***REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE***
***MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHES SCIENTIFIQUES***
***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, Geomateriaux et Environnement.*

# Thème :

## *Cartographie SIG au 1/1.000.000 de la Province métallogénique du Hoggar ; Essai de caractérisation des critères et guides de recherche des minéralisations aurifères*

**Réalisé par :** Mr NDONG AKUE PELAYO Ladislao et ANTONIO Osnal Nunes

**Encadré par :** Dr. ZEGHOUANE Hocine.

**Soutenu le :**

| | | |
|---|---|---|
| *MM. Izri. D* | *MAA, U.M.M.T.O* | *Président* |
| *Mr. ZEGHOUANE.H* | *MCB, U.M.M.T.O.* | *Promoteur* |
| *Mr. Hamis. A* | *MAA, U.M.M.T.O.* | *Examinateur* |

Année universitaire 2020-2021

# ***REMERCIMENTS :***

*Nous remercions le bon Dieu de nous avoir donné la fois et la force de mener ce travail à son terme.*

*Nous tenons à remercier infiniment notre promoteur, Mr Zeghouane Hocine, pour la confiance qu'il nous a accordé, tout le temps qu'il nous a consacré, et surtout la patience qu'il nous a exprimé, mais aussi ses*

*consignes et ses orientations précieuses, ses encouragements permanents et ses nombreux conseils qui nous ont permis d'arriver à bout de ce travail, qu'il trouve ici l'expression de notre sincère gratitude.*

*Nos remerciements vont également à tous nos enseignants de l'UMMTO qui ont participé à notre formation en géologie et pour tous leurs conseils et encouragements a toutes ces personnes, nous tenons à associer nos parents pour toute leur aide.*

***Dédicace :***

*Nous dédions ce présent travail à nos chers parents, pour leurs sacrifices, encouragements et soutien tout au long de nos études ; et leurs exprimons tout notre amour et gratitude.*

***Moi NDONG AKUE PELAYO Ladislao je dédie ce travail :***

*A ma famille, merci d'être un exemple de force et encouragement pour moi, je ferai de mon mieux pour être et rester une fierté a vos yeux, je vous dois ce que je suis aujourd'hui.*

*A mon père Bernardo AKUE MESIAN, a ma mère Justina PELAYO MARQUEZ pour ton grand amour est appréciation tous que tu as fournir et ton immense patience, a mon oncle Victor BESTUES, et a mes frères et sœurs Maria Gema ABAGA AKUE PELAYO pour sa dédication son intérêt et encouragement, Gismela EYANG AKUE PELAYO, Martina BINDANG AKUE PELAYO, Cecilia NZUGA AKUE PELAYO, Juan Carlos BEE EYANG qui a toujours été là pour moi dans tout gore d'encouragement et soutien morale et financiers, Juan NVEE AKUE*

*A mes cher amis Martin MICHA, Pascual ONDO, Simon Pedro NVOMO, ANTONIO Osnal, Vidal NBA.*

*Est a tous ces personnes que d'une façon a l'autre ils ont contribué direct à l'indirect dans mes études*

***Moi ANTONIO Osnal Nunes je dédie ce travail :***

*A mon défunt père Nunes Mário António, ma mère Lucia Luís Domingos*

*A mes chères sœurs Olga Paulo Moresse, Maria Felicia Fernanda Paulo et Virginia Ivone Nunes. A mon défunt frère Bernardino da Lucia Moresse et mes frères Arnaldo de Abreu Domingos Paulo et Artur Júnior Paulo*

*Et à mes amies proches Ladislao NDONG(Tony), Pascual, Issufo, Rufino,Hellio, Nelio, Mevesse Simango.*

*Et à toutes nos chères amies et collègues de l'université de UMMTO Tamda.*

*Et aussi à tous ce qui nous connaissent de loin ou de près*

***Résumé :***

*Le Hoggar est caractérisé par la présence de plusieurs gisements, indices et anomalies géochimiques sur l'or et d'autres minéralisations qui ont un intérêt capital sur l'économie et le développement industriel de l'Algérie. Ces minéralisations ont fait l'objet de quelques études géologiques et sommaires.*

*Ce travail vise à faire des Essais de caractérisation, des critères et guides de recherche des minéralisations aurifères en utilisant une cartographie moderne du Hoggar à partir du système d'information géographique (SIG). De test qu'on a réalisé sur la Province aurifère d'In Ouzzal.*

*Pour établir la collecte des informations géologiques et l'emplacement de ces indices et gisements, Une étude bibliographique très importante a précédé. Cette étude a touché de nombreux rapports des travaux de recherches systématique et de prospection de l'O.R.G.M et des entreprises mères ainsi que des rapports des travaux effectués par le B.R.M.A et le B.R.G.M, ainsi que les différents mémoires.*

*Le logiciel Arc GIS a permis de placer les indices dans leurs contextes géologiques sur la carte minéralogique prévisionnelle ainsi que d'établir un répertoire avec les coordonnées, les structures géologiques. Et aussi, on a fait comme objet d'étude un fichier Excel pour faire des estimations des points ou on peut trouver ces indices de minéralisations aurifères.*

***Abstract :***

*The Hoggar is characterized by the presence of several deposits, showings and geochemical anomalies on gold and other mineralizations such as precious and semi-precious that have a major interest on the economy and industrial development of Algeria. . These mineralizations have been the subject of some geological and summary studies.*

*Our thesis aims to make characterization tests, criteria and search guides for gold mineralization using a modern geological map of the Hoggar from the geographic information system (GIS) which allows us to point to some gold region that contains the location of indices and deposits.*

*To gather geological information and the location of these showings and deposits, a very important bibliographical study has preceded. This study covered all the reports of systematic research and prospecting work by the O.R.G.M and parent companies as well as reports of work carried out by the B.R.M.A and the B.R.G.M, in so that the briefs.*

*The Arc GIS software made it possible to place the indices in their geological contexts on the forecast mineralogical map as well as to establish a directory with coordinates and geological structures. And also we made as an object of study the Excel to make estimates in order to specify the points where we can find these gold mineralization indices.*

# *Sommaire*


1. Généralités ..... 1
   1.1 Problématique : ..... 1
   1.2 But et méthode de travail. ..... 1
   1.3 Les systèmes d'information géographique( SIG) ..... 1
   1.4 Aperçu sur les travaux antérieurs ..... 2
   1.5 Présentation de la région d'étude ..... 2
2. Géologie de la région d'étude ..... 3
   2.1 Introduction ..... 3
   2.2 Ancienne structuration ..... 4
   2.3 Le concept de terranes ..... 5
   2.4 Cadre géologique et structural ..... 6
   2.4.1 Généralité : ..... 6
   2.4.2 Le Hoggar oriental : ..... 7
   2.4.3 Le Hoggar central polycyclique : ..... 8
   2.4.4 Le Hoggar occidental où chaîne pharusienne : ..... 9
3. Les minéralisations aurifères ..... 13
   3.1 Introduction : ..... 13
   3.2 Distribution des minéralisations aurifères au Hoggar ..... 15
   3.2.1 La province du Hoggar oriental : ..... 16
   3.2.2 La province du Hoggar central: ..... 18
   3.2.3 La province du Hoggar occidental ..... 18
   3.3 Type génétique des minéralisations aurifères du Hoggar ..... 22
   3.3.1 Introduction ..... 22
   3.3.2 La province aurifère d'In-Ouzzal ..... 23
   3.3.3 La province aurifère de Timgaouine -Tesnou ..... 25
   3.4 Synthèses des critères de contrôle des minéralisations aurifères du Hoggar. 29
   3.4.1 Le Gisement Amesmessa ..... 29
   3.4.2 Le gisement de Tirek : ..... 33
   3.4.3 Le gisement de Tiririne : ..... 35
   3.4.4 Le gisement de Hanane ..... 37
   3.4.5 Le gisement de In-Abeggui ..... 38
4. Partie SIG : ..... 41

4.1 Généralités ..... 41
4.1.1 Introduction ..... 41
4.1.2 Définitions ..... 41
4.1.3 Architecture et fonctionnement d'un SIG ..... 41
4.1.4 Structure d'un SIG ..... 41
4.1.5 Fonctionnalités d'un SIG ..... 41
4.1.6 Les données dans les SIG ..... 41
4.2 Application à la région d'étude ..... 41
4.2.1 Introduction ..... 48
4.2.2 Elaboration du SIG du Hoggar ..... 48
4.2.3 Fichier Excel ..... 61
4.2.4 Traitement spatiale et Analytique des données ..... 64

# *Liste des figures*

Figure 1 :carte géologique du Hoggar (Bertrand et Caby 1977) ..... 2
Figure 2 Carte géologique du Nord-Ouest de l'Afrique(J.Fabre 1978) ..... 3
Figure 3 Carte des principaux domaines structuraux du Hoggar (Caby et al., 1982) .... 5
Figure 4 : Subdivision du Hoggar en 23 terranes (Liégeois et al., 2000) ..... 5
Figure 5 Carte géologique de l'Algérie montrant les différents domaines géologiques 6
Figure 6 Relation entre les terranes panafricains, les zones de cisaillements et les minéralisations d'or dans le bouclier "Touareg" (Hoggar) (Black et al., 1994) ..... 16
Figure 7 Carte géologique du Hoggar oriental avec position des indices aurifères (Aïssa et al., 2002) ..... 17
Figure 8 Carte géologique de la région de Laouni-In Abeggui (Sonarem, 1977) ..... 18
Figure 9 Carte géologique du môle In Ouzzal sud avec position des minéralisations aurifères/ (A Semiani 2002) ..... 20
Figure 10 Carte géologique de la région de Timgaouine-Tesnou ..... 22
Figure 11 Composants d'un SIG ..... 43
Figure 12 Structure d'un SIG (Abdelbaki, 2012) ..... 43
Figure 13 Types de données dans un SIG ..... 44
Figure 14 Données spatiales ..... 45
Figure 15 Modes de données dans un SIG ..... 46
Figure 16 Mode vecteur ..... 46
Figure 17 Example de Mode vecteur ..... 46
Figure 18 Mode Raster ..... 47
Figure 19 Les parallèles et les méridiens constituant un graticule. ..... 49
Figure 20 Globe terrestre avec les valeurs de longitude et de latitude. ..... 49
Figure 21 Fuseaux horaires du sud de l'Algérie. ..... 50
Figure 22 Connexion à un dossier via ArcCatalog. ..... 51
Figure 23 Connexion à un dossier via ArcCatalog. ..... 51

Figure 24 Attribution d'un système de coordonnées projetés via ArcCatalog. ..... 52
Figure 25 Attribution d'un système de coordonnées via ArcMap. ..... 53
Figure 26 Calage de la carte géologique. ..... 54
Figure 27 Le résultat obtenu est une image en mode vecteur représentée dans la figure qui suit. ..... 54
Figure 28 Créer un fichier de formes. ..... 55
Figure 29 Choix du type d'entité et du système de coordonnées. ..... 56
Figure 30 Activer l'outil Editeur. ..... 57
Figure 31 Ouvrir une nouvelle session de mise à jour. ..... 57
Figure 32 Vectorisation de l'entité polygonale "Quaternaire". ..... 58
Figure 33 Mode mise en page dans l'interface ArcMap. ..... 60
Figure 34 Ajouter du texte ..... 60
Figure 35 Boite de dialogue pour insérer un titre à la carte. ..... 61
Figure 36 Exemple d'image Excel ..... 62
Figure 37 Minéralisations aurifère du Hoggar (Ndong Akue. L et Antonio, 2021) ..... 63
Figure 38 Relation minéralisations aurifères-Lithologie de la région teste(Ndong Akue. L et Antonio, 2021) ..... 65
Figure 39 Relation minéralisations aurifères-Tectonique de la région teste (Ndong Akue. L et Antonio, 2021) ..... 66
Figure 40 Relation minéralisation aurifère-Tectonique(failles)de la région teste (Ndong Akue. L et Antonio, 2021) ..... 67

# *Liste des tableaux*

Tableau 1 critères de contrôle des minéralisations aurifères du Hoggar ..... 40

# 1. Généralités

1. *Problématique*
2. *But et méthode du travail*
3. *SIG*
4. *Aperçu sur les travaux antérieurs*
5. *Présentation de la région d'étude*

## 1.1 Problématique :

La recherche et l'exploration des gisements de minéraux utiles d'un type particulier nécessite en général la connaissance quasi parfaite des différents guides et critères de contrôle ou d'exploration (métallotectes).

Les minéraux stratégiques ou précieux tels que l'or, l'argent, le diamant...etc., ont été, depuis longtemps, la cible d'exploration d'un grand nombre de géologues en Algérie. Malheureusement, ces derniers temps, les découvertes se font de plus en plus rares. On pense que cela est due en partie à la méconnaissance des conditions précises de mise en place de ces minéralisations.

L'identification précise des critères et guides de recherches des minéralisations aurifères au Hoggar serait alors d'un apport appréciable pour les géologues prospecteurs travaillant dans cette région, ce qui leur permettra peut-être de rattraper le retard accumulé dans ce domaine.

## 1.2 But et méthode de travail.

Ce mémoire se veut une contribution à la connaissance des indices et minéralisations aurifères du Hoggar. Cette région est caractérisée par la présence de nombreux indices et des anomalies géochimies.

Le but de ce travail est de pouvoir :

- Edifier un système d'information géographique complet (géologie et minéralisations aurifères) du Hoggar en utilisant le logiciel ArcGIS.

l - Traiter les données collectées dans un environnement SIG en utilisant l'extension analyse spatiale.

Le but est de dégager le maximum de critères et guides d'exploration de l'or, ce qui va montrer l'efficacité de ces nouvelles techniques en exploration minérale.

## 1.3 Les systèmes d'information géographique( SIG)

Avec l'avancement des SIG (système d'information géologique) la cartographie géologique est devenue beaucoup plus souple et plus facile. L'information géologique enregistrée sous forme vecteur permet une meilleure mise à jour, stockage, affichage et surtout le traitement, ce qui facilite d'avantage la gestion des problèmes géologiques.

D'autre part la cartographie géologique représente la base essentielle de tout travail géologique (Exploitation, prospection, extraction… etc.). Son importance accrue nécessite son élaboration selon les nouvelles technologies de l'information.

L'objectif essentiel de ce travail est d'appliquer les connaissances théoriques et pratiques acquises durant notre cursus universitaire dans le but de réaliser une cartographie SIG appliquée aux formations géologiques, tectoniques et gîtologiques.

## 1.4 Aperçu sur les travaux antérieurs

Le Hoggar a connu plusieurs périodes d'investigations géologiques depuis 1920 à nos jours. De nombreux travaux thématiques, de synthèse, de levé géologique, de recherche systématique, de prospection et d'évaluation ont été réalisés.

En 1969, une carte du Hoggar au 1/500 000, sur une superficie de 550 000 $Km^2$, a été établie par le BRMA, où quelques indices de Au, U, Sn, W et Pt ont été mis en évidence. Le Hoggar bénéficie également d'un levé gravimétrique à l'échelle 1/500 000 (Rechemann,1955).

De 1969 à 1994, la SONAREM (actuellement Office National de la Recherche Géologique et Minière, ORGM), avait consacré une bonne partie de son activité à la recherche minière dans le Hoggar. Les travaux étaient axés sur la cartographie et la recherche systématique au 1/200 000.

Les résultats obtenus ont permis la compréhension de la géologie du Hoggar, de cibler les zones ou régions potentielles et de définir les guides pour la recherche minière. Il y a lieu de citer la découverte des gisements et indices d'or, de wolfram-etain et d'uranium. Aujourd'hui plus de 300 indices d'or dont cinq ont été évalués en gisements avec d'importantes réserves.

## 1.5 Présentation de la région d'étude

Le Hoggar se situe au sud du Sahara algérien, sa superficie est de 550 000 $Km^2$. Il se situe à 2000 Km au sud d'Alger. Sa capitale économique Tamanrasset a les coordonnées suivantes : longitude 5°27, l'attitude 22°41. Il est le massif Précambrien le plus important de l'Algérie.

La région ciblée par ce projet est le socle protérozoïque du massif du Hoggar (figure 1) composé de 56 feuilles au 1/200.000.

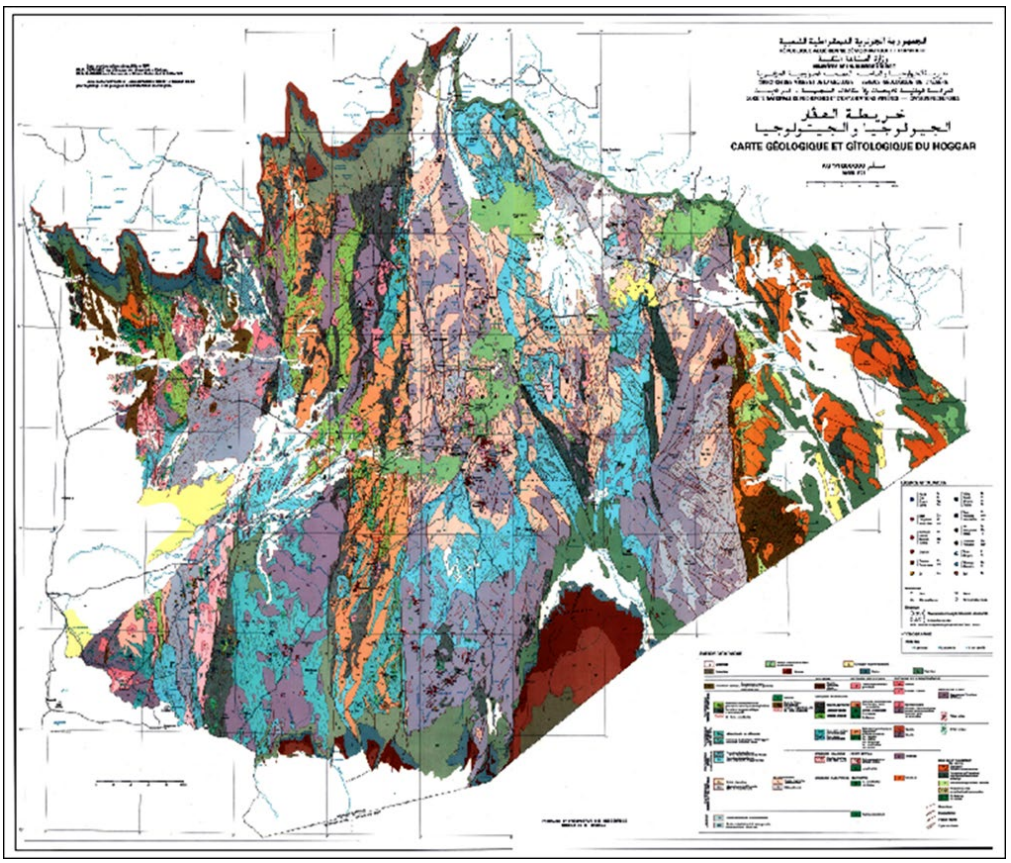



***Figure 1 :carte géologique du Hoggar (Bertrand et Caby 1977)***

# 2. Géologie de la région d'étude

***Introduction***

***6. Ancienne structuration***

***7. Le concept de terranes***

***8. Cadre géologique et structural***

## 2.1 Introduction

Le Hoggar est le plus important massif précambrien de l'Algérie, il constitue la partie centrale du bouclier "Touareg", segment de la chaîne panafricaine dite "transsaharienne" (Cahen *et al*., 1984). Il se prolonge, au sud-ouest, au Mali, par le massif des Iforas et à l'Est,au Niger, par le massif de l'Aïr (figure2).

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

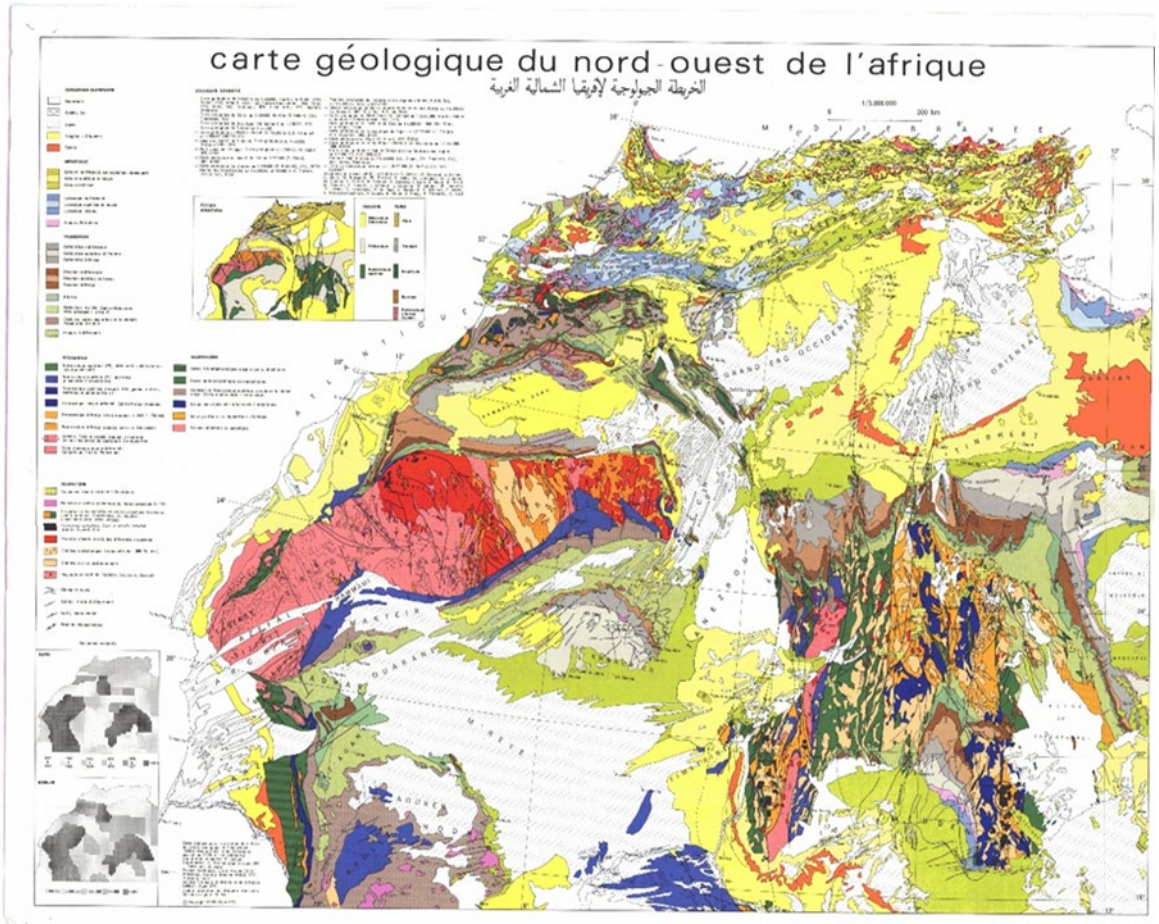



***Figure 2 Carte géologique du Nord-Ouest de l'Afrique(J.Fabre 1978)***

Des shear-zones majeures orientées Nord-Sud séparent le Hoggar en trois blocs crustaux à la géologie contrastée. Afin d'établir les différentes corrélations existantes entre ces différents blocs, de nombreux auteurs ont été amenés à concevoir le bouclier "Touareg" comme un ensemble de complexe de blocs exotiques pour aboutir au concept "*d'amalgamation demicro-continents*" et enfin à la notion de "*terranes*[1]" pris en tenaille entre le Craton Ouest Africain et le Craton Est Saharien durant l'orogenèse panafricaine de 750 à 550 Ma (Liégeois *et al*., 1994 ; Black *et al* 1994 ; Liégeois *et al* 2000).

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

### *2.2 Ancienne structuration*

D'importants accidents mylonitiques subméridiens d'échelle continentale (4°50' et 8°30') séparent le Hoggar en trois domaines structuraux. Ces derniers sont constitués chacun de plusieurs blocs tectoniques de différentes échelles, lui donnant ainsi une physionomie morcelée. Ces domaines sont d'Est en Ouest (Burollet, 1995 ; Bertrand & Caby, 1978) :

Le Hoggar Oriental, situé à l'Est de l'accident 8°30' et cratonisé à 730 Ma (Caby et Andreopoulos-Renaud, 1987), est composé de trois zones : le môle gneissique d'Issalane, la formation volcano-sédimentaire de Tafassasset-Djanet et la série molassique de Tiririne.

Le Hoggar Central polycyclique, limité à l'Ouest par l'accident 4°50' et à l'Est par le 8°30', il constitue un vaste domaine de croûte continentale ancienne et épaissie, plus ou moins réactivée au cours de l'orogenèse panafricaine. Son évolution polycyclique est ainsi liée à deux événements tectono-métamorphiques majeurs : Eburnéen (2000 ± 200 Ma) et Pan-Africain (600 ± 30 Ma). Les formations d'âge archéennes et Paléo protérozoïques sont bien conservées.

Le Hoggar Occidental (chaîne Pharusienne), situé à l'Ouest de l'accident 4°50', est un segment de croûte juvénile, composé d'unités d'âge principalement Néoprotérozoïque (Protérozoïque supérieur à terminal), où affleurent essentiellement des formations volcano-sédimentaires et volcaniques, la série à stromatolithes à la base et la série verte au sommet, séparées par une discordance stratigraphique, connue sous le nom de discordance infrapharusienne (Lelubre, 1952 ; Caby, 1970 ; Haddoum, 1992).

Les formations Néoprotérozoïque sont recoupées par deux grands batholites intrusifs de granitoïdes, le Tin-Tekadiouit d'âge 870-840Ma et l'Immezarene d'âge 650 Ma. Elles sont recouvertes par la série verte volcano-sédimentaire supérieure : laves andésitiques, turbidites, grauwackes et sont oblitérées par d'immenses batholites de granitoïdes calco-alcalins. Les roches ultrabasiques serpentinisées, parfois schistosées, affleurent en bandes linéaires subméridiennes parmi les formations volcano-sédimentaires (figure 3).

[1] est un morceau de croûte terrestre, bloc tectonique ou microcontinent qui s'est détaché d'une plaque tectonique, déplacé latéralement puis accrété ou aggloméré sur une plateforme continentale ou un craton d'une autre plaque tectonique.

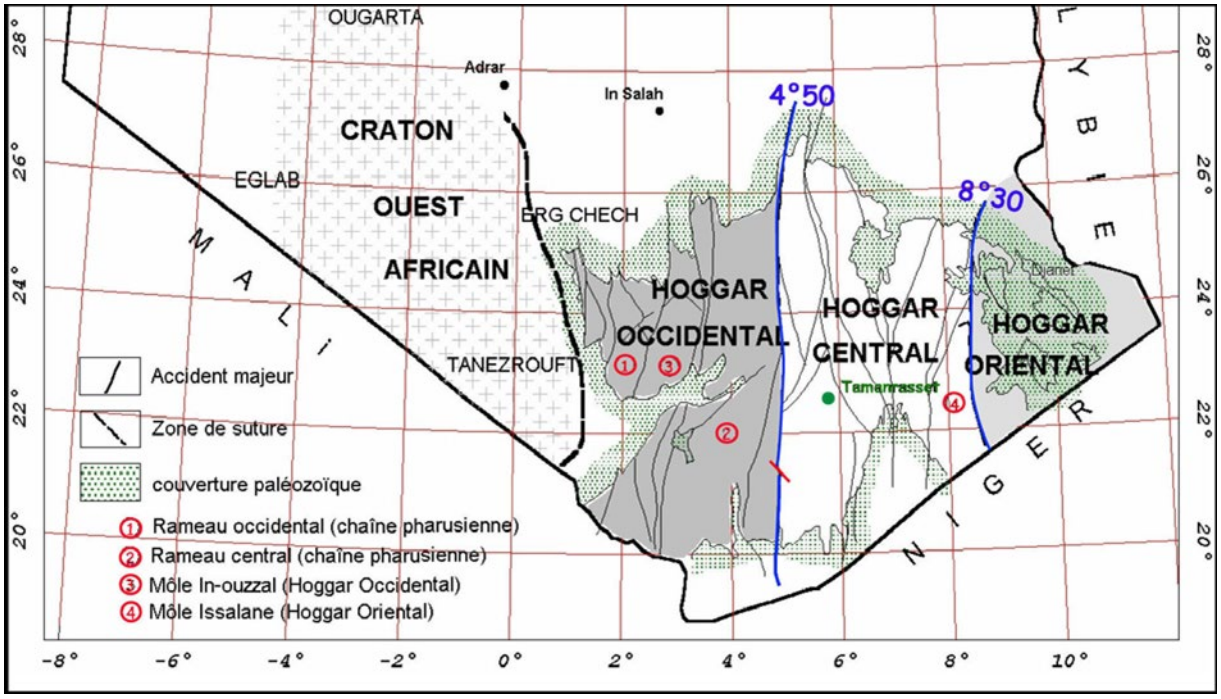



*Figure 3 Carte des principaux domaines structuraux du Hoggar (Caby et al., 1982)*

## 2.3 Le concept de terranes

Le Bouclier targui est défini comme un orogène de collisions multiples, constitué par un assemblage de 23 terranes (figure 4), amalgamés puis déplacés le long de *"méga-shear zones"* au cours de l'orogenèse panafricaine (Black *et al*, 1994 ; Liégeois *et al*, 1994 ; Liégeois *et al*, 2000 ; Caby, 2003 ; Liégeois *et al*, 2003). Bien que ces terranes se soient formés dans un même environnement paléo-géodynamique durant l'orogenèse panafricaine (Liégeois et al, 1994), ils se distinguent les uns des autres par leurs propres caractéristiques lithologiques, tectono- métamorphiques et magmatiques (figure4).

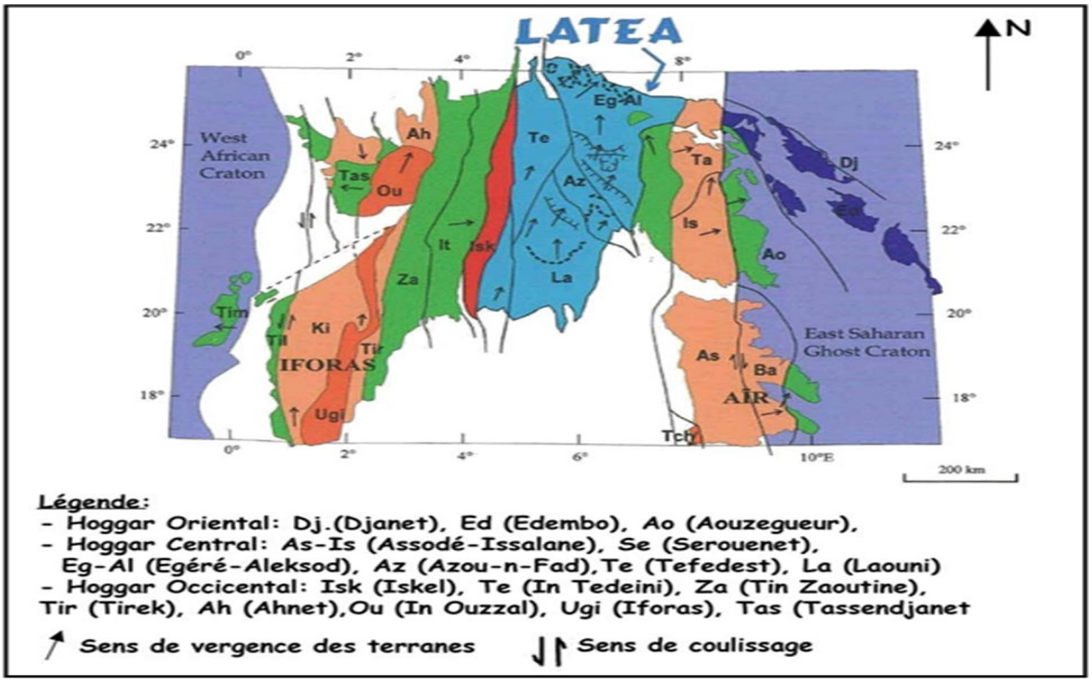



*Figure 4 : Subdivision du Hoggar en 23 terranes (Liégeois et al., 2000)*

## 2.4 Cadre géologique et structural

1. ***Généralité***
2. ***Le Hoggar oriental***
3. ***Le Hoggar central Polycyclique***
4. ***Le Hoggar occidental où chaîne pharusiènne***

### 2.4.1 Généralité :

Le continent Africain renferme trois Cratons stables depuis l'Eburnéen, séparés par des zones mobiles d'âge Protérozoïque à Paléozoïque. Ce sont du Nord au sud : Le Craton ouest africain, le Craton du Congo et le Craton de Kalahari.

Le Craton Ouest africain affleure en deux massifs (figure5): la dorsale Reguibat au nord (Menchikof ,1949 ) et la dorsale du Man au sud ( Bessoles,1977 ) séparé par le bassin sédimentaire de Taoudeni. A l'Est de ce Craton stable depuis l'Eburnéen (2000Ma ), se trouve une zone mobile ( bouclier Touareg ) qu'a connu une évolution complexe pendant le Pan-Africain ( 1000-540 Ma ) .

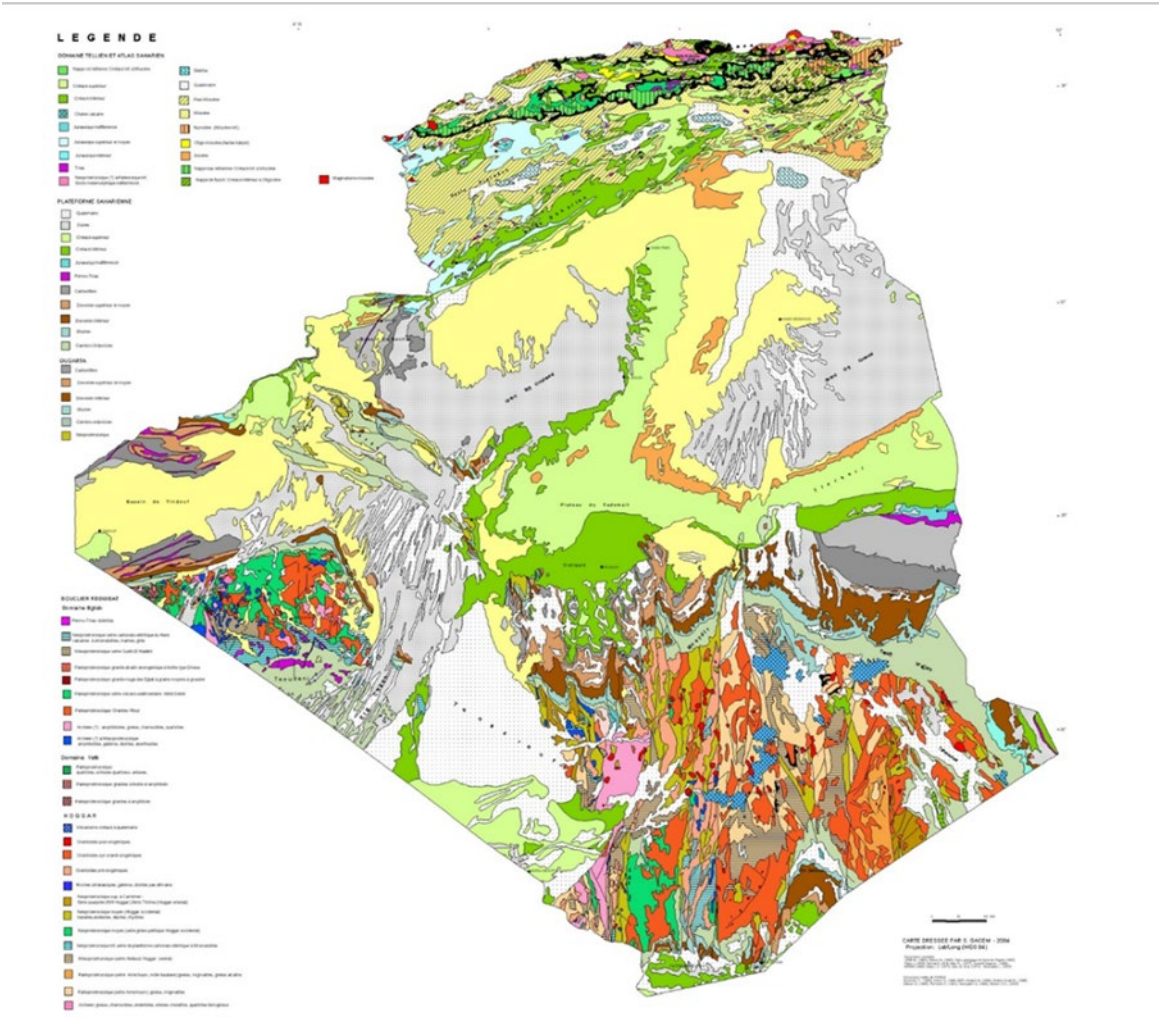



***Figure 5 Carte géologique de l'Algérie montrant les différents domaines géologiques***

### *2.4.2 Le Hoggar oriental :*

Cette partie du bouclier est constituée de trois terranes, partageant comme front commun la zone de cisaillement 8°30'. Ils sont accolés les uns aux autres par l'intermédiaire de failles orientées NNW-SSE. Il s'agit des terranes de : *Djanet, Edembo, et d'Aouzeggueur*.

Ce domaine stabilisé autour de 730 Ma ( Caby et Andreopoulus -Renaud ,1987 ) renferme deux différentes zones lithologiques:

A- **Zone occidentale où chaîne de Tiririne**

La série de Tiririne appelé " proche Tinéré au Niger (Blaise, 1961) : cette série repose partout en discordance angulaire sur les granitoïdes et les métasédiments et roches volcano-sédimentaire de la région (Blaise. 1961 ; Bertrand et al., 1978).

Dans ce domaine (Boukhalfa, 1993), il a distingué 03 séries volcano-sédimentaires et terrigène, qui sont de bas en haut :

a- *Série de plateforme volcano-sédimentaire* :

elle est essentiellement composée de micaschiste avec une alternance de niveau de pélite noire, de conglomérat à galets de quartz, de marbre et de quartzites. Des sills de basaltes tholéitique et parfois de rhyodacite s'intercalent également dans la série. Cette série a subi une déformation marquée par une schistosité accompagnés de plis isoclinaux d'axe NNE, réalisés dans les conditions de faciès schistes vert à amphibolite. Elle est recoupée tectoniquement par des corps basiques et ultrabasiques à cachet ophiolitique et par des granitoïdes pré à syn tectoniques datés à 730 Ma (Caby et Andréopaulus-Renaud, 1987).

b- **Série volcanique** :

elle surmonte la série précédente et est constituée essentiellement de rhyodacite et rhyolite porphyre et leurs tufs. Ces formations qui passent progressivement aux granitoïdes ont été affectées par une schistosité accompagnée de plis ouverts d'axes NNW, réalisé dans les conditions de faciès schistes verts.

c- *Série de Tiririne* :

Elle repose en transgression sur les batholites de granitoïdes pré à syntectonique et en discordance stratigraphique sur les séries précédentes. Elle est essentiellement composée de deux niveaux superposés :

- Conglomérat polygénique et arkose à la base à lentilles de niveaux de conglomérats et arènes quartziques
- Pellite versicolore, monotone avec des niveaux d'arkose et grès arkosiques et lentilles de conglomérats et de calcaires.

Cette série est affectée par une schistosité de fracture accompagnée parfois de plis ouverts Nord réalisés dans les conditions de faciès schistes verts de bas degré (épidote - chlorite).

La sédimentation de la série de Tiririne comporte des caractères molassiques (arkose et conglomérats) et des caractères nettement orogéniques (faciès flychoïdes). La nature pétrographique des sédiments montre qu'ils dérivent entièrement du domaine de Djanet -

Taffassasset décrits ci-dessous. Elle est recoupée par le batholite de granite tardif à postectoniques type Honèdj daté à 580 Ma ( Bertrand et al,1978 ) .

B- **Zone orientale** (domaine Taffassasset – Djanet)

Elle correspond à une ceinture d'orientation NW-SE, composée essentiellement de batholite de granitoïdes calco-alcalins, pré à syn- tectonique avec quelques affleurements de métasédiments et de roches volcaniques surtout basaltiques et rarement rhyodacitiques. A l'est de ce domaine immédiatement à l'ouest de Djanet, affleure une série gréso-pellitique similaire à celle du Hoggar occidentale décrite par Gravelle (1969).

Dans ce domaine affleure quelques massifs de roches volcaniques anorogénique d'âge plio-quaternaire (massifs n' Ajers et In Ezzane).

### *2.4.3 Le Hoggar central polycyclique :*

Il regroupe quatre terranes (Laouni, Azrou-n-Fad, Téfédest etEgéré-Aleksod), désignée par l'acronyme LATEA. Ce dernier est interprété comme un vieux micro-continent archéo-éburnéen, qui au Panafricain correspondait à une marge passive (Liégeois *et a*l., 2000 ; Latouche *et al*., 2000). Un bloc oriental (terrane d'Assodé –Issalane), séparés par le terrane juvénile à ophiolites de Serouénout est aussi associé à la LATEA (Liégeois *et al*, 2003).

Il occupe la partie centrale du Hoggar et est limité à l'ouest par l'accident 4°50 et à l'est par l'accident de Honèdj 8°30'. Ce domaine est essentiellement constitué d'un matériel ancien qui a subi une évolution polymétamorphique et polytectoniques au cours des événements éburnéens et panafricains et probablement kibarien. Selon les critères lithologiques et structuraux, les zones constituants, sont d'Ouest en Est:

A- **La zone de Tefedest-Atakor :**

Elle est caractérisée par la prédominance de gneiss et migmatite à haut grade de métamorphisme, et de granites. Dans cette zone, Vialette Vitel et (1981), Vitel, G.( 1979 ) ont distingués deux séries :

a- série de In Ecker-Toursourine composé de gneiss rubané à plagioclase-biotite et horneblende renfermant de reliques de granulites à hyperstène daté à 2200Ma.

b- Série d'Amsenassène composée de des marbres, des pyroxénites, des gneiss à pyroxène et amphibole, des gneiss à sillimanite- grenat et de quartzites.

Les données géochronologiques obtenues peuvent être résumées comme suit :

- âge de 2000Ma par la méthode Rb/Sr sur mica (Vialette et Vitell, 1981, Bertrand et al., 1978).
- âges de 650, 550 et 530 Ma obtenus sur des granites panafricains (Piccioto et al. 1965 ; Bertrand et al., 1978 ; Vitel, G., 1977).

B-**Zone d' Aleksod** : Dans cette zone on distingue deux séries superposées:

a- *Série inférieure appelé série Arechoum (Lelubre, 1952) renfermant* :

- Des gneiss rubané quartzo-feldspathiques de composition granodioritique à tonalitique
- Des formations métasédimentaires à marbres et quartzites ;

- Des gneiss oeillés passant localement à des gneiss granitoïdiques à Tala et Tala-Mellet, où leur âge est calé 2050Ma (Bertrand et Lassere, 1976).

b- *Série d'Aleksod ou d'Eggéré de Lelubre (1952) est composé de* :

- Amphibolite massive à grenat, recoupé par des pegmatites,
- Formation gneissique ;
- Formation calco-magnesienne à amphibolite, pyroxénique et gneiss plagioclasique,
- Formations gneissique à veine leucocrates à muscovite,
- Formation métasédimentaire variée.

La tectonique qui affecte cette série est caractérisée par deux phases de plissement : les plis couchés P1 d'axe variant de NW-SE à E-W et de plis déversés P2 d'axes variant de NE-EW à NW-SE (Bertrand, 1974 ; et Bertrand et al. 1978).

C- **Zone d'Oumelalen-Temassint** :

Cette zone est composée de 3 séries lithologiques (Latouche, 1975) :

a- Série Rouge d'âge compris entre 2600 et 3000Ma est composée de gneiss rubané et œillé avec rares intercalation de métasédiments.

***9. b- Série de Gour Oumelalen composé de gneiss à biotite et grenat, de leptynites daté autour de 2000Ma.***

c- Série de Toukmatine composée de schistes à deux micas et à grenat avec quelques niveaux de quartzites micacés, de conglomérats à dragées de quartz et de marbre, recoupée par des granites datés entre 700 et 650 Ma attribués au Panafricain.

D- **Zone d'Issalane** :

Elle est représentée par deux séries qui sont de bas en haut :

a- **Série gneissique** : Elle est constituée d'une alternance de gneiss quartzo-feldspathique à biotite avec des niveaux de gneiss à amphibole et biotite.

b- **Série de plateforme** : Elle est composée de quartzite, marbre, sidérite et d'amphibolite.

Le plutonisme est représenté par des roches basiques et ultrabasiques en lentilles et par des granites pegmatitiques en forme de filons et amans.

Dans cette zone Latouche et Vidal (1974). Latouche, (1978) indiquent l'existence de protolithe archéenne à 3300Ma.

Il est à noter qu'au sein du Hoggar central en rencontre des formations volcano-sédimentaires en forme des bassins en grabens d 'âge panafricain ( Latouche, 1985 ).

### *2.4.4 Le Hoggar occidental où chaîne pharusiènne :*

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

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

La chaîne pharusienne est interprétée en termes de la tectonique des plaques comme le résultat de la collision intercontinentale entre le Craton ouest africain à l'ouest et le bouclier touareg à l'est pendant l'orogenèse panafricaine

(600 Ma). ( Black, 1978, 1980, 1984, Black et al, 1978, 1979, 1980, Caby et al, 1981 ; Bertrand et Caby, 1978 ; Bertrand et al, 1983 ). Ce domaine est constitué essentiellement de formations volcano sédimentaires et plutoniques d'âge panafricain (1000 - 540 Ma) avec quelques blocs résiduels de formations paléo à Mésoprotérozoïque .Le domaine (fig.4) est subdivisé en deux rameaux séparés par le môle granulitique d'In-Ouzzal d'âge archéen probable réactivé à l'Eburnéen (2000Ma).

A - **Le rameau occidental**

Il renferme les formations lithostratigraphiques suivantes :

a- ***Formations du protérozoïque inférieur*** : Ces formations sont représentées par celles du môle d'In-ouzzal et du bloc de Tassendjanet.

a.1- *Le môle granulitique d'In-Ouzzal*

Il est limité et à l'Est et à l'Ouest par des zones de cisaillement subméridiennes et est composé de gneiss charnockitiques à la base et de formations supra crustales à faciès granulitique au sommet (granulites alumino-magnésiennes, cipolins, quartzites à magnétite et granulites basiques ). L'âge de mise en place et du métamorphisme des formations archéennes est calé entre 3300 à 2000 Ma (Denissenko, et al, 1978 ; Kiniakine, et al,1980 ; Kiniakine et al, 1984, Ouzeggane,1987; Kienast Ouzeggane,1987 ,1988 ,1992; Haddoum, 1992; Haddoum et al,1994).

a.2- *Le socle de Tassendjanet*

ce socle est essentiellement composé de granites hétérogènes de chimisme calco-alcalin, datés à2090 Ma ( Allègre et Caby, 1972 )

b-**Les formations du protérozoïque moyen.**

Elles sont représentées par les séries de Tideriregraouine et Ahnet dans le rameau occidental (Caby 1970 ; Caby et al 1981; Moussine – Pouchkine et al, 1988)et la série de Tékouiat dans le rameaux oriental ( Gravelle ,1969 ).

Elles sont essentiellement composées de quartzites alumineux, de marbres, d'amphibolites et de micaschistes au sommet et de gneiss à micas à la base.

Ces formations ont été attribuées à la série à stromatolite du pharisien inférieur

( Caby,1970 ). Ensuite Caby et Andreopoulus – Ronauld,(1983) ont montré que ces formations sont plus âgées que celles de la série à stromatolite panafricaine, dont l'âge a été calé entre 1840 et 1750 Ma .De plus (Boukhalfa, 1996a )

a montré qu'avec ces formations sont localement associées à des intrusions litées de roches basiques et ultrabasiques d'affinité géochimique komteiito- tholeiitique différentes de celles pharisiennes. Bien que certains auteurs aient mis en cause l'existence d'événement orogénique Kibarien au Hoggar central (Bertrand,JM. Et al, 1986a). Néo mois les données géologiques, pétrographiques et en partie géochronologiques, nous mènent à considérer que ces formations

sont probablement corvéables à celles de l'Egéré et/ou d'Aleksod du Hoggar central .La mise en place de l'ensemble de ces formations est probablement liée au différents stades d'évolution d'une chaîne orogénique appelée Kibarienne (Bertrand, 1984, Bertrand et Caby,1965 ;1978 ;Bertrand et al,1978,Grant et al , 1962,Turner , 1983, Fitches et al,1985, Bertrand et Lasser,1976), dont l'âge et l'histoire de son évolution géodynamique reste à déterminer.

c- **Formations du Protérozoïque supérieur**

Dans le rameau occidental, Caby,(1970) à subdivisé les formations du Protérozoïque supérieur en trois séries superposées :

c.1-Série à stromatolite est une série de plate-forme composée essentiellement de métapélite, de marbre et de dolomie parfois à stromatolite avec des niveaux de quartzite et de lentilles de conglomérats à dragée de quartz à la base. ces faciès sont parfois recoupés par des sills de roches basiques–ultrabasiques et intercalés de laves basaltiques et parfois andésitiques et rhyodacitiques.

c.2-*Série volcano-sédimentaire supérieure (série verte)* :

Elle est composée de :

- -*Série verte S.S.* : elle est constituée essentiellement d'une intercalation de greywackes et de métapélite à caractère flyschoide avec des niveaux de conglomérats polygéniques et d'une intercalation de laves andésitiques et rhyodacitiques
- -*Série de Gara-Akfou et de Taoudrart* : elle est constituée surtout de laves andésitiques et de pyroclastites.
- -*Série de la bande de Tilemsi* : Au sud dans l'Adrar des Iforas affleure cette série composée de greywackes, de turbidites,de basaltes,de conglomérats et de lits de pélites alumineux. Cette série est interprétée comme représentant les formations de la zone d'accrétion (Caby et al,1977 ;Caby et al,1981 ).

L'ensemble de ces formations volcano-sédimentaires sont localement recoupées par des batholites de granitoïdes calco-alcalins pré, syn et post tectoniques panafricains.

c.3 -**Série pourprée**

Cette série de caractère molassique, a été découverte pour la première fois par Th.Monod (1930 )dans la région d'Ahnet du NW du Hoggar occidental. La série est composée de conglomérats nom métamorphisés reposant en transgression sur l'ensemble des formations métamorphiques, plutoniques et volcano-sédimentaires du Protérozoïque inférieur et supérieur. Ces conglomérats sont eux-mêmes recouverts par des grès inférieurs de Tassili. Ensuite (Caby,1970 ; Caby et Moussu,1967 Caby et Fabre, 1981), ont subdivisé ces formations en deux séries :

c.3.1.- Série inférieure composée d'une alternance de grès et pélites et de marbres à cachet flyshoide appelée série de l'Azegrad.

c.3.2- Série supérieur typiquement molassique constituée principalement de conglomérats polygéniques et d'arkoses de couleur souvent rouge pourpre

B- **Le rameau oriental**

Ce domaine appelé fossé pharisien (Lelubre, 1952) est essentiellement composé de formations volcano-sédimentaires et plutoniques du protérozoïques supérieur avec de quelques

lambeaux tectoniques résiduels de formations métamorphiques d'âge paléo à Mésoprotérozoïque.

Dans ce rameau les formations du protérozoïques supérieurs ont été subdivisées en deux supergroupes séparés par une discordance majeure :

Le pharisien inférieur ( Ph I ) et Le pharusien supérieur ( Ph II )

(Bertrand et al,1966 ;Gravelle,1969 ;Chikhaoui,1981;Chikhaoui et al, 1978, 1980 ; Caby et al,1981,Caby et al,1982 ).

a- **Le pharusien inférieur**

Il est essentiellement composé d'une intercalation de roches volcano-sédimentaires composées de grès avec des niveaux de marbres et de dolomie parfois à stromatolite , de lentilles de conglomérats à éléments de quartz et quartzites de quartzites et des laves andésito–basaltiques et leurs pyroclastites.

Ces formations sont recoupées par des roches basiques et ultrabasiques interprétées soit comme ophiolites( Abed,1983 ) Soit comme des intrusions litées ( Boukhalfa,1987 ).

Les batholite de granitoïdes qui recoupent ces formations ont été datés dans la région de Silet, entre 868+8 /-5 Ma et 839+/- 4Ma ( Caby et al,1982 ).Toutefois dans la feuilles avoisinantes Timgaouine et Tin-Rerhoh, les granitoïdes analogues à ceux de Silet ont été datés à 629+/-6Ma (Timgaouine, Bertrand et al 1986b) et autour de 640 Ma ( Tin-Rerhoh, Boukhalfa,1987 ).

b- **Le pharusien supérieur**

Cet ensemble est également composé de formations volcano-sédimentaires constituées principalement d'une alternance rythmique de grès et pélites à lentilles de conglomérats à la base et de formations volcaniques essentiellement félsiques ( rhyodacite et rhyolite ) et leurs tufs et brèches au sommet.

Ces formations sont recoupées par des granitoïdes syn à postectoniques , type Immézarène et Taourirt ,datés respectivement entre 630- 580Ma et 540-520 (Bertrandetl,1986b,Boissonnas 1974 ;Moulahoum,1988; Gravelle,1969 ; Allègre, et Caby, 1972). Les auteurs considèrent que les deux ensembles pharusiens appartient aux deux cycles orogéniques panafricain précoce ( 870-840Ma ) et panafricain tardif ( 600-580 Ma ) accolés selon le modèle des terrans ( Black et al,1995 ).

Toutefois, Boukhalfa (1987, 1993, 1986, 1998), Meriem,(1987) ont suggéré que les deux ensembles du pharusien inférieur et pharusien supérieur ne représentent que des phases d'évolution d'un même et seul cycle orogénique panafricain.

De ce fait l'histoire d'évolution stratigraphique et géodynamique de la chaîne pharusienne (panafricaine) au Hoggar reste à résoudre.

# 3. Les minéralisations aurifères

1. *Introduction*
2. *Distribution des minéralisations aurifères au Hoggar:*

- ✓ *La province du Hoggar oriental*
- ✓ *La province du Hoggar central*
- ✓ *La province du Hoggar occidental*

3. *Type Génétique :*
4. *Introduction*
5. *La Province Aurifère d'in-Ouzzal*
6. *La Province Aurifère de Timgaouine -Tesnou*
7. *Synthèses des critères de contrôle des minéralisations aurifères du Hoggar*

## 3.1 Introduction :

L'or est produit dans plus de 90 pays sur le globe mais seule une poignée d'entre eux sont connus comme étant de grands producteurs d'or. Cette précieuse ressource naturelle a vu son exploitation augmenter considérablement avec les évolutions technologiques et plus des deux tiers de cette ressource ont déjà été extraits depuis les années 1970.

Les montagnes de l'Atlas s'étendent sur une grande partie du Maroc, le nord de l'Algérie et la Tunisie, font partie du système de montagnes de pli qui traverse également une grande partie de l'Europe du Sud. Elles reculent vers le sud et l'est, devenant un paysage de steppe avant de rencontrer le désert du Sahara, qui couvre plus de 75 % de la région. Les sédiments du Sahara recouvrent un ancien plateau de roches cristallines.

Au sud de l'Atlas se trouve l'étendue aride et désertique du désert du Sahara, le plus grand désert de sable au monde. Par endroits, le désert est coupé par des cours d'eau irréguliers appelés Oueds (ou wadis) qui ne s'écoulent qu'après les précipitations mais sont généralement secs. Les principaux reliefs du Sahara comprennent des ergs, de grandes mers de sable qui forment parfois d'immenses dunes ; la hammada, un plateau rocailleux plat sans sol, ni sable ; et le reg, une surface plate constituée de gravier ou de petites pierres.

Quel que soit le sort réservé à ce vœu, dès maintenant réalisable, il nous semble opportun de tenter une Description géologique du Hoggar. Elle sera l'aboutissement logique des travaux accumulés depuis un siècle, et la synthèse des con naissances actuelles.

## *Classification du sous-sol du Hoggar.*

Il ne nous appartient pas de dresser un inventaire détaillé des richesses du sous-sol. Mais notre étude serait incomplète si elle ne comportait une courte énumération de ces produits utiles.

Les matériaux exploitables, trésors enfouis ou apparenta, se rangent en quelques catégories, dont voici un tableau sommaire :

- ***Matériaux Des carrières, Pour :***
  - *Construction*
    - *Roches d'appareil et moellons*
    - *Terres à briques et à tuiles.*
    - *Pierres à plâtres, pierres à chaux et a ciments*
  - *Ornement*
    - *Marbres, onyx (calcaires)*
    - *Albâtre (gypseux)*
  - *Industrie*
    - *Pierres lithographiques.*
    - *Kaolins et terres à poteries*
  - *Empierrement*
    - *Granites diabases, basaltes.*
    - *Calcaires, grès, quartzites.*
- ***Minerais Non Métallifères :***
  - *Tripolis Barytines*
    - *Aluns, Nitrates*
    - *Sel gemme et Salins naturelles*
  - *Produits salins*
    - *Phosphates et Phosphorites*
- ***Combustibles***
  - *Charbons*
    - *Turbes, Lignites*
    - *Huiles, Anthracites*
  - *Pétroles*
    - *graphites.*
- ***Minerais métalliques :***
  - ***Au, Ag**, Fer, Manganèse, Zinc, Plomb, Cuivre*
  - *Etain, Mercure, Antimoine, Soufre*
  - *Arséniée*
- ***Richesses Hydrauliques :***
  - *Eaux courantes/Barrages régulateurs.*
  - *Eaux Soudantes*
    - *Sources ordinaires.*
    - *Sources thermominérales*
    - *Sources vauclusiens*
      - *Vadeuses*
      - *Juvéniles*
  - *Eaux Souterraines*
    - *Nappes phréatiques*
    - *Nappes artésiennes*
    - *Eaux fossiles.*

Le Hoggar renferme une forte concentration de minéralisations aurifères, ce qui en fait une zone propice à la prospection de l'or. Son potentiel aurifère est estimé à plus de 150 T et plus de 700 occurrences et gîtes. La mine de Tirek (Sud de Tamanrasset, Hoggar Occidental) est la première mine d'or exploitée en Algérie à partir de l'année 2001, avec des réserves de 10,7 T d'or à une teneur de 21 g/t.

Les minéralisations aurifères du Hoggar sont localisées le long des marges des terranes et des zones linéamentaires. Ces grands accidents ont commencé à jouer à la fin de l'orogenèse panafricaine (650-611 Ma). Ces derniers ont favorisé la mise en place des roches magmatiques qui à leur tour ont favorisé la circulation de fluides (Aïssa *et al*., 2002).

Les études antérieures suggèrent une mise en place des minéralisations vers la fin de l'évolution de la chaîne panafricaine (580-520 Ma), à la faveur des rejeux tardifs des cisaillements subméridiens d'amplitude régionale et durant la transition entre un régime compressif (responsable de la structuration du Hoggar) et un régime distensif (à l'origine de la mise en place des molasses et des intrusions granitiques tardif à post tectoniques) (Semiani *et al*., 2004).

### *3.2 Distribution des minéralisations aurifères au Hoggar*

La répartition des gites et indices aurifères, à l'échelle du bouclier touareg, est régie par divers éléments associés, des lithologies spécifiques et des structures tectoniques d'extension régionale. Certains encaissants lithologiques pourraient jouer un rôle important dans le piégeage de l'or : exemple des intrusions de gabbros (rôle rhéologique, chimique et thermique) dans la région d'In Abegui, Tirek et dans le district de Haddok-Tin Felki- Tekouyat-Seldrar (terrane d'Iskel)(figure6).

A partir de ces éléments observés, quatre (04) grandes familles de gîtes sontindividualisées (Semiani et *al*., 2004) :

Des filons quartzeux de faible puissance, riches en or avec des teneurs supérieures à10g/t Au, qui sont encaissés dans les shears zones.

Des filons de quartz localisés sur des intrusions pré-tectoniques, de nature dioritique à granodioritique. Elles sont affectées par une intense altération potassique qui se développe préférentiellement à proximité de shears zones ductiles-fragiles.

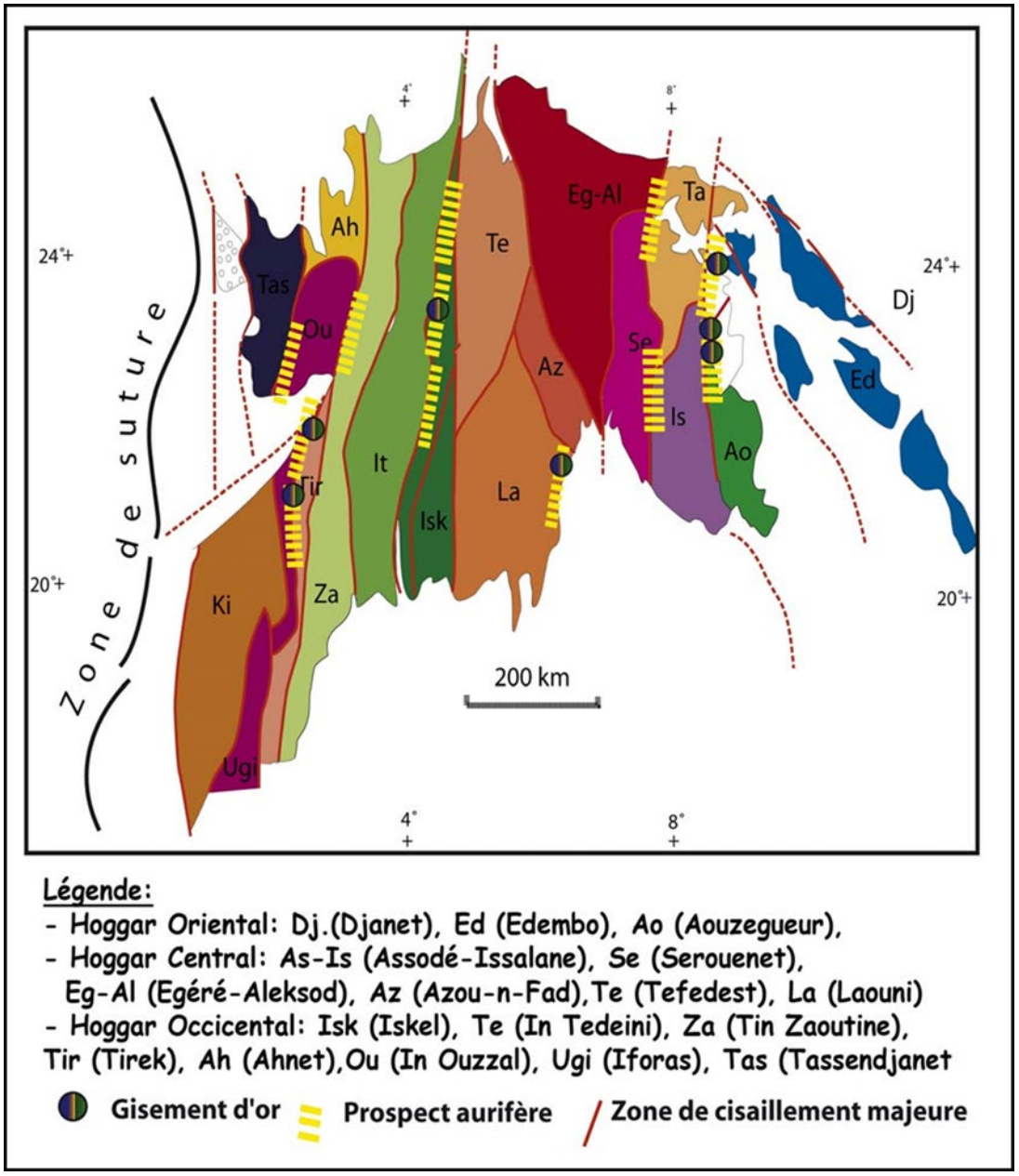



***Figure 6 Relation entre les terranes panafricains, les zones de cisaillements et les minéralisations d'or dans le bouclier "Touareg" (Hoggar) (Black et al., 1994)***

Des zones filoniennes qui sont encaissées dans les ensembles volcano- sédimentaires d'âge Néoprotérozoïque où des intrusions de roches basiques à intermédiaires d'affinité alcaline.

Des zones d'altérations hydrothermales à quartz-séricite-chlorite, qui affectent un volcanisme acide attribué au sommet de la série volcano-sédimentaire d'âge Néoprotérozoïque L'or est associé à des sulfures, essentiellement la pyrite (généralement supérieur à 20%).

Ces quatre gîtes sont à leur tour répartis en quatre grandes provinces métallogénique (Semiani et *al.,* 2004).

### *3.2.1 La province du Hoggar oriental :*

Les minéralisations aurifères sont portées par des filons de quartz pauvres en sulfures. Ils sont situés à l'Est du cisaillement 8°30'. La relation de la minéralisation avec cette dernière n'est pas directe, en comparaison avec Tirek- Amesmessa où ils sont dans les mylonites. Les filons de

quartz apparaissent le long des fractures secondaires (remplissage des fentes de tension) d'orientation ENE-WNW et E-W. L'altération hydrothermale est représentée par la paragenèse suivante : quartz-chlorite-pyrite.

L'encaissant des corps minéralisés semble influer sur la teneur en or. En effet les filons encaissés dans les formations volcano-sédimentaires protérozoïques sont les plus minéralisées (Aïssa *et al*., 2002). Ceux encaissés dans les gabbros, les diorites et les granites panafricains sont à teneur moyenne. Par contre les filons à très faible teneur voire stériles sont localisés dans les séries d'âge paléozoïque.

Les indices les plus prometteurs sont : Tiririne, Hanane et Timoletine (terrane d'Aouzegueur), situés à une trentaine de Km à l'Est du 8°30' (figure 7).

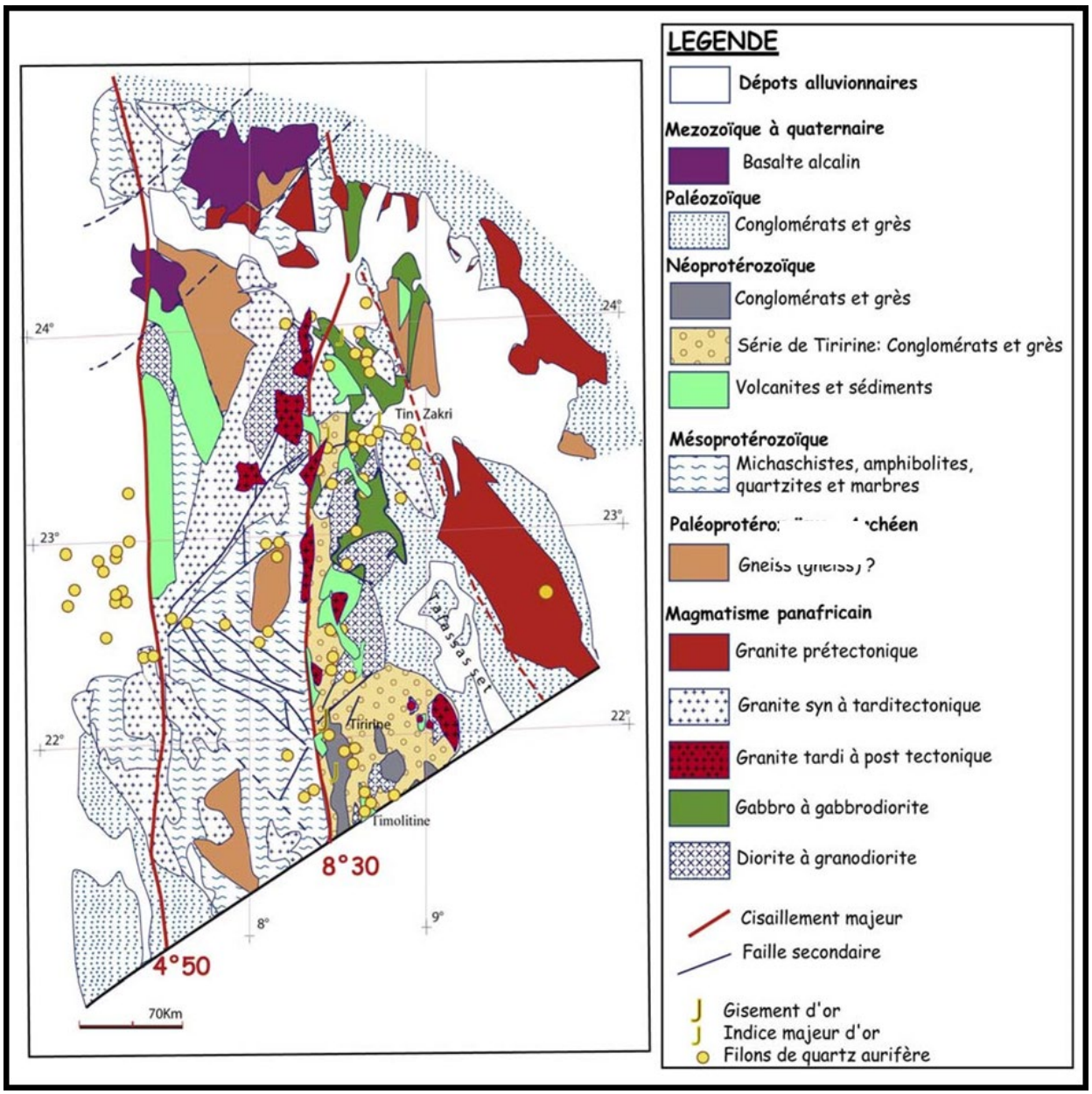



***Figure 7 Carte géologique du Hoggar oriental avec position des indices aurifères (Aïssa et al., 2002)***

### 3.2.2 La province du Hoggar central:

Dans ce cas, les corps minéralisés se présentent sous forme de filons, filonnets et veinules de quartz, encaissés préférentiellement dans les bassins volcano-sédimentaires d'âge protérozoïque (Semiani *et al*., 2004). Les indices les plus importants sont ceux d'In Abegui et Tin Seririne (Terrane de Laouni) (figure 8). Ils sontreprésentés par un système de filons de quartz à tourmaline recoupant un grand massif de gabbros (Aïssa *et al*., 2002).

La paragenèse est simple à: pyrite, sphalérite et galène avec une altération hydrothermale constituée principalement par de la calcite, la chlorite, l'épidote et le talc.

Les teneurs les plus importantes sont observées dans les filons proches ou bien recoupant des enclaves hectométriques de roches d'âge protérozoïque. Tandis que ceux qui sont encaissés dans les massifs de gabbros à olivine renferment des teneurs en or faibles.

On peut noter donc que ces teneurs deviennent très importantes en présence des rochesd'âge protérozoïque.

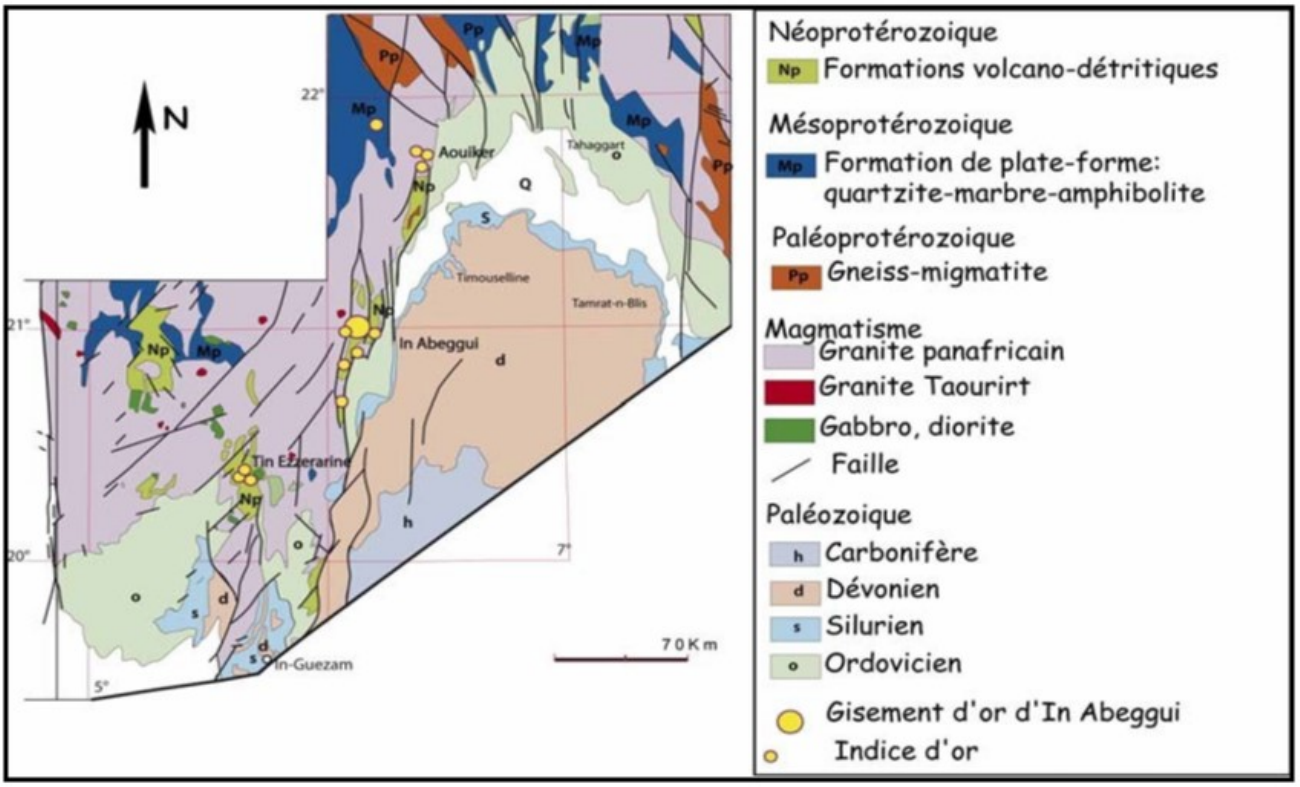



***Figure 8 Carte géologique de la région de Laouni-In Abeggui (Sonarem, 1977)***

### 3.2.3 La province du Hoggar occidental

Il est divisé en deux rameaux (occidental et oriental) par les unités granulitiques d'In-Ouzzal et des Iforas d'âge archéennes et protérozoïques inférieur. A l'exception de ces unités, la plus grande partie de la chaîne est constituée de formations du Protérozoïque moyen et supérieur (Caby 1970).

***Le rameau occidental***

il est constitué des formations suivantes :

- formations du Protérozoïque moyen : quartzites alumineuses, pélites et marbres, associés à des orthogneiss alcalins à sub-alcalins,

- formations du Protérozoïque supérieur : elles se composent de quartzites, de marbres et de jaspes formant une série à stromatolithes ( Caby 1970) à laquelle sont associés des sills et des laccolites de roches basiques et ultrabasiques,

- formations du Protérozoïque terminal: elles se subdivisent en deux séries :

**a/ Série verte:** constituée essentiellement de flysch, de grauwackes, de tufs et conglomérats avec des intercalations de laves andésitiques et dacitiques. Elle est recoupée par des sills de dolérites quartziques, de diabases et de granodiorites,

**b/ Série volcanique***:* constituée de laves andésitiques, intercalées avec des pyroclastites et conglomérats polygéniques, des tufs et des grauwackes.

**Le rameau oriental**

Il est caractérisé par la présence de deux cycles tectono-métamorphiques successifs: le Pharusien I et le Pharusien II (Bertrand et al., 1966; Gravelle 1969).

- ✓ ***La province du môle In Ouzzal***:

les minéralisations aurifères dans la province aurifère du môle in Ouzzal sont associées aux formations d'âge archéen et Paléoprotérozoïque et appartiennent à deux types de structures. Il s'agit d'une part des bordures, orientale et occidentale du môle In Ouzzal, matérialisées par des zones de cisaillement régionales éburnéennes réactivées au Panafricain dans le faciès schistes verts, ayant fonctionné initialement dans le faciès granulite.

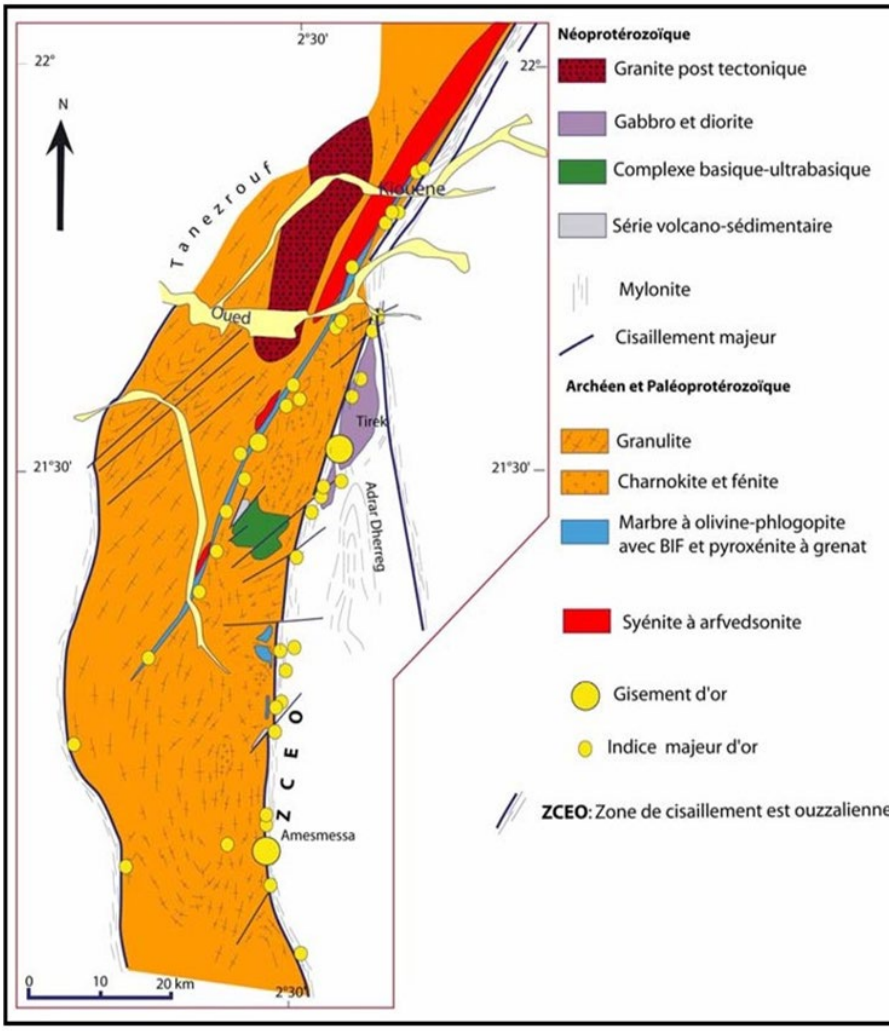



***Figure 9 Carte géologique du môle In Ouzzal sud avec position des minéralisations aurifères/ (A Semiani 2002)***

### ✓ *La province de Timgaouine – Tin-Felki - Tesnou*:

L'or dans ce cas est porté par des filons de quartz, répartis régulièrement à travers un batholite de granitoïde. Ce dernier est allongé N-S sur plus de 600 km (depuis le Sud du Mali jusqu'au Tassili du Nord), avec une largeur de 40 km. Ce batholite est connu sous le nom du complexe Tin-Tekadiouit (Gravelle, 1969), d'âge compris entre 867 et 838 Ma (Caby *et al*., 1982). D'affinité calco-alcaline et peu différencié, il comprend des roches basiques à acides avec des passages graduels. Sa limite occidentale est marquée par un couloir de déformation qui le sépare d'un autre massif granitique syntectonique (granite d'Immezarene) plus jeune, d'âge 670 Ma (Gravelle *et al*., 1969).

Les filons de quartz aurifères occupent préférentiellement la bordure ouest de cette intrusion, dans laquelle, on observe une abondance des termes basiques et intermédiaires. Cette bordure est marquée par un réseau étroit de failles de direction NE-SW provoquant ainsi une forte cataclase, sur une bande large d'environ 3 km (Semiani *et al*., 2004).

Le quartz a un aspect saccharoïde, de couleur rose à blanc-grisâtre et se présentent sous forme de lentilles boudinées épousant les plans de schistosité des roches fortement cataclasées. Leurs

parties centrales sont épaisses (0.5 à 2 m) et ils s'effilent vers leurs extrémités jusqu'à atteindre des épaisseurs de l'ordre du centimètre. Les filons sont orientés généralement N-S et NE-SW. Par

contre les filons orientés E-W et NW-SE sont tardifs, plus discrets et peu minéralisés. Les filons stériles sont à grands cristaux de couleur blanc-neige.

L'or peut être présent également dans les halos d'altération à quartz-séricite-pyrite. Les teneurs sont de l'ordre de la centaine de ppb, sur une dizaine de mètres de part et d'autre des filons.

Le fait marquant dans ces filons est l'apparition de la tourmaline et une greisenisation aux épontes, que l'on peut expliquer par l'interférence avec les fluides à l'origine des minéralisations à Sn-W liées aux phases tardives des granites panafricains (Aïssa *et al*., 2004). Les minéraux d'altération hydrothermale sont : chlorite, tourmaline, séricite, calcite et hydroxydes de fer. La paragenèse sulfurée est représentée par : la pyrite, la chalcopyrite, la galène et les cuivres gris. L'altération hydrothermale s'est réalisée en deux stades successifs:

Un premier stade précoce en relation avec la mise en place du granite syntectonique d'Immezarene (à l'ouest du batholite de Tin Tekadiouit), caractérisé par une chloritisation des minéraux ferromagnésiens dans les limites des bandes affectées par la déformation.

Un second stade affectant uniquement la périphérie des filons de quartz aurifère et que se traduit par la rétromorphose de la première association en quartz, séricite, carbonate et pyrite. Il correspond à la circulation des solutions hydrothermales aurifères.

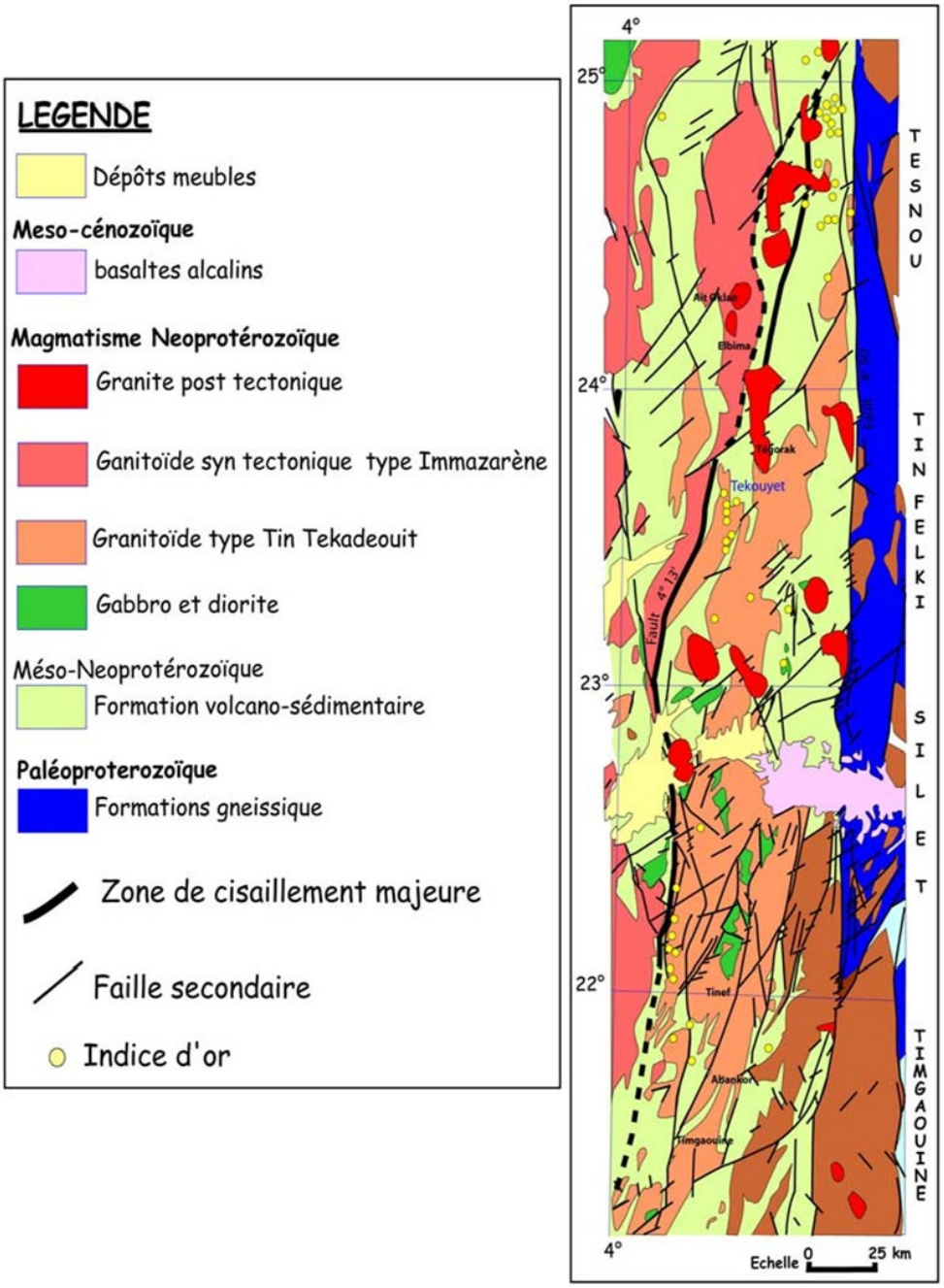



***Figure 10 Carte géologique de la région de Timgaouine-Tesnou***

## *3.3 Type génétique des minéralisations aurifères du Hoggar*

### *3.3.1 Introduction*

Les travaux de recherche conduit en plusieurs étapes depuis 1969 par la SONAREM (actuel ORGM) dans le Hoggar ont permis de mettre en évidence 5 principaux gisements d'or et plus de 300 indices. Ces minéralisations aurifères se rapportent surtout au type génétique " filon de quartz aurifère peu sulfuré ". Elles sont spatialement associées aux principales zones de cisaillement décrochantes qui délimitent les grands domaines géologiques et structuraux définis précédemment. La position et les conditions structurales dans lesquelles ces minéralisations apparaissent, montrent un caractère géographiquement provincial en intégrant un ensemble

géologique beaucoup plus vaste et varié. Ainsi, l'adoption d'un concept de province métallogénique, qui comprend des critères de reconnaissance bien spécifiques (contrôles structuraux et lithologiques, associations minéralogiques, type génétiques, répartition ...etc.

Les perspectives ne sont pas encore épuisées, puisque de nombreux indices situés dans les limites des différents gisements ne sont pas prospectés en profondeur.

Il faut également souligner que, mis à part les minéralisations d'or filonien, des occurrences aurifères notables ont été identifiées dans des volcanites basiques et acides et des roches sédimentaires (schistes noirs, conglomérats de base du dévonien inférieur).

La période commune durant laquelle se sont développés les processus hydrothermaux dans ces provinces est attribuée à l'ultime étape de fonctionnement des principaux cisaillements qui affectent le Hoggar. Par ailleurs, les intrusions magmatiques d'affinité surtout alcaline qui se sont mises en place à la faveur du fonctionnement de ces cisaillements décrochants constituent un élément métallotectique majeur de l'or.

Les résultats acquis à nos jours sont consécutifs à 26 ans de travaux de recherche, menés par la SONAREM (actuel ORGM) en quatre étapes successives.

- période 1969-1973: Il était surtout question d'une recherche beaucoup plus spécialisée avec une argumentation qui s'appuie sur les résultats obtenus durant la période coloniale française. Des travaux géologiques et miniers de surface et quelques forages isolés ont marqué cette étape. La notion de district aurifère a été ainsi définit dans le Hoggar Oriental et dans les limites du môle In-Ouzzal.

- Période 1973-1976: Cette période a été marquée par la prospection et l'évaluation préliminaires des principaux indices aurifères; ce qui a abouti à édifier deux principaux gisements: Tirek, Tiririne et Tin-Chaffao.

de 1976 à nos jours, des recherches d'ordre régional sur les structures favorables à l'apparition des minéralisations aurifères du type filonien, en même temps que des travaux de cartographie et de recherche systématique au 1/200000 ont été entamés. Les objectifs majeurs de cette recherche systématique consistent à inventorier les ressources minières du Hoggar et établir des modèles metallogéniques qui orientent la recherche et la prospection minière.

### *3.3.2 La province aurifère d'In-Ouzzal*

Dans cette province qui occupe une superficie de près de 8000km$^2$ , deux principales structures minéralisées ont été individualisées

a- La première, d'ordre kilométrique et de puissance métrique s'insère dans un couloir tectonique subméridien appelé accident Est-ouzzalien ou 2°30'. Cet accident cisaillant, constituant l'élément métallotectique majeur des minéralisations aurifères, met en contact deux ensembles structuraux:

- le môle In-Ouzzal, situé à l'ouest; d'âge Archéen; il est structuré et métamorphisé dans les conditions de faciès granulitique lors de l'orogenèse éburnéenne (vers 2000 Ma);

- le rameau oriental de la chaîne panafricaine, situé à l'Est; il est matérialisé par des formations d'âge Protérozoïque moyen, structuré et métamorphisé durant l'orogenèse panafricaine.

Ce cisaillement est matérialisé par une bande mylonitique subméridienne large de 1500m et dont l'extension est de l'ordre de 400km. Il se prolonge au sud, dans le territoire malien, suivant la bordure orientale de l'Adrar des Iforas (équivalent latéral du môle In-Ouzzal). Vers le Nord, il plonge sous la couverture sédimentaire du Tassili.

Dans cette structure, la minéralisation aurifère apparaît dans des zones qui ont subi un broyage intensif au cours des phénomènes de cisaillement les plus tardifs qui apparaissent vers la bordure occidentale du cisaillement, juste à la limite avec les formations granulitiques archéennes du môle In-Ouzzal. Dans ces zones, les roches mylonitisées puis cataclasées sont affectées par une intense altération hydrothermale à quartz-sericite-carbonate-pyrite (bérisitisation). C'est dans les bérisites, elles-mêmes parfois aurifères, qu'apparaissent de nombreux filons de quartz minéralisés répartis suivant toute la bande mylonitique.

Les différents travaux de recherche et de prospection conduit par l'ORGM ont montré que la minéralisation aurifère est importante sur une extension de 60km (zone à circulation optimale de fluides minéralisateurs) correspondant à la région située entre Tirek et Amesmessa. Dans cette structure, deux gisements (Tirek et Amsemsssa) et plusieurs indices ont été identifiés dont les principaux sont les suivant: In-Allarène sud, Bouadjla, Lardjane-Timeg, zone I-II et Djazaïria. La longueur totale des blocs minéralisée de ces principaux indices s'étendent sur plus de 5000m.

Dans cette structure, l'or est visible dans les filons de quartz le long de la zone cisaillement sur une étendue de 60km

b- la deuxième structure minéralisée s'insère également dans un couloir tectonique d'orientation N20°, et s'étend sur environ 50km. Elle est définie par la présence d'une zone de cisaillement qui se surimpose à une ceinture de roches vertes archéennes, large d'une centaine de mètres. Les aires d'extension des minéralisations aurifères sont liées aux zones de contact d'une syénite métasomatique à arfvetsonite qui s'est mise en place dans cette ceinture vers 2000Ma (Semiani, 1995), avec des pyroxénites et/ou des marbres à olivine-spinelle.

Mis à part ces syénites, ces roches sont structurées et métamorphisées dans le faciès granulitiques lors de l'orogenèse Eburnéenne; elles ont été partiellement rétromorphosées lors du rejeu de ce cisaillement au cours du Panafricain tardif (vers 550 Ma). C'est durant cette période tectonique tardive que se sont mises en place les minéralisations aurifères. L'or sous forme native ou d'electrum est porté seulement par les filons de quartz; l'encaissant étant stérile.

La paragenèse minérale métallique qui s'y associe comporte: chalcosine, blende, galène, chalcopyrite sphalérite et pyrite.

Cette structure a été reconnue par des travaux de recherche et de prospection exécutés à deux échelles différentes: 1/50 000 et localement au 1/10000. Ils ont consisté en la réalisation d'itinéraires de recherche accompagnés par un échantillonnage systématique de tous les filons de quartz. Les corps minéralisés les plus prometteurs ont été étudiés par des travaux miniers de surface (tranchées), suivant un pas de 20-40m. Ceci a permis de recenser plus de 50 filons de quartz aurifère.

Une trentaines de projets ont été réalisés dans le cadre de la recherche de l'or dans la province aurifères du Hoggar occidental. Les travaux réalisés sont surtout permis de recenser et d'échantillonner tous les corps minéralisés de la province et d'apprécier le degré de

connaissance géologique et metallogenique de la région. Le listing de l'ensemble des rapports est inscrit dans le chapitre bibliographie.

### 3.3.3 La province aurifère de Timgaouine -Tesnou

Cette province comprend les minéralisations aurifères associées au rameau oriental de la chaîne pharusienne du Hoggar. D'une superficie d'environ 7500km$^2$ (300x25km), celle-ci coïncide avec un énorme batholite de granitoïdes indifférenciés d'affinité calco-alcaline qui se manifeste entre deux importants cisaillements subméridiens d'extension régionale. Ce sont d'Est en Ouest les cisaillements 4°50' et 4°13'. La mise en place de ce batholite de composition moyenne grano-dioritique a été daté à 768Ma (Gravelle et al., 1982).

La minéralisation aurifère s'exprime dans des filons de quartz localisés surtout à l'Est immédiat de l'accident tectonique 4°13' qui a tendance à se rapprocher plus au Nord, à la zone de cisaillement majeur 4°50'. Là, il dessine avec ce dernier une zone d'ombre ou intervient un grand nombre de filons de quartz dont une vingtaine de filons sont aurifères. L'état actuel des travaux de recherche sur ces filons démontre leur importance.

L'accident 4°13' est souligné par des roches intensément cataclasées et marquées par une altération hydrothermale à chlorite-séricite. La présence de failles secondaires d'orientation NE joue un rôle essentiel dans la localisation des principaux indices connus en manifestant parfois dans les limites de leur intersection avec l'accident 4°13' une concentration remarquable de filons de quartz. Ces derniers disposés d'une manière anarchique présentent les dimensions suivantes: puissance allant de 0,2 à 1,5m (jusqu'à 5m) et longueur supérieur à 50 à 500m (atteignant parfois plus de 1500m).

Les édifices filoniens sont donc en relation d'une part avec une évolution magmatique complexe, de caractère granodioritique, qui comprend une phase terminale à monzonite quartzique et d'autre part avec une phase tectonique tardive.

Dans cette province, plus de 1000 filons de quartz ont été recensés. Les différentes étapes de travaux de recherche et de prospection qui ont été menés ont permis de mettre en évidence 1 petit gisement et de nombreux indices.

Il faut également signaler que ces indices ont été découverts, suite à des travaux de levé géologique et de la recherche systématique au 1/200 000 et de la recherche spécialisée sur l'or.

#### *3-1- Les indices de Haddok et d'Ouan-Techkat*

Occupant une superficie de 700km$^2$, ces deux indices sont situés à 70km au Sud de Silet (fig. 3). Ils sont représentés par un édifice filonien quartzique localisés dans une zone d'intersection de deux failles. La concentration des filons s'observe dans les secteurs de fracturation intense d'orientation subméridienne et NE.

- Pour l'indice *Ouan-Techkat*, il a été recensé plus de 200 filons de quartz, épais de 0,1-2,5m et longs de 30 - 500m. Ces filons sont systématiquement échantillonnés selon un pas régulier de 20 rarement 40m.

22 filons contiennent des teneurs en or supérieures à 5,0g/t, pour une épaisseur moyenne de 0,3m, dont 14 développés sur 1840m ont une épaisseur moyenne de 0,40m et une teneur moyenne de 16g/t. Les réserves prévisionnelles d'or jusqu'à la profondeur de 40m sont évaluées à 2,0 tonnes.

*Association minéralogique:* Or, chalcopyrite, galène, pyrite. Les formes couramment observées pour l'or sont : lamellaires, dendritiques pelliculaires et en mottes.

***3- 2- L'indice de Tassekret. L'indice*** Tassekret est localisé dans le cadran SW de la feuille Silet (coupure régulière au 1/200 000 du Hoggar). Il est situé à une soixantaine de km vers le Nord de l'indice Ouan-Techkat décrit ci-dessus. Les filons sont situés vers la limite ouest d'une intrusion de granodiorite calco-alcaline fortement fracturée et cataclasée.

130 filons ont été recensés dont 42 développés sur 12km ont donné des teneurs moyennes en or supérieures à 1g/t pour des épaisseurs moyennes de l'ordre de 0,5m.

Parmi ces filons, 16 sont étudiés par des tranchées équidistantes de 20 à 40m, qui sont développés sur 4515m avec des épaisseurs variant entre 0,1 et 2,90m.

Parmi les filons prospectés, 7 ont été évalués en catégorie C2 et P, à 1,14 tonnes d'or sur une longueur utile cumulée de 941m, pour une épaisseur moyenne de 0,48m et une teneur moyenne de 18g/t.

*Association minéralogique:*Or, chalcopyrite, galène, pyrite

La répartition de l'or dans les filons est très irrégulière. Les teneurs fréquentes varient de 1 à 57g/t...

***3-3- Gisement Aurifère de Tekouyet:***

Dans la région de Tin-Felki-Tesnou les indices d'or qui se rapporte au type génétique à quartz filonien aurifères peu sulfurée sont largement développés. Les principaux indices sont Isselfane sud, isselfane Nord, Ihatakène et Tekouyet. Pour l'ensemble de ces indices, les filons de quartz sont spatialement liés à un accident tectonique dénommé 4°13'. Les roches encaissantes sont de deux types:

- une intrusion de granitoïde, en ses termes les moins évolués (gabbro-diorite, diorite),

- des terrains volcano-terrigène du protérozoïque supérieur.

Le gisement de Tekouyet est caractérisé par le regroupement de plus de 400 filons de quartz , formant plusieurs essaims ou zones filoniennes. Dans ces zones, les filons sont distants de 10 à 500m. Leur longueur varie de 20 à 400m et leur puissance de 0,2 à 2m atteignant dans les gonflements jusqu'à 5m. La puissance moyenne est de 0,75m.

La composition des minerais d'or est représentée en surface par malachite, chalcopyrite, chalcosine et galène (<3%). En profondeur, la teneur en sulfures atteint 10-50%. La pyrite étant le minéral le plus abondant(<2%). La pyrite étant le minéral le plus abondant(<3%). En profondeur cette teneur atteint 10-50% de minéraux métallifère. La pyrite étant le minéral le plus abondant.

***3-4-District Aurifère de Tan Chaffao***

La découverte du gisement de Tan- Chaffao est à porter au crédit de la recherche de l'or dans la partie centrale de la ceinture aurifère du Hoggar occidental, dans les limites des feuilles d'In Rabir (NF-31-XXII)et de Tin Felki (NF-31-XXIII).

Le gisement est situé sur le flanc Est de l'anticlinal d'In Rabir et il est circonscrit par les coordonnées géographiques suivantes : 3°39'50'' Long. Est et 23°22'36'' Lat. Nord

L'étude détaillée des anomalies et des indices a été réalisée par la SONAREM , lors des travaux de recherche des compagnes 1971-1972 et 1972-1973 jusqu'au stade de sondages et tranchées et de la première évaluation.

***a) Cadre géologique :***

Les roches qui constituent le flanc Est de l'anticlinal d'In Rabir se rapportent au complexe volcano-térrigène moyen composé de deux séries :

La série inférieure constituée par des rhyolites, dacites, andesites, tufs et tufo-brèches.-

La série supérieure constituée par des formations stratifiées tufo-térrigènes.

La zone minéralisées se trouve au sommet de la coupe des roches effusives acides de la série inférieure et elle est surmontée par des formations tufo-térrigènes de la série supérieure.

Ces formations sont liées à l'une des phases terminales du cycle majeur de volcanisme acide dans le géosynclinal pharusien.

Il se dessinent, de bas en haut, quatre séries dans la coupe du géosynclinal du Pharusien: la série terrigène, la série volcanique acide, la série volcano-sédimentaire et la série volcanique basique.

La série volcanique acide est la plus intéressante pour la recherche des minéralisations cupro-polymetalliques aurifères et il faut noter que c'est également la série la plus répandue dans le Hoggar occidental, notamment sur les flancs des structures de deuxième ordre telles que celles du synclinal d'In Rabir.

***b) Minéralisation :***

Le gisement de Tan-Chaffao présente une zone de roches effusives acides de type porphyres quartzeux et de leurs tufs transformés par altération hydrothermale en quartzites et en schistes pyritisés, quartzifiés et séricitisés.

La zone minéralisée se trouve au sommet de la coupe des roches effusives acides de la série inférieure et elle est surmontée par des formations tufo-térrigènes de la série supérieure.

Les études minéralogiques et structurales ont permis de mettre en évidence l'origine métasomato-hydrothermale des minéralisations.

Les corps des minerais sont des quartzites sériciteuses, des séricito-schistes quartzeux et la minéralisation est pyrito-polymetallique à imprégnation veinulée.

A la surface la zone minéralisée est suivie par des appointements lenticulaires de quartzite, disposés en chapelets, qui constituent des formes positives du relief pouvant atteindre des hauteurs de 20 à 25m.La longueur des lentilles varie de 50 à 300m et leur puissance varie de 0.6 à 16.5m.

La minéralisation la plus riche est constaté dans les quartzites metasomatisées ; les schistes présentent une minéralisation plus faible.

Dans les schistes les minerais à imprégnation veinulée passent à des minerais disséminés essentiellement pyriteux qui passent à leur tour à des imprégnations diffuses de pyrite.

La composition des minerais montre un zonalité grossière. Les minerais pyriteux sont prédominants au sommet du niveau quartzique alors qu'à la base la minéralisation est essentiellement pyrito-polymetallique.

Le gisement de Tan-Chaffao montre aussi une zonalité similaire :sur le flanc Sud Est prédominent les minerais pyriteux et la partie centrale les minerais pyrito-polymetalliques sont prédominants.

***c) Les expressions minéralogiques du Cu,Pb ,Zn, Ag, et Au :***

Sur l'ensemble de la zone minéralisée on constate la présence de malachite, de la chalcosine, de la galène ,de la chalcopyrite, des oxydes de Ba et de Zn et de l'or fin visible à l'œil nu.

A la surface du gisement, la malachite est la plus abondante, les autres minéraux y sont rares.

La minéralisation est développée surtout sous forme de patine dans les joints des fissures et les plans de schistosité.

La minéralisation dite pyriteuse se caractérise par la formation de la marcasite et de la pyrite qui constituent une dissémination de cristaux cubiques; la pyrite se présente également sous forme de filonnets de cristaux xenomorphes ainsi que des lentilles monominérales; en association avec la pyrite, la marcasite est observée sur le flanc Sud-Ouest du gisement.

Dans la zone d'oxydation, la pyrite est souvent substituée par la goethite, l'hydrogoethite et la lépidocrocite. Les minéraux secondaires sont sous forme de pseudomorphose de la pyrite et constituent des amas concrétionnés .

L'étape de minéralisation proprement dite est marquée par la formation de chalcopyrite, de blende, de galène et de bornite.

La chalcopyrite, la blende et la galène forment des agrégats uniques.

La chalcopyrite cimente souvent des cristaux de pyrite corrodés en y formant des veinules et des languettes.

La chalcosine et la covellite se développent sur la chalcopyrite, la remplaçant complètement; la chalcopyrite est substituée plus rarement par la bornite mais dans ces cas la bornite est remplacée par la chalcosine. La blende constitue des veinules corrodant et cimentant les cristaux de pyrite.

En association avec ces minéraux, des cristaux de galène et des agrégats d'argent natif sont observés.

## 3.4 Synthèses des critères de contrôle des minéralisations aurifères du Hoggar.

Cette synthèse est tiré à partir de l'étude des principaux gisements bien connus du Hoggar :

### 3.4.1 Le Gisement Amesmessa

#### *1-1- Introduction*

Durant la période 1970/72, la SONAREM(actuel ORGM), suite à des travaux de recherche menés au sud-ouest du Hoggar (région de Tirek et In-Ouzzal), a mis en évidence les premiers indices d'or dont les travaux qui suivent ont conduit à la découverte de 03 structures aurifères dénommées, In-Allarène Sud, In-Allarène Nord et In-Allarène-In-Ouzzal.

En 1972/73 et parallèlement à des travaux détaillés menés sur ces structures, des recherches à une échelle régionale avait mis l'accent sur le caractère provincial de cette minéralisation aurifère; ce qui a également permis de définir l'accident majeur Est-ouzzalien (2°30') comme un metallotecte majeur de l'or sur plus de 200km. Durant cette même période, d'autres indices ont été mis en évidence (Timeg, Derreg, Tagueraout, Illegh ...etc.). Ils présentent tous les mêmes caractéristiques gitologiques que ceux appartenant au 3 structures ci-dessus énumérées et sont situé sur un même alignement: .

En 1976/79, des travaux de recherche et de prospection de surface ont été focalisés sur la zone de cisaillement comprise entre Tirek et Amesmessa et ou tous les filons de quartz ont été recensés et échantillonnés au pas de 10 à 20m. Ces travaux ont permis de délimiter un district aurifère sur 60x5km$^2$, le long de l'accident Est-Ouzzalien.

C'est en 1976 qu'a eu lieu la prospection et l'évaluation préliminaire du gisement Amesmessa. Les premiers travaux de prospection (itinéraire de recherche au 1/10 000, échantillonnage,tranchées, fouilles, sondages) ont mis en évidence 18 zones filoniennes. L'indice ayant été prospecté en profondeur jusqu'au niveau 160m. Une première appréciation des réserves en catégorie C2 pour 09 corps minéralisés a donné 4736 kg d'or dans un minerai qui titre en moyenne 29,2g/t.

En 1978, la SONAREM (actuel ORGM) a mené des travaux de levé et de recherche systématique au 1/200 000° sur la feuille de Takhamalt (coupure de 100x100km). Au cours de ces travaux des indices ponctuels d'or ont été mis en évidence. Il a été inventorié une vingtaine de filons de quartz à teneur en or de 5 à 30g/t.

En 1982, les feuilles (coupures de 100x100km) de Tirek et d'In-Ouzzal ont été également couvert par des travaux de levé et de recherche systématique au 1/200000. Ces deux régions ont par ailleurs fait l'objet d'un levé gravimétrique au 1/500000 (Rechemann, 1955) et par un levé aéromagnétique et aéroradiométrique au 1/200 000 ( Aéoroservice Corporation, 1975), réintréprété par Patterson en 1976.

Les travaux géologiques et miniers, réalisés dans le contour du gisement Amesmessa suite à une réinterprétation des résultats antérieurs à 1979 ont permis de développer l'importance de ce gisement. Pour cela un volume important de travaux géologiques et miniers avait été réalisé entre 1979 et 1992.

Ces travaux comprennent 307 sondages cumulant 43470m, un puits de mine d'une profondeur de 80m, une galerie et des recoupes d'une longueur de 706m et 11260m$^3$ de tranchées.

Il a été également prélevé 11330 échantillons de saignées, 7320 échantillons de carottes et 7 échantillons technologiques, ceci à aboutit à apprécier les réserves de ce gisement à 61 tonnes (catégorie C1+C2+P).

Il faut donc retenir que dans la province aurifère du môle In-ouzzal, s'individualise un district aurifère d'une superficie de 300km$^2$ , qui comprend deux gisements et une centaine d'indices d'or, offrant un potentiel aurifère de l'ordre de 200 tonnes.

Le gisement Amesmessa situé au sud de ce district, s'inscrit dans un couloir tectonique qui délimite deux blocs géologiques distincts. Il s'étend sur une superficie de 30km$^2$ (13x2,3 km). Il est caractérisé par la présence de 50 filons de quartz et zones filoniennes dont 36 ont été étudiées par des tranchées et 10 (les plus importants) sont étudiés par des travaux de forage.

Selon la disposition spatiale de ces filons et zones filoniennes, trois structures ont été individualisées: Nord, Centre et Sud. C'est la structure centrale qui a été la mieux étudiée.

### *1-2- Contexte géologique*

Deux ensembles lithologiques séparés par la faille majeure d'In-Ouzzal, encadrent le gisement d'Amesmessa.

#### *1-2-1 Les formations archéennes*

Elles affleurent à l'ouest du cisaillement et offrent une grande diversité de faciès que l'on regroupe en deux unités distinctes:

- *Les orthogneiss charnockitiques* constituent le substratum en formant l'essentiel des affleurements. Ils sont structurés en dômes sigmoïdaux durant l'événement tectono-métamorphique Eburnéen , vers 2000 Ma (Peucat et al. 1991; Haddoum et al., 1993). Parmi ces roches deux groupes d'âges ont été individualisés: Les âges supérieurs à 3000Ma et les âges proches de 2600Ma (Haddoum et al.,1994, Semiani, 1995).

- *Les roches paradérivées* sont relativement moins représentées. Ce sont des métapelites alumino-magnesiennes, des marbres à olivine-spinelle-phlogopite et des pyroxénites. Elles forment de petits bassins coincés entre les structures sigmoïdales granito-gneissiques. On y associe à ces formations paradérivées, des syénites quartziques métasomatiques dont la mise en place à eut lieu vers 2000 Ma (Semiani et al.,1993).

De nombreuses intrusions de roches ultrabasiques, q affleurent parmi les formations dans le môle In-Ouzzal. Elle peuvent être scinder en deux groupes distincts selon leur nature et la période de mise en place:

*Les ultrabasites métamorphisées* affleurant sous forme de bandes étroites en. s'associant systématiquement a des faciès lithologiques paradérivées décrits ci-dessus.

Ces roches s'enrichissent généralement en spinelle et en phlogopite au contact avec les marbres. Elles peuvent être interprétées comme d'anciennes laves komatitiques transformées lors du métamorphisme granulitique.

- *Les intrusions sécantes à la foliation éburnéenne* et qui se sont mise en place lors de l'orogenèse panafricaine et affleurement surtout dans les limites de l'accident majeur Est-Ouzzalien. Un métamorphisme de contact se manifeste à leur bordure qui se traduit par la présence de cornéenne à cordiérite.

Un réseau de dykes de roches basiques et intermédiaire, d'orientation assez régulière N40° recoupent l'ensemble de ces roches qui sont essentiellement granulitique. Ces dykes sont abondants en s'approchant de la zone de cisaillement est-ouzzalienne et ne recoupent jamais cette dernière. Leur présence dans un tel contexte s'accommode avec une phase tectonique distensive anté-panafricaine (Boullier, 1983).

#### *1-2-2- Les formations protérozoïque moyen*

Ces formations constituent la partie occidentale du rameau oriental de la chaîne panafricaine. Elles englobent dans les limites du gisement Amesmessa les séries métamorphiques du Protérozoïque moyen. On distingue les orthogneiss granitiques qui constituent la base et une unité lithologique supérieure qui correspond à une formation de plate-forme, comprenant une alternance de quartzites, de marbres, d'amphibolites et des paragneiss à biotite. Ces roches sont plissées et métamorphisées durant l'orogenèse panafricaine, dans le faciès amphibolitique vers 600 Ma (Caby, 1970). Ces formations sont affectées par des plis droits serrés, à axes N-S.

Ces roches sont recoupées par de petites intrusions de granites à biotite, de diorites et de gabbros. A l'approche du cisaillement est-ouzzalien qui séparent les deux formations archéennes et protérozoïques, une large feldspathisation affectent ces faciès sur plus de 1000m.

### *1-3- Minéralisation*

#### *1-3-1- Nature de la minéralisation*

Le champ filonien d'Amesmesa est représenté par une série de zones filoniennes de direction subméridienne se relayant sur une longueur de 13km,le long d'un couloir large d'une quarantaine de mètre. Ces zones filoniennes sont situées dans la partie occidentale de la bande mylonitique Est-ouzzalienne, juste à l'interface du môle In-Ouzzal qui englobe des terrains d'âge Archéen ou prédomine dans la localité immédiate du gisement des roches basiques et ultrabasiques.

Ces minéralisations correspondent d'après la nomenclature classique au type génétique "shear-zones aurifères". C'est donc un gisement mésothermal de type profond.

Le contrôle structural est assuré par le cisaillement Est-ouzzalien d'amplitude régionale. Les filons de quartz se sont mis en place par fracturation hydraulique. Les structures minéralisatrices ont une directions privilégiées N-S, et sont contenues dans les plans de foliation mylontique.

Les études structurales et les inclusions fluides (Semiani, 1995) menées sur ce gisement précisent que l'or engagé dans les filons de quartz a été hérité des terrains du môle In-Ouzzal d'âge Archéen. Ces terrains ayant été structurés et métamorphisés durant l'événement tectono-métamorphique Eburnéen (aux alentours de 2000 Ma). En effet, le Pb sous forme de galène, pénécontemporaine du dépôt de l'or donnent un âge modèle (modèle à deux stades de Stacey-Kramers, 1975) également de 2000Ma, correspondant en plus au même Pb que celui des différents gneiss constituant le môle In-Ouzzal. Ce qui dénote le caractère métamorphique des minéralisation, puisque la période de mise en place est clairement tardive par rapport à

l'orogenèse panafricaine, plus précisément vers 545 Ma et ne peut par conséquent et en aucun cas être d'origine mantellique.

Par ailleurs, ces études précisent également que la position actuelle des filons de quartz reflète une faible érosion, comme en témoigne l'extension verticale des corps minéralisés jusqu'au moins une profondeur de 440m. La période de circulation des fluides minéralisateurs ayant eu lieu vers 540Ma, est contemporaine du dépôt des molasses qui se trouve actuellement tous deux presque à un même niveau d'érosion.

Par ailleurs, la minéralisation elle-même s'est manifestée sous ces bassins sédimentaires, au moment où un régime distensif s'y installe. Ceci indique surtout que la période d'évolution des processus hydrothermaux est à relier à la phase transitoire entre d'une part à une étape tardive d'un régime compressive responsable de la structuration et du métamorphisme de la chaîne panafricaine et d'autre part à une phase distensive qui aurait induit la mise en place des intrusions magmatiques. La mise en place de ces intrusions étant inhérente aux jeux tardifs des principaux cisaillements, qui générant également des bassins sédimentaires, où s'accumuleront les dites molasses.

L'association minéralogique simple est faiblement représentée (1 à 5%). Elle s'établit comme suit:

*gangue*: quartz - carbonates (ferrodolomite) et séricite

*Minéraux métallifères:* Or, Pyrite (le plus abondant), galène, sphalérite peu abondante et rarement chalchopyrite. Le bismuth natif est également rarement observable.

L'or est présent à Amesmessa que sous forme d'or natif, visible au microscope le plus souvent, à l'oeil nu parfois. Il est pour l'essentiel, disséminé dans le quartz, où il se comporte un peu comme les sulfures, formant des traînées intergranulaires de grains discontinus de quelques dizaines de mm. La répartition de l'or est, dans une large mesure, indépendante de celle des sulfures; il existe cependant, une certaine connexion avec les réseaux de la galène et, dans le domaine où l'or et galène coexistent, les relations texturales démontrent clairement le caractère pénécontemporain du dépôt de l'or et de la galène.

La composition chimique de l'or constante est caractérisée par la présence de Bismuth et de forte teneurs en Ag dont les proportions sont plus ou moins fixe. La finesse de l'or qui s'exprime par le rapport Au/Au+Ag est de l'ordre de 0,736.

L'or se présente généralement en grains fins (0,005 à 0,5mm), sous forme de fine dissémination; il s'associe le plus souvent à la galène en cicatrisant les interstices et les fissures affectant le quartz en s'entourant d'un liseré de quartz limpide. L'or peut également colmater des microfractures qui affectent la pyrite. Sa proportion est positivement corrélable à celle de la galène. Ces deux minéraux ont cristallisé lors de la phase hydrothermale tardive.

Dans la bérisite, enveloppant les filons de quartz, l'or n'est pas visible, mais l'analyse docimasique révèle des teneurs en or parfois appréciables; ce qui donne une valeur sûre au gisement d'Amesmessa puisque les contours du gisement en épaisseurs s'élargissent. En profondeur, la minéralisation a été recoupée dans la partie centrale du gisement par un sondage à la profondeur de 440m, en offrant une teneur de 37,3 g/t sur une épaisseur de 1,13m.

La distribution géochimique montre une zonalité verticale, comme suit: Ag - Pb - Bi - Zn - Mn - W - Mn - Co - Ni - Cu.

L'abondance de ces minéraux (métalliques et non métalliques) sont en fonction surtout du degré de la déformation qu'a subi la roche de base (quartz et bérisite). Cet élément structural traduit l'efficacité d'infiltration des solutions hydrothermales, et par conséquent de l'importance des minéralisations aurifères. En effet, Il a été observé que les filons qui n'ont pas subi de déformation, postérieurement à leur mise en place, ne présentent pas d'occurrences aurifères notables. Ce type de filons "stériles en or" s'observe surtout à l'Est de la zone de cisaillement, c'est à dire dans les zones les moins déformées et les moins influencées par les phénomènes cisaillants postérieurs, dont la centralisation de l'effort tectonique final est notable surtout juste à l'interface entre les deux compartiments Archéen-Protérozoïque (rhéologie et compétence différentes de deux blocs géologiques juxtaposés).

***1-3-2- Paramètres géologique et réserves du gisement Amesmessa***

Le gisement d'Amesmessa est représenté par 16 zones filoniennes

La structure centrale du gisement comprenant 06 zones filoniennes, s'étend sur 3400m. Elle est la mieux étudiée et renferment 74,4% des réserves globales évaluées du gisement. La zone n°9 faisant partie de cette structure centrale, s'étend sur 1200m et comprend à elle seule 56,2% des réserves globale du gisement Amesmessa. Cette zone n°9 a été recoupée à une profondeur de 440m.

La morphologie des corps de minerai est complexe. Cette complexité se traduit par la combinaison de filons de quartz isolé, filons de quartz à épontes minéralisée, séries de filons se succédant en "coulisse", système de petites veinules (3 à 5cm) subparallèles, bérisite aurifère, se relayant sur des centaines de mètre en constituant un bâti qui s'édifie dans un couloir tectonique généralement large d'une vingtaine de mètre.

Les filons de quartz forment souvent des lentilles en direction et en pendage. L'étendue de certains filons varie en direction jusqu'à quelques dizaine de mètre à 200-300m et en pendage jusqu'à 80 - 160m. L'épaisseur varie de quelques cm à 1-2m, rarement plus.

### *3.4.2 Le gisement de Tirek :*

***2-1- Introduction***

Le Gisement de Tirek est situé à 40km au Nord du gisement Amesmessa et s'intègre dans la même structure minéralisatrice que ce dernier qui est représentée par le cisaillement Est-Ouzzalien.

Comme pour Amsmessa, le gisement de Tirek est caractérisé par un important dispositif filonien se regroupant en trois champs filoniens distincts (A, B, et C) réparties sur une superficie de 11,5 $km^2$. Ces filons de quartz sont situés dans un massif gabbroïque syn-cinématique du cisaillement Est-ouzzalien et apparaissent de façon privilégiée dans la zone délimité par la confluence de deux cisaillements moulant ce corps gabbroïque( allongé N-S sur 13km) et son extrémité Nord. Dans cette zone intensément fracturée, deux types de filons de quartz coexistent;

- d'une part, les filons aurifères orientés N-S, situé du côté ouest du cisaillement, là où les gabbros sont fortement mylonitisés. Ce type de filons constitue donc le prolongement naturel discontinu des structures minéralisées qui s'apparentent à celles du gisement Amesmessa;

- d'autre part, les filons orientés NE (N20° à N40°), qui sont rectiligne, nettement sécants sur les premiers et qui sont essentiellement centrés sur ce massif gabbroïque, en sa partie épargnées des déformations ductiles

Il a été inventorié 72 filons de quartz développés 15120m, dont 26 sont aurifères sur une étendue de 3455m.

Les travaux géologiques et miniers ont été réalisés entre 1973 et 1987. Ils comprennent 44358,7m de forage, 2 puits de mine d'une profondeur cumulée de 137m, des galeries et des recoupes d'une longueur totale de 1354,7m et 2450m$^3$ de tranchées de surface. Il a été également prélevé 4705 échantillons de saignées, 1606 échantillons de carottes et 3 échantillons technologiques.

Le gisement de Tirek a été couvert par un levé au 1/5000 sur une superficie de 11,5km$^2$. Le champ filonien "A" d'une superficie de 3km$^2$ a été couvert par un levé au 1/2000

### *2-2- Contexte géologique*

Mis à part la présence de ces roches basiques dans l'enceinte mylontitique, le contexte géologique global du gisement de Tirek, reste identique à celui du gisement d'Amesmessa. On distingue donc une bande mylonitique, large de 15000m en moyenne, support de l'essentiel des filons de quartz aurifères, et qui séparent deux compartiments:

- A l'Ouest, ce sont les formations granulitiques archéennes qui sont recoupées par un réseau dense de dykes de dolérites, d'orientation presque systématiquement N340° qui s'amortissent vers le front ouest de la zone de cisaillement. Dans ce compartiment archéen les faciès paradérivées et roches basiques-ultrabasiques associées sont absentes dans les limites du gisement de Tirek, on note seulement la présence d'orhogneiss charnockitique.

- A l'Est, ce sont les formations du protérozoïque moyen, représentée par une série de plate-forme à prédominance de quartzite ( parfois à magnétite), amphibolite, marbres et paragneiss. Dans ce compartiment s'individualise quelques corps de dimensions assez restreintes (0,5x05km2) de granites, de diorite et de gabbros qui sont nettement sécants sur la foliation métamorphique. Ces formations ont été métamorphisées durant l'orogenèse panafricaine dans des conditions de faciès amphibolitiques, localement en faciès schistes verts.

### *2-3-Minéralisation :*

#### *2-3-1- Nature de la minéralisation*

Le gisement de Tirek englobe des filons de quartz qui s'organisent selon deux directions privilégiées, à savoir N-S et N40°.

Il s'agit du même type génétique que celui du gisement Amesmessa. Cependant, il faut souligner que la paragenèse minérale constituant les filons de quartz aurifères s'associant aux structures tectoniques d'orientation N40° est sensiblement différente de celle caractérisant les filons aurifères N-S d'Amesmessa. En effet, dans ce type de filon en note la disparition de la sphalérite, mais avec apparition de la chalcopyrite et du Bismuth natif, la pyrite est plus

abondante (10-15%). L'or est soit associé à la pyrite soit seul. Dans les deux cas, il cicatrise les microfissures situées dans le quartz et la pyrites, qui sont préalablement broyé et fissuré.

### *3.4.3 Le gisement de Tiririne :*

#### *3-1- Introduction*

Faisant partie de la province aurifère du Hoggar oriental, le gisement de Tiririne est situé au Sud-Est du Hoggar (feuille de Tadoumet au 1/200 000) (fig.V-1). Le gisement a été prospecté et évalué par la SONAREM durant la période 1970/1979.

Le gisement est constitué par un bâti filonien englobant 567 filons affleurant sur une superficie de 100km2. Ces filons sont développés sur une longueur cumulée de 200km; 114 d'entre eux sont aurifères et sont développés sur 19km.

Depuis la première découverte par la SONAREM (actuel ORGM) en 1970 jusqu'à 1975, tous les filons ont été échantillonnés en surface selon une maille assez lâche (pas de 20m à 80m); Par la suite, les plus intéressant ont été décapés par des tranchées et échantillonné à un pas variant de 2,5 à 20m et évalués à des niveaux différents selon l'importance des filons, avant d'être prospectés à des niveaux profonds.

#### *3-2- Travaux réalisés*

Les travaux géologiques et miniers qui ont été exécutés dans la province qui englobe le gisement de Tiririne, comprennent:

- un levé géologique au 1/100 000 et au 1/50 000 sur une superficie de 5720km$^2$

- un levé géologique au 1/5000 et au 1/2000 sur une superficie de 48km2

- le prélèvement de 19763 échantillons de saignées, 419 échantillons carottes, 2 échantillons global, 7 échantillons technologiques.

- 101 forages totalisant 10471,5m, 4 puits de mine cumulant 288,9m, des galeries horizontales d'une longueur totale de 1851m, une descenderie de 66,4m, des cheminées de longueur totale de 231,5m, un levé souterrain au 1/500 et au 1/200 sur une étendue de 2464,1m et un levé topographique au 1/5000 et au 1/2000 sur une superficie de 79,9km2. Il a été également traité 354 tonnes de minerai et obtenu 83 kg d'or.

Actuellement, une prospection régionale au 1/50 000 a été engagée sur les structures les plus fertiles de la province, notamment celles, qui ont été recommandées par les travaux antérieurs. Ceci dans le soucis d'augmenter le potentiel aurifère de la région.

#### *3-3-Contexte géologique:*

Le gisement de Tiririne est situé le long d'une bande subméridienne matérialisée essentiellement par des formations volcanodétritique. Cette bande constituent une limite naturelle entre deux domaines géologiques différents: Ce sont le Hoggar oriental d'âge protérozoïque supérieur et le Hoggar central d'âge Archéen-Protérozoïque moyen.

### *3-4- Minéralisation :*

#### *3-3-1- Nature de la minéralisation*

La minéralisation aurifère du gisement Tiririne est représentée par un édifice filonien mis en mis au place au cours l'ultime étape de l'orogenèse panafricaine.

Les filons de quartz sont répartis en plusieurs champs filoniens sur une superficie de 100km$^2$. Les roches encaissantes sont représentées par des formations de la série de Tiririne et des granites post-orogéniques. Ils se mettent en place dans les zones de failles dont l'orientation préférentielle est subméridienne. Les zones d'intersections de deux systèmes de fractures favorisent généralement la concentration optimales des occurrences aurifères.

*Association minéralogique*: chalcopyrite, galène, blende, pyrite et or

L'altération hydrothermale de l'encaissant se traduit par une séricitisation et une chloritisation des minéraux primaires.

6 champs filoniens principaux ont été reconnus et prospectées par différents travaux miniers. Il s'agit de:

***- Champ filonien Nord-Dunes:***

le champ renferme 70 filons de quartz développés sur 17km, seulement 13 filons sont aurifères sur une longueur cumulée de 2,73km. Ce champ filonien demeure le plus important puisque l'essentiel des réserves y sont concentrées.

Les filons sont échantillonnés en surface au pas de 2,5, 5m, 10m et 20m. Les filons principaux (XVI et XL) sont prospectés par sondage (mailles de 40x40m au niveau 40m et 40x80ou 100m à des niveaux plus bas) et galerie au total 25 forages ont été réalisés sur ce champ filonien.

***- Champ filonien NE:***

ce champ renferme 50 filons de quartz développes sur 19 Km dont 16 filons de quartz sont aurifères s'étendant sur une longueur cumulée de 2500m : la teneur en or varie de 2,5 à 34 G/t et l'épaisseur varie de 0,3 à 1,25m.

La plupart des filons son échantillonné en surface au pas de 5m les 2 plus importants filons ont été recoupé au niveau 80 par deux sondages.

***- Champ filonien Ouest :***

Les filons développés sur une superficie de 2 Km2. Il a été recensé 94 filons développé sur une longueur total de 44 Km, 21d'entre eux développés sur 4km sont aurifère Ils sont .échantillonnés.au pas de 5 à 50m, 2 filons (les plus importants) sont recoupés par des forages, selon sur maille de 40x80m.

***- Champs filonien central :***

Sur le périmètre du champ, il a été recensé 61 *filons* de quartz d'une longueur totale de 26,7km. 16 d'entre eux sont aurifères, développés sur une longueur cumulée de 4,2km. Leur épaisseur varie de 0,1 à 3m.

Les filons sont prospectés en surface par des tranchées équidistante de 2,5 à 20m (maille qui a été adoptée en fonction de l'importance des filons). Les filons présentant des paramètres importants en surface ont été prospectés en aval pendage par forage. Des mailles de 40x40m et 40x80m ont été adoptées. Au total 27 sondages ont été réalisés.

***- Champs filonien Est :***

54 filons de quartz ont été recensé dont 10 filons sont aurifères. L'épaisseur moyenne de ces filons est de 1,26m. Les teneurs moyenne pour les 10 filons aurifères oscillent entre 3,56 et 28,43g/t. Ce champ filonien n'a été prospectée que par des tranchées de surface équidistante de 2-5m à 10 et 20m (selon l'importance des filon).

***- Champs filonien Sud-Ouest:***

50 filons de quartz ont été recensés se développant sur une longueur cumulée de 23,2km, dont 7 sont aurifères sur une longueur totale de 1,05km. Les teneurs moyenne par filon oscillent entre 4,34g/t et 28,92g/t. Le filon principal d'une longueur de 900m a été prospecté par galerie directionnelle et par 03 forages.

***- Champs filonien Sud :***

83 filons de quartz développés sur une longueur cumulée de 32km ont été recensés dont 17 s'étendant sur 2,27km sont aurifères. L'épaisseur moyenne pour ces filons oscillent entre 0,6 et 1,4m. l'échantillonnage a été effectué au pas de 5 à 20m.

***- Champ filonien Sud-A:***

105 filons de quartz développés sur une longueur cumulée de 20,29km ont été recensés dont 6 développés sur 695m sont aurifères.

Ce sont les champs filoniens Nord-dunes, central et Sud-ouest qui présentent les paramètres les plus intéressants; et c'est dans ces champs que l'essentiel des travaux miniers a été réalisé en vue de l'appréciation en catégorie C1 et C2 des filons les plus importants.

### *3.4.4 Le gisement de Hanane*

Le gisement de Hanane a été découvert lors des travaux de recherche et de prospection à l'échelle 1/50 000, en 1984, par la SONAREM.

Il est situé au SE du Hoggar, dans la partie septentrionale de la feuille Timolétine, à 30km au sud du gisement Tririne. Il est relié à Tamanrasset, principale ville du Hoggar, par une piste de 480km. Des ressources hydriques importantes ont été mises en évidence dans le bassin de Tafassasset, à 110km du gisement.

***4-1 Travaux réalisés:***

- Levé magnérométrique et aérospectrométrique au 1/200 000,

- levé géologique au 1/200 000 (feuille Timolétine sur 10 000 $km^2$)

- levé géologique au 1/50 000 (feuille de Tririne)

- levé géologique au 1/10 000 (sur une superficie de 40$km^2$)

- levé géologique au 1/5000 sur une superficie de 20 $km^2$

- levé géologique au 1/2000 sur une superficie de 4 $km^2$

- Prospection géophysique au 1/10 000 (magnétométrie et gravimétrie)

- prospection géochimique au sol au 1/10 000,

réalisation de 27 forage cumulant 2816m selon des mailles de 40x40m aux niveaux

40m, 80 et 120m;

- des galeries aux niveaux 15, 20 et 25m. sur des sections de 4 $m^2$ sur 69m, des recoupes d'une section de 2,7$m^2$ sur 86,9m et un volume de 502$m^3$ de tranchées de surface

Il a été prélevé 1340 saignées, 803 carottes, 2761 lithogéochimiques; et effectuées 3396 analyses spectrales pour 18 éléments, 2376 analyses docimasiques, 40 analyses chimiques et 65 analyses minéralogiques.

***4-2- Cadre géologique***

Le gisement est situé dans les mêmes conditions géologiques que le gisement de Tiririne. Ces formations traduisent un environnement volcano-sédimentaire, d'âge protérozoïque supérieur ou se mettent en place des intrusions de granitoïdes. Les filons de quartz aurifères affleurent dans les deux contextes géologiques.

***4-3- La minéralisation:***

Le gisement de Hanane est représenté par 3 corps de minerai disposés en échelon. La puissance de ces corps varie de 0,5 à 13,6m. L'encaissant est représenté par des bérisites.. En surface, les teneurs en or atteignent en surface 525,5g/t avec une moyenne de 42,1 g/t. Le rapport Au/Ag est de 1/3.

L'association minéralogique:

Minéraux métallifères: Or - galène- pyrite - chalcopyrite - sphalérite-

Minéraux de gangue: Quartz - séricite - chlorite - calcite -

Les minéraux d'altération supergènes: Goetite - cérusite - hématite - anglésite - malachite - chalcosine - pyrolusite.

Le quartz constitue environ 98% du minerai.

### *3.4.5 Le gisement de In-Abeggui*

Le gisement de In-Abeggui a été découvert entre 1954 et 1962 lors des travaux géologique à 1/2000000, effectués par le BRMA. Il est situé à 210 km au sud de la ville de Tamanrasset.

Le gisement est représenté par une zones filonienne dessinant un stockwerk. comprenant des sulfures, de la tourmaline et de l'or.

Les travaux de prospection ont été effectué durant la période 1971/73 et repris en 1993/1994.

***5-1 Travaux réalisés:***

- Levé géologique à 1/50 000; 1/10 000 ; 1/2000 et au 1/200).

- Levé géophysique (magnetométrie et SEV);

- 6308m3 de tranchées,

- des puits de 10 et 20 m de profondeur et des recoupes;

- 38 sondages cumulant une longueur totale de 7776m: La profondeur maximale atteint 420m.

- prélèvement de 2316 saignées, 1727 carottes, 495 batées.

***5-2- Contexte géologique***

Le gisement d'In-Abeggui est représenté par un système de filons de quartz à tourmaline encaissés dans un massif gabbroïque, lui-même intrudant une formation volcono-détritique du Protérozoïque supérieur. Ce massif de gabbro (1000x300m) présente une certaine zonalité: la partie centrale est un gabbro à olivine, tandis que la périphérie est un gabbro-diorite. De nombreux dykes de compositions divers ( aplites, microdiorites, diabase) recoupent en différentes directions ce massif.

Des zones de cataclase soulignent des failles d'orientation privilégiée NNE. Ce sont ces zones qui contiennent les corps minéralisés.

***5-3- La minéralisation***

Les filons de quartz aurifères sont situés dans une zone intensément cataclasée développés sur des zones linéaires orientées préférentiellement NNE en soulignant des accidents tectoniques. Leur longueur varie de quelques mètres à des centaines de mètres, leur puissance varient entre 0,1 et 6m. Souvent les filons se regroupés sur de petites superficies ( 500 à 600$m^2$ ) en édifiant des stokwerks immatures.

Par ailleurs, la morphologie des filons est complexe; les formes les plus caractéristiques sont:

- Filons de remplissage des fissures de cisaillement (fracturation hydraulique) ;

- filons de remplissage des fentes de tensions, disposés en relais;

- filons ramifiés en 'queue de cheval;

*Le minerai est caractérisé par l'association minéralogique suivante:*

*- gangue: quartz - tourmaline - barytine*

*- minéraux métallifères: Or - Bismuth natif - Bismuthite - chalcopyrite - pyrite - galène - mispickel - pyrrhotine - soufre - orpiment - ocres d'arsenic.*

***Tableau 1 synthèse et critères de contrôle des minéralisations aurifères du Hoggar***

| ***Critère de Contrôle*** | ***Hoggar Oriental*** | ***Hoggar central*** | ***Hoggar Occidental*** |
|---|---|---|---|
| ***C.C Lithologique*** | - *Filons de Quartz.*<br>- *Formation des granite post-orogénique* | - *Zone filonienne à stockwerk*<br>- *Formation volco-detritique* | - *Formations granulitique*<br>- *Filons de Quartz* |
| ***C.C Tectonique*** | - *Zone de failles subméridienne*<br>- *Intersection de faille* | - *Dykes a plits, microdiorites, diabase*<br>- *Orientation NNE* | - *Subméridien 2°30'*<br>- *N20°*<br>- *Dykes N40°* |
| ***C.C Magmatique*** | - *Formation volcano détritique* | - *Quartz a tourmaline*<br>- *Zones de broyages intensif.* | - *Quartz-sericite-carbonate-pyrite berisitisation*<br>- *Pyroxénite et /ou de marbres a olivine-spinelle* |
| ***C.C D'altération Hydrothermal*** | - *Siricitisation et chloritisation*<br>- *Epidotisation* | - *Silicification*<br>- *Berisification* | - *Cisaillements de bande Mylonitique*<br>- *chloritisation*<br>- *Zone de contacte d'une syénite métasomatique à arfvetsonite* |

# 4. Partie SIG :


## 4.1 Généralités
### 4.1.1 Introduction
### 4.1.2 Définitions
### 4.1.3 Architecture et fonctionnement d'un SIG
### 4.1.4 Structure d'un SIG
### 4.1.5 Fonctionnalités d'un SIG
### 4.1.6 Les données dans les SIG
## 4.2 Application à la région d'étude

***1.1 Introduction***
***1.2 Elaboration du SIG du Hoggar***
***1.3 Fichier Excel***
***1.4 Traitement Analytique et Géostatistique***


## 1. INTRODUCTION

Dans cette partie, il nous est apparu utile d'introduire quelques notions essentielles sur les systèmes d'information géographique. Le concept de système d'information géographique(SIG) est apparu dans les années 1960-1970. Depuis ce temps, des définitions plus ou moins similaires et cohérentes ont fait leur apparition. Afin de bien situer le rôle et l'usage d'un SIG, nous allons également en préciser sa définition. Signalons qu'il n'existe pas encore une définition claire et communément admise par l'ensemble de la communauté scientifique. La plupart des définitions citées sont plutôt d'ordre général et couvrent un large spectre de sujets et d'activités.

## 2. DEFINITIONS

Un système d'information géographique (SIG) est un système informatique permettant à partir de diverses sources, de rassembler et organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement contribuant notamment à la gestion de l'espace.

Un système d'information géographique est aussi un système de gestion de base de données pour la saisie, le stockage, l'extraction, l'interrogation, l'analyse et l'affichage de données localisées.

C'est un ensemble de données repérées dans l'espace, structuré de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision.

Un système d'information géographique, est un ensemble d'équipements informatiques, de logiciels et de méthodologies pour la saisie, la validation, le stockage et l'exploitation de données, dont la majorité est spatialement référencée, destinée à la simulation de comportement d'un phénomène naturel, à la gestion et l'aide à la décision.

## *3. ARCHITECTURE ET FONCTIONNALITES D'UN SIG :*

a- **Les composants d'un** SIG : Un Système d'Information Géographique est constitué de 5 composants majeurs :

a.1- **Matériel** :

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

a.**2- Logiciels** :

Les logiciels de SIG offrent les outils et les fonctions pour stocker, analyser et afficher toutes les informations.

Principaux composants logiciel d'un SIG :

- Outils pour saisir et manipuler les informations géographiques.
- Système de gestion de base de données.
- Outils géographiques de requête, analyse et visualisation.

a.3 - **Données** :

- Les données sont certainement les composantes les plus importantes des SIG.
- Les données géographiques et les données tabulaires associées peuvent, soit être constituées en interne, soit acquises auprès de producteurs de données.

a.4 - **Utilisateurs :**

Un Système d'Information Géographique(SIG) étant avant tout un outil, c'est son utilisation (et donc, son ou ses utilisateurs) qui permet d'en exploiter la quintessence. Les SIG s'adressent à une très grande communauté d'utilisateurs depuis ceux qui créent et maintiennent les systèmes, jusqu'aux personnes utilisant dans leur travail quotidien la dimension géographique. Avec l'avènement des SIG sur Internet, la communauté des utilisateurs de SIG s'agrandit de façon importante chaque jour et il est raisonnable de penser qu'à brève échéance, nous serons tous à des niveaux

a.5 **- Méthodes :**

La mise en œuvre et l'exploitation d'un SIG ne peut s'envisager sans le respect de certaines règles et procédures propres à chaque organisation.

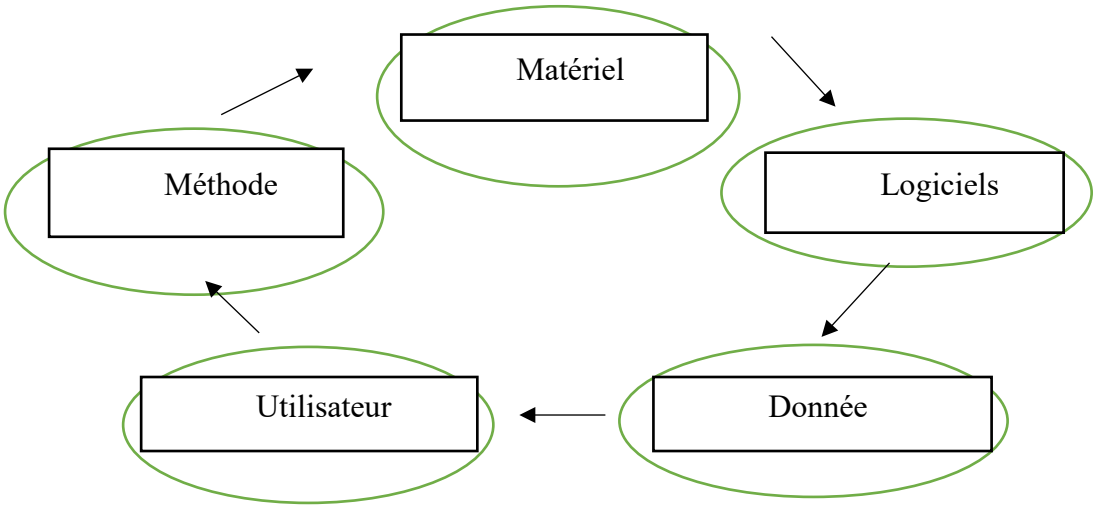



***Figure 11 Composants d'un SIG***

## *4. STRUCTURE D'UN SIG :*

La figure met en évidence quatre groupes de fonctionnalités au-dessous d'une couche d'applications : l'acquisition des données géographiques d'origines diverses, la gestion pour le stockage et la recherche des données, l'analyse spatiale pour le traitement et l'exploitation et enfin la présentation des résultats sous forme cartographique.

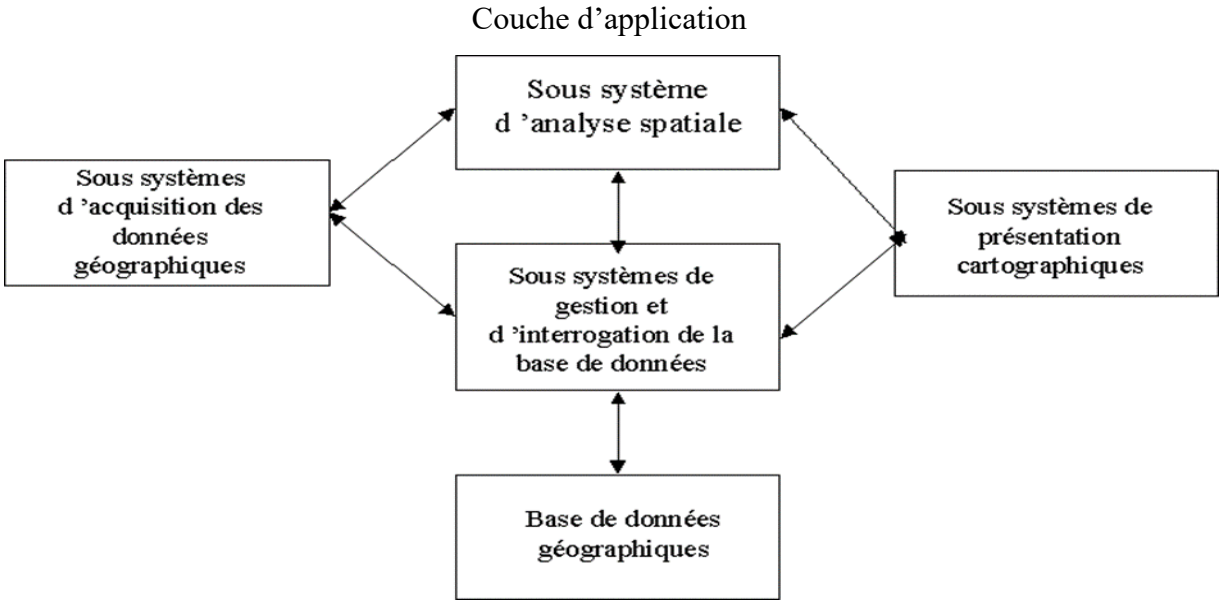



***Figure 12 Structure d'un SIG (Abdelbaki, 2012)***

### I.4.2. **Types de données dans un SIG**

Généralement pour qu'un objet spatial soit bien décrit et prêt à être utilisé par un SIG, trois informations doivent être fournies :

- sa position géographique dans l'espace
- sa relation spatiale avec les autres objets spatiaux : topologie
- son attribut, c'est à dire ce qu'est l'objet avec un caractère d'identification (code) Les systèmes d'information géographique permettent de traiter les données spatiales et associées.

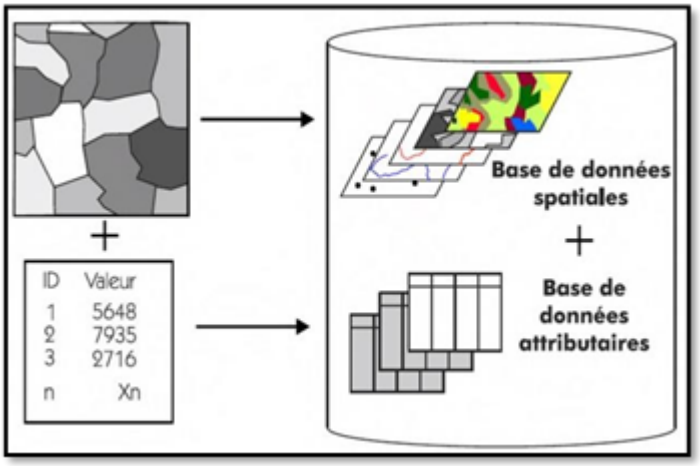



***Figure 13 Types de données dans un SIG***

#### I.4.2.1 **Données spatiales**

Elles déterminent les caractéristiques spatiales d'une entité géographique où sont représentés et identifiés tous les éléments graphiques :

- La localisation : coordonnées par rapport à une échelle graphique de référence.
- La forme : point, ligne, surface.
- La taille : longueur, périmètre, surface. Les informations font référence à des objets de trois types :
- Point : est désigné par ses coordonnées et à la dimension spatiale la plus petite.
- Ligne : a une dimension spatiale constituée d'une succession de points proches les uns des autres.
- Polygone (zone ou surface) : est un élément de surface défini par une ligne fermée ou la ligne qui le délimite.

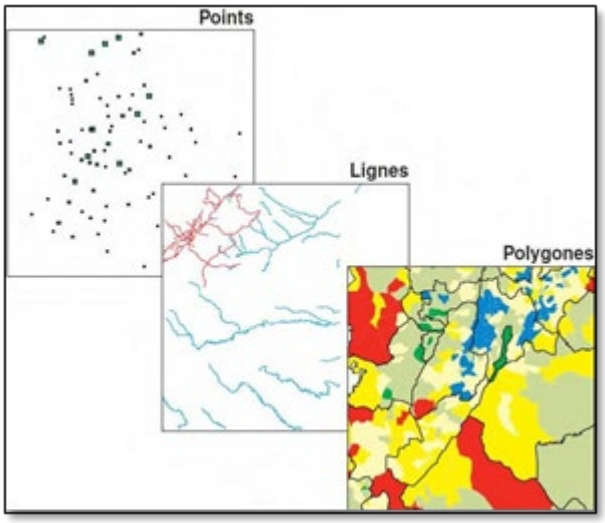



*Figure 14 Données spatiales*

**Données attributaires :**

Ces données viennent apporter une information supplémentaire, propre à chaque objet identifié : le propriétaire de la parcelle, le diamètre de la conduite d'eau...

Souvent ces informations sont déjà disponibles sur des fichiers informatiques, où elles sont liées à l'identifiant de chaque objet.

En général, la classe d'objet est déterminée, au moins en partie, par le processus de digitalisation, les identifiants étant introduits souvent en bloc à la fin.

**Modes de données dans les SIG :**

La reprise de documents cartographiques existants sur support papier en vue de les introduire dans un SIG, pouvait recourir à des techniques différentes : la digitalisation et le balayage électronique par exemple. Le premier conduit directement, comme c'est illustré à la figure, à des données cartographiques numériques de type vecteur, la seconde à des données tramées.

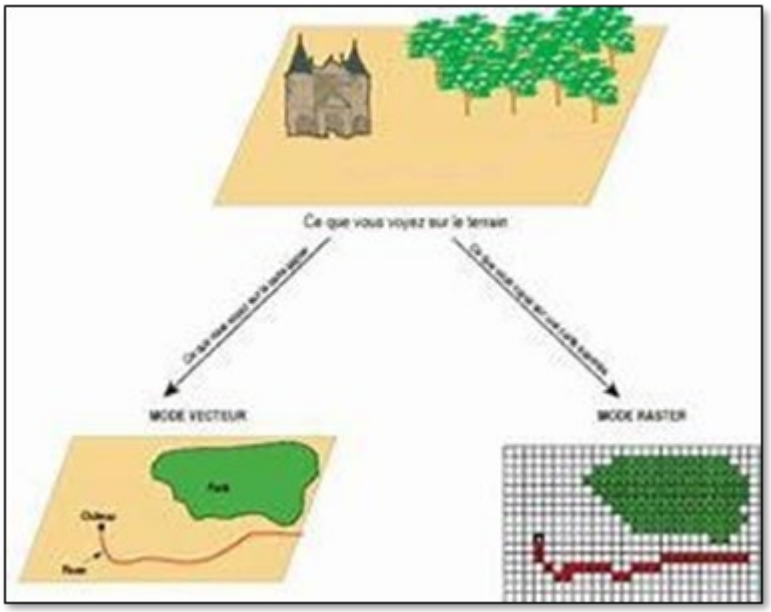


*Figure 15 Modes de données dans un SIG*

### I.4.3.1 **Mode vecteur :**

Ce mode répond au souci de représenter un objet de manière aussi exacte que possible. Pour transformer un objet réel en une donnée à référence spatiale, on décompose le territoire en couches thématiques (relief, routes, bâtiments…) structurées dans des bases de données numériques.

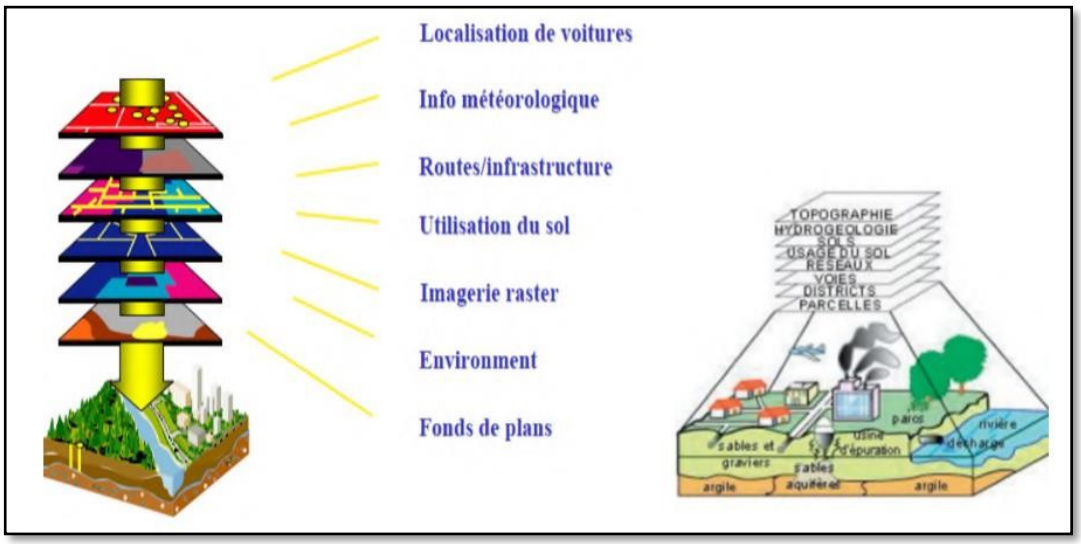



*Figure 16 Mode vecteur*

Décomposition du monde réel en couches d'information

Une couche réunit généralement des éléments géographiques de même type. Les éléments géographiques (objets spatiaux) peuvent être représentés sur une carte par des points, des lignes ou des polygones (figure suivant).

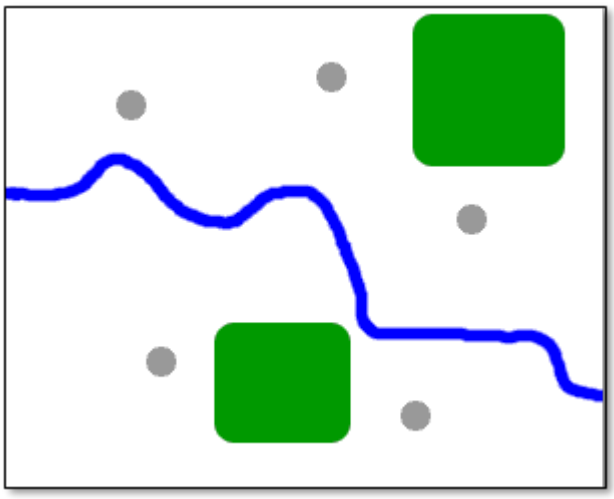


*Figure 17 Example de Mode vecteur*

**Les avantages du mode vecteur sont :**

- Une meilleure adaptation à la description des entités ponctuelles et linéaires.
- Une facilité d'extraction de détails.
- Une simplicité dans la transformation de coordonnées.

- Les inconvénients du mode vecteur sont :

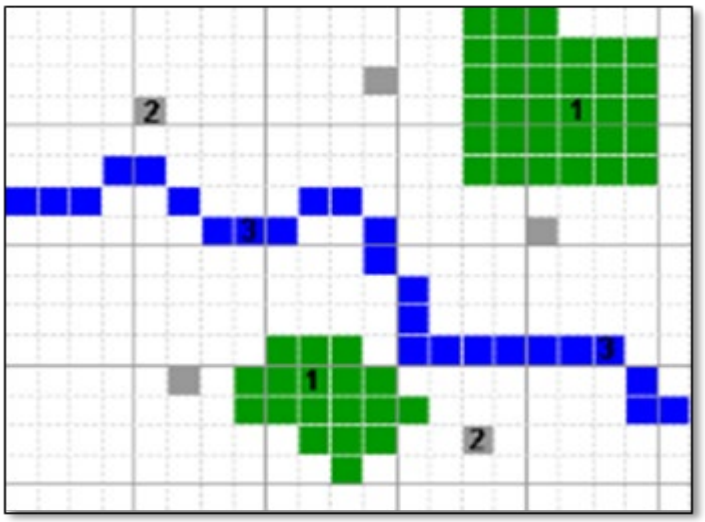



***Figure 18 Mode Raster***

**Les avantages du mode raster sont :**

- Meilleure adaptation à la représentation des détails surfaciques.
- Acquisition des données à partir d'un scanner à balayage.
- Meilleure adaptation à certains types de traitements numériques : filtres, classifications
- Les inconvénients du mode raster sont :
- Mauvaise adaptation à la représentation des détails linéaires.
- Obligation de parcourir toute la surface pour extraire un détail
- Impossibilité de réaliser certaines opérations topologiques, la recherche du plus court chemin dans un réseau par exemple

Ces deux modes sont complémentaires. Le raster est mieux adapté à certains types d'applications (télédétection) et apporte une réponse économique à certains besoins. L'exploitant d'un réseau pourrait par exemple se contenter de scanner des fonds de plans

En les conservant au format raster et en numérisant par-dessus son réseau en mode vecteur (qui nécessite une définition par formes géométriques). Le vecteur correspond à l'ensemble des besoins courants en gestion de données localisées.

***APPLICATION A LA REGION D'ETUDE :***

### *4.2.1 Introduction*

La méthode ou la technologie de SIG qu'on a utilisé dans notre travaille sur la cartographie géologique du Hoggar, consiste à mettre sous une carte tous les informations géologique c'est à dire vectoriser[2]. Mettre sous une carte tout le donne collecte à partir des informations préexistantes sous 3 formes.

Polygones qui comporte les formations

Ligne qui comporte le dykes, failles, filons etc…

Le points qui comporte les minéralisation.

### *4.2.2 Elaboration du SIG du Hoggar*

**Rappels théoriques :**

**Système de Coordonnées de Référence :**

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

**Systèmes de coordonnées géographiques :**

Un système de coordonnées géographiques (GCS, géographique Coordinate System) utilise une surface sphérique à trois dimensions pour définir des emplacements sur la Terre. Un GCS est souvent confondu avec un DATUM, lequel n'est en fait qu'une partie d'un GCS, ce dernier comprend une unité angulaire de mesure, un méridien principal et un DATUM (basé sur un ellipsoïde). Il en existe plusieurs pour des raisons historiques, techniques et d'usage, cependant le système de coordonnées le plus utilisé est le WGS 84.

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

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

[2] Vectorisation.- Les vecteurs permettent de représenter des données discrètes (discontinues, distinctes), aussi appelées données thématiques. Dans sa composante graphique, un vecteur est composé de nœuds (des points dans l'espace) et des formules mathématiques pour calculer les arcs (des lignes) qui relient ces nœuds entre eux et qui forment ainsi une géométrie.

On distingue trois grands types de géométries : point, ligne et polygone

Il y a deux façons de vectoriser des cartes (cf. Digitalisation):

- A l'aide d'un digitaliseur,
- Digitalisation à l'écran.

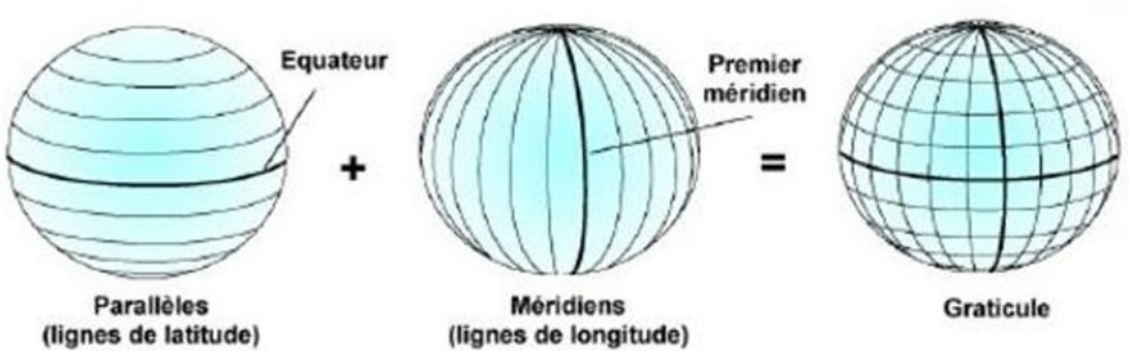



*Figure 19 Les parallèles et les méridiens constituant un graticule.*

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

- ✓ Une unité angulaire.
- ✓ Un méridien de référence.
- ✓ Un ellipsoïde.
- ✓ Une même position aura donc des coordonnées différentes selon son DATUM.

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

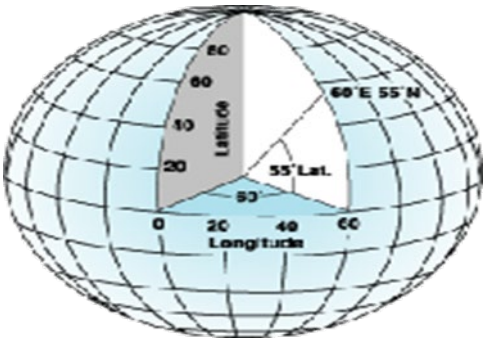



*Figure 20 Globe terrestre avec les valeurs de longitude et de latitude.*

**Systèmes de coordonnées projetés :**

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

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

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

***Figure 21 Fuseaux horaires du sud de l'Algérie.***

**Géoréférencement :**

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

Pour que le travail soit correct et précis, il faudrait opter pour un système de projection unique de la mesure du possible, pour éviter les déformations sur les entités ainsi que les erreurs lors des calculs d'analyses spatiales. Pour nos cartes on a utilisé le système de projection « UTM » Nord Sahara 31.

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

1)Démarrer ArcCatalog.

2) Se connecter à un dossier :

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

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

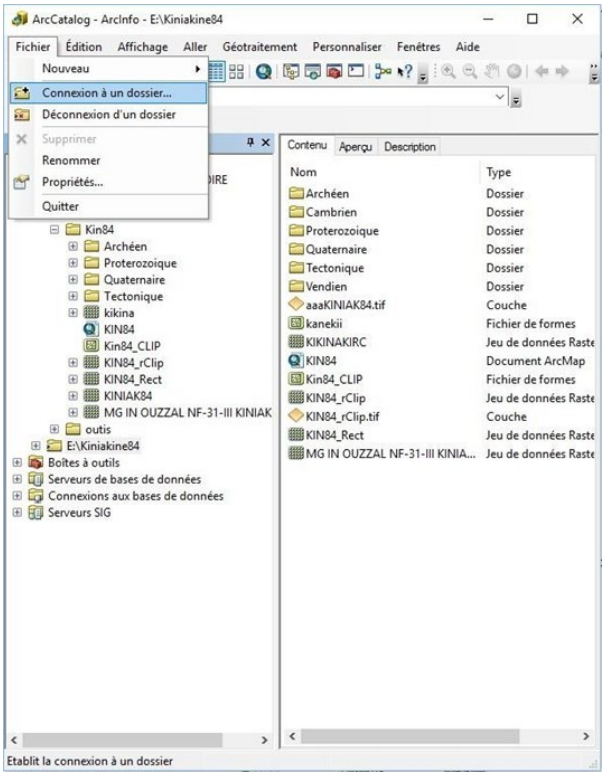



***Figure 22 Connexion à un dossier via ArcCatalog.***

Pour la deuxième méthode il suffit de cliquer sur la flèche jaune sur la barre d'outils d'ArcCatalog → Notre Dossier.

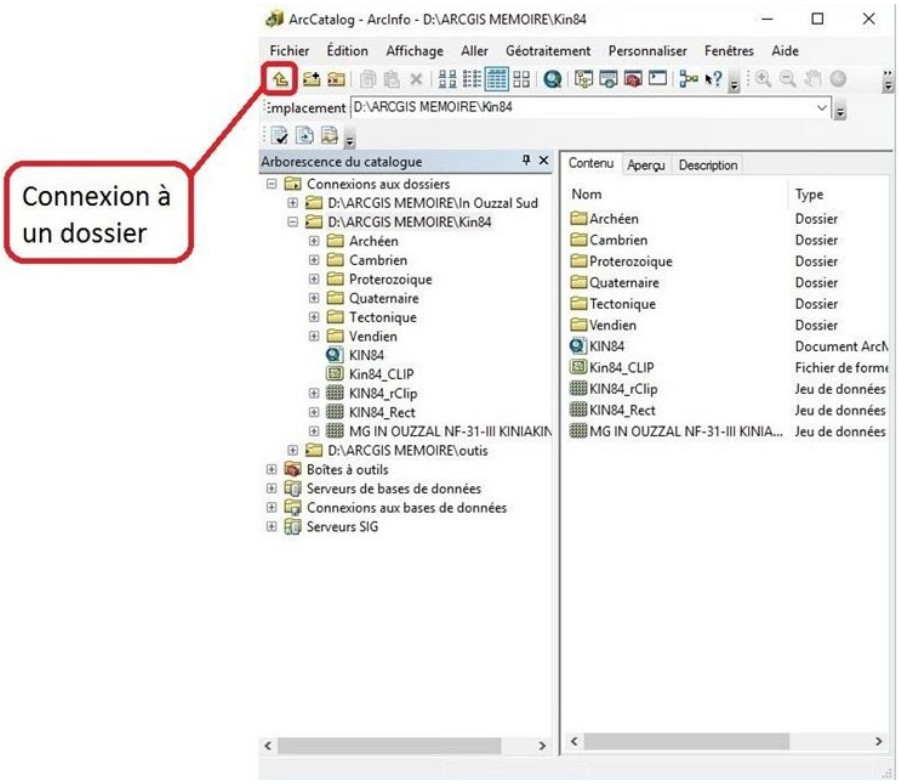



***Figure 23 Connexion à un dossier via ArcCatalog.***

Une fois le dossier ajouté à ArcCatalog, ce dernier s'affichera dans la partie

« Arborescence du catalogue ». Effectuer un clic gauche sur le dossier en question, la liste de fichiers qui contient apparaitra dans la partie gauche d'ArcCatalog.

3) Choix du système de coordonnées dans ArcCatalog :

On sélectionne notre carte qui est en format raster → On effectue un clic droit dessus

→ Propriétés → Références spatiales → Modifier → Sélection → Références spatiales

→ Système de coordonnées projetés → UTM → Africa → Choisir le système de coordonnées qui convient (Nord_Sahara_1959_Zone31N pour nos cartes.) → Ok.

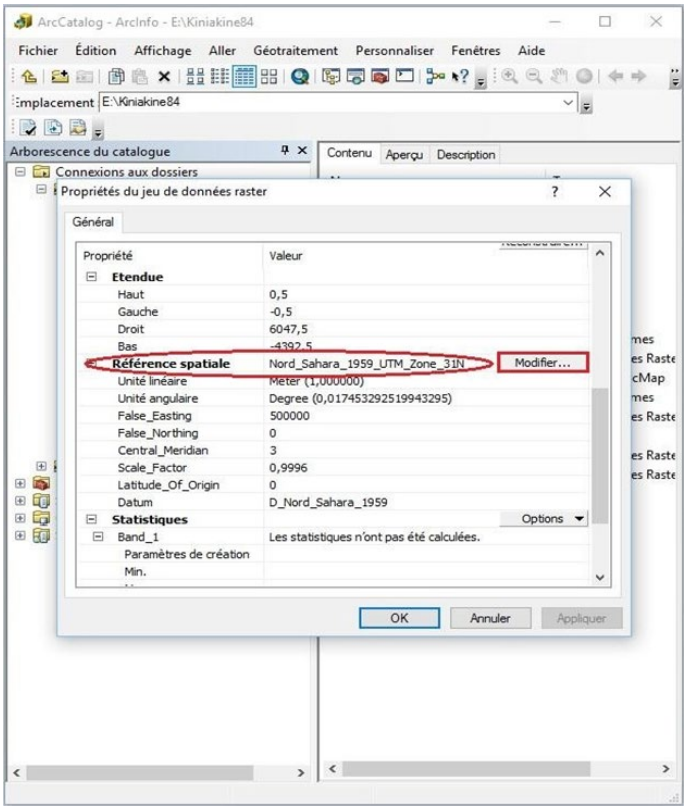



***Figure 24 Attribution d'un système de coordonnées projetés via ArcCatalog.***

4) Choix du même système de coordonnées dans ArcMap :

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

Dans la table des matières (à gauche) on sélectionne « Couches » → Clic droit dessus

→ Propriétés → Système de coordonnées → Prédéfini → Système de de coordonnées projetées → UTM → Africa → Choisir le système de coordonnées qui convient → OK.

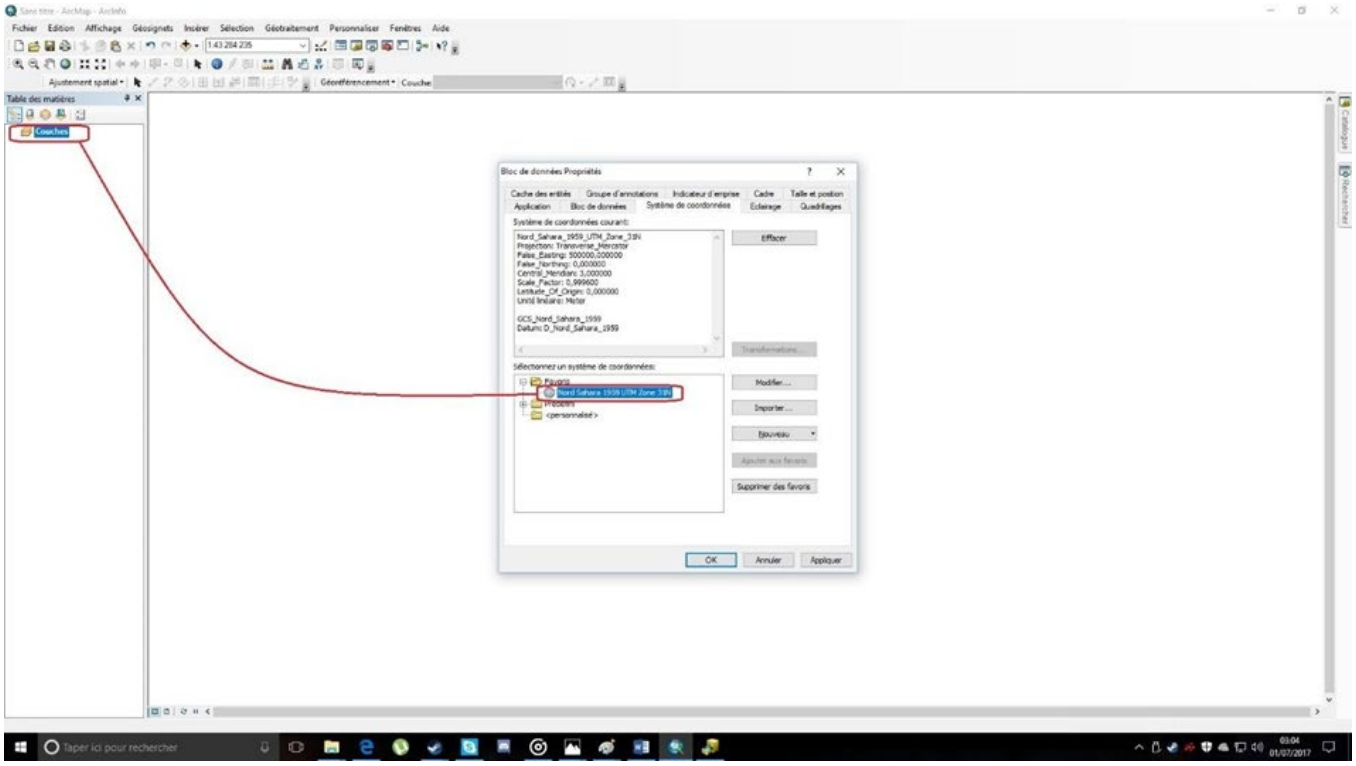


*Figure 25 Attribution d'un système de coordonnées via ArcMap.*

***Importation de la carte à caler depuis ArcCatalog vers ArcMap :***

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

Une fois ceci fait, une fenêtre s'ouvre dans ArcMap nous proposant la création de pyramides, on confirme en appuyant sur OK. Et la carte s'affiche dans la table des matières (la partie à gauche de l'interface ArcMap) dans l'arborescence des couches.

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

**Ajouter les points de contrôle :**

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

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

Afin de géoréférencier la carte on procède comme suit :

Dans l'outil « Géoréférencement » on décoche l'ajustement automatique → Cliquer sur Ajouter des points → Entrer DMS → y introduire quatre points selon la projection initiale de la carte raster → Cliquer sur le bouton Visualiser la table des liens un tableau s'affiche contenant nos quatre points → Cliquer sur t

transformation → Cocher Ajustement automatique → OK.

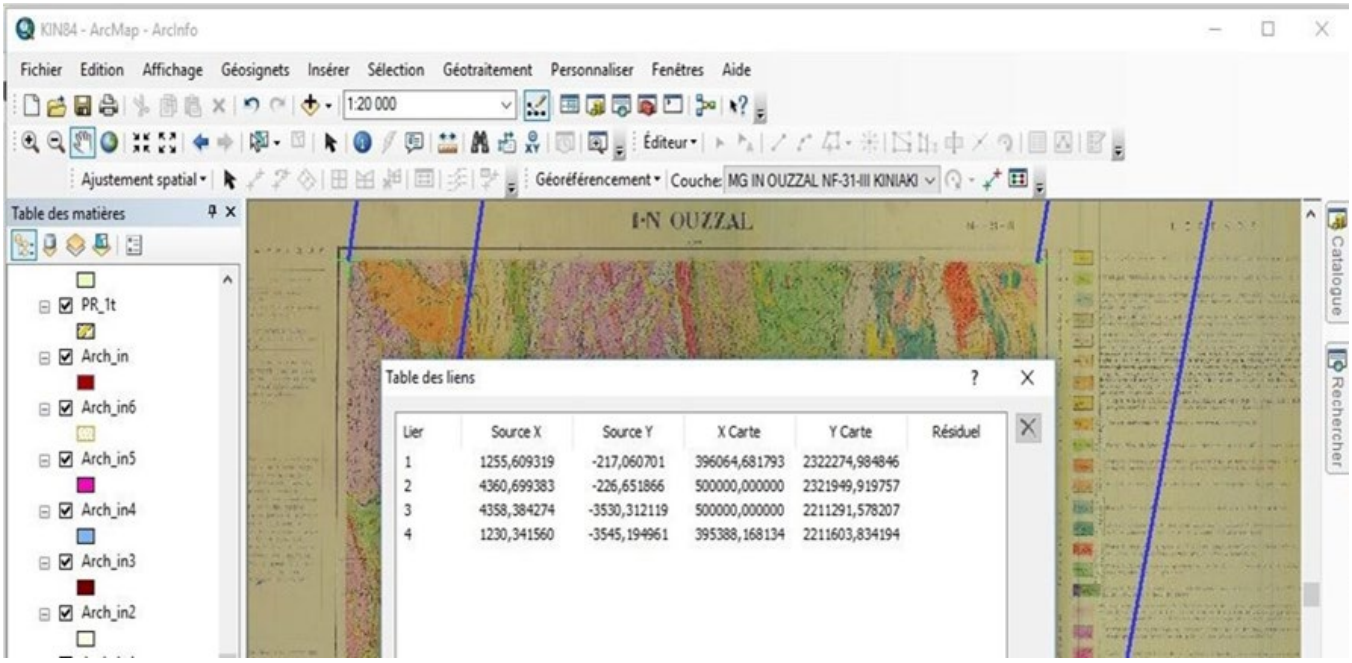



*Figure 26 Calage de la carte géologique.*

**Vectorisation d'une carte :**

A ne pas confondre avec digitalisation, ou numérisation.

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

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

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

Une faille par un trait (Polyligne).

Un affleurement par une unité surfacique (Polygone).

Une minéralisation par un point.

***Figure 27 Le résultat obtenu est une image en mode vecteur représentée dans la figure qui suit.***

**Les étapes suivies pour la vectorisation sont les suivantes :**

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

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

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

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

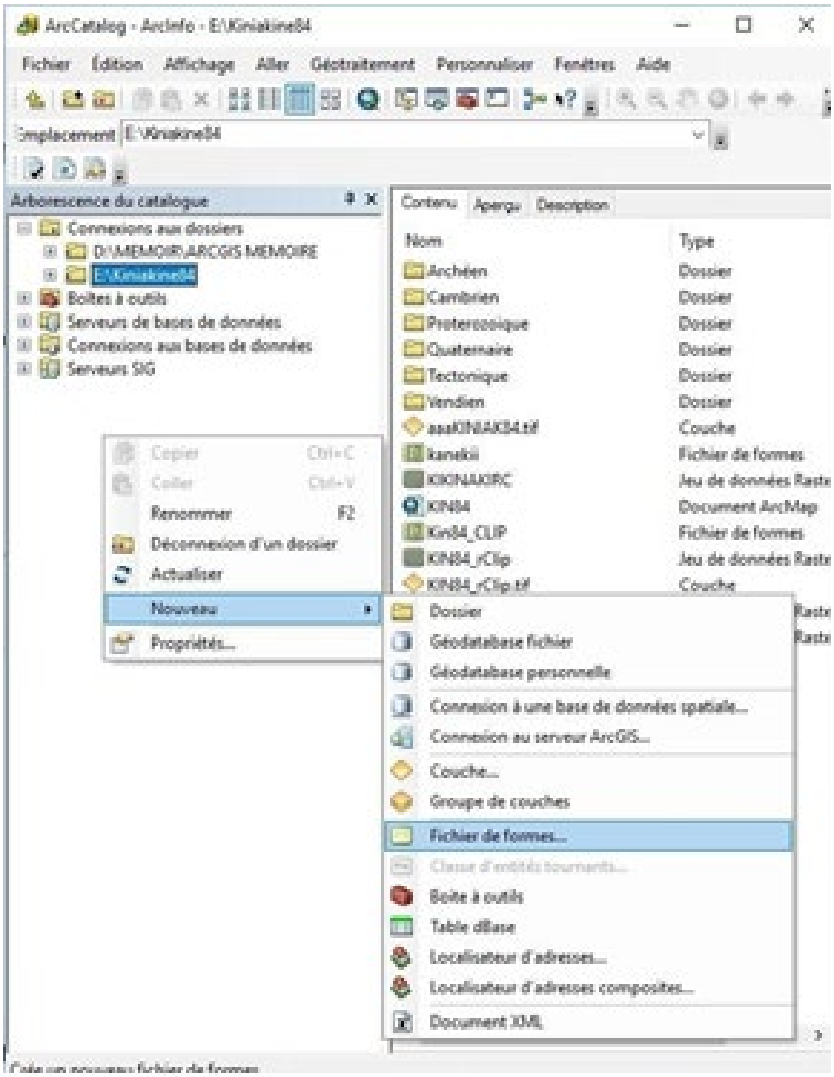



***Figure 28 Créer un fichier de formes.***

ArcCatalog clic droit sur blanc → Nouveau → Fichier de formes

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

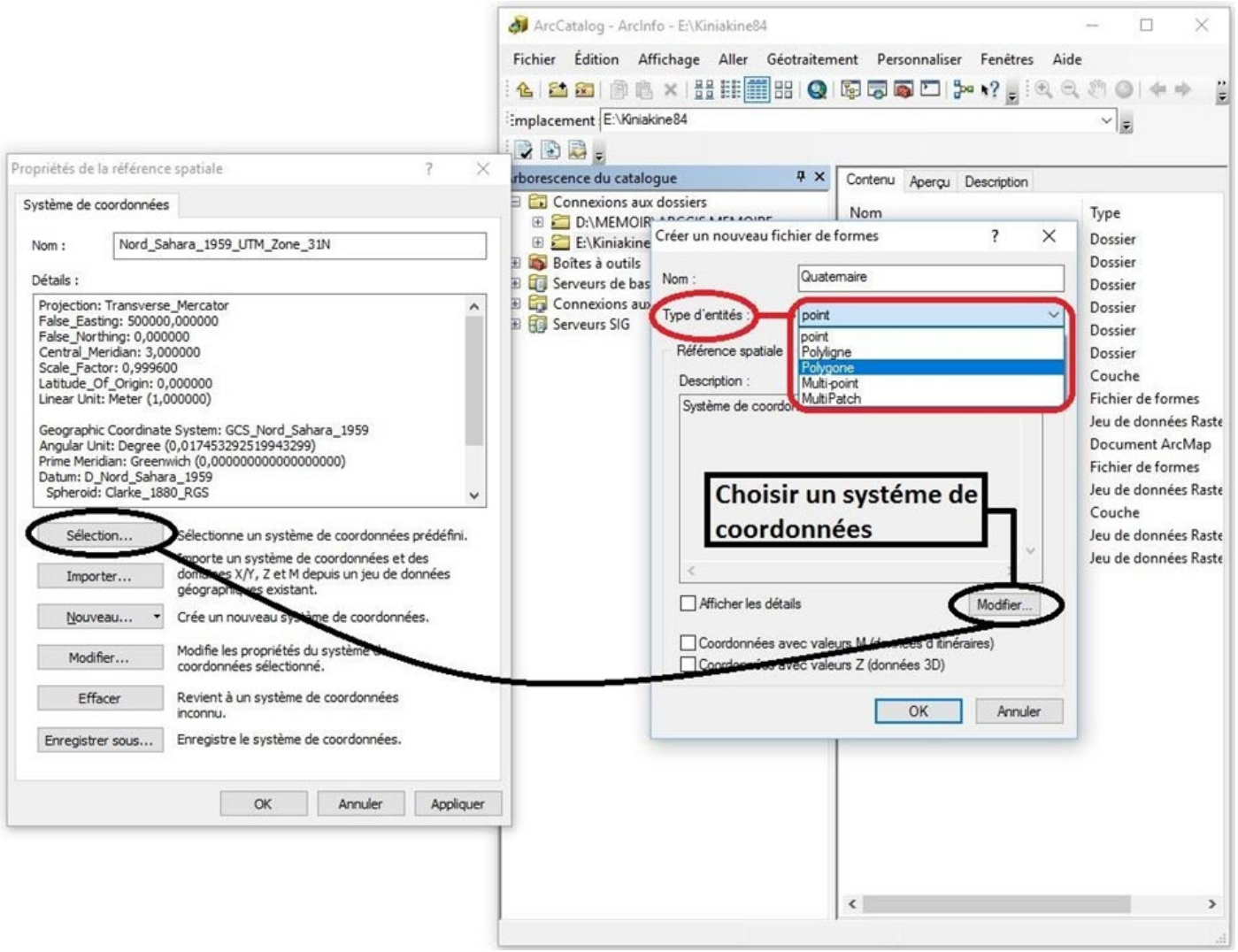



***Figure 29 Choix du type d'entité et du système de coordonnées.***

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

Entamer la vectorisation dans ArcMap via l'outil Editeur :

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

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

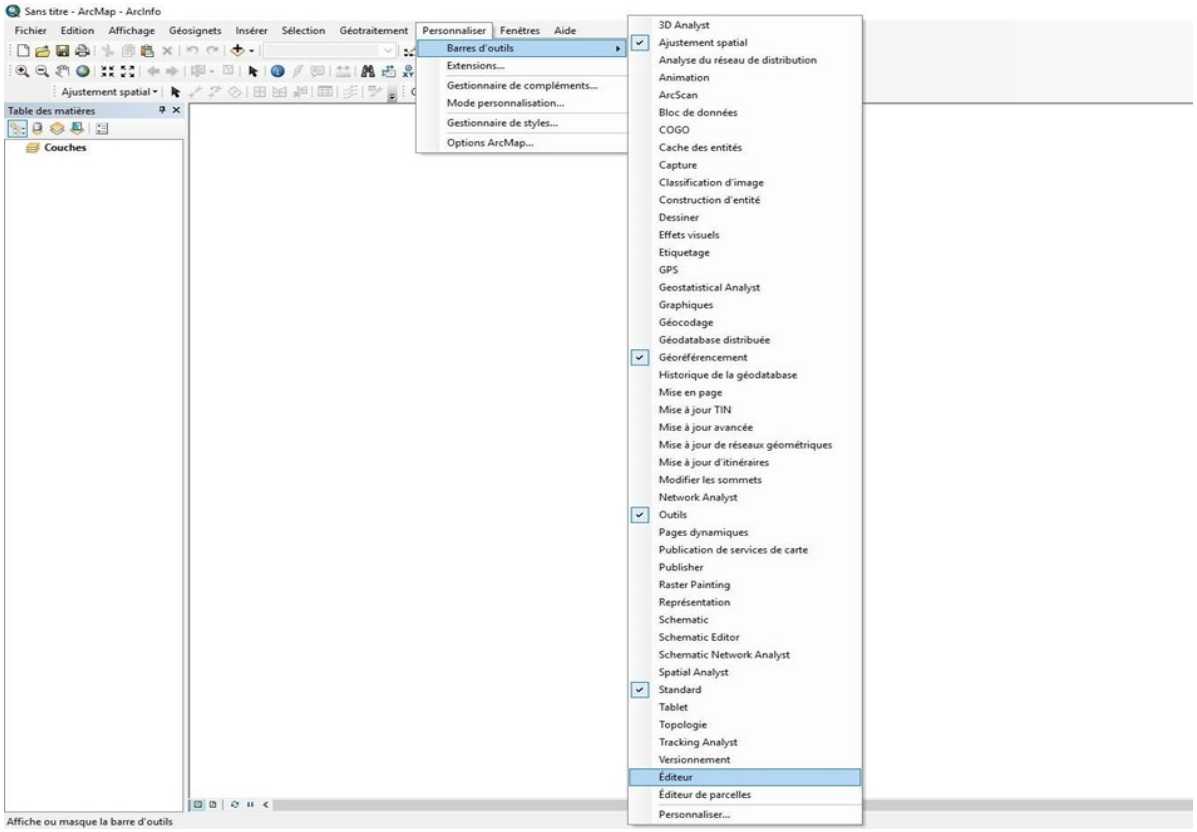



***Figure 30 Activer l'outil Editeur.***

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

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

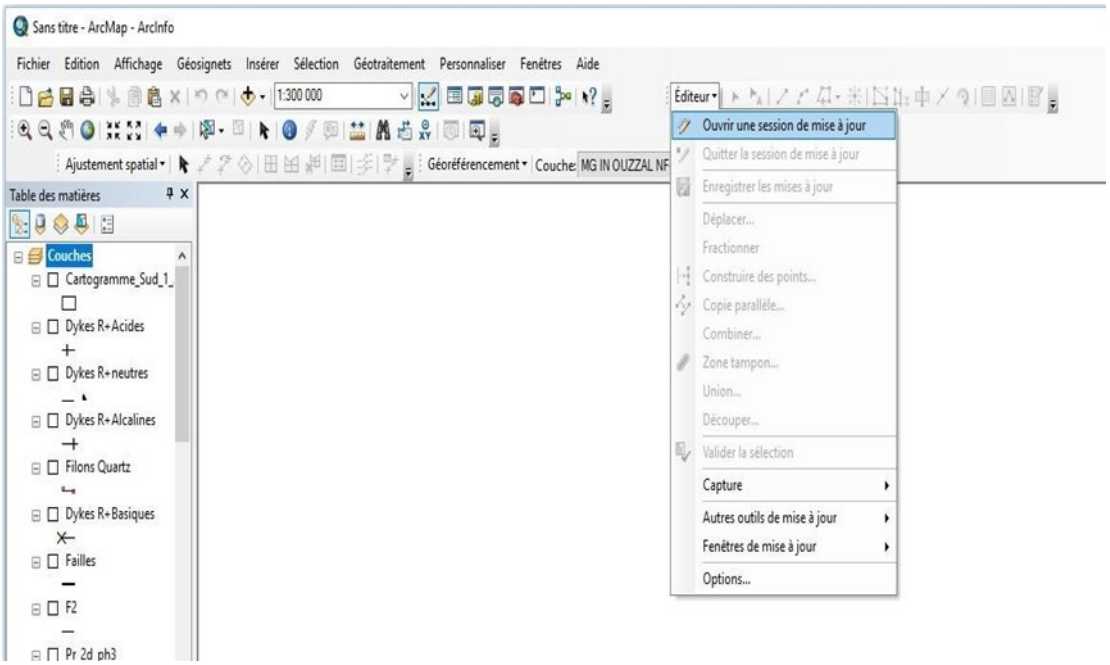



***Figure 31 Ouvrir une nouvelle session de mise à jour.***

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

Apres avoir suivi toutes les étapes citées ci-dessus (géo référencement, vectorisation) on est arrivé à produire les différentes couches d'informations (lithostratigraphiques, magmatiques, tectoniques…etc.) de manière cohérente.

***Vectorisation surfacique « Polygone » :***

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

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

« Polygone ».

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

La Lithostratigraphie :

Pour procéder à la vectorisation des couches lithostratigraphiques on a commencé par la vectorisation de la formation lithostratigraphique « Quaternaire ».

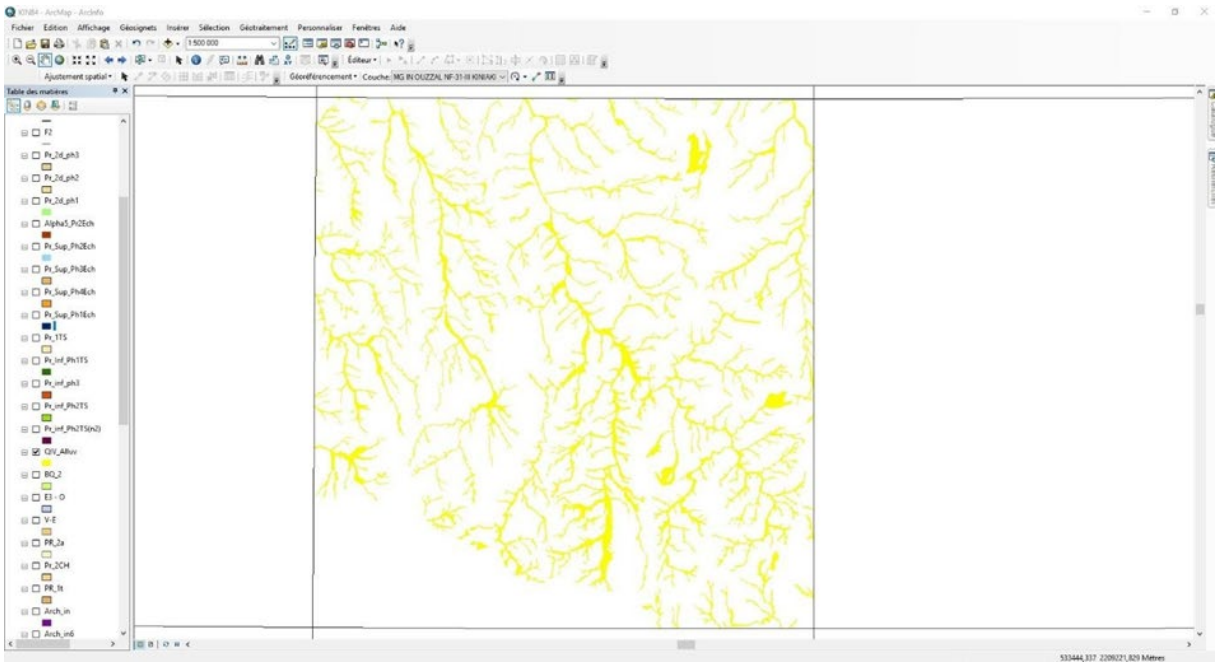


***Figure 32 Vectorisation de l'entité polygonale "Quaternaire".***

**Vectorisation linéaire « Poly ligne » :**

Les entités polylignes se composent de segments de ligne droite, d'arcs circulaires, d'arcs elliptiques et de courbes de Bézier entre les sommets. Elles permettent de représenter des objets linéaires et curvilignes dotés d'une longueur, mais sans surface.

**Tectonique :**

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

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

**Vectorisation ponctuelle (points) :**

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

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

« Point »

**Création d'un fichier Excel :**

Après la compilation de nombreuses données acquises durant notre recherche bibliographique méticuleuse et approfondie, tel que les travaux effectués sur le Hoggar par Syntchouk, Kiniakine et Chadtchinev…etc. nous avons pu élaborer un fichier Excel des plus complet traitant les minéralisations aurifères. Que nous avons subdivisé de sorte à faire ressortir chaque minéralisation, et chaque type de minéralisation (indice, point minéralisé, anomalie géochimique…etc.).

**Mise en page :**

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

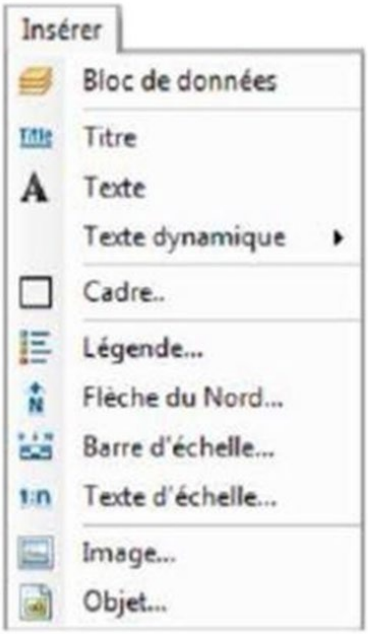
La mise en page d'une carte est une combinaison, de plusieurs éléments nécessaires dans une carte à savoir :

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

***Figure 33 Mode mise en page dans l'interface ArcMap.***

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

***Figure 34 Ajouter du texte***




Ajouter du texte :

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

- ✓ Ajouter un titre : Insérer → Titre.

Liste d'items disponibles à l'insertion.

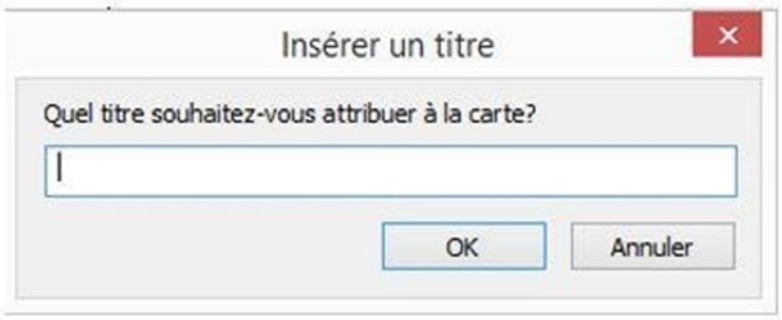



***Figure 35 Boite de dialogue pour insérer un titre à la carte.***

- ✓ Ajouter une orientation : Insérer → Flèche du Nord.

Le cartographie SIG du Hoggar il existé déjà sous format MapInfo c'est le Mr Bendane qui la peut réaliser. Donc cette carte a été transformé en shapfille, par notre camarade Hucen Lakrouf dans sa mémoire de master dans le Département de Sciences Géologique à l'Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzo, est nous l'avons utilisé est faire de petits changements

### *4.2.3 Fichier Excel*

Nous avons reconstitué une fichier Excel est le transformer en ficher shapefile, qui caractérise la distribution de la minéralisation aurifère du Hoggar à partir des données récoltées.

Le SIG du Hoggar contient 3 entités ;

- ✓ Polygone qui est représenté pare de formation ; Sédimentaire, magmatique et métamorphique.
- ✓ Ligne qui est représenté par de faille, de dyke, filons de Quartz….
- ✓ Point qui est représenté par de minéralisation.

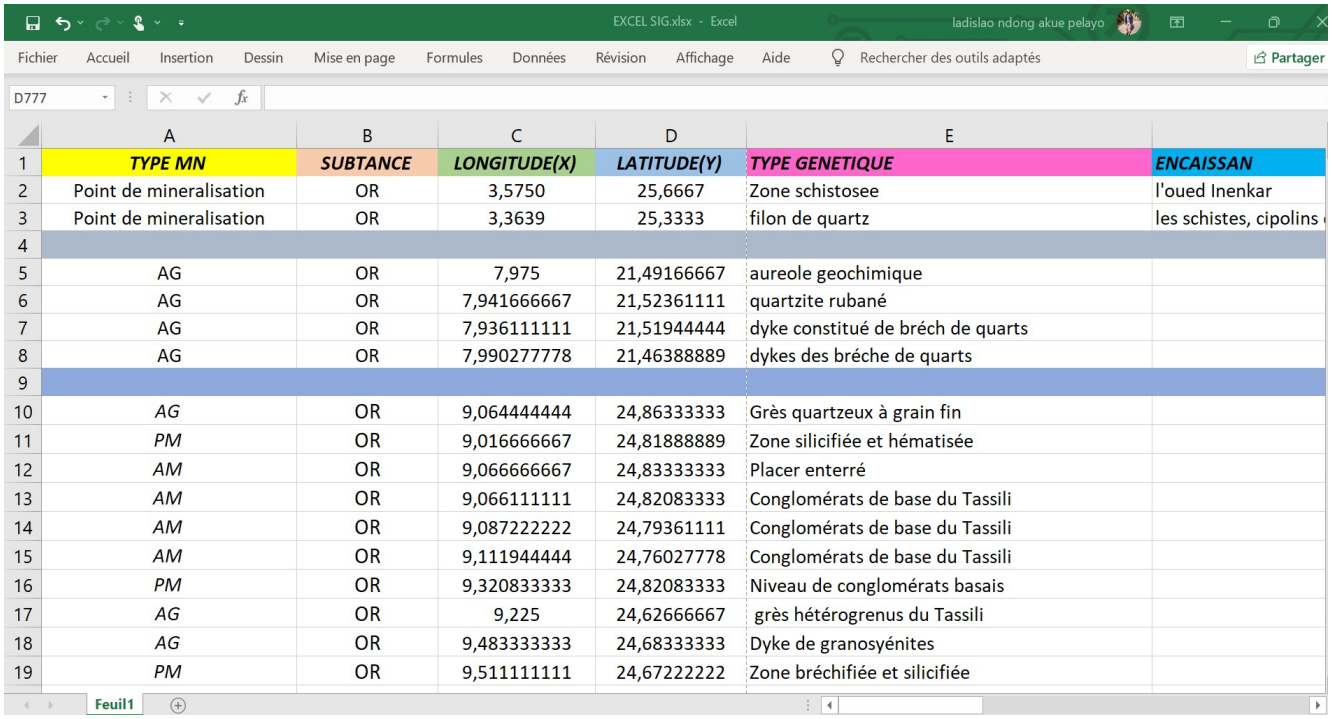
Chaque information correspond à une colonne dans le fichier Excel une ligne correspond à une minéralisation

Les minéralisations du Hoggar comportent plusieurs minéralisations de table de Mendeleve.

Et aussi on ne s'oriente pas vers tous le point, toute catégories confondu gisements, indice, points minéralise, placer etc… mais on s'intéresse à de minéralisation primaire. C'est à partir de là qu'on va étudier le critère de contrôle et de distributions de minéralisation aurifère du Hoggar.

Localisation géographique de chaque élément principal est affiché sur ArcMap.

Le fichier Excel doit être ensuite exporté sur ArcMap sous format Shape file, ce qui sera interprété par le logiciel SIG comme des entités vectorielles (polygone, ligne, points) représentant la minéralisation de la carte au format vecteur réalisée sur une base raster publiée.




| | A | B | C | D | E | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | TYPE MN | SUBTANCE | LONGITUDE(X) | LATITUDE(Y) | TYPE GENETIQUE | ENCAISSAN |
| 2 | Point de mineralisation | OR | 3,5750 | 25,6667 | Zone schistosee | l'oued Inenkar |
| 3 | Point de mineralisation | OR | 3,3639 | 25,3333 | filon de quartz | les schistes, cipolins |
| 4 | | | | | | |
| 5 | AG | OR | 7,975 | 21,49166667 | aureole geochimique | |
| 6 | AG | OR | 7,941666667 | 21,52361111 | quartzite rubané | |
| 7 | AG | OR | 7,936111111 | 21,51944444 | dyke constitué de bréch de quarts | |
| 8 | AG | OR | 7,990277778 | 21,46388889 | dykes des bréche de quarts | |
| 9 | | | | | | |
| 10 | AG | OR | 9,064444444 | 24,86333333 | Grès quartzeux à grain fin | |
| 11 | PM | OR | 9,016666667 | 24,81888889 | Zone silicifiée et hématisée | |
| 12 | AM | OR | 9,066666667 | 24,83333333 | Placer enterré | |
| 13 | AM | OR | 9,066111111 | 24,82083333 | Conglomérats de base du Tassili | |
| 14 | AM | OR | 9,087222222 | 24,79361111 | Conglomérats de base du Tassili | |
| 15 | AM | OR | 9,111944444 | 24,76027778 | Conglomérats de base du Tassili | |
| 16 | PM | OR | 9,320833333 | 24,82083333 | Niveau de conglomérats basais | |
| 17 | AG | OR | 9,225 | 24,62666667 | grès hétérogrenus du Tassili | |
| 18 | AG | OR | 9,483333333 | 24,68333333 | Dyke de granosyénites | |
| 19 | PM | OR | 9,511111111 | 24,67222222 | Zone bréchifiée et silicifiée | |

*Figure 36 Exemple d'image Excel*

**NB :**

# *Critères de distribution de la minéralisation*

En analysant les données de la minéralisation de tout catégorie confondus et compris les gisements, les indices, les points minéralisées et anomalies géochimiques.

Nous avons pu reconstituer une fichier shapefile à partir du ficher Excel , qui caractérise la distribution de la minéralisation du Hoggar. Cette fichier représente une importante information à traiter ; et nous avons traité avec l'outil densité.

voilà les résultats obtenu (figure 37) :

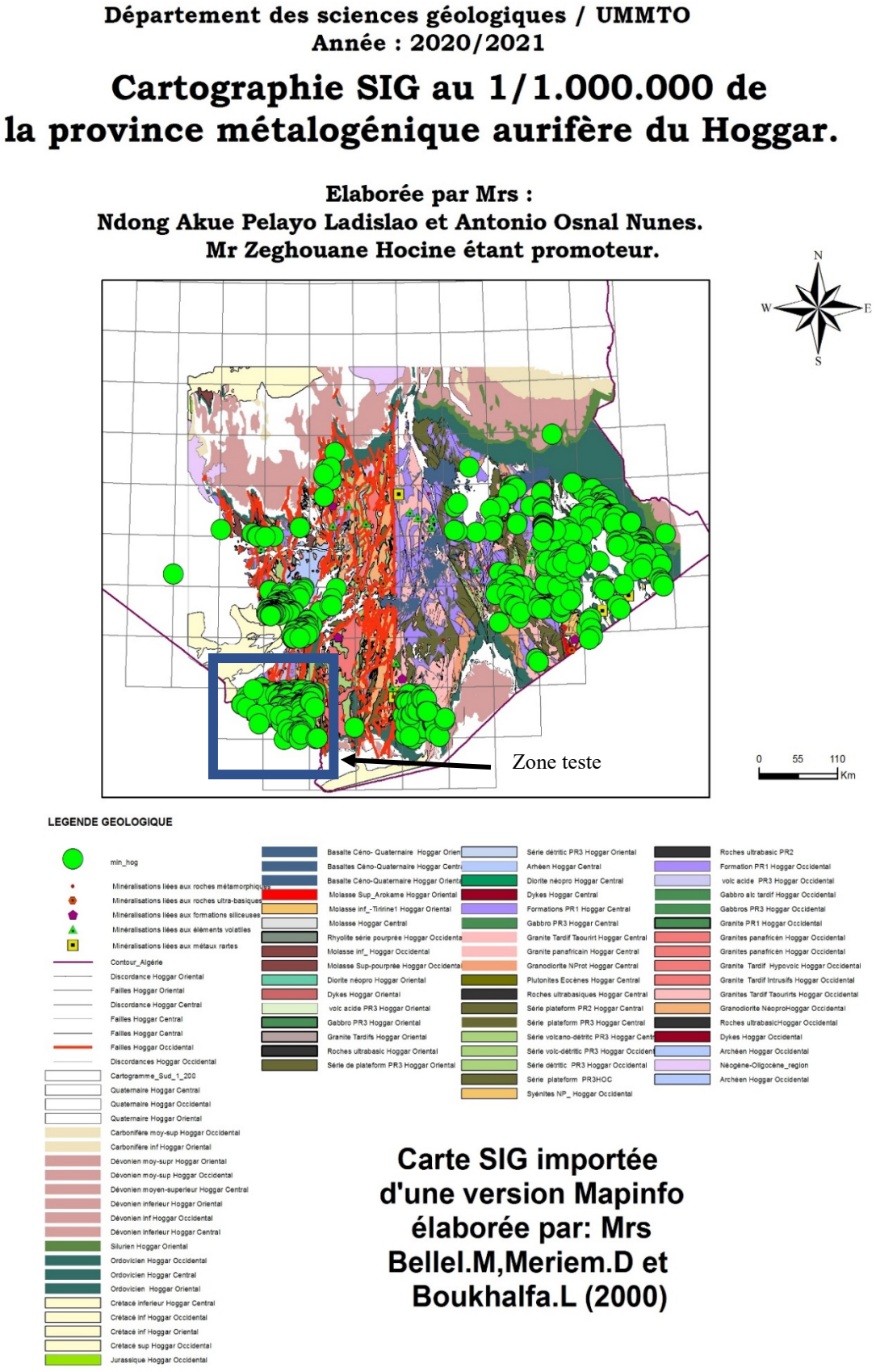



*Figure 37 Minéralisations aurifère du Hoggar (Ndong Akue. L et Antonio, 2021)*

Le choix de la région d'In Ouzzal est argumenté par le fait que cette région est la mieux étudiée géologiquement et la plus connue comme étant une province métallogénique aurifère du Hoggar et enfin c'est la région où nous avons collecté le maximum de données sur les minéralisations, ce qui permet de mieux analyser la relation ***minéralisations- métallotectes***.

Dans les autres régions du Hoggar, la carte des minéralisations aurifères du Hoggar (Fig. 11) montre que nous n'avons pas assez de données pour effectuer ce type d'analyse. La région d'In Ouzzal représente donc un secteur clef pour la suite de notre travail.

### *4.2.4 Traitement spatiale et Analytique des données*

Nous avons essayé de faire tout ce travail et malheureusement on n'a pas pu collecter le maximum de données sur le Hoggar, et parfois l'impossibilité d'avoir les données ; donc la méthode statistique ne peut pas être appliquer pour tout le Hoggar car il y a des zones ou n'y a pas de données.

Donc on a travailler sur In Ouzzal ; ou au moins il y a le maximum des données pour pouvoir l'applique, soit la tectonique, la lithologie et magmatisme.

Apres la comparaison, on trouve ce ci, on a synthétisé d'après les travaux antérieurs, nos travaux sont en concordance d'âpres l'utilisation de l'outil SIG.

Le premier critère à prendre en considération c'est le critère tectonique et ensuite le critère lithologique…. Sur tout les concentrations ou on trouve des failles, il y a une forte prédominance de minéralisations.

Le deuxième critères se lithologique, notre minéralisation est liée à la formation métamorphique, donc quand il y a une tectonique intense on peut trouver beaucoup plus de minéralisation dans des zones fracturées.

Et à partir du fichier Excel on a fait une collecte de données qui nous a permis d'étudier aussi une nouvel outil.

***La Distribution de la minéralisation***, et grâce à cette nouvel outil on a ajouté par rapport au critères antérieures , un autre critère la distribution de minéralisation aurifère donc on a trouvé effectivement le carte de distribution et voilà ce qu'il donne des endroits qui sont dotée d'un bon distribution et sont témoigne aux endroits où il y a une bon concentration des failles en superposant ou on va trouver des zones en corrélation.

**Exemple de la région d'In Ouzzal**

Dans ce chapitre, un exemple de traitement des données géologiques SIG est donné pour illustrer par l'analyse SIG la relation de la minéralisation aurifère avec les principaux facteurs qui la contrôle (métallotectes). Le choix est porté sur cette partie du Hoggar car elle est la région la mieux connue et la plus riche en minéralisations aurifères. Les principaux métallotectes analysés sont; les facteurs lithologiques et les facteurs tectoniques.

**- Analyse du métallotecte lithologie**

L'analyse de la relation spatiale **lithologie-minéralisations** nous montre clairement que ce facteur joue un rôle important dans la mise en place ce contrôle des minéralisations aurifères dans cette région du Hoggar. La plupart de nos minéralisations sont situées dans les

formations rigides anciennes: archéennes et protérozoïques (zones en violet) qui sont fortement sensibles aux processus de la fracturation (***Fig.38***).

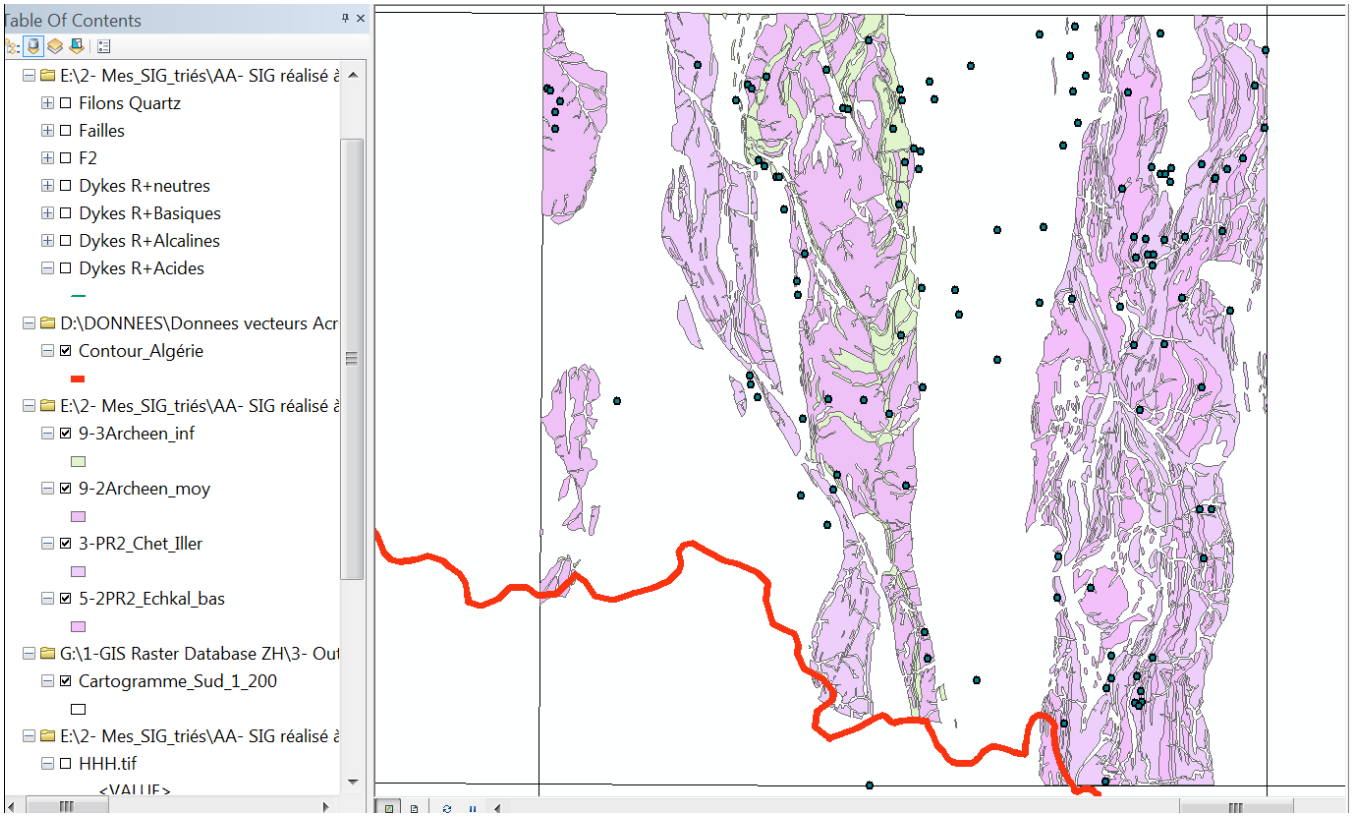



***Figure 38 Relation minéralisations aurifères-Lithologie de la région teste(Ndong Akue. L et Antonio, 2021)***

**- Analyse du métallotecte Tectonique**

Pour analyser la relation de la **tectonique** avec la **minéralisations** nous avons utilisé l'outil densité qui nous permis de créer deux cartes de densité des minéralisation (***Fig.39,40***). Sur ces cartes on remarque que la plupart des minéralisations se situent dans les zones de fracturations intenses et en particulier dans les zones d'intersection des fractures NE-SW et NS ou NW-SE et NS (partie Nord de la carte). Ce qui a été montré sur le terrain par les géologues explorateurs ayant travaillé sur cette région (Kiniakine 1982, Benouh 1990). Cependant, on remarque au SW de la carte l'absence des minéralisations alors que les facteurs lithologiques et tectoniques sont favorables. Cette région serait donc une région sous explorée et mal étudiée.

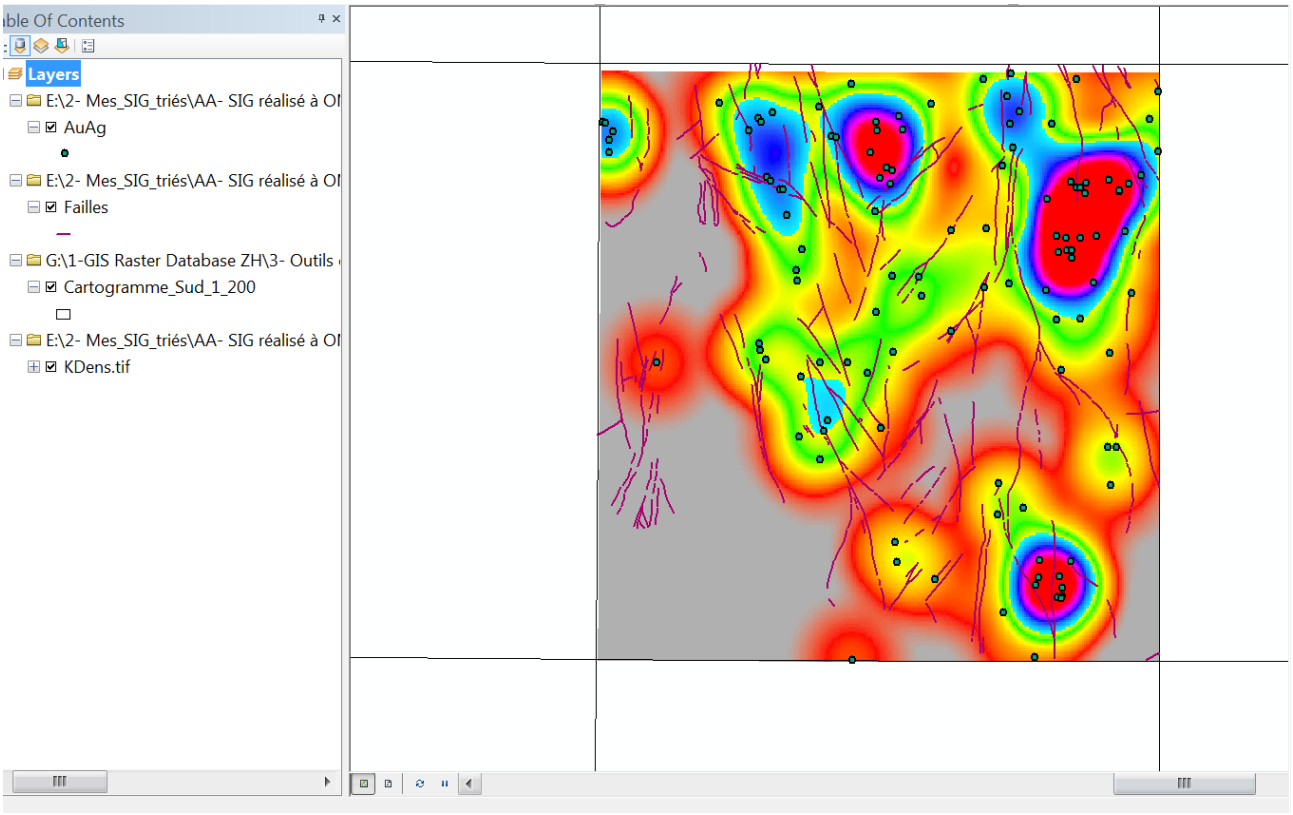



***Figure 39 Relation minéralisations aurifères-Tectonique de la région teste (Ndong Akue. L et Antonio, 2021)***

Si on travaille pour les zones hydrothermaux (on travaille avec de donner), cette carte, peut partir de l'analyse de l'imagerie SAT lytique en vue de faire de carte d'altération hydrothermal qui peut encore aider à localiser avec précision les zones de minéralisation.

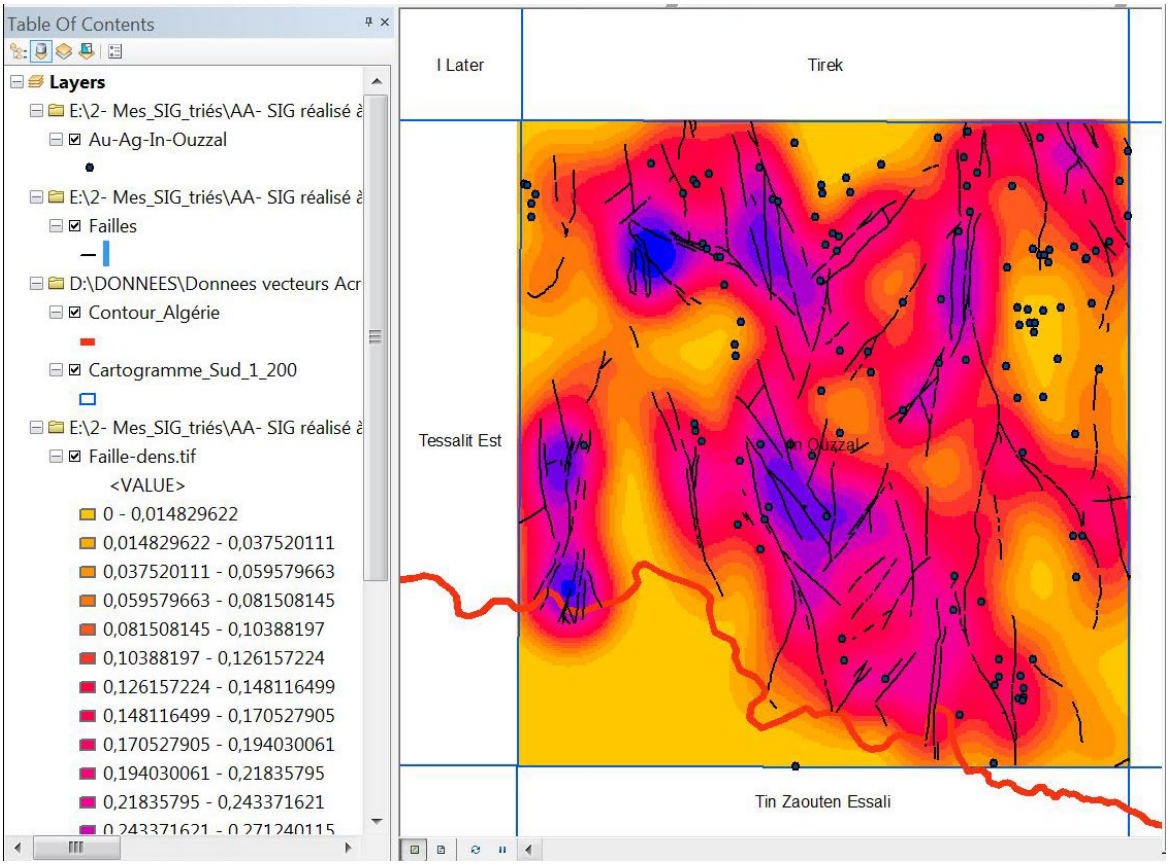



***Figure 40 Relation minéralisation aurifère-Tectonique(failles)de la région teste (Ndong Akue. L et Antonio, 2021)***

# *Conclusion :*

Ce mémoire se veut une contribution à la connaissance des indices et minéralisations aurifères du Hoggar. Il représente l'aboutissement d'application de nos connaissances théoriques acquises durant nôtre formation universitaire, et la synthèse des connaissances actuelles.

Il ne nous appartient pas de dresser un inventaire détaillé des richesses du sous-sol Algérien, mais plutôt une brève description des minéralisations aurifères du Hoggar.

Le Hoggar est situé au Sud de l'Algérie. Avec 550 000 km2 de superficie, il est le plus important constituant du bouclier touareg. Il se prolonge, au sud-ouest, au Mali, par le massif des Iforas, et à l'Est, au Niger, par le massif de l'Aïr. Sa structure est caractérisée par de grands cisaillements N-S d'échelle continentale, les accidents 4°50' et 8°30'. Ils le séparent en trois grands domaines qui sont de l'Ouest vers l'Est: le Hoggar occidental, le Hoggar central et le Hoggar oriental (Bertrand et Caby, 1978). Chacune de ces entités est constituée de plusieurs terranes. Le Hoggar renferme une forte concentration de minéralisations aurifères, ce qui en fait une zone propice à la prospection de l'or.

Les minéralisations aurifères du Hoggar sont localisées le long des marges des terranes et des zones linéamentaires.

Dans le présent mémoire, nous avons édifié un SIG qui contient l'ensemble des formations géologiques et minéralisations aurifères du Hoggar ; malheureusement pour ce dernières nous n'avons pas pu collecté toutes les informations les concernant sur le Hoggar ce qui nous a poussé à travailler sur une région clé qui est la région d'In Ouzzal.

Nous avons également réalisé une synthèse des critères de contrôle des minéralisations aurifères du Hoggar, en étudiant l'ensemble des grands gisements.

L'analyse a porté aussi sur les données des minéralisations toutes catégories confondues qui sont : les gisements, les indices, les points minéralisées et les anomalies géochimiques.

En plus, nous avons pu constituer un fichier shapefile à partir du fichier Excel, grâce à l'outil SIG, qui nous a permis de caractériser la distribution de la minéralisation du Hoggar à partir des critères suivants: tectonique, magmatique, lithologique, altération hydrothermal et le critère de distribution spatiale.

Ainsi, nous avons confirmé par les moyens SIG l'importance des deux meilleurs critères qui contrôlent les minéralisations aurifères du Hoggar qui sont : La tectonique et la lithologie ; très importants pour l'exploration aurifère au Hoggar.

# *Bibliographie :*

Attoum A. (1983) - Etude géologique et structurale des mylonites panafricaines et des minéralisations aurifères associées dans le secteur de Tirek (Hoggar, Algérie). Thèse Doc. Ing. U.S.T.L. Montpellier, 98p.

Barbey P., Bertrand J.M., Angoua S.E. and Dautel D. (1989) - Petrology and U/Pb géochronology of the Telohat migmatites (Aleksod, central Hoggar, Algeria). Contrib. Mineral., 101-207-219.

Bertrand, J.M. (1974). - Evolution polycyclique des gneiss précambriens de l'Aleksod (Hoggar central, Sahara algérien). Aspects structuraux, pétrologiques, géochimiques etgéochronologiques. Thèse d'état, Univ. Montpellier. CNRS, Ser. Géol., 19 : 350 P.

Bertrand, J.M. and Caby R., (1978). - Geodynamic évolution of the pan-africain orogenic belt : A new interpretation of the Hoggar schield of the Hoggar schield (Algerian Sahara). Geol. Rundschman, 67, PP 357-388

Bertrand, J.M., Michard A., Boullier A.M. and Dautel D. (1986 a) - Structure and U/Pb géochronology of the Central Hoggar (Algéria). Tectonics, vol. 5 n° 7 955-972.

Bertrand, J.M., Michard A., Dautel D. an Pillot M. (1984) - Ages U/Pb éburnéens et pan-africains au Hoggar central (Algérie). Conséquences géodynamiques, C.R.Acad.Sci., Paris, D 298 : 643-646.

Bertrand, J.M.L. and Lasserre, M., (1976). - Pan-Africain and pre-Pan-Africain history of the Hoggar (Algérien Sahara) in the light of a new geochronological data from the Aleksod area. Precamb. Res., 3, PP 343-362.

Bertrand, J.M.L., Caby, R., Ducrot, J., Lancelot, j. Moussine-Pouchkine and Saadallah. (1978). - The late pan-africain intracontinental linear fold belt of the eastern Hoggar (central Sahara, Algeria) : Geology, structural development, U/Pb geochronology, techtonic implications for the Hoggar schield. Prec. Research, 7, PP 349-376.

Bertrand, J.M.L., Meriem, D., Lapique, F., Michard, A., Dautel, D. et Gravelle, M. (1986b) - Nouvelles données sur l'âge de la tectonique pan-africaine dans le rameau oriental de la chaine pharusienne (région de Timgaouine, Hoggar, Algérie). C.R.Acad. Sc., Paris, 302, pp 437-440.

Bertrand, J.M.L., Michard, A. Carpena, J., Boullier, A.M., Dautel, D. (1986 a) Structure and U/Pb géochronologie of the Central Hoggar (Algeria). A reappraisal of its Pan-Africain évolution. Tectonics, 5, pp 955-646.

Bertrand, P., Ouzegane, K. and Kienast, J.R. (1992). - P-T-S relationships in the precambrien Al-Mg rich granulites from the In-Ouzzal, Hoggar, Algeria. J. Metamorph. Geol., 10, pp 17-31.

Black, R., Caby, R., Moussine-Pouchkine A., Bayer R., Bertrand J.M.L., Boullier A.M., Fabre, J. and Lesquer, A. (1979) : Evidence for late Precambrien plate tectonics in west Africa. Nature, 278, PP 223-227.

Blaise J. (1967) - Le Précambrien du Tazat. Sa place dans les structures du Hoggar oriental C.N.R.S., Ser. Géol., 7,197p.

Boissonnas, J. (1973) - Les granites à structure concentrique et quelques autres granites tardifs de la chaine pan-africaine en Ahaggar (Sahara central, Algérie). Thèse d'état, 2 tomes, Paris VI, Edition BRGM.

Caby R. (1968) - UNe zone de décrochements à l'échelle de l'Afrique dans le Précambrien de l'Ahaggar occidental. Bull. Soc. Géol. de France (7) X, 577-587.

Caby R. (1970) - La chaine Pharusienne dans le Nord-Ouest de l'Ahaggar (Sahara central, Algérie) ; sa place dans l'orogénèse du Précambrien supérieur en Afrique. Thèse Etat Univ. Montpellier, 336 p.

Caby R. (1983) - Association volcaniques et plutoniques pré-tectoniques de la bordure de la chaine pan-africaine en Adrar des Iforas (Mali) : un site de type arc - cordillère au Protérozoique supérieur (Abstract). Coll. Africain géology, 11 th, Milton Keynes 1981, Abstract, 30.

Caby R., Andreopoulos-Renaud V. and Gravelle M. (1982). Cadre géologique et géochronologie U/Pb ou zircon des batholites précoces dans le segment panafricain du Hoggar central (Algérie). Bull. Soc. Géol. Fr. XXIV, 677-684.

Caby R., Bertrand J.M. and Black R. (1981) - Pan-African closure and continental collision in the Hoggar-Iforas segment, Central SAHARA. In "Precambrian Plate Tectonics, Kroner A., Elsevier, Amsterdam, 407-434 Bull.Soc. Geol. Fr., XXIII : 17-22.

Cahen, L. Snelllling, N.J., Delhal J. and Vail J.R. (1984) - The geochronologie and evolutin of Africa, Clarendon Press, Oxford.

Cheilletz, A., Bertrand, J.M., Charoy, B., Moulahoum, O., Bouabsa, L. Farrar, E.,

Chikhaoui, M. (1981) - Les roches volcaniques du Protérozoiques supérieur de la chaine pan-africaine (Hoggar, Anti-atlas, Adrar des Iforas) : Thèse doct. d'état, USTL, Montpellier, 183P.

Deschamps, M.T. (1973) - Etude géologique de la Série de l'Arechchoum dans la région de Tamanrasset (Hoggar, Sahara Central). Thèse 3e cycle, Univ. Nancy, 139p. et l'évolution orogénique du Précambrien du Tazat (Ahaggar oriental).

Fabries, J.et Gravelle M. (1977) - Modalités du magmatisme au Protérozoique supérieur dans la région de Silet (Hoggar Central). Bull.Soc.géol. Fr., XIX : 995-1004.

Gravelle, M. (1969) - Recherches sur la géologie du socle précambrien de l'Ahaggar centro-occidental dans la région de Silet-Tibehaouine. Thèse d'état, Univ. Paris, 298p.

Haddoum, H. Choukroune, P. and Peucat J.J. (1994) - Evolution of the Precambrien In-Ouzzal block (Central Sahara, Algeria). Precambrien Research, 65, PP 155-166.

Ionescu M. (1970) - Rapport géologique sur les travaux de recherche exécutés pendant la mission 1969/70 par l'équipe de prospection de Tiririne I. 82p, 9 pl. Rapport inédit n° S0104.

Killian C. (1932) - Sur des conglomérats précambriens du Sahara central: le Pharusien et le Suggarien. C.R. somm. Soc. Géol Fr., 7 : 87.

Lapique, F, Bertrand J.M.L. et Meriem D. (1986). - A major pan-africain decoupling zone in the Timjaouine area (westem Hoggar Algeria) I Africain Earth Sci 5 PP617-625.

Lassel, K.F. (1990) - Les gneiss charnockitiques du socle Archéen de l'In Ouzzal (Hoggar, Algérie) : Petrologie, isotopes de l'oxygène, inclusions fluides. Mem. D.E.A., 58p UPMC, Paris.

Latouche, L. (1978) - Le Précambrien de la région des Gour Oumelalen (NE de l'Ahaggar, Algérie). Thèse d'état, Paris VII.

Latouche, L. (1985) - Les collision intracratoniques et la tectonique introcontinentale dans le Pan-Africain du Hoggar central. CIFEG, Paris.

Latouche, L. and Vidal, Ph., (1974) - Geochronology du précambrien de la region de Gour Oumelalen (NE de l'Ahaggar, Algérie). Un exemple de mobilisation du Sr radiogenique. Bull.Soc.Géol. Fr 7, 14, p195-203.

Lelubre, M., (1952) - Recherche sur la géologie de l'Ahaggar central et occidental (Sahara Central). Bull. Ser; Carte Géol. Algérie, 2ème sér., n°22.

Liegeois J.P, Bertrand J.M. and Black R. (1987) - The subduction - and - collision related Pan-African composite batholith of the Adrar des Iforas (Mali) : à review. Géological Journal Vol 22, Thematic issue, 185-211.

Listing des rapports relatifs à la recherche des minéralisations aurifères dans le Hoggar

Meriem D. (1987) - Données nouvelles sur les granitoides du Pharusien de la région de Timgaouine. Pétrologie et évolution géodynamique. Thèse Doct. Univ. Nancy I, 198 p.

Moulahoum O. (1988) - Dualité du magmatisme d'âge pan-africain : aspects structuraux et pétrologiques des granites subalcalins et alumineux de la région de Tamanrasset (Hoggar Central, Algérie). Thèse Doct. Ing. Nancy I,145p.

Ouzegane, K., (1981) - Le métamorphisme polyphasé granulitique de la région de Tamanrasset (Hoggar Central). Thèse 3ème cycle, Paris VII, 171p.

Ouzegane, K., (1987) - Les granulites Al-Mg et les carbonatites de la série de l'In Ouzzal, NO du Hoggar, Algérie. Thèse d'Etat. Université Paris VI, 265p.

Ouzzegane, K. (1981) - Le métamorphisme polyphasé granulitique de la région de Tamanrasset (Hoggar central). Thèse 3ème cycle, Univ. Paris VII,171p.

Peucat, J.J., Bernard-Griffiths, J., Ouzegane, K., Haddoum, H. and Kienast, J.R., (1991) - Behaviour of Sr, Nd, Pb isotopic systems during a hight temperature granulite metamorphism. Terra, Abstr., EUG VI, P.506.

Picciotto, E., Ledent D. and Lay C. (1965) - géochronologie de quelques roches du socle cristallophyllien du Hoggar (Sahara central). Actes du 151e Coll. Int. Géochronologie absolue, CNRS, Paris, 277-289.

Popa I. et Mihaïla M. (1970) - Rapport géologique sur les travaux executés pendant la mission 1970 : equipe de prospection de Tiririne. 22 p, 6pl. Rapport inédit n° S0105.SONAREM

Rayane, T. et Arene J. (1961) - Rapport de fin de mission des feuilles de Tin-Tanatfrit et In-Rabir. 51p, 8 pl. Rapport BRMA Inédit n° S0006.

Royer, C. et Rosique A. - Rapport de fin de mission des feuilles Tessalit - In-Tedeïni, Tirek, et In-Ouzzal au 1/200 000. 239p, 38pl. Rapport BRMA inédit n° S0069.

Vialette, Y. and Vitel G. (1981) - Géochronological data on the Amsinassene-Tefedest block (Central Hoggar) and évidence for its polycyclic évolution. Precambrian Res., 9:241-254.

Vitel, G. (1977) - Le cycle magmatique polyphasé d'âge pharusion du Hoggar Central (Sahara Central). Bull. Soc. Geol. France t. XIX N° 1005-1010.

Vitel, G. (1979) - La région Tefedest-Atafor du Hoggar Central (Sahara). Evolution d'un complexe granulitique précambrien. Thèse d'état, Univ. Paris VII, 324 p.

Zimmerman, J.L. Dautel, D. et Boullier,A.M. (1992) - Géochimie et géochronologie Rb/Sr, K/Ar et 40 Ar/39 Ar des complexes granitiques Pan-africain de la région de Tamanrasset (Algérie). Relations avec les minéralisations Sn-W associées à l'évolution tectonique du Hoggar Central. O.R.G.M. (rapport inédit).