djnoun.

4.1. Introduction

La région de l'étude est située au centre du Hoggar-Nord, elle fait partie de l'anticlinorium du Hoggar centre, composé par les roches magmatiques et antécambriennes. Dans sa partie axiale on voit une chaîne montagneuse Téfédest, difficilement accessible, à l'Ouest de laquelle est située une plaine aux chapelets et adrars isolés, peu élevés.

Les côtes absolues de Téfédest atteignent 2336 m tandis que les dénivellations sont de 700- 800 m, les côtes absolues des chapelets et adrars isolés sont de 1300- 15000 m avec les dénivellations de 200- 400 m au Nord-Est de la région il existe une chaîne montagneuse Egéré, au Nord; les plateaux tassiliens (adrarAhelkane, au Sud-Est de la feuille Garet El Djenoun on note un grand plateau de basaltes avec plusieurs chapelets volcaniques sous forme conique. Parmi les grands ergs on peut citer : Erg Aneblerkka (feuille In Eker), erg Tachchimt (feuille Erg El Djenoun), erg Amguid et Guidi (feuille Amguid).

4.2. Stratigraphie

Parmi les séries stratifiées il existe des assises protérozoïques moyennes et inférieures du Suggarien, les basaltes quaternaires et les terrains meubles.

4.2.1. Protérozoïque inférieur et moyen

Suggarien : Le Suggarien est représenté dans sa partie inférieure par la série Arechchoum. Selon sa composition litho-pétrographique cette série est subdivisée en assise supérieure et inférieure.

L'assise inférieure : Elle est largement développée dans la région étudiée. Ses affleurements sont observés sur la feuille In Eker et ils s'associent essentiellement aux régions aplanies de Téfédest ; ils sont moins développés sur la feuille Garet El Djenoun.

Les granito-gneiss (migmatites), comportant les corps rares de dimensions différentes et faiblement granitisés : Gneiss, amphibolites, scarns et cipolins à scarns, prédominent dans la partie inférieure.

Les granito-gneiss biotitiques à grains fins et moyens sont massifs et stratifiés. Ils représentent probablement les produits de granitisation des paragneiss et passent graduellement aux gneiss biotitiques de l'assise supérieure d'une part, et aux granites à biotite anatectiques d'autre part. La puissance visible de l'assise est de 3000 m.

L'assise supérieure : Est moins développée par rapport à celle inférieure. Le plus largement est répandu au Nord de la région étudiée, dans le bassin de l'oued Bénéléré et sur sa ligne de partage des eaux avec l'oued Irharhar. Les gneiss migmatisés, formant de grands lambeaux au sein de granites Téfédést se rapportent sous condition à l'assise supérieure. La composition de l'assise supérieure est gneissique de préférence. Les gneiss biotitiques, à amphibole, à pyroxène, de scarns et de cipolins à scarn.

4.2.2. Système Quaternaire

Basaltes: Les lambeaux de la couverture basaltique sont préservés de l'érosion au Nord de la région sur la rive gauche de l'oued Irharhar et sur les lignes de partage des eaux avec les confluent droits de l'oued Bénéléré. Les basaltes reposent horizontalement sur la surface aplanie du socle antécambrien.

Ce sont les roches massives ou poreuses homogènes avec la puissance de 1- 2 à 15-20 m. les rares centres volcaniques, représentés par les collines coniques de scorie, de bombes et de lapillis sont observés dans la vallée de l'oued Irharhar au sein des basaltes.

Terrains meubles : Ces terrains sont développés assez largement dans la région. Ils tapissent les vallées des oueds, les plaines et les affaissements intra-montagneux.

Les dépôts appartiennent aux types génétiques différents : éolien, torrentiel, éluvial et alluvionnaire. Les dépôts sableux de genèse mixte avec la prédominance de ceux torrentiels sont les plus répandus dans la région.

4.3. MAGMATISME

La grande partie du territoire est occupé par les granites suggariens. Il y a un petit affleurement de serpentinites, situé à l'extrême Sud-est de la région. Deux massifs se rapportent au Pharusien : Taourirt Tan Affela et un petit affleurement des granites dans le bassin de l'oued Tim-mersou. Les champs filoniens sont largement présentés dans la région.

4.3.1. Formations magmatiques du Suggarien

Les granites du Suggarien forment la ceinture montagneuse Téféddest; ainsi que les adrars isolés à l'Ouest de Téféddest (Imedra, Idjerioulene, Issek-N-Tieelaine, Issek-N-Terdi, Tidikmar, Tazoune et autres).

Ces granites constituent des corps aux paramètres différents. Leur texture, structure et composition sont hétérogènes et ils passent graduellement dans les roches encaissantes, s'accompagne des champs de migmatites et des granito-gneiss et comportent les roches métamorphiques. Dans les dernières il existe souvent de petits affleurements de « in situ » qui se seraient mis en place lors de la fusion des gneiss.

Au sein de ces granites, il se trouve deux faciès : faciès des roches où prédominent la structure massive et l'autre.

La composition des granites est assez stable : microcline 40%, plagioclase et quartz 52%, biotite 8%, minéraux miniers. Ce n'est que la proportion de ces minéraux qui varie.

4.3.2. Formations magmatiques pharusiennes

Les granites intrusifs de l'adrrar Tan-Affella, situés au Sud-Ouest de la feuille In Eker, se rapportent aux formations magmatiques du Pharusien. Un petit corps (0.5x0.5 km) de granites tantalifères métamorphisés, situés sur la rive gauche de l'oued Ti-N- Mersou est reporté sous condition à ces formations.

Le massif Tan-Affella a dans le plan, une forme ellipsoïde aux paramètres 6 x 8 km. Les contacts avec les roches encaissantes sont brusques et nets.

Les granites sont gris, clairs-gris, gris rosâtre, biotitiques, à grains gros et moyens massifs.

4.3.3. Roches filoniennes

Une série de roches filoniennes est largement répandue dans la région de l'étude. Ce sont surtout : aplites, aprite à pegmatite et pegmatite accompagnant les granites et développées essentiellement en exocontact, au sein des dépôts métamorphiques. Les puissances des filons du groupe donné varient de quelques centimètres à 3-5 m, l'extension de 1-2 m à quelques de mètres.

Les dykes de roches plus basiques : dacites, andésites, porphyrites sont rencontrés considérablement moins souvent. Dans l'adrar Imerda et au SW on note les dykes des granites à porphyres. Ils sont orientés au NE. Leur puissance est de 5-6 m. ce qui est caractéristique, c'est leurs teneurs élevées en Sn, Be, Li, Nb par rapport à celles des roches encaissantes. Il est à noter aussi les filons de quartz dans la région constituent rarement les champs filoniens de quartz plus au Nord de l'adrar Idjerioualen. La puissance des gonflements est de 3-5 m. ces filons sont orientés au NNE en majorité. Mais il n'est pas exclu non plus la direction subméridienne et parfois sublatitudinale

4.4. TECTONIQUE

La région de l'étude au 1/200 000 occupe le centre et l'Ouest de la zone structurale Téfédést, qui fait la partie intégrante de l'anticlinorium du centre-Hoggar. De l'Ouest cette zone est limitée par la faille 4°50', de l'Est par celle passant par l'oued Irharhar. 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

complique l'étude d'anciennes structures plissées. L'analyse de certains reliefs montre que les plis de la série Arechchoum sont relativement simples, linéaires, larges, allongés, compliqués par le plissement du degré plus haut. Les plis sont orientés au NW, au NE et au Nord. Au Nord de la région on note une structure en dôme dit Bénéléré. Sa position se restitue bien sur les photos aériennes par les affleurements lenticulaires de cipolins et de scarns, formant dans le plan une structure semi-annulaire, dont le diamètre est de 20 km. Au Nord, sur la rive gauche de l'oued Taghmert, on observe les traces d'une autre structure analogue.

Les failles sont largement développées dans la région. Elles se différencient par l'âge, les dimensions, l'orientation, et le rôle qu'elles jouent dans la région. La direction prédominante : subméridienne, Nord-Ouest et Nord-Est. La plus grande faille, divisant deux zones structurales, passe le long de la vallée de l'oued Irharhar. Dans son ensemble c'est un système de failles jointes, qui s'accompagne par les zones de cataclase et de mylonitisation. Dans les limites de la région étudiée, la faille est recouverte par les sables de l'oued Irharhar.

Au Sud-Ouest de la région on observe la faille régionale, orientée au NW. A proximité de la faille, les roches sont cataclastiques et mylonitisées et renferment les filons et filonnets de quartz. Dans la partie axiale de la zone, coïncidant avec une longue crête, haut de 40- 50 m. apparaissent les phyllites noires, grises-foncées et grises verdâtres, schistes à silice et à argiles, corps stratiformes de rhyolites. Il est fort probable qu'il y ait un graben étroit sous forme d'un cigare, constitué des roches métamorphiques du Pharusien.

La faille majeure $5^{\circ}30'$ coïncide presque entièrement avec la limite est de la région étudiée. Cette faille coupe sous l'angle aigu les structures plissées de roches métamorphiques et les massifs granitiques de la crête Téfédést. Elle est représentée par la zone de mylonitisation, qui s'accompagne par les zones fortement silicifiées et les filons de quartz. Le rejet de la faille fait la limite de Téfédést dans la région de l'adrar, Garet-El-Djenoun. Le rejet est orienté NE et incliné de $30-40^{\circ}$ vers le Sud-Est. Les granites de Téfédést chevauchent par cette faille, l'assise métamorphique du Suggarien. Dans la zone de faille (large

de 1-2 km) les granites et les roches métamorphiques sont cataclastiques et mylonitisées.

Une large zone faillée coupe du Sud-Est au Nord-Ouest la partie centrale de la région, et passe loin au-delà de ses limites. La vallée de l'oued InTakouffé s'associe au Nord-est de cette zone. La limite SW de cette zone est confuse, c'est pourquoi sa largeur peut atteindre sous condition 05- 20 km. En amont de l'oued In Takouffé. Cette large bande présente une série de failles subparallèles et de petites et grandes fissures NordOuest, remplis par le quartz, les pegmatites, les aplites, les zones de silicification, de greisénisation, de feldspatisation, d'épidotisation, de muscovitisation et d'albitisation. Les anomalies géochimiques, les points de minéralisation et les indices de Ta, Nb, W, Mo, Bi et Ag sont liés aux roches métamorphisées hydrothermales de la faille régionale In Takouffé.

Les failles régionales s'accompagnent de deux côtés des failles du degré plus haut, à l'issue de quoi il s'est mis en place un réseau dense de failles dans le socle précambrien.

4.5. MINERALISATION

A l'issue des recherches systématiques, menées sur les feuilles d'In Eker, de Garet El Djenoun et d'Amguid il a été mis en évidence les indices de Ta, Nb, Sn, W, Li, Ce, La, Au, Pb, Zn, Mo, Bi et autres métaux, ainsi que les indices métallifères utiles ont été divisés en trois catégories suivantes : Indices minéralisés, Points de minéralisation, et Anomalies géochimiques.

4.5.1. Tantale et niobium

Les indices de Ta et de Nb sont d'habitude complexes. En tout il a été révélé trois indices minéralisés, 11 points de minéralisation et 42 anomalies locales de Ta et de Nb, dont 1 point de minéralisation et 30 anomalies locales sont uniquement niobifères. De même il a été localisé une auréole géochimique de dispersion de Nb.

Les indices les plus intéressants de Nb et Ta se localisent au sein des granites muscovitisés et albitisés fortement métamorphisés. Le

métamorphisme est accompagné par la minéralisation de Ta, de Nb et de Sn et lié avec la mise en place des granites pharusiens de types Taourirts. Les roches métamorphiques forment les corps irréguliers sous forme de manteau et ce dans les parties apicales des intrusions pharusiennes, ou à la périphérie des massifs granitiques du Suggarien. Les granites muscovitisés et albitisés se rencontrent aussi sous forme des zones et de filons, puissants de quelques mètres et long de 100 m et plus fortement par endroit de petits champs filoniens dans les roches métamorphiques et les granites faiblement modifiés du Suggarien.

L'indice de Ta le plus important dans la région, situé à 40 km au NW de la base In Eker, entre les routes, reliant Arak et Amguid (oued Timmersou) est lié aux granites transformés.

L'analyse minéralogique des granites modifiés a montré que la minéralisation tantalifère, niobifère est représentée par la tantalite, la columbite et la cassitérite.

Un groupe considérable d'indice de Ta et Nb est lié aux filons de pegmatites, des pegmatites à aplites, des aplites et des granites à aplites constituent des formations filoniennes qui sont largement développées au sein des granites et des roches métamorphiques du Suggarien. Ils sont surtout en abondance dans les zones d'exocontact de grands massifs granitiques, où se forment les champs filoniens aux paramètres de quelques kilomètres de diamètre.

Ils sont saturés d'un grand nombre de filons (10-20% du volume général des roches). L'indice des niobo-tantalates, les points minéralisés et les anomalies locales de ces métaux sont liés aux formations filoniennes de ce groupe. La plus part des points et d'anomalies minéralisés se localisent dans la bande de la direction NW, large de 30 km et longue de 120 km traversant la feuille d'In Eker à partir des amonts de l'oued Dehine et de l'adras In Akouimou jusqu'au massif des granites suggariens Tidikmar. Le grenat et la magnétite des pegmatites ne sont pas homogènes. On observe dans le grenat de petites intercalations de magnétite, de titane à magnétite, de biotite, de quartz, de muscovite. Parfois on rencontre les minéraux de Ta, Nb ou de U, Y

tant dans le grenat que dans la magnétite. Les autres roches (filons de quartz, granites, gneiss, quartzites, granitogneiss, schistes quartzeux à micas, dykes de porphirites) ont présenté en tout 12 anomalies locales de Ta et de Nb, dont 4 sont liées sur filons de quartz.

Les minéraux de Ta et de Nb n'ont pas été localisés lors de l'échantillonnage à la batée des terrains meubles. Nous avons localisé une auréole géochimique de dispersion de Nb, se trouvant ensemble avec W, Sn, Li et autres métaux. Cette auréole est située sur la rive gauche de l'oued In-Takouffé. La superficie de l'auréole est de 50 km². Du point de vue géologique elle est constituée essentiellement par des granites du Suggarien, contenant les filons de quartz et des terrains de greisénisation, de muscovitisation et d'albitisation. Dans les limites de cette auréole nous avons mis en évidence les points de minéralisation de Ta et de Nb prélevés dans les granites, rarement dans les filons de quartz, les greisens, et les scarns, la teneur anormale en Nb (0.003- 0.007%) a été signalée dans 25 échantillons.

4.5.2. Etain

Lors de nos travaux nous avons mis en évidence 2 indices minéralisés, 1 point de minéralisation, 31 anomalies locales, 5 auréoles géochimiques de dispersion régionale et 6 anomalies stannifères, situées dans les indices d'autres métaux.

Les indices stannifères, liés aux greisens, aux filons de quartz et aux scarns sont les plus importants.

Les zones filoniennes de greisens, portant la minéralisation stannifère, tantalifère sont développées parmi les gneiss, à proximité du contact de l'intrusion des granites muscovitisé (chantier Ti-m-Mersou). Les 8 zones de greisens, les plus importantes, longues de 100- 400 m et larges de 10- 20 m, ont été échantillonnées à travers les structures avec l'intervalle de 2 m. En tout il a été prélevé dans les greisens 132 échantillons, dont 115 ont une teneur en Sn 0.01- 0.07% et 12 échantillons. Les anomalies locales de 0.02- 0.06 % en Sn, y compris 3 anomalies avec 0.03- 0.06 % en Sn sont liées aux indices d'autres métaux.

L'indice de Sn et d'autres métaux, situé sur la rive droite de l'oued Irharhar dans la partie Sud de la feuille de Garet- el-Djenoun est lié au quartz. C'est une grande zone béchique et silicifiée, puissante de 3- 4 à 50- 70 m dans les gonflements et longue de 0.9 km. Elle porte la minéralisation sulfurée. Suivant l'extension de la zone nous avons prélevé 10 échantillons au choix, l'une desquels à donner 0.15 % de Sn. Les filons de quartz du chantier Ti- m- Mersou ont signalé la teneur en Sn 0.3 %.

Un point de minéralisation et 3 anomalies locales stannifères sont liés aux scarns. Un point de minéralisation est situé au SW de la feuille de Garet el Djenoun, et notamment au Nord de la structure annulaire Bénéléré. C'est une lentille de scarns fortement ferrugineuse de 15x15 m à la dissémination fine de grands cristaux (1 cm) de magnétite. Les roches encaissantes sont représentées par les gneiss silicifiés. Un échantillon au choix, prélevé dans les scarns a donné 0.1 % de Sn et 0.1 % de W.

La minéralisation stannifère, mise en évidence dans les granites muscovitisés et albitisés (chantier Ti-m-Mersou) se localise ensemble avec celle niobo-tantalifère. Sur 123 échantillons, prélevés dans les granites modifiés, l'étain a été trouvé dans 117 échantillons avec la teneur de 0.005- 0.05 %. En ce qui concerne les autres chantiers nous avons localisé dans les granites muscovities et albitisés 4 anomalies locales à teneur en Sn de 0.01- 0.05 %, dont une anomalie à teneur de 0.05 % se reporter au point de minéralisation de Li.

4.5.3. Wolfram

Les indices wolframifères les plus importants sont liés aux scarns, aux filons de quartz et aux greisens. L'indice de W de Bénéléré, les points de minéralisation et les 4 anomalies locales sont liés aux scarns.

L'indice situé au Sud-Ouest de la feuille de Garet el Djenoun, notamment à l'Ouest de la structure annulaire de Bénéléré. Ici, sur la superficie de 250 x 1000 m, au sein d'une assise de gneiss, d'amphibolites et de cipolins interstratifiés, il a été localisé les lentilles et les couches de scarns, portant la scheelite. La puissance des couches de scarns varie de 0.5- 0.8 m à 1.5- 2 m

avec la longueur de 50- 80 m, à 150 m. La quantité de scarns ne dépasse pas 20- 30 % du volume des roches interstratifiées. L'indice de scheelite est réparti dans les scarns irréguliers sous forme de petits nids sur 91 échantillons, prélevés dans les scarns, 42 se sont avérés stériles, 38 ont signalés 0.0001- 0.01 % de W, 2 échantillons ont donné plus de 1 %. Ce chantier et les terrains limitrophes, situés au Nord-Ouest, au Nord et au Sud-Ouest de la structure annulaire Bénéléré étaient bien étudiés par les géologues français.

Les points de minéralisation situés au Sud de la feuille de Garet el Djenoun, représentent de petits bancs isolés de scarns, longs de 30 m, à teneur en W de 0.1 % (quelques échantillons).

Le point de minéralisation situé sur la rive de l'Oued In Takouffé représente aussi une petite lentille de scarns à teneurs en W de plus de 1 %. La teneur des 4 anomalies locales, liées aux scarns atteint 0.01- 0.05 %. Les points de minéralisation wolframifères observés à l'Ouest de la feuille d'In Eker sont de petits filons de quartz isolés à teneur en W de 0.07- 0.7 %. Le plus grand filon s'allonge sur plus de 100 m, sa puissance est de 0.5- 1.0 m, la teneur en W est de 0.07 %. Les 6 anomalies locales, liées aux filons de quartz ont signalé la teneur en W de 0.015- 0.07 %.

Les points de minéralisation localisés en exocontact du massif granitique Imerda (quart SW de la feuille d'In Eker) s'associent au greisens, dont la teneur en W est de 0.1 %. Le point le plus intéressant, sous forme d'une lentille de greisen se localise dans la zone silicifiée et greisenisée et s'allonge sur plus de 2 km avec la puissance de 0.5 m. Cette zone est recommandée pour l'échantillonnage supplémentaire. De même, il a été mis en évidence dans les greisens 2 anomalies locales à teneur en W de 0.05 %, dont l'une de ces deux est liée au point de minéralisation de Nb.

L'échantillonnage à la battée a montré la contamination générale des terrains meubles de la région par la scheelite, sur le fond de laquelle il n'était pas possible de localiser les auréoles en contrastes de dispersion des minéraux de wolfram.

4.5.4. Lithium

Il a été mis en évidence 1 indice minéralisé, le point de minéralisation, 17 anomalies locales et 3 auréoles géochimiques régionales de lithium. Les indices les plus importants de ce métal sont liés aux greisens dans lesquels le lithium se trouve de préférence dans le mica. La teneur en Li dans les greisens atteint d'habitude 0.5- 1.0 %. La teneur élevée en Li dans les greisens est accompagnée souvent par les métaux suivants : Ta, Sn, W. Les indices minéralisés en Li découverts n'ont pas de valeur importante.

En même temps la minéralisation en Li peut être considérée comme guide de recherche important, montrant les processus de greisenisation, auxquels peuvent être liés à leur tour, les indices de Ta, de Sn et de W. De ce point de vue il est à noter que la plupart des points à teneur anormale en Li s'associent au NW de la feuille d'In Eker, notamment à la zone tectonique de l'oued In Takouffé. Dans cette même zone nous avons observé toutes les trois auréoles de celles géochimiques découvertes, portant la minéralisation de Li, dont la superficie est de 200 km². Ce sont les auréoles dont la caractéristique est donnée dans le catalogue des gîtes minéraux.

4.5.5. Cérium et lanthane

Lors de nos travaux nous avons révélé 2 points de minéralisation, 11 anomalies locales de Ce et de La. Le point le plus intéressant est situé au NE de la feuille d'In Eker, sur la rive droite de l'oued Irharhar. La minéralisation est liée à l'assise des roches quartzo-feldspatiques et quartz-amphibole-feldspathiques à grains fins. La puissance est de 150 m. Les minéraux accessoires sont présentés par le sphène, l'apatite, le zircon, l'orthite, le grenat, les niobo-tantalates.

Les anomalies locales de Ce et de La sont liées aux roches feldspathisées, épidotisées et silicifiées, dont la teneur en La et Ce atteint 0.1- 0.5 %. Deux anomalies à teneur en La et Ce (0.15- 0.5 %) sont rencontrées dans les granites, les gneiss à biotite et à amphibole et dykes des diorites.

4.5.6. Or (Au)

Il a été localisé 1 indice minéralisé, 4 points de minéralisation, 50 anomalies locales et 9 anomalies aurifères dans les indices d'autres métaux. Les indices aurifères les plus importants sont liés aux filons de quartz et aux brèches silicifiées, portant la minéralisation sulfurée. Les filons de quartz à la minéralisation sulfurée sont assez nombreux, mais d'habitude ils sont isolés en formant un réseau rare dans les gneiss et les granito-gneiss du suggarien, rarement dans les granites suggarien.

La minéralisation métallique est représentée d'habitude de chalcopryrite et de pyrite, rarement on note la galène et la schalenblende. Les paramètres de filons de quartz minéralisés ne sont pas grands de préférence (la puissance de 0.5- 1.0 m à 2- 3 m. et la longueur de 20- 30 m à 100- 150m). En général la minéralisation sulfurée est observée sous forme d'une dissémination fine et pauvre, qui se manifeste irrégulièrement dans le filon.

L'or ne se présente pas toujours dans le filon à minéralisation sulfurée. La plupart de ces filons de ce groupe se sont avérés stériles. Les zones bréchiques et silicifiées, portant la minéralisation sulfurée se rencontrent moins souvent, que les filons de quartz minéralisés isolés, mais elles se différencient de ces derniers par les plus grands paramètres. Elles s'allongent souvent sur plus de 1 km, avec la puissance de 5- 10 m à 20- 30 m. dans les gonflements, mais les filons de quartz isolés, ne sont pas toujours aurifères. Un indice aurifère lié au quartz minéralisé situé au NW de la feuille d'In Eker, notamment au SW du massif des granites suggariens Tidikmar, présente le plus grand intérêt. C'est une zone bréchique silicifiée et ferrugineuse, longue de 1 km et puissante de 20 m. cette brèche est couverte par les oxydes de fer noirs et brun foncés et contiennent dans les fissures une dissémination fine et abondante de pyrite. Dans le point de minéralisation situé au NW de la feuille de Garet el Djenoun, nous avons établi la teneur maximum en Au (15 g/ t) dans un petit filon de quartz à la dissémination de chalcopryrite. Le filon, dont la puissance est de 0.4 m, affleure sur 3m.

4.5.7. Cuivre, plomb, zinc

Les indices supro-polymétalliques sont assez répandus dans la région. En tout nous avons mis en évidence 1 indice minéralisé et 22 points de minéralisation et 50 anomalies locales.

Dans la plupart des cas la minéralisation cupro-polymétallique a été localisée dans les filons de quartz et de quartz à feldspath, auxquels sont liés 17 points de minéralisation et 29 anomalies locales.

Des 17 points cupro-polymétalliques liés aux filons de quartz, le point situé au NE de la feuille d'In Eker est le plus important et s'associe à la zone faillée régionale sur la rive droite de l'oued Irharhar. Ici, nous avons localisé une zone de roches bréchiques et silicifiées avec le réseau des filonnets et de petits corps de quartz à la direction subméridienne sur 1.5 km, largeur 50- 70 m et s'accompagne des filons de quartz secondaires, longs de 10- 50 m. Les autres points de minéralisation de ce groupe présentent essentiellement les filons de quartz isolés, puissant de 1- 2 m à 20- 30 m et longs de 20- 60 m à 800- 2500 m. la minéralisation métallifère s'est répartie irrégulièrement et s'observe d'habitude dans de petits terrains enrichis. Des substances utiles, le cuivre est le minéral le plus rencontré à teneur de 0.1- 1.0 % dans tous les points de minéralisations. Plusieurs points de minéralisation ont signalé la teneur anormale en Ag 10- 20 g/t. les filons de quartz ont la teneur élevée en Au de 0.02- 0.07 g/ t, tandis que dans les autres points atteint 1.5- 2 g/t.

Les 29 anomalies locales cupro-polymétalliques ont été mises en évidence dans les filons de quartz. Ce sont les filons de quartz isolés à une dissémination pauvre de chalcoppyrite, de galène et de schalenblende, contenant jusqu'à 0.3 % de Cu, de Pb et de Zn.

La plupart de filons de quartz cupro-polymétalliques découverts sont liés aux trois grandes régions suivantes :

- Bassin de l'oued In Takouffé ;
- Bassin des oueds Bénéléré, Taghmert-n-Akh ;

- Zone faillée régionale, située sur la rive droite de l'oued Irharhar et les terrains limitrophes.

4.5.8. Molybdène

Dans la région il a été révélé 1 indice minéralisé, 16 anomalies locales et 4 auréoles géochimiques de Mo. Toutes les auréoles découvertes et les points à teneur élevée en Mo, sont situés à l'Ouest de la feuille d'In Eker. Souvent la teneur élevée en Mo s'associe aux filons de quartz. Il est très rare que la teneur anormale en Mo, se manifeste dans les greisens, les granites à muscovite, les pegmatites et les quartzites.

Un seul indice minéralisé de la région est situé sur le flanc nord de l'Adrar Idjeroualen, près de la limite occidentale de la feuille d'In Eker. C'est un filon de quartz, puissant de 0.1- 0.4 m et long de 150 m, et se localise parmi les granites du Suggarien. Le quartz renferme une dissémination fine et visible de Mo. Un seul échantillon, prélevé dans ce filon a signalé 0.1 % de Mo, et 0.02 g/t de Au. Aux environs de cet indice nous avons révélé la teneur anormale en Mo (0.01- 0.07 %) dans 7 filons de quartz, situés en endo et exocontact du massif des granites suggariens de l'adrar Idjerioualen. Sur le même chantier il a été localisé 2 auréoles géochimiques de Mo.

Les trois filons de quartz à teneur anormale en Mo (0.05%) ont été mis en évidence dans le champ du développement des granites du suggarien dans la région de l'adrar d'Imerda (Sud du quart NW de la feuille d'In Ecker). Ici, dans la région de minéralisation de Li la teneur anormale en Mo (0.03 %) a été établie dans le filon des pegmatites à muscovite.



CHAPITRE III :

LE SYSTEME

D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE.

1. Introduction.

Définition d'un SIG (Système d'Information Géographique).

Un SIG appelé autrefois SIRS (Système d'Information à Référence Spatiale) est une organisation structurée de ressources permettant d'acquérir les données à référence spatiale, de les conserver, de les traiter et d'en diffuser les résultats.

En d'autres mots, Un SIG est un outil informatique permettant d'effectuer des tâches diverses sur des données à références spatiales.

Le SIG regroupe :

- a) Une problématique (décrire, stocker, comparer, comprendre, communiquer, simuler, etc.).
- b) Du matériel (ordinateurs, périphériques, réseaux, etc.).
- c) Des logiciels (logiciels SIG du marché, développements professionnels spécialisés).
- d) Des données (génériques, spécifiques).
- e) Du savoir-faire du personnel.

- L'information est géographique lorsqu'elle est liée à une localisation dans un système de référence sur la Terre.

L'information géographique a une double composante :

- Une composante graphique :

Description de la forme de l'objet géographique et sa localisation dans un référentiel cartographique

- Une composante attributaire :

Caractéristiques décrivant l'objet (description géométriques, caractéristiques thématiques).

Un SIG est composé de deux éléments essentiels :

- a) Des données permettant de connaître la forme et la localisation dans l'espace de ou des objets observés

- b) Des données alphanumériques permettant de décrire les objets géographiques, d'en connaître des caractéristiques qualitatives et/ou quantitatives

Un SIG répond à 5 fonctionnalités (les 5 A) (Fig :4)

- a) •Abstraction : modélisation de l'information,
- b) •Acquisition : récupérer l'information existante, alimenter le système en données,
- c) •Archivage : stocker les données de façon à les retrouver et les interroger facilement,
- d) •Analyse : réponses aux requêtes, cœur même du SIG,
- e) •Affichage : restitution graphique.

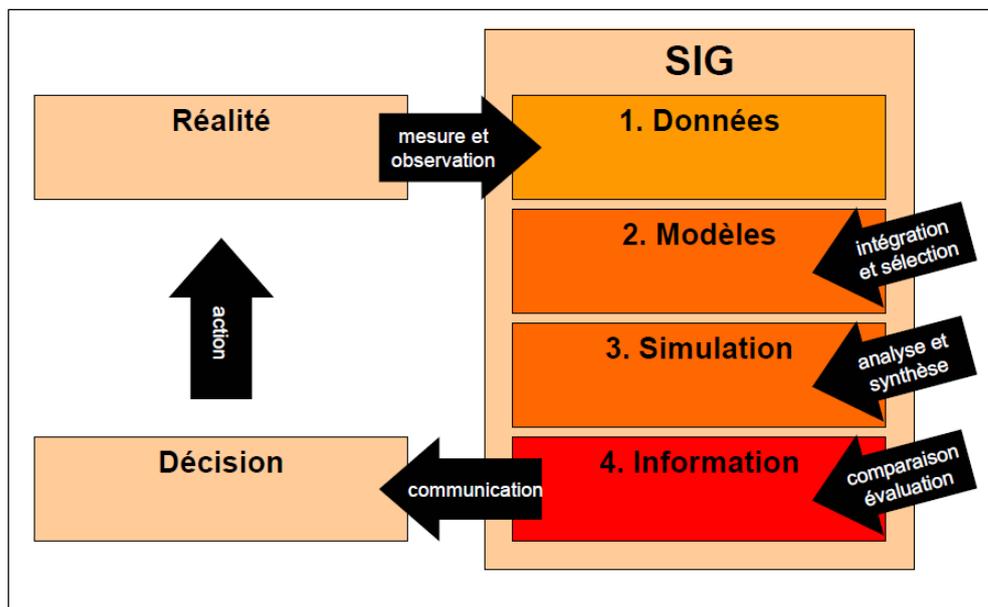


Fig 04 : Le cycle des SIG

2. Le mode de représentation spatiale des données dans un SIG.

2.1. Données raster :

La réalité (Fig :6) est décomposée en une grille régulière et rectangulaire, organisée en lignes et en colonnes, chaque maille de cette grille ayant une intensité de gris ou une couleur (Fig :5). La juxtaposition des points recrée

l'apparence visuelle du plan et de chaque information. Une forêt sera représentée par un ensemble de points d'intensité identique.

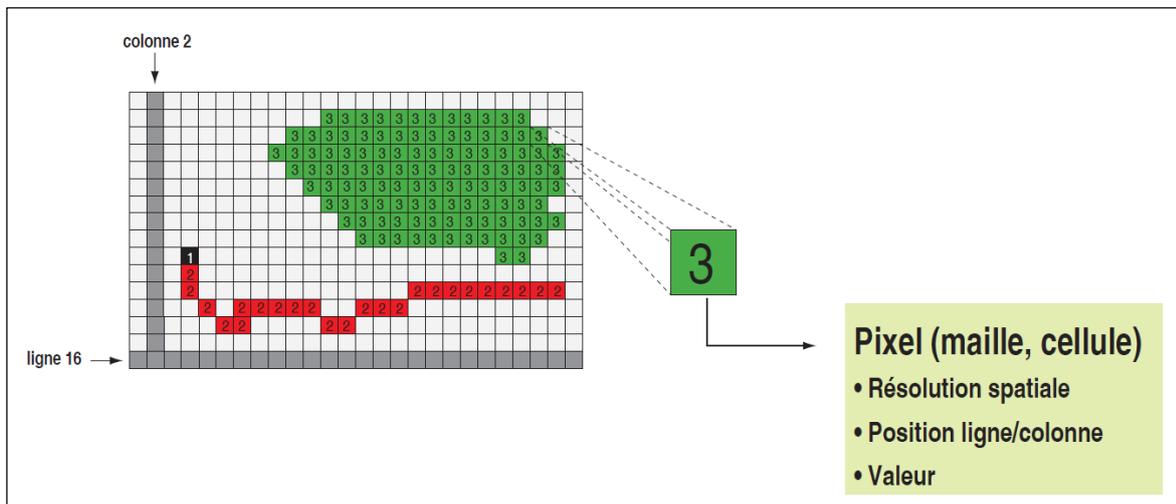


Fig. 05 : Représentation des Pixels dans une image raster.

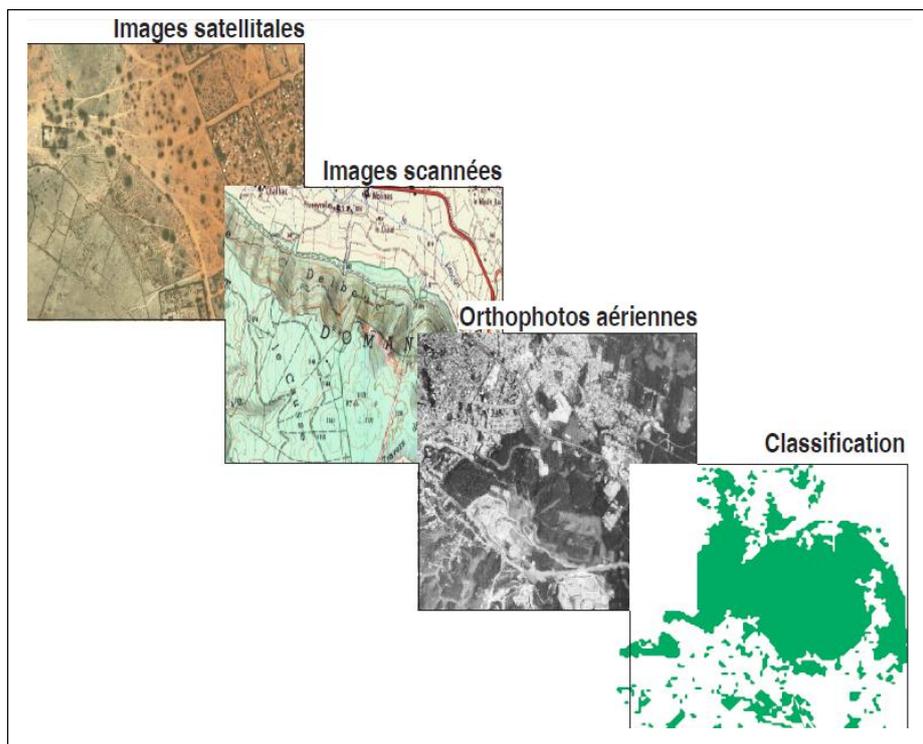


Fig. 06 : Exemples Des Données Raster.

2.2. Les Données vectorielles

Elles contiennent 3 grands types d'objets (Fig:07), avec lesquels on peut représenter tout objet géographique :

- i. Le point
 - ii. La ligne
 - iii. Le polygone
- Exemple de données vectorielles de type point : la localisation des points de prélèvements de la minéralisation.
 - Exemple de donnée vectorielle de type ligne : les failles continues et discontinues, extrait de la carte géologique d'Assekrem.
 - Exemple de donnée vectorielle de type polygone : les contours des formations litho-stratigraphiques, extrait des cartes géologique.

Les couches vectorielles, à l'inverse, permettent d'individualiser chaque objet (point, ligne, polygone) et de lui associer des données.

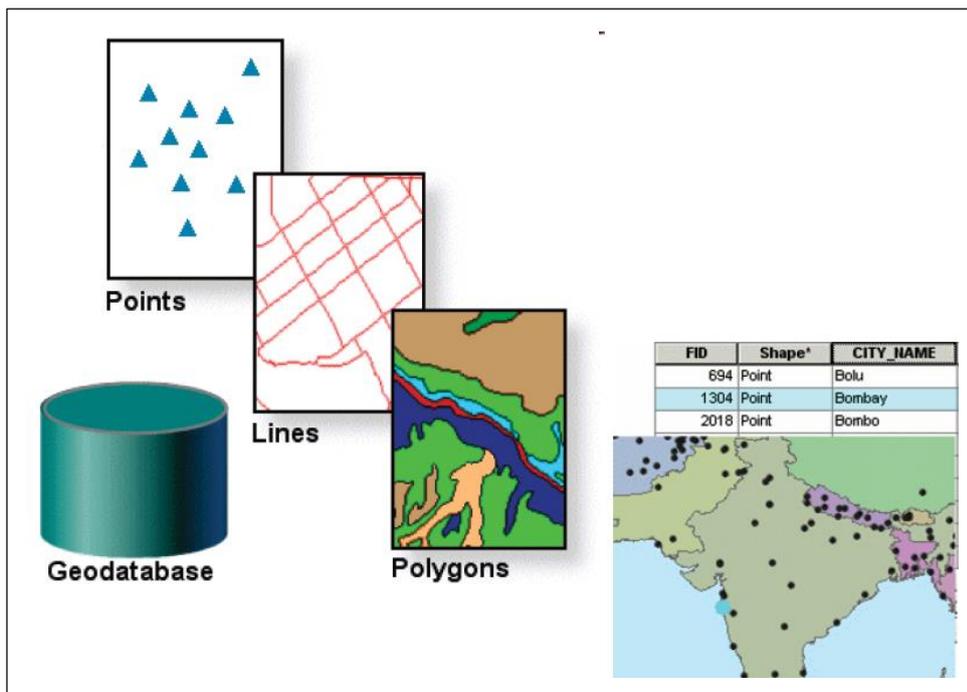


Fig. 7 : Exemples des données vecteurs.

- ☞ Une couche réunit généralement des éléments géographiques de même type.

3. Les domaines d'application.

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

Citons cependant :

- Géologie (prospection minière)
- Hydrologie
- Tourisme (gestion des infrastructures, itinéraires touristiques)
- Marketing (localisation des clients, analyse du site)
- Planification urbaine (voirie, réseaux assainissement)
- Protection civile (gestion et prévention des catastrophes)
- Transport (planification des transports urbains, optimisation d'itinéraires)
- Forêt (cartographie pour aménagement, gestion des coupes et sylviculture)
- Biologie (études du déplacement des populations animales)
- Télécoms (implantation d'antennes pour les téléphones mobiles)

4. Les fonctionnalités des SIG.

4.1. Acquisition des données.

- Levers terrain, topographiques ou GPS
- Scanérisation : de plans, de cartes, de photos aériennes etc., (Fig : 08)

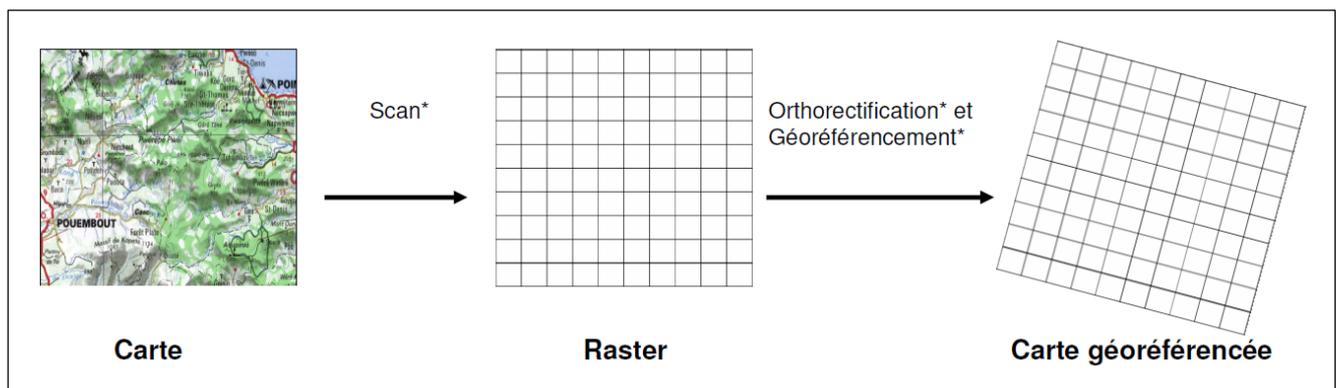


Fig 8 : Scanérisation

- Scanérisation : Conversion des informations analogiques (image) en valeurs numériques (0 et 1) correspondantes, manipulables par ordinateur.

- ii. Géoréférencement : Opération qui consiste à attribuer à une image des coordonnées géographiques (Connues ou selon des repères géographiques) permettant de la positionner dans un système de référence.
- iii. Ortho-rectification : Ensemble de procédés et de traitements mis en œuvre pour corriger les déformations géométriques liées aux conditions de prises de vue, à la rotondité de la Terre et au relief du terrain.

4.2. Digitalisation (vectorisation).

- Import de données :
 - Données graphiques raster ou vecteur et fichiers attributaire
 - Données endogènes ou exogènes (interne au service ou provenant d'autres organismes, administrations, sociétés...)
- Une fois les données acquises et avant de les intégrer dans le système d'information géographique, il faut vérifier leur intégrité ;
 - Pour la composante attributaire :
 - a) Analyser la structure de la table et vérifier sa cohérence,
 - b) Supprimer les doublons,
 - c) Vérifier qu'il ne manque pas d'attribut,
 - d) Vérifier l'orthographe.
 - Pour la composante spatiale :
 - a) Vérifier que le système de coordonnées utilisé soit compatible avec le système source,
 - b) Vérifier la géométrie des objets,
 - c) Vérifier la topologie (relation entre les objets),
 - d) Vérifier par comparaison avec des données de référence.

4.3. Structuration et modélisation des données.

- Décrire le produit attendu : en faisant un état des lieux, en recensant les éléments à modéliser au regard du résultat attendu (Informations,

type d'objet...) sans préjuger de la façon de modéliser, en choisissant la méthode de modélisation appropriée.

- Réaliser les modèles conceptuels, logiques et physiques de données :
 - en s'appuyant sur la méthode choisie,
 - en définissant les relations, les clés, les types de champs, d'objets etc.
- Structurer les données en implémentant le modèle

4.4. Traitement des données.

Visualisation des données : visualisation graphique en fonction des attributs, visualisation sur une zone donnée (opération de zoom) et à une échelle donnée, Rapport entre la mesure d'une longueur effectuée sur la carte et la mesure de la longueur correspondante sur le terrain (pour une échelle au 1/25 000 : 1 cm sur la carte = 250 m sur le terrain) (Antoine. D, 2012)

- Logiciel permettant d'organiser les données par thème, de les trier et d'effectuer des requêtes (Exemples : Excel, Access, Oracle, Etc.)
- Utilisation des outils d'analyse spatiale : quelques exemples :
Croisement de couche : découpage, union, intersection, Etc.
- Opération sur une seule couche : fusion, agrégation...

4.5. Gestion des données :

Les données sont le capital du SIG, il faut :

- i. Bien les ranger : Par projet, par type de données (raster, vecteur, tables...) par version (données de base, données une fois les traitements subis...).
- ii. Les protéger : Mode de stockage stable (ordi, serveur), gestion des droits d'accès, réalisation de sauvegarde, gestion de l'historique...
- iii. Mettre à jour les données : Définir qui réalise ces mises à jour, le rythme des mises à jour, quelles informations intégrer, vérifier leur intégrité...
- iv. Archiver les données : En fin de projet décider de ce que l'on garde, choisir le support...

5. GEOREFERENCEMENT.

5.1. Définition.

C'est un rattachement de données à des coordonnées géographiques, donc une méthode de localisation des objets sur la surface terrestre. C'est une dimension fondamentale de la géomatique. Elle est la base de tout travail avec un outil SIG (Alexandre. H, 2014).

5.2. Première étape: Définition de l'espace de travail.

- Dans la plupart des projets SIG, on procède tout d'abord à un découpage géographique de l'espace, qui délimite la zone d'étude. La première étape est de géoréférencer cet espace, c'est à dire le délimiter précisément par des coordonnées cartographiques (ou géographiques).
- C'est cette conformité qui permettra de superposer des plans de diverses natures. Pour assurer cette superposition, les différentes couches d'informations géographiques doivent avoir le même système de projection.

5.3. Deuxième étape : Le système de projection.

- La Terre est un géoïde (en prenant le niveau moyen des mers), c'est à dire une sphère irrégulière, pour la représenter, il faut donc trouver un modèle mathématique qui corresponde le mieux à la surface topographique de la Terre.
- La surface utilisée est donc un ellipsoïde (dit de révolution), un volume géométrique régulier proche du géoïde.

Afin de représenter cet ellipsoïde sur un plan, on utilise différents systèmes de projections : (conforme de Mercator, équivalente de Lambert, aphyllactique).

5.4. Troisième étape: La projection des données.

- Géoréférencement des images : nécessite souvent une correction géométrique par choix de points d'appui (points d'ancrage). Elle consiste à redresser les images à partir d'une comparaison avec des points remarquables.

- Géoréférencement des vecteurs : les règles définies pour le géoréférencement d'un fichier en mode raster, concernant le nombre de points d'appui et l'homogénéité de leur répartition, valent également pour le géoréférencement d'un fichier en mode vecteur.

6. Les avantages du SIG et des logiciels SIG pour réaliser une analyse spatiale.

- a) Ils permettent un accès simple aux données attributaires, ce qui n'est pas le cas des logiciels de dessin, ni de certains logiciels de cartographie. Les SIG sont à l'inverse inadapté pour réaliser les croquis de synthèse traditionnels des géographes.
- b) Ils permettent facilement de croiser des données issues de couches géographiques et attributaires différentes : finies les analyses avec des couches de papier calque superposées.
- c) Les informations sont stockées de façon claire et définitive
- d) Gérer une multiplicité d'informations attributaires sur des objets
- e) Comprendre les phénomènes, prévoir les risques (simulations)
- f) Etablir des cartographies rapides
- g) Localiser dans l'espace et dans le temps
- h) Réagir rapidement après des évènements ayant un impact sur le territoire
- i) Calculer des coûts ou des bénéfices
- j) Associer un plus grand nombre de partenaires aux choix d'aménagement
- k) Fournir des itinéraires, des plans adaptés

7. La projection cartographique.

7.1. Définition.

- C'est un ensemble de techniques permettant de représenter la surface de la Terre dans son ensemble ou en partie sur la surface plane d'une carte (Huisman. O. et al. 2009)

C'est le système de correspondance entre les points de la surface du globe et ceux de la surface plane de la carte.

- Les procédés de projection sont multiples et sont choisis selon la destination et la fonction de la carte.

7.2. Projections géographiques.

Elle permet de représenter la sphère ou l'ellipsoïde sur une surface qui peut être un plan ou déroulable en un plan (Fig 10).

Mathématiquement : transformation (longitude, latitude) \rightarrow (x, y), (Fig 09).

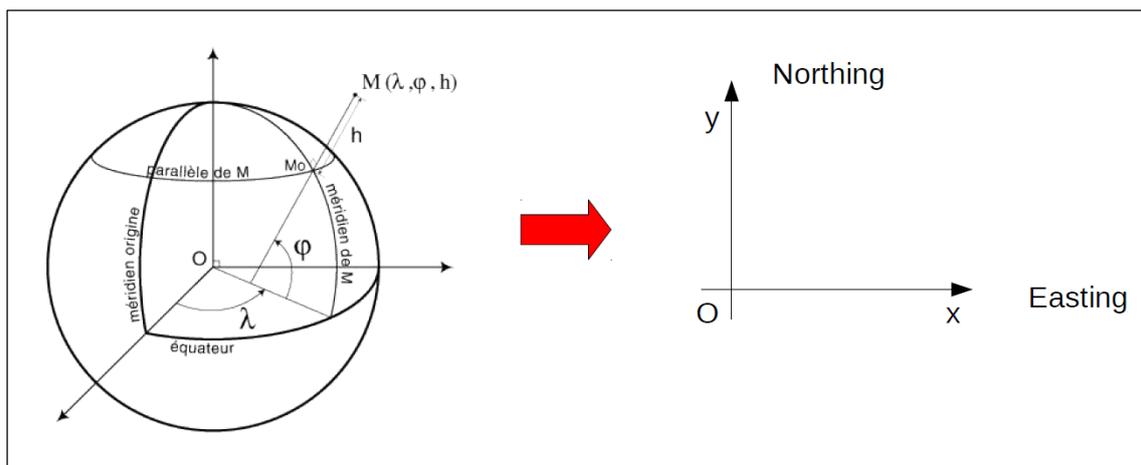


Fig 09 : Passer d'un positionnement à la surface du globe à la localisation sur une carte.

- x et y sont exprimés en mètre par rapport à l'origine.
- Toutes les projections entraînent des déformations visuelles.

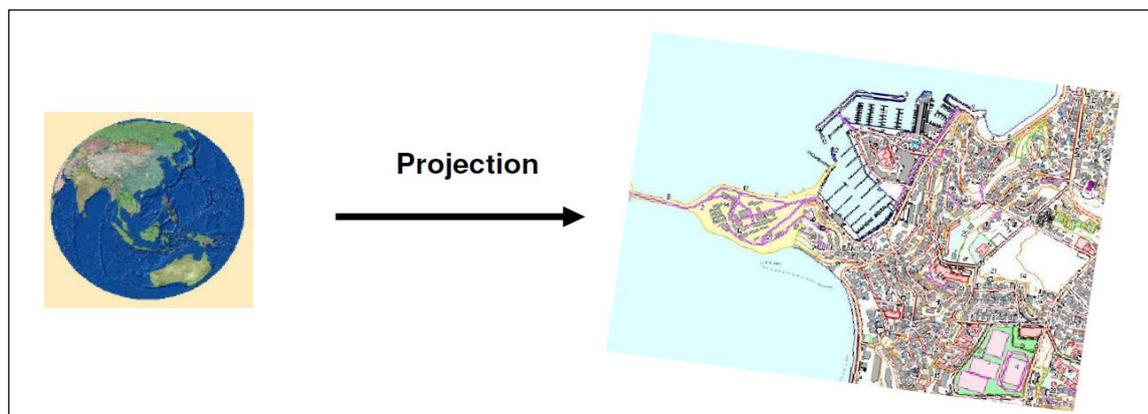


Fig 10 : Présentation de projection schématiquement.

La transformation de coordonnées est une fonction mathématique complexe qui ne permet en aucun cas de conserver les distances.

Il existe donc plusieurs types de projections ayant diverses propriétés :

- Projection **équivalente** : conserve localement les surfaces (Bonne, Peters...)
- Projection **conforme** : conserve localement les angles, donc les formes (Mercator, UTM (Universel Transverse Mercator), Lambert...). Elle est bien adaptée à la cartographie à grande échelle.
- Projection **aphylactique** : elle n'est ni conforme ni équivalente, mais peut être équidistante, c'est-à-dire conserver les distances sur les méridiens.

- Les projections cartographiques se différencient les unes des autres par la façon dont elles gèrent l'altération des propriétés suivantes : surfaces, formes, distances et direction.

Les types de projection présentent toutes des défauts et des avantages. Il faut donc choisir la meilleure en fonction de l'application :

- En fonction de l'étendue de la carte (monde, continent, pays, régions, ...). Plus l'étendue est grande, plus les déformations sont importantes. Mais souvent, on attend des cartes de faible étendue d'être très précises (ex : cadastre).
- En fonction du type de traitement / d'affichage : en statistique : conservation des aires, en navigation : conservation des angles, ...
- En fonction de la région (ex : polaire ou non).
- Pour des raisons légales, historiques, et/ou de disponibilité des informations (ex : cadre européen).

7.3. Différents modes de projection.

- a) La projection cylindrique : on projette l'ellipsoïde sur un cylindre qui l'englobe. Celui-ci peut être tangent au grand cercle ou sécant en deux cercles. Puis on déroule le cylindre pour obtenir la carte (ex : Mercator, UTM...) Elle est souvent utilisée pour les zones proches de l'équateur.
- b) La projection conique : on projette l'ellipsoïde sur un cône tangent à un cercle ou sécant en deux cercles. Puis on déroule le cône pour obtenir la carte (ex : Lambert). Elle est souvent utilisée pour les zones placées au centre des 2 hémisphères (ex : France).

- c) La projection azimutale : on projette l'ellipsoïde sur un plan tangent en un point ou sécant en un cercle.

8. Systèmes de référence géographique.

8.1. Description de système de référence géographique.

Pour repérer une position à la surface de la Terre ou de ses environs :

- a) Utiliser un système cartésien XYZ peu pratique → sauf dans des cas précis.
 - b) Utiliser un système de référence géographique → longitude, latitude.
- XYZ dépend de l'origine.
 - Longitude, latitude dépend de l'origine et de la forme de la sphère ou de l'ellipsoïde.

Pour un système de référence géographique, il faut :

- a) Origine (position par rapport au centre de la Terre) et orientation des axes (axes des pôles et méridien d'origine).
 - b) Un point fondamental à la surface de la terre et l'azimut du nord et le méridien d'origine.
- c) Ellipsoïde décrit par son demi-grand axe et aplatissement.

Un système de coordonnées de référence (acronyme anglais CRS) :

- Le CRS regroupe toutes les informations nécessaires pour projeter des points ou faire une carte.

8.2. Le système Universel Transverse Mercator.

- Un type de projection adaptée aux cartes à grande échelle (fine résolution) : Transverse Mercator
- Les paramètres de la projection (centre) est variable sur le globe pour chaque zone prédéfinie.
- Il y a 20 bandes de latitude (entre 84°N – 80°S) et 60 bandes en longitude (→ 1200 zones).
- la plupart des zones sont régulières.

Quelques exceptions.

-Les coordonnées (x, y) donne la position dans une zone. “y” est en mètre par rapport à l'équateur. “x” par rapport au méridien central de la zone.

-Mais, pour éviter les nombres négatifs, on ajoute un “false easting” de 500000m à x, et si le point est dans l'hémisphère sud un false northing de 10000000 m (10000km).

-Une coordonnée UTM (Fig :11) s'exprime par numéro de la zone – North ou South ou la lettre de la zone et les coordonnées x et y.

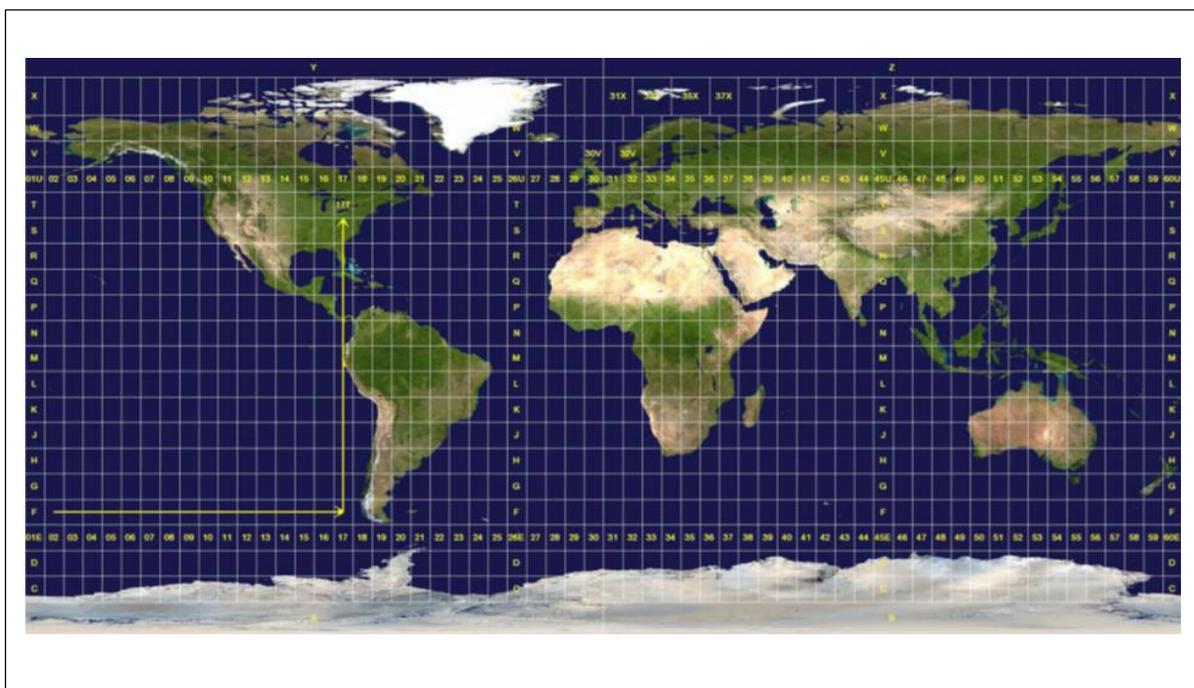


Fig 11 : Cas particuliers et importants de projection, UTM.

9. Exemples des logiciels SIG.

- ArcView, ArcGis et ArcInfo
- MapInfo
- GéoConcept
- Géomédia
- APIC
- ArcReader et ArcExplorer
- GRASS GIS
- GMT

- Quantum GIS
- gvSI

10. Présentation du logiciel ArcGIS.

10.1. Introduction.

Le logiciel ArcGIS permet l'acquisition, le stockage, la mise à jour, la manipulation, et le traitement de données géographiques. De plus, il permet de faire de la cartographie et de l'analyse spatiale de façons précise en fonction de l'échelle désirée (Guerreiro. F, 2012)

ArcGIS est une suite, qui se décline en trois versions (ArcView, ArcEditor et ArcInfo). La différence entre ces versions est le nombre d'options supplémentaires disponibles, ArcView en possédant le moins.

Chacune de ces trois versions de la suite ArcGIS est constitué d'une interface ArcMap et d'une interface ArcCatalog (Accessoirement d'une interface ArcToolBox séparée pour les versions antérieures à la version 9.0).

La version 10 apporte la possibilité de gérer ArcCatalog et ArcToolBox directement depuis l'interface d'ArcMap.

10.2. Présentation de l'interface ArcMap.

ArcMap montre, questionne, édite, créé ou analyse des données, sous forme de tables ou de cartes (Fig : 12). ArcMap facilite la disposition des cartes lors de la mise en page pour l'impression, l'intégration dans d'autres documents et l'édition de documents électroniques.

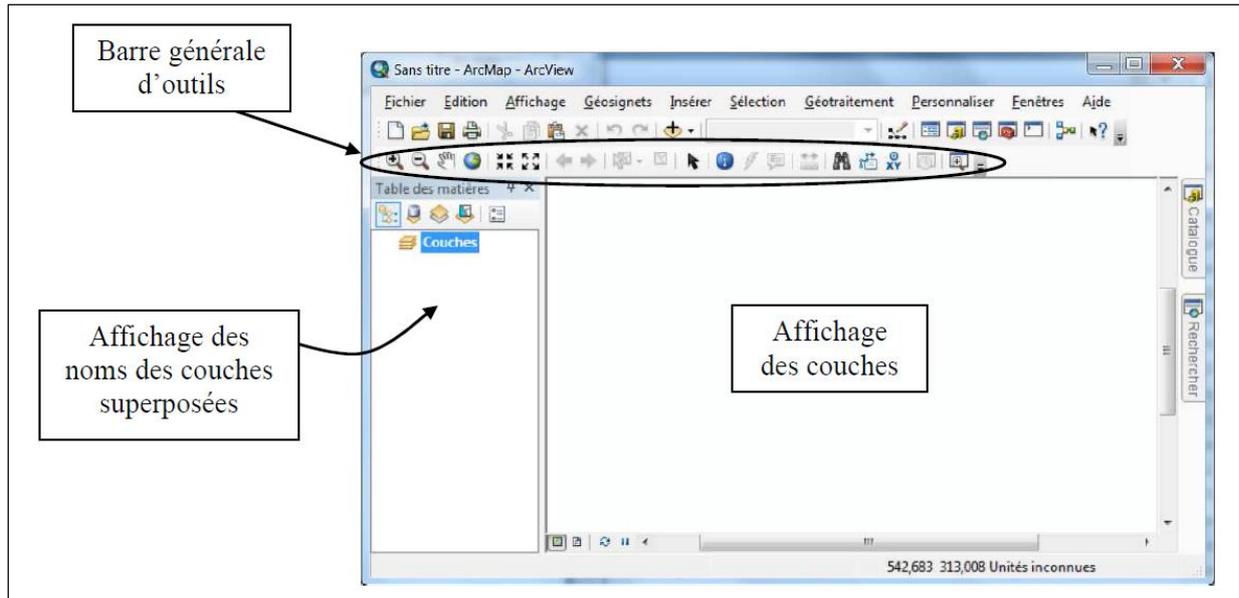


Fig 12 : L'interface d'ArcMap.

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

10.3. Présentation de l'interface ArcCatalog.

ArcCatalog permet de passer en revue, organiser, distribuer et modifier les éléments de propriétés de données géographiques (Fig 13).

L'interface permet d'employer des méthodes graphiques ou textuelles pour passer en revue, contrôler ou modifier l'ensemble des données.

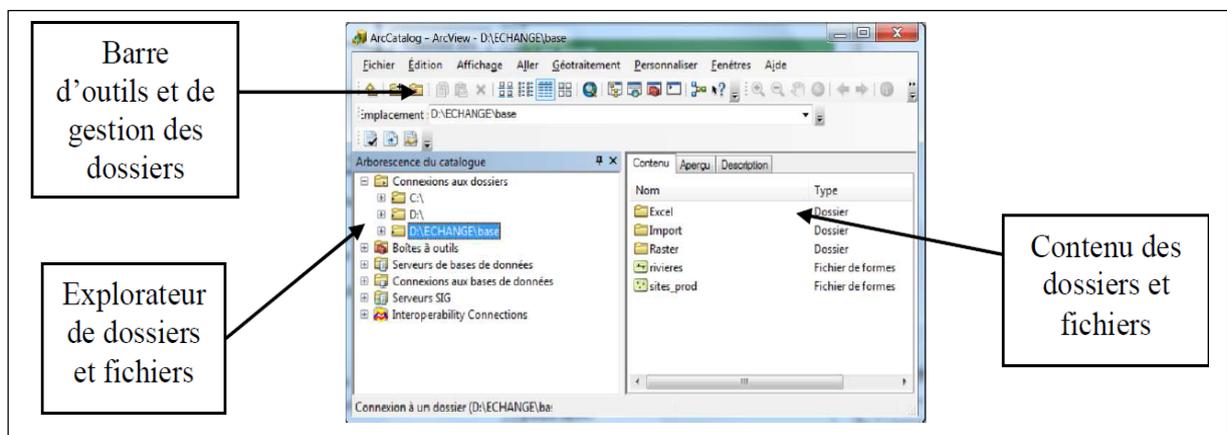


Fig 13 : L'interface d'ArcCatalog.

C'est dans cette interface que l'on exécutera les actions les plus courantes suivantes :

- Créer des nouvelles données (couches ou shape files, géodatabases...) ou supprimer une couche (soit l'ensemble des fichiers correspondants au shape file),
- Attribuer un system de coordonnées lorsqu'il n'est pas reconnu par le logiciel, ou non renseigné,
- Avoir un aperçu géographique ou attributaire d'une couche donnée.

L'interface ArcCatalog est disponible au travers d'ArcMap, ce qui facilite grandement la gestion des fichiers. Cet onglet se charge soit à partir de l'icône dans la barre de standard d'ArcMap, soit à l'aide de l'onglet de la fenêtre.

10.4. ArcToolbox.

ArcToolbox est le module dans ArcGIS 10 qui permet d'accéder à toutes les fonctionnalités puissantes de traitement et d'analyse (Fig : 14)

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

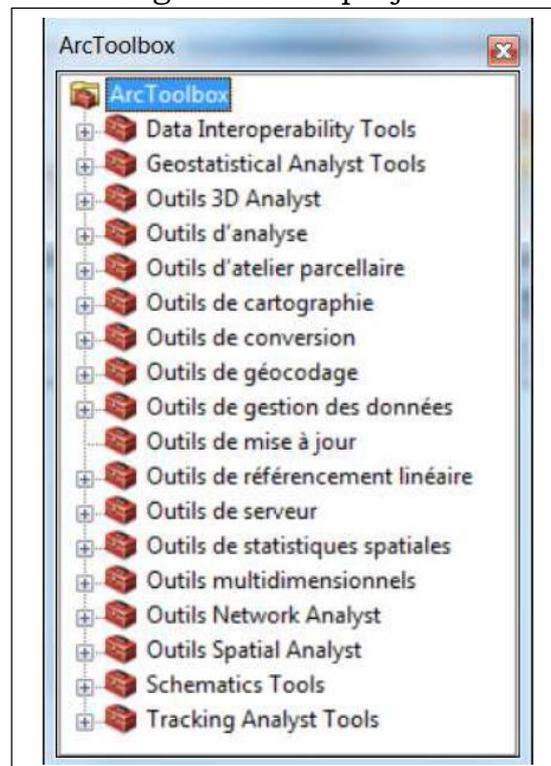


Fig 14 : L'interface de l'ArcToolbox.



CHAPITRE IV :

LE SIG

APPLIQUE A LA REGION

D'ETUDE.

1. INTRODUCTION.

ArcGIS est un logiciel que nous avons utilisé dans ce travail à fin d'atteindre l'objet principal, qui est la cartographie SIG des cartes géologiques de la région d'Iskel Nord. Ce travail a été fait à partir des images des cartes géologiques de l'ORGM numérisées.

La région d'étude (Iskel Nord) est subdivisée en trois parties renferment six cartes géologiques à l'échelle 1/200 000.

En résumé, La méthode consiste à numériser les cartes, puis vectorisation de chaque carte, préparation d'un fichier Excel pour les minéralisations, intégration du fichier Excel dans le logiciel ArcGIS, sa transformation en une couche d'information vectorielle, et finalement impression des cartes géologiques.

2. Les étapes suivies, au début jusqu'au géoréférencement de la carte.

2.1. Insertion de la carte (image raster) vers ArcMap.

Insertion de la carte vers ArcMap, où on effectue le travail principal, se fait d'abord par un passage d'ArcCatalog.

Démarrer ArcCatalog par cliquant son icône, puis à la barre d'outil, cliquer connexion à un dossier (Fig 15), C'est pour se connecter avec le dossier où la carte géologique en format raster est stocké dans l'ordinateur, il s'ouvre une interface qui montre tous les disques dans un ordinateur donc c'est à l'utilisateur de chercher le dossier où il a stocké ses cartes scannées dans son ordinateur (Fig 16).

Connexion à un dossier.

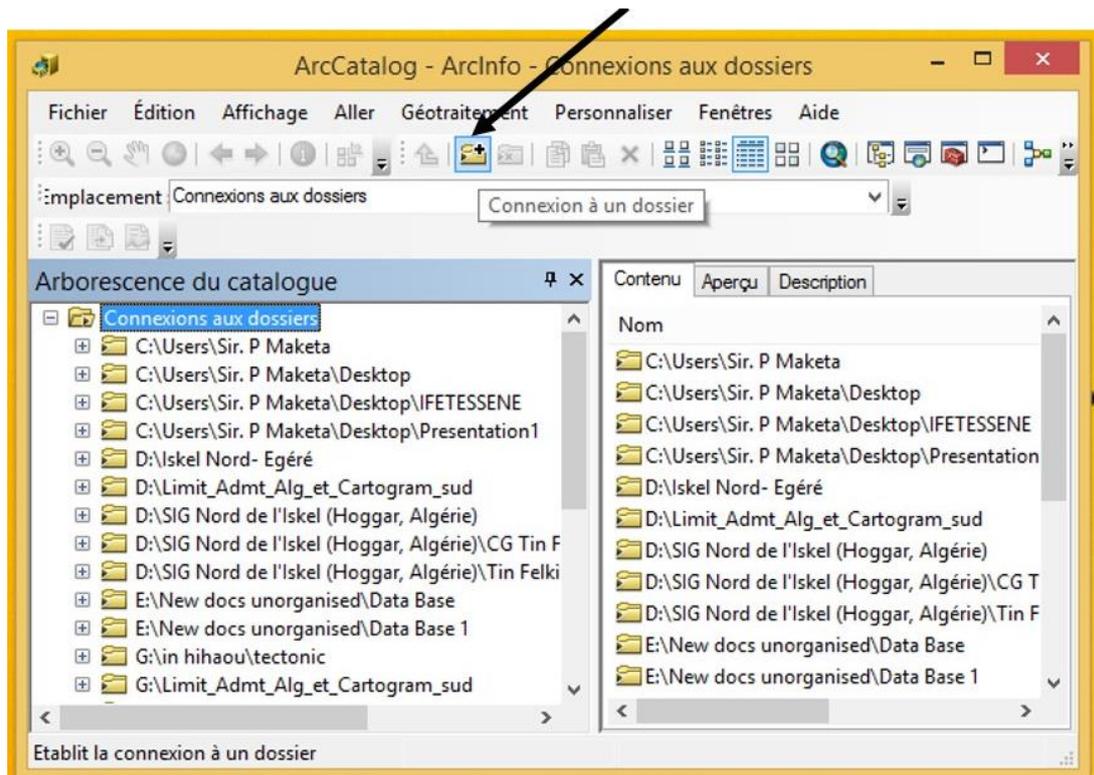


Fig 15 : Une présentation d'interface d'ArcCatalog montrant icône connexion à un dossier.

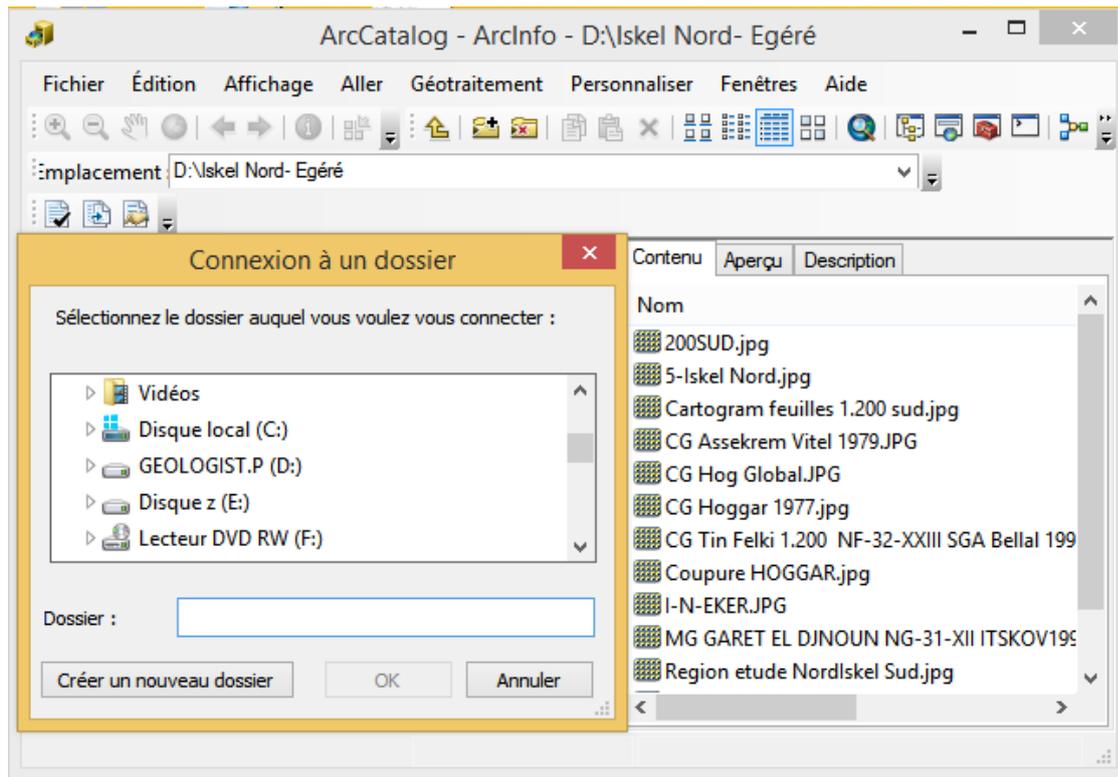


Fig 16 : Interface montrant les disques et les dossiers où l'utilisateur cherche l'emplacement de carte scannée.

Après d'avoir connecté au dossier où est stockée la carte en format image, on procède à l'attribution de la référence spatiale par clique droite de l'image de carte pour obtenir les options puis cliquer Propriétés pour obtenir une interface

Propriétés du jeu de données raster pour mettre la référence spatiale.

2.2. Attribution de La référence spatiale.

Dans l'interface propriétés du jeu de données raster (Fig 17), on modifier le cadre de la référence spatiale et mettre la référence spatiale qui coïncide avec celle de la région étudiée, et aussi construire des Pyramides (Fig 18), malgré que les Pyramide peuvent être construire même après cette étape, au moment de transfert la carte vers ArcMap soit par la méthode de glisser la carte de ArcCatalog vers ArcMap ou bien par un accès direct avec ArcMap.

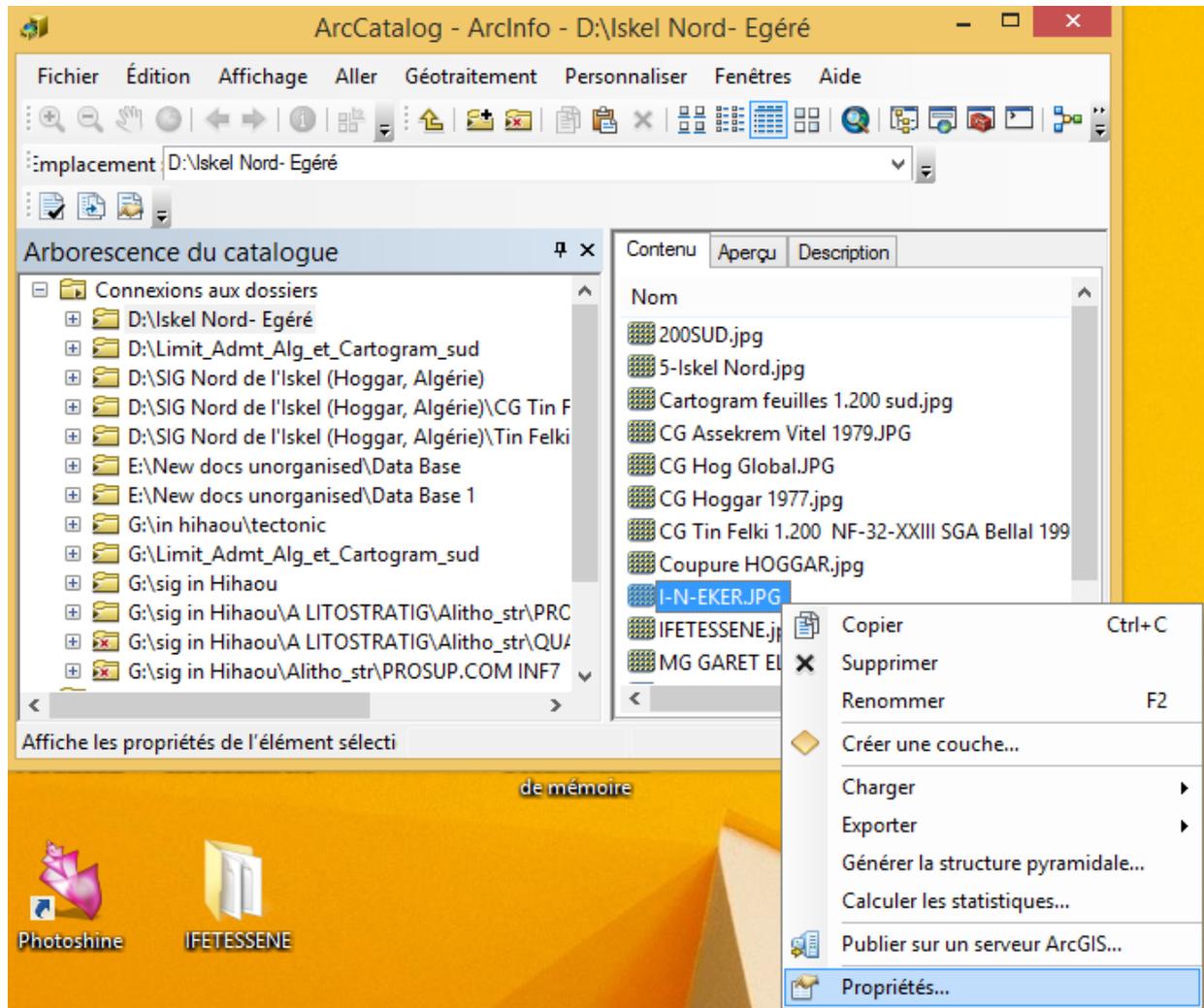


Fig 17 : Montrant le chemin de la carte I-N-EKER vers l'interface *propriétés* du jeu de données raster par un accès de son option *Propriétés*.

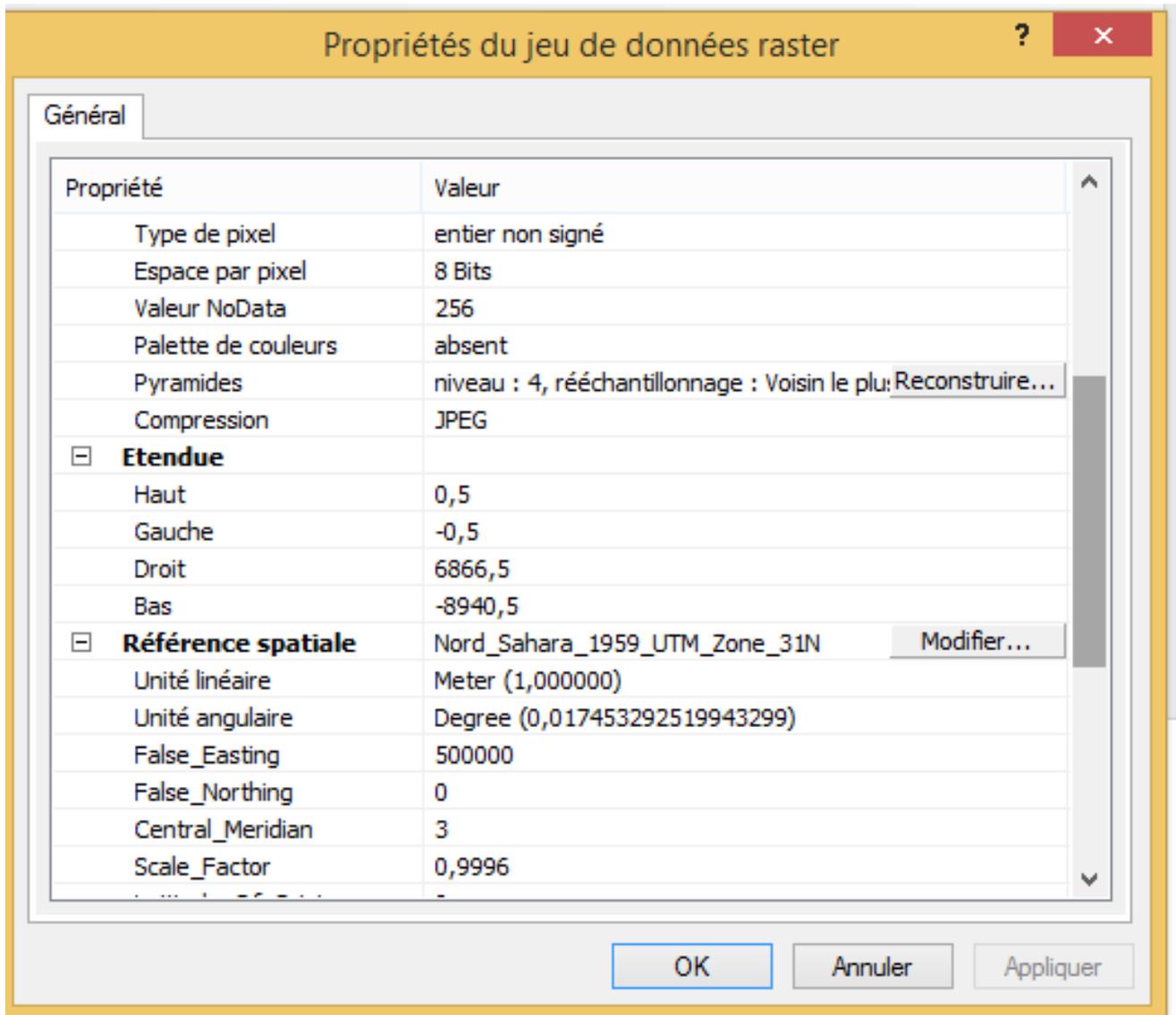


Fig 18 : Modification de la référence spatiale dans un « Propriétés du jeu de données raster ».

La carte géologique I-N-EKER est de la région de Nord Iskel, à la zone 31, donc pour la modification de sa référence spatiale, Après cliquer **Modifier** au Propriétés du jeu de données raster, le chemin suivi est celui :

Modifier → Sélection → Référence spatiale → Projected Coordinate system → UTM → Africa → Nord Sahara 1959 UTM Zone 31N → Appliquer → OK.

Quand on arrive à effectuer cet étape de mettre la référence spatiale, On démarre ArcMap puis glisser et déposer la carte référenciée d'ArcCatalog vers ArcMap puis on procède au déréférencement de la carte.

2.3. Géoréférencement de la carte.

C'est une manipulation qui consiste à caler la carte en ArcMap, en cliquant l'outil « Géoréférencement » localisé à la barre d'outils puis décocher "Ajustement automatique". On ajoute 4 (quatre) points de contrôle en utilisant l'outil « Ajouter des points de contrôle », ce sont des coordonnées géographiques en Degrée Minutes Secondes (DMS), Longitude et Latitudes à chaque point (Fig 19). Ces points sont ajoutés par l'ordre, dans le sens des aiguilles d'une montre.

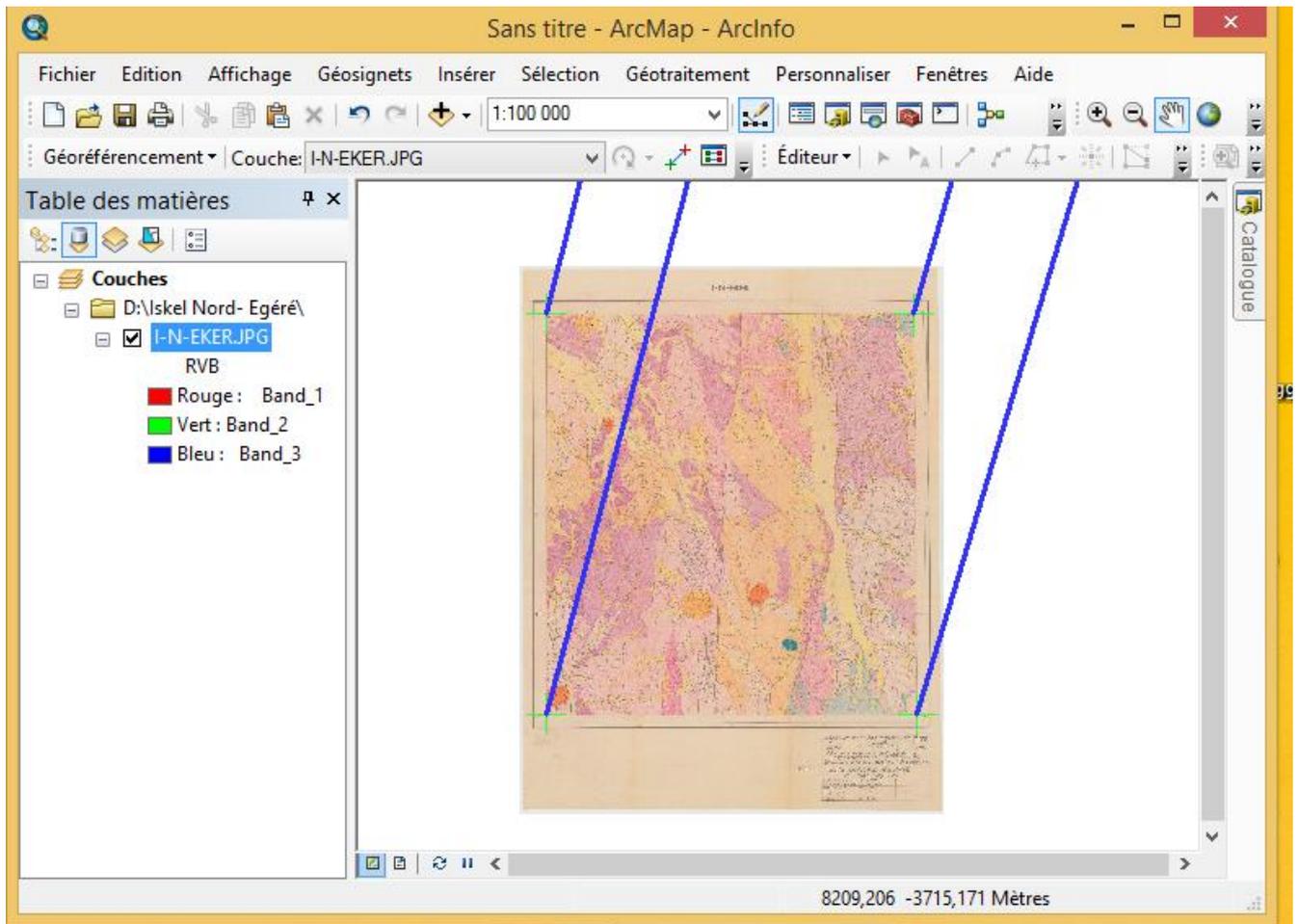


Fig 19 : Le schéma, en ArcMap, montrant les 4 (quartes) points des coordonnées géographiques, après le calage donc la carte est calée.

Les lignes bleues qui sont orientées dans une même direction presque NE-SW confirment que le calage a été fait avec succès pour les quatre points dans la carte.

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

3. La vectorisation des différentes formations géologiques.

Après avoir ajouté la référence spatiale, rectifier la carte et effectuer le géoréférencement, On procède à la vectorisation de différentes formations. A la carte d'Ifetessene, les failles ont été vectorisées en poly lignes, Les formations géologiques en polygone et les minéralisations en points.

3.1. Vectorisation de Failles.

En prenant la carte d'Ifetessene, Les failles regroupées en 4 (quatre) catégories : les failles principales certaines qui sont remarquées par une continuité et une largeur importante, failles principales masquées par les dépôts meubles qui sont remarquées par une discontinuité mais avec aussi une largeur importante, failles secondaires certaines remarquées par une largeur mince et une continuité, et enfin les failles secondaires masquées par les dépôts meubles marquées par une discontinuité et aussi une largeur mince (Fig 20).

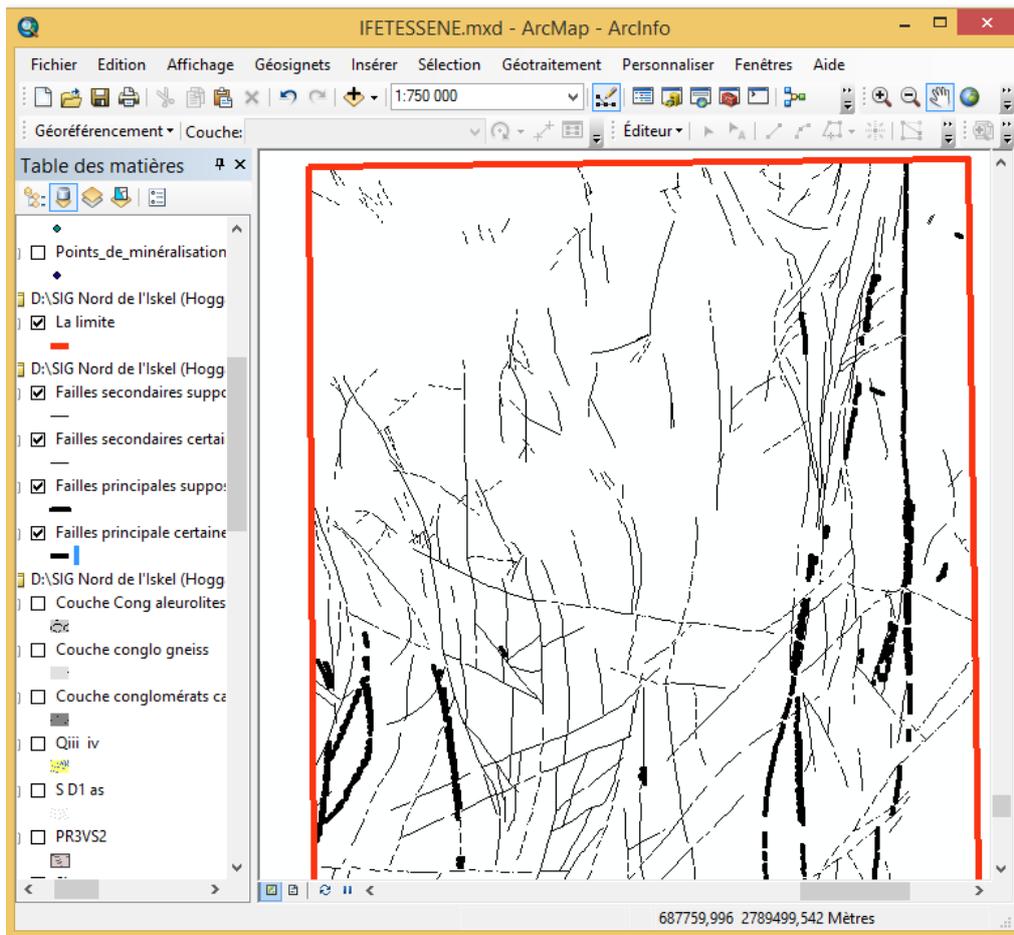


Fig 20 : Montrant les 4 (quatre) différentes failles vectorisées de la feuille d'Ifetessene.

NB : *La différence de largeurs des failles ne sont pas visible ici due à l'échelle d'image plus réduite donc la carte serait imprimée au format A3.*

3.2. Vectorisation des formations géologiques.

Après la vectorisation de toutes les failles, Toutes les couches sont vectorisées en faisant attention de ne pas oublier mettre la référence spatiale de chaque couche à vectoriser, correspondant à la référence spatiale de la région de la carte. A la mêmes feuilles d'Ifetessene, nous avons montré uniquement deux couches comme un exemple ; La couche Ordovicien supérieur (série de Tamadjert), en couleur verte clair, et la couche 'Syn-tard-orogénique, deuxième phase', en couleur violet tacheté en noire (Fig 21).

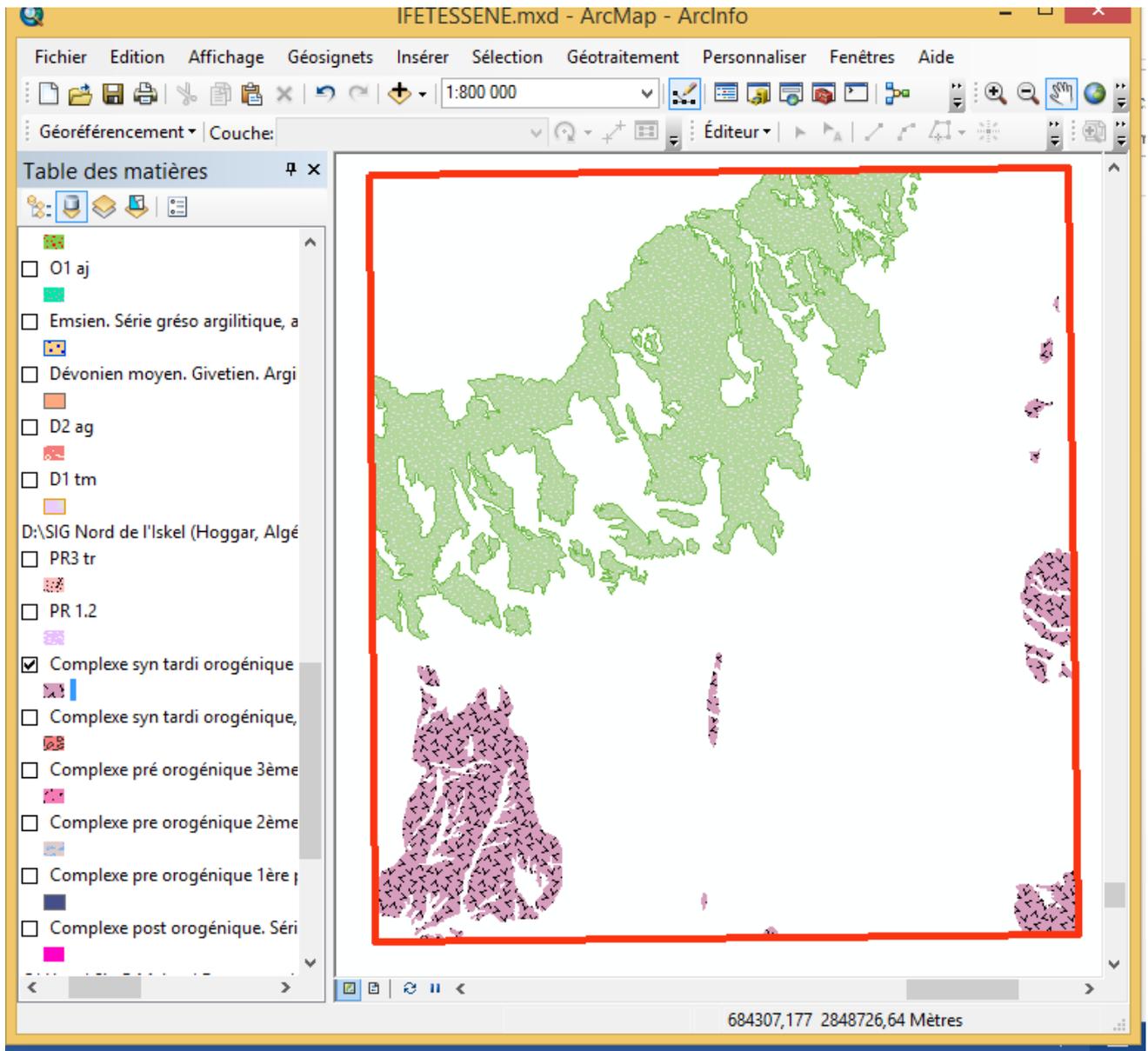


Fig 21 : La feuille d'Ifetessene montrant uniquement deux couches vectorisées.

4. Préparation d'un fichier Excel.

La préparation du fichier Excel est un travail qui est le cœur de ce mémoire, qui mène à un de nos objets principaux dont la localisation des positions géographiques de différentes minéralisations de la région d'étude.

C'est un travail qui consomme énormément de temps, au moins 15 à 20 jours de six à huit heures par jour, qui est plus au moins pénible mais qui doit être aimé et il doit être fait avec courage, grâce à Dieu nous avons la passion avec ce travail et une volonté naturelle.

Pour les six feuilles de la région Nord d'Iskel, chaque feuille défient son fichier Excel donc au total six fichiers d'Excel ont été préparés. La préparation consiste d'abord par rassembler tous les documents qui sont des annexes des cartes inventaires des gites métallifères du Hoggar.

Dans ces documents nous nous sommes intéressés à informations à extraire qui sont ; type de gite, coordonnées géographiques en Degrée Minute Seconde (longitudes et latitudes), éléments principaux, éléments secondaires, gite, encaissant, dimension, direction, teneur, et finalement la source bibliographie, chaque un correspond à sa colonne dans le fichier Excel.

En ArcMap, les coordonnées géographiques fonctionnent en degré décimale donc une nécessité de faire la conversion des coordonnées de chaque point, pour faire ça une formule est utilisée :

$$DD = D + \left(\frac{M}{60}\right) + \left(\frac{S}{3600}\right).$$

DD → Degrée Décimale.

D → Degrée.

M → Minutes.

S → Secondes.

Exemple : Au Longitude $4^{\circ}45'50''$ = X : 4,7639.

Latitude $25^{\circ}25'50''$ = Y : 25,4306.

Grâce à l'automatisme de l'Excel, tous les points sont calculés automatiquement en Degrée Décimale après une insertion de la formule.

Après la préparation de fichier Excel, il est intégré en ArcMap suivant les méthodes propres et finale les points de la localisation géographiques de chaque élément principal sont affichés en ArcMap.

5. La minéralisation.

Pour toutes les six feuilles de la région d'étude (Iskel Nord), la minéralisation a été subdivisée en 2 (deux) groupes principaux :

- i. Selon le type du gîte.
- ii. Selon les éléments utiles recherchés.

Selon le type du gîte, les éléments sont classés :

- a. Anomalie géochimique
- b. Anomalie minéralogique.
- c. Point de minéralisation.
- d. Gisement
- e. Indice.

Selon les éléments utiles recherchés, ils sont classés :

- a. Minéralisation à Au-Ag.
- b. Platinoïdes (Cr-Ni-Co)
- c. W-Sn
- d. Poly métaux (Pb-Zn-Cu)
- e. Les métaux rares.
- f. Autres.

5.1. La minéralisation en fonction des éléments utiles recherchés. La feuille d'Ifetessene.

La région d'Ifetessene est caractérisée par plusieurs différents minéraux de toutes les 6 classes où la classe de l'Au-Ag domine avec 30%, suivi par les éléments W-Sn avec 27%, et la classe de Cr-Ni-Co est en quantité très faible avec uniquement 2% (Fig : 22).

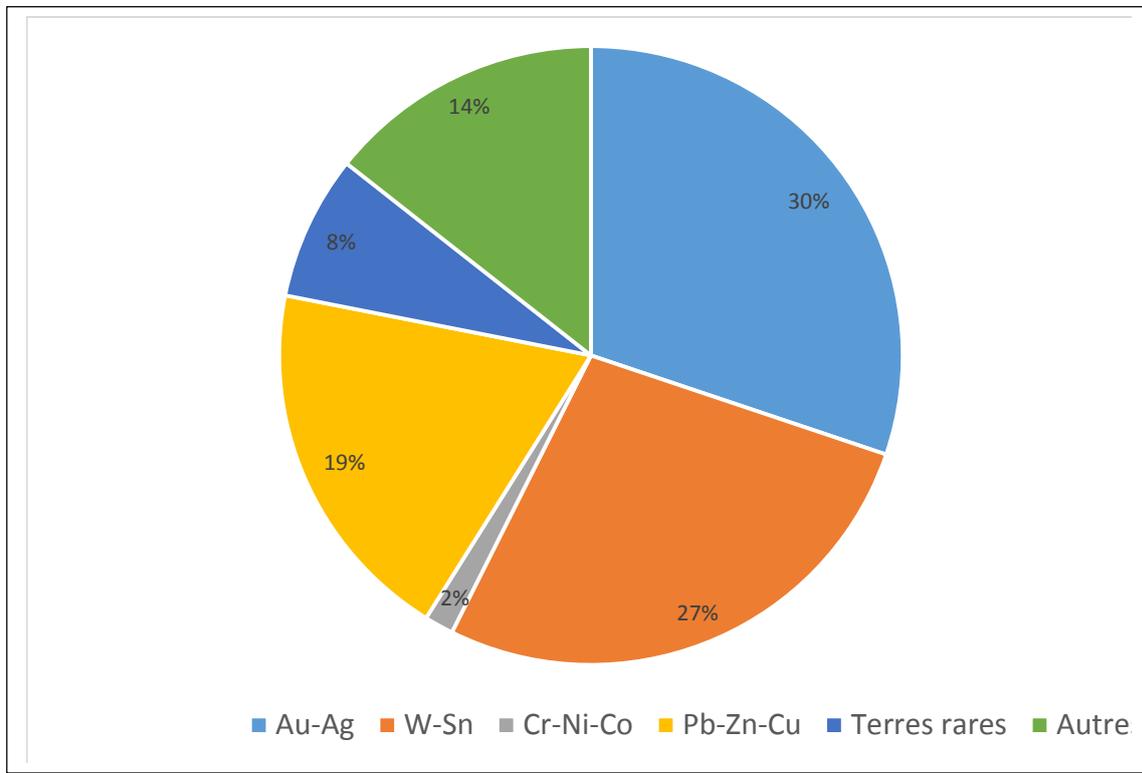


Fig 22 : La proportion de la quantité des éléments utiles, région Ifetessene.

NB : *La quantité de chaque classe d'éléments été calculée en fonction des données en fichier Excel.*

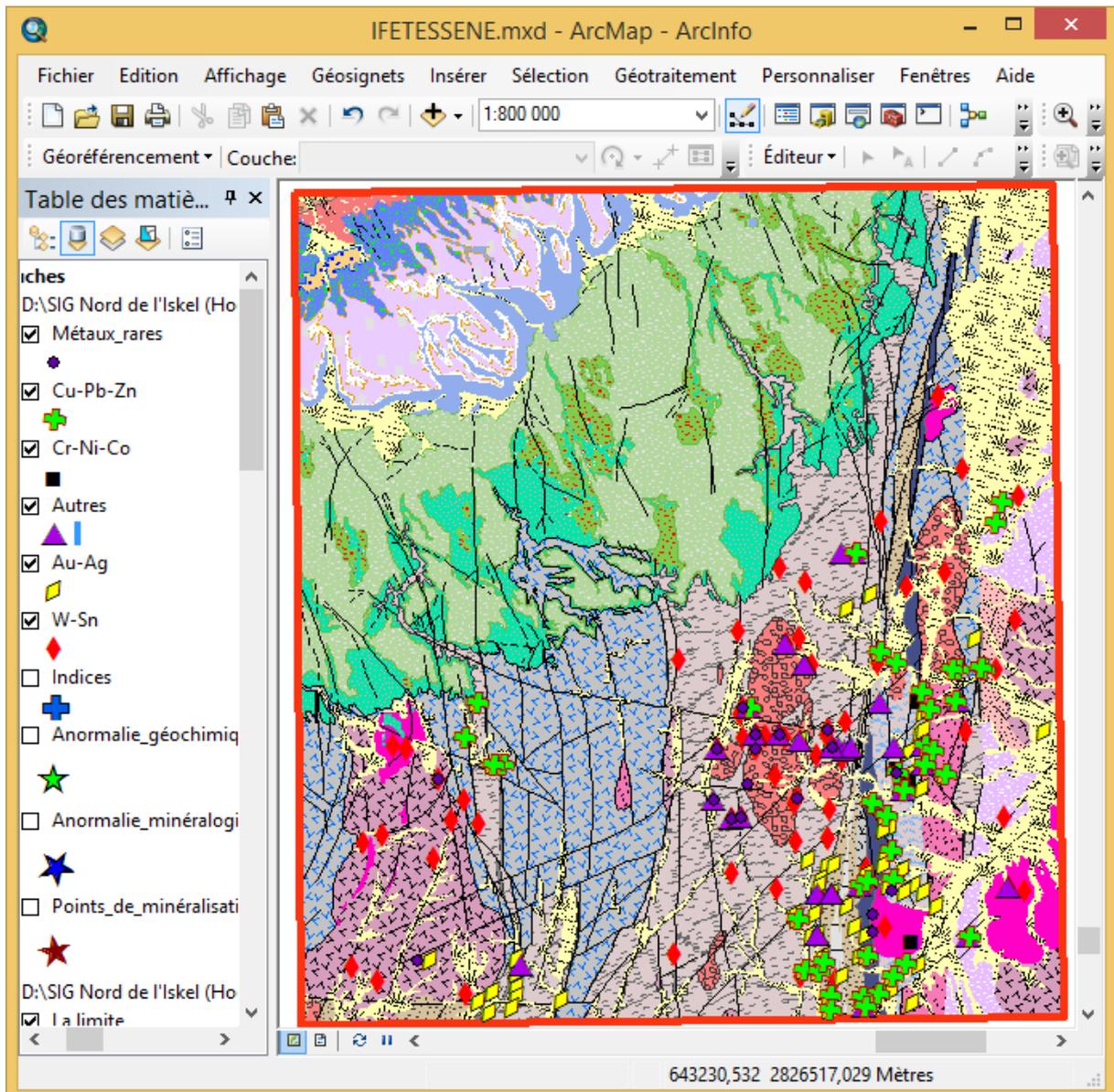


Fig 23 : Représentation de la localisation des différents éléments en ArcMap dans la feuille d'Ifetessene.

La première colonne, à gauche qui représenté comme une légende montrant les symboles de chaque classe d'éléments représentée en ArcMap (Fig 23).

On remarque que presque toute la minéralisation est localisée au Sud de la feuille, beaucoup plus en Sud-Est où il y a une concentration totale de la minéralisation. Cette zone est faite par des formations d'Assise moyenne (terrigène), Assise inférieure (volcano-sédimentaire), Complexe syn-tarti-

orogénique, Complexe pré-orogénique (1^{ère} et 2^{ème} phase). Au Nord de la feuille, la minéralisation est pratiquement nulle.

5.2 La minéralisation en fonction de type du gîte. La feuille d'Ifetessene.

A la feuille d'Ifetessene, les types de gîte qui nous avons sont uniquement : Indice, Point de minéralisation, Anomalie géochimique et Anomalie minéralogique (Fig 24).

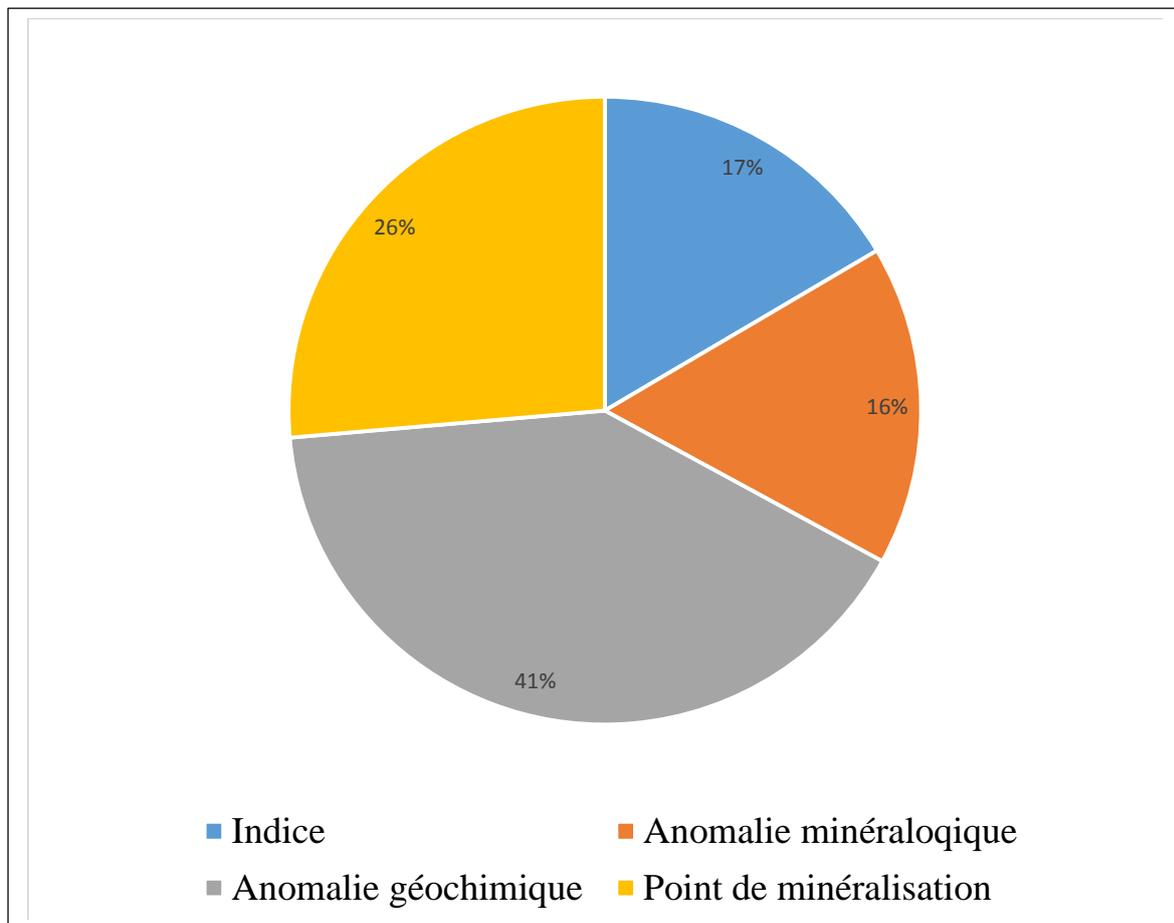


Fig 24 : La quantité propositionnelle de type du gîte

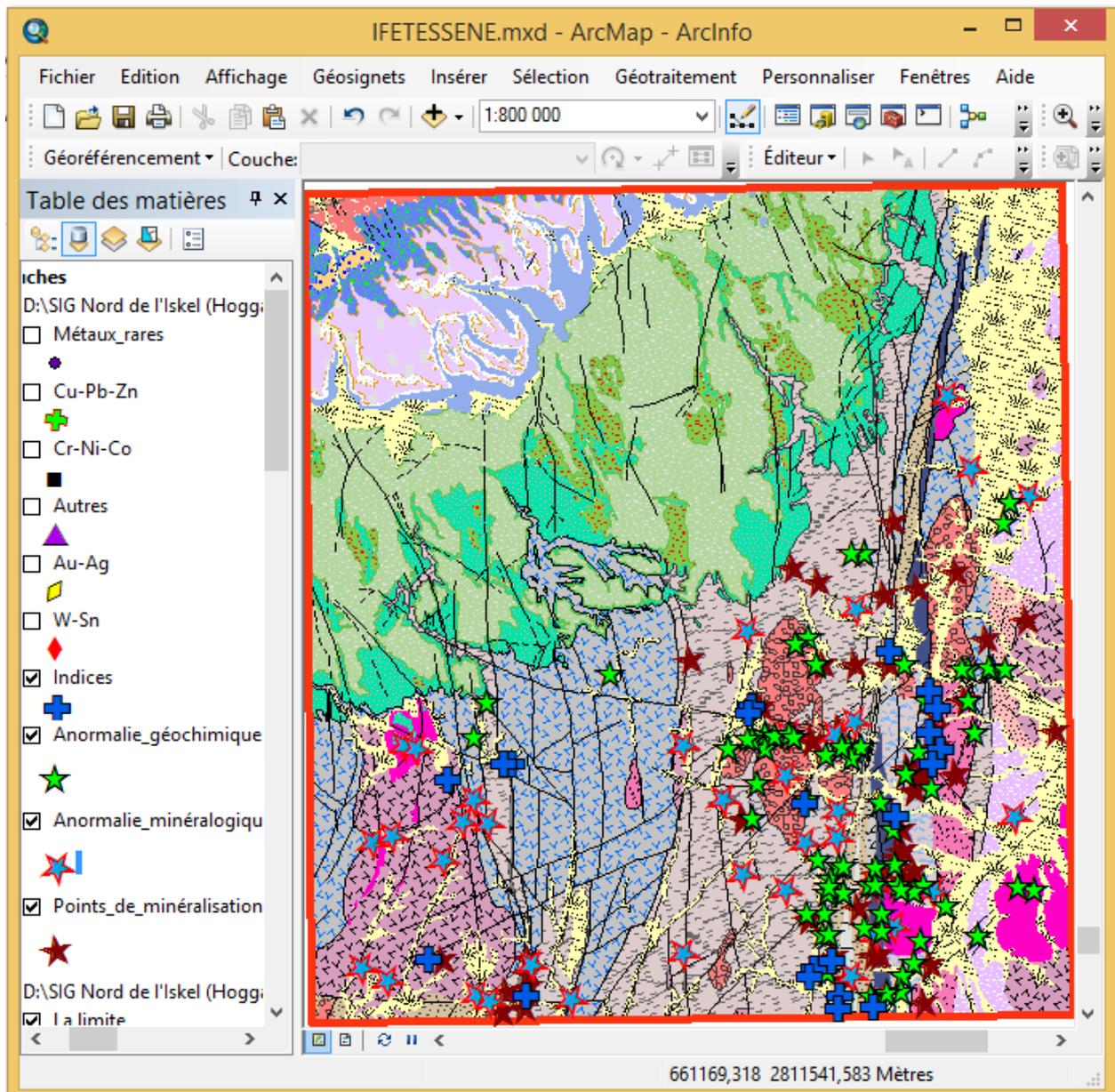


Fig 25 : La distribution de différents types de gite à la feuille d'Ifetessene.

Les différents types de gite sont affichés aux mêmes positions que les positions de différentes classes des minéraux utiles car chaque classe de minéraux utiles contient son type de gite (Fig 25), par exemple une position de la localisation d'un élément de la classe Au-Ag peut être soit indice, anomalie géochimique, anomalie minéralogique ou bien il peut être un point de minéralisation.

4.6. Habillage de la Carte.

C'est la dernière étape d'habillage de la carte à la réalisation de la carte SIG sous ArcGIS avant l'impression, ce qui nécessite d'ajouter tout ce qui entoure le fond géologique de la carte.

Les éléments ajoutés sont : nom de la carte, auteur, échelle, légende, le symbole de la direction Nord, etc.

Après cette étape la carte peut être imprimée au format selon le choix ou en fonction des besoins demandés.



CHAPITRE VI :

CONCLUSION GENERALE

ET

RECOMMANDATIONS.

Le Hoggar est une vaste région désertique situé au Sud Sahara algérien, il est subdivisé en trois grands compartiments structuraux par deux grands accidents tectoniques, qui sont : le Hoggar occidental, Hoggar central, et Hoggar oriental.

La région d'Iskel Nord est située dans la partie Nord du Hoggar occidental où se trouvent les six terranes d'étude (Tesnou, Ifetessene, Assekrem, Tin Felki, Garet El Djenoun et In Ecker) Elle est composée de six feuilles d'échelle 1/200 000.

Un système d'Information géographique est un outil informatique qui permet de réaliser des analyses spatiales, il est constitué de partie matérielle (ordinateur), des logiciels, des données numériques, des connaissances d'un utilisateur et de méthodes.

Raster et vecteur sont les deux modes de représentation spatiale des données en SIG, les données rasters sont généralement des images où les éléments les plus petits sont des pixels (cellules) et les données vectorielles permettent d'individualiser chaque objet spatiale (points, lignes, polygones).

ArcGIS est un logiciel qui permet l'acquisition, le stockage, la mise à jour et le traitement des données géographiques, il est constitué d'une interface ArcMap, ArcCatalog, et ArcToolbox.

ArcGIS est un logiciel principal qui nous avons utilisés pour réaliser les six cartes géographiques et la localisation de différents types de minéraux. Une interprétation et impression de la carte réalisé est une étape finale de notre travail.

Nous avons collecté beaucoup de données géologiques qui sont les différents types des couches et leurs lithologies, la stratigraphie en fonction d'âge de chaque formation, et aussi les données géologiques composées de différents types de minéralisations, pour les six feuilles de la région d'étude.

Nous avons géo référencier toutes les formations, qui nous ont permis de réaliser les six cartes ayant pour avantages : d'être moins onéreuses pour

l'éditeur de la carte, il minimise les erreurs, et permet de faire des mises à jour très facilement.

Le plus grand avantage est de réaliser des bases de données géographiques qui peuvent fournir plus d'informations que la carte imprimée. Il permet de superposer et combiner les différentes données géographiques afin de mieux faire ressortir et de mieux pouvoir analyser les structures et les phénomènes étudiés.

Dans le cadre de l'exploration minière, le SIG va permettre une connaissance précise de la structure géologique, la prospection minière, la contrainte des terrains, les caractéristiques des tracés de la ressource, l'implantation et les caractéristiques des éléments exploitées. Finalement, les couches SIG peuvent être entrées dans des logiciels statistiques afin d'appliquer des analyses dans des programmes de simulation afin de modéliser des phénomènes.

Bibliographie.

- 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

Liste des annexes

- Annexe 1 : Carte géologique de Tesnou.
- Annexe 2 : Carte géologique d'In-Ecker.
- Annexe 3 : Carte géologique d'Ifetessene.
- Annexe 4 : Carte géologique de Garet el Djenoun.
- Annexe 5 : Carte géologique de Tin Felki.
- Annexe 6 : Carte géologique Assekrem.

LISTE DES ABREVIATIONS DANS DES CARTE SIG.

1. La feuille d'Assekrem.

- r3 : Granite calco – alcalin à biotite.
- f micg : Filons de microgranite.
- r2p: Granite à tendance porphyroïde à biotite et à muscovite.
- r2m: Granite calco – alcalin à biotite injecté de filons aplo – pegmatitiques.
- r2: Granite de type Atakor, monzonitique.
- C B: Cônes volcaniques et pyroclastites.
- B2: Basaltes récents (basaltes alcalins).
- B1 : Basaltes anciens (basaltes alcalins, hawaïtes, nugéarites).
- y2m : Variété à grain fin du granite calco – alcalin monzonitique à biotite.
- Pyr tra: Pyroclastites trachytiques.
- B dol hyp: Basaltes et dolérites hypovolcaniques en necks et filons.
- r1d: Granodiorite à biotite et hornblende à structure orientée.
- G: Gabbros, gabbros à hornblende, hornblendites
- Q: Quaternaire = alluvions des oueds principalement.
- Ph: Pharusien d'idelès.
- Mi: Migmatites injectées de nombreux filons.
- gr: Gneiss potassiques à structure ocellés.
- A rub: Amphibolites litées ou rubanées.
- U: Mylonites à structure micro ouillée (Alternance de bandes de composition leptynitique).
- P: Phyllonites à schistosité vertical.
- g: Gneiss plagioclasiques à biotite et (ou) hornblende, veinés et rubanés.
- C: Marbres.
- y1: Granitoïde à biotite; équi-granulaire à grain fin.
- r1: Granodiorites et granites calco-alcalins monzonitique à biotite.

2. La feuille d'Ifetessene.

- P. Min : Points de minéralisation.

- Min : Anomalie minéralogique.
- Géo : Anomalie géochimique.
- Failles S C : Failles secondaires certaines.
- Failles P M : Failles principales supposées et masquées par les dépôts meubles.
- Failles P C : Failles principales certaines.
- Failles S M : Failles secondaires supposées et masquées par les dépôts meubles.
- D1 ag : Emsien. Série grés – argilitique. Argilites, aleurolites, grès.
- D1 sm : Siégenien. Série de l’oued Samene. Grès, aleurolites.
- Cong cal : Couches de conglomérats calcaire et marbres.
- Cong gn : Couche de conglomérats gneiss.
- Cong aleur : Couche de conglomérats aleurolites.
- Qiii iv: Dépôts quaternaires supérieures et actuels indifférenciés ; Alluvions, éboulis de pente, dépôts torrentiels, dépôts éoliens, sables, limons, arènes, cailloutis, galets.
- S D1 as: Silurien – Dévonien inférieur, Série de l’Asedjrad. Sous – série inférieure. Grès argileux à grain fin, aleurolites.
- O3 tj : Ordovicien supérieur. Série de Tamadjert. Grès quartzeux hétérogènes et graveleux, intercalations de conglomérats.
- O1-2 th: Ordovicien inférieur moyen. Série d’In Tahouite. Grès quartzeux feldspathiques – quartzeux.
- O1 aj: Ordovicien inférieur. Série des Ajjers. Grès quartzeux. Conglomérats, passées de graviers consolidés.
- D2 ag: Dévonien moyen. Série grés – argilitique. Argilites, aleurolites, grès.
- D1 tm: Dévonien inférieur. Gédinnien. Série de Tamalrik. Grès, aleurolites, intercalations d’argilites.
- PR3 SOx : Complexe syn – tard – orogénique. Première phase ; diorites quartzeux.
- Protérozoïque supérieur :
- PR3 VS1: Assise (volcano-sédimentaire). Marbres, calcaires marmorisés, moins souvent dolomies, métagrès, méta-aleurolites, métapélites, passées

peu puissantes de quartzite, lentilles de conglomérats, metabasaltes, méta-andésites, tufs.

- PR3 VS3: Assise supérieure (volcanogène). Rhyolites, dacites, leurs variétés de transition et leurs tufs, ignimbrites, à la base – andésites, andésites – dacites, leurs tufs, rarement basaltes.
- PR3 SO : Complexe syn – tard – orogénique. Deuxième phase granites porphyroïdes à grain gros et pélite.
- PR3 PO : Complexe pré – orogénique.
- PR3 tr : Série terrigène. Conglomérats, Conglomérats tuffacés poligéniques, grès tuffacés.

- PR 1.2 : Protérozoïque inférieur. Assise supérieure (gneissique). Gneiss à biotite, granito-gneiss à de rares niveaux lenticulaires de marbres et d'ampibolites.
- yPR3 ao: Complexe post – orogénique. Série des dykes de porphyres granitique, de granophyres et de pegmatites.
- S1 PR3 PO: Complexe pré – orogénique de protrusions de roches ultramafiques. Apo péridotites. Apopyroxénites. Serpentinites.
- qS2 PR3 PO: Complexe pré – orogénique. Troisième phase ; diorites quartzeux à grain gros et petit.

3. La feuille de Tin Felki.

- T : Granodiorites, et enclave de tonalites.
- S2 : Syénites à biotite et hornblende.
- r3 : Granites calco-alcalins à biotite, à grain moyen. Faciès de bordure : granite leucocrate.
- r2 : Granites et granodiorites calco-alcalins, porphyroïdes à biotite, injectés de dykes aplo-pegmatitiques.
- P2 : Assise inférieure ; gneiss dioritique, quartzite, marbre, Amphibolite.
- P1 : Assise inférieure ; amphibolite, gneiss amphibolitique, marbre. Lentilles de roches ultrabasiqes, rare quartzite.
- Gm : Gneiss granitoïdes, migmatites, gneiss à amphiboles.

- y d2 : Granodiorites, diorites quartziques, et granites calco-alcalins parfois monzonitiques.
- G : Gneiss plagioclasiques à biotite et/ou hornblende, gneiss amphibolique, amphibolite, quartzite, marbre.
- D2 : Norites, gabbros, diorites.
- U2 : Pyroxénolites, amphibolites, et roches ultrabasiques serpentinisées.
- U1 : Roches ultrabasique en lentilles.
- Ph3 : Assise supérieure: volcanites acides (rhyolites, dacites, tuffs, etc).
- Ph2: Assise moyenne ; amphibolites, andésites, lentilles de marbre, conglomérats, tuffs, sills basiques.
- Ph1 : Assise inférieure ; grès, pélites, marbre. Cornéennes de métamorphisme de contact : gneiss, ...
- Cg : Conglomérats polygéniques et hétérogranulaires.
- Vb : Volcanites basique (basaltes à pyroxènes).
- a2: Dépôts éoliens.
- Qt: Dépôts d'oueds (alluvions, sables, argiles), dépôts de piémonts (cailloutis) et regs.

4. Tesnou 1/200 000

- QIII-IV : Dépôts quaternaires supérieurs et actuels indifférenciés.
- PR3 tr : protérozoïque supérieur.
- PR3 VS1, PR3 VS2, PR3 VS3 : protérozoïque supérieures
- PR²1, PR²2 : protérozoïque inférieur.
- & PR3 PO, & PR3 SO, § PR3 PO : intrusion protérozoïque supérieur.
- Q : filons de quartz.

5. IN ECKER

- PR²1, PR²2 : protérozoïque inférieur.
- ad QIII IV : quaternaire.
- & PR3, &t PR3 : protérozoïque supérieur

6. GARET EL DJNOUN

- eQIV : cénozoïque.
- PR1-ar, PR1-ai : protérozoïque inférieur.
- AR : archéen.
- PR21, PR11 : protérozoïque supérieur.
- A_M : anomalie minéralogique.
- A_G : anomalie géochimique.

LISTE DES FIGURES :

Fig 1 : Carte de l'Algérie montrant la localisation de la région d'étude.

Fig 2 : Présentation de la position géographique de la région d'étude, Iskel Nord.

Fig 3 : Le schéma montrant les subdivisions du Hoggar (Liégeois et al. 2000)

Fig 4 : Le cycle des SIG

Fig. 5 : Représentation des Pixels dans une image raster.

Fig. 6 : Exemples Des Données Raster.

Fig. 7 : Exemples des données vecteurs.

Fig 8 : Scanérisation

Fig 9 : Passer d'un positionnement à la surface du globe à la localisation sur une carte.

Fig 10 : Présentation de projection schématiquement.

Fig 11 : Cas particuliers et importants de projection, UTM.

Fig 12 : L'interface d'ArcMap.

Fig 13 : L'interface d'ArcCatalog.

Fig 14 : L'interface de l'ArcToolbox.

Fig 15 : Une présentation d'interface d'ArcCatalog montrant icône connexion à un dossier.

Fig 16 : Interface montrant les disques et les dossiers où l'utilisateur cherche l'emplacement de carte scannée.

Fig 17 : Montrant le chemin de la carte I-N-EKER vers l'interface *propriétés du jeu de données raster* par un accès de son option *Propriétés*.

Fig 18 : Modification de la référence spatiale dans un « Propriétés du jeu de données raster ».

Fig 19 : Le schéma, en ArcMap, montrant les 4 (quartes) points des coordonnées géographiques, après le calage donc la carte est calée.

Fig 20 : Montrant les 4 (quatre) différentes failles vectorisées de la feuille d'Ifetessene.

Fig 21 : La feuille d'Ifetessene montrant uniquement deux couches vectorisées.

Fig 22 : La proportion de la quantité des éléments utiles, région Ifetessene.

Fig 23 : Représentation de la localisation des différents éléments en ArcMap dans la feuille d'Ifetessene.

Fig 24 : La quantité propositionnelle de type du gite

Fig 25 : La distribution de différents types de gite à la feuille d'Ifetessene.