

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri TIZI OUZOU

Faculté des sciences Biologiques et Agronomiques

Domaine des science Géologique

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme

de Master

Spécialité : Géologie

Option : Ressources Minérales et Environnement

Sujet :

**Etude des inclusions fluides des béryls du massif de Ouan-Rechla
Région de Laouni (Hoggar Central)**

Encadré par

Mr. HAMIS AHMED

Réaliser par :

LOUANI LYNDA

Soutenu publiquement : Le 20/12/2018, devant le jury composé de :

-Mr.SAMI LOUNIS	(P.R)	Président
-Mr. ZEGHOUANE HOCINE	(M.C.B)	Examineur
- Mr.HAMIS AHMED	(M.A.A)	Encadreur

2017/2018

Remerciement

Au terme de ce travail je remercie tout d'abord ALLAH qui m'a aidé et m'a donné la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

J'ai l'honneur en suite de remercier mon encadreur Mr Hamis A qui m'a guidé dans son travail, et m'a aidé à trouver des solutions pour avancer.

Le remercie également pour son encouragement, sa disponibilité, et pour ses conseils avisés.

C'est avec un grand plaisir que je présente mes remerciements loyaux au professeur Mr. Sami. L pour son soutien et son aide.

Et pour avoir accepté de présider ce travail

Mes remerciements vont au Mr Zeghouan. H d'avoir accepté d'examiner ce travail.

J'aimerais également à remercier Mr Boutaleb. A, Mll. Gaci N et Mr. Bakelli pour leur soutien et leur aide.

Dédicace

Je dédie ce travail

À mes parents, pour leurs sacrifices et leurs encouragements durant toutes mes études.

À mes sœurs, et mes frères

À mes amies

Et également à tous mes professeurs de FUMMO.

Résumé

Le massif de Ouan-Rechla se trouve dans le terrane de Laouni à environ 300km au Sud-ouest de la ville de Tamanrasset.

Il forme un relief en crête de 50m d'altitude, au-dessus de reg. Il s'agit d'une pegmatite débitée inégale par un système de failles rayonnantes tardives à remplissage de quartz. Elle présente une structure rubanée rythmique dont l'épaisseur varie de 2 à 35m et dont le pendage est dérivé vers l'extérieur du massif. La pegmatite entoure le granite leucocrate à albite-topaze et lépidolite. L'ensemble ; granite et pegmatite est encaissé dans une bande étroite de granite à deux micas. Le tout se met en place dans un granite migmatitique d'extension régionale soumis à une forte altération en boules.

Le béryl de Ouan-Rechla se trouve dans la pegmatite, il est de couleur gris verdâtre et vert, rencontré dans le quartz et zinnwaldite, leur coloration peut être due au lessivage du Cr à partir des roches ultramafique-mafiques de la région.

Une étude microthermométrique des inclusions fluides d'Ouan-Rechla nous a permis de déterminer les températures d'homogénéisation :

Dans le béryl les températures varient entre 175°C et 350°C

Dans le quartz les températures varient entre 200°C à 380°C

- **Mot clés :** béryl, pegmatite, inclusions fluides, microthermométrie, Rechla, Laouni, Hoggar central.

Abstract

The Ouan-Rechlamassif is located in the terrane of Laouni about 300Km southwest of the town of Tamanrasset.

It forms a crest relief of 50m above reg. It is a pegmatite that is unequaled by a quartz-filled late-radiating fault system. It presents a rhythmic ribbon structure whose thickness varied from 2 to 35 m and dips drifted to the outskirts of massif. The pegmatite surrounds the granite leucocrate to albite-topazepidolite, the whole granite and pegmatite encased in a narrow band of granite to two micas all is set up in magmatic granite of regional extension subjected to a strong alteration in balls.

The Beran de Ouan-Rechla is found in the pegmatite it is greenish gray and green in quartz and zinnwaldite, their coloration may be due to the leaching of Cr from ultramafic-mafic rocks in the region.

A micro-thermometric study of the fluid inclusions of Ouan-Rechla allowed determining the temperatures of homogenization:

In the beryl we have temperatures between 175°C and 350°C.

In quartz we have temperatures between 200°C and 380°C.

Key words: beryl, pegmatite, fluid inclusions, microthermometry, Rechla, Laouni, central Hoggar

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE

I - Présentation du travail.....	1
I-1- But du travail.....	1
I-2- Méthodologie.....	1
II – Historique des	1
III - Aperçu géographique du massif de OuanRechla.....	2

CHAPITRE I : CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL

I-Généralités sur la géologie du Hoggar.....	3
I-1-Aperçu historique des travaux de recherches.....	3
I-2– Situation géographique, structure générale et composition.....	3
II- Description des grands domaines géologiques du Hoggar.....	5
II-1- Hoggar occidental.....	5
II-2- Hoggar central.....	6
II-3- Hoggar oriental.....	7
III- Structuration en terranes.....	7
IV- Le concept de terrane LATEA.....	7

CHAPITRE II : APERÇU GEOLOGIQUE SUR LE TERRANE DE LAOUNI

I- La Géologie du terrane de Laouni.....	9
I-1- Evolution géodynamique.....	11
I-2- Les granites post-orogéniques de Laouni.....	11
I-3-Conclusion.....	12

CHAPITRE III : CARACTERISTIQUE GEOLOGIQUE DU SECTEUR D'ETUDE

I-Introduction.....	13
II- Situation géographique et composition du massif	13
III- Etude pétrographique	16
III-1- La formation encaissante.....	16
III-1-1- Le granite migmatitique régional.....	16
III-2- Le granite porphyroïde à deux micas.....	16
III-3- Le granite à albite-topaze-lépidolite	16
III-4- La pegmatite à Béryl.....	18
IV- Conclusion	20

CHAPITRE IV : SYNTHESE ET L'ETUDE DES INCLUSIONS FLUIDES

I-Généralité sur le béryllium.....	21
I-1 Introduction.....	21
I-2- Utilisation.....	21
I-3- Propriétés physico-chimique du béryllium.....	22
I-4- Géochimie du béryllium.....	23
I-5- Prix du béryllium.....	25
I-6- Types de gisements.....	25
II –Gisement de béryl.....	27
II-1-Rappel.....	27
II-2- Historique du béryl.....	27
II-3-Structure du béryl.....	27

II-4- Les propriétés physico-chimiques.....	28
II-5- Variétés du béryl.....	28
II-6- Géologie et minéraux associés.....	29
II-7- Chronologie de la production de béryl.....	29
II-8- Types de gisements de béryl.....	30
II-8-1- Gisements pegmatitiques.....	30
II-8-2- Gisement non pegmatitiques.....	31
II-8-3- Gisement liés aux laves acides	31
II-9- Exploitation des gisements du Béryl.....	31
III- Géologie de béryl de OuanRechla.....	31
III-1- La répartition de béryl de Ouan-Rechla.....	31
III-1-1- Zone de contact avec la pegmatite.....	31
III-1-2- La partie orientale du granite à albite-topaze-lépidolite (en réseau filonien).....	32
III-2-Minéralogie du béryl.....	32
III-2-1-Le béryl en choux fleur (helvite).....	32
III-2-2-le béryl hexagonal.....	33
IV- Etude des inclusions fluides.....	33
IV-I-Généralités sur les inclusions fluides.....	33
IV-1-1- Introduction	33
IV-1-2- Définition	33
IV-1-3- Les types des inclusions fluides	34
IV-1-4- La morphologie des inclusions fluides	35
IV-1-5-Occurrence des inclusions fluides	36
IV-1-6- Classification des inclusions fluides	36
IV-1-7- Les techniques d'étude des inclusions fluides	37
IV-1-8 - Appareillage utiliser et principe mesures.....	39

Conclusion	40
IV-2- Etude des inclusions fluides du massif de Ouan-Rechla.....	40
IV-2-1- Les inclusions fluides dans le béryl.....	40
IV-2-1-1- Introduction.....	40
IV-2-1-2- Etude microscopique.....	41
IV-2-1-3- Etude microthermométrie.....	44
Histogramme des températures d'homogénéisation (Th) du béryl de Ouan-Rechla.....	44
IV-2-2- Les inclusions fluides dans le quartz.....	45
IV-2-2-1- Etude microscopique.....	45
IV-2-2-2- Etude Microthermométrie.....	47
Histogramme des températures d'homogénéisation (Th°) du quartz de Ouan-Rechla.....	48
Conclusion et discussions.....	49
Conclusion générale.....	50
Reference bibliographique.....	51

Liste des figures

Figure 1 : Situation du massif de Ouan-Rechla dans le terrane de Laouni (In AzzouniSekKal et al, 2003).....	2
Figure 2 : Schéma des principaux domaines structuraux du Hoggar (Caby et al, 1982).....	4
Figure 3 : Nouvelle subdivision du Hoggar et les 23 terranes (Liégeois et al ; 2000).....	8
Figure 4 : Carte schématique des terranes du Hoggar central (Bonin, 2003).....	10
Figure 5 : Carte de situation des granites post-orogénique du terrane de Laouni (In A.Hamis article en cours).....	12
Figure 6 : Massif d'Ouan-Rechla vu par satellite (image Google).....	13
Figure 7 : Carte géologique de la coupole de OuanRechla(In M. Kesraoui 2005, d'après les travaux de la sonarem et de Djadoun, 1993).....	14
Figure 8 : Filon de quartz recoupant le granite à albite topaze Mn lépidolite. (inHamis, thèse en cours).....	15
Figure 9 : Granite à albite topaze et lépidolite au microscope polarisant (LPA) deGrx20. In A.Hamis.....	17
Figure10 : Pegmatite de OuanRechla, quartz- zinnwaldite-"béryl" (in Hamis, thèse encours), (Q : quartz, Zw : zinnwaldite).....	18
Figure 11 :Coupe géologique Est-Ouest à travers le massif de Ouan-Rechla (In M. Kesraoui 2005, d'après les travaux de la sonarem et de Djadoun, 1993).....	18
Figure 12 :Pegmatite de Rechla, Zinnwaldite en kink-band au contact du beryl. In.M. Kesraoui 2005.....	19
Figure 13 : Minéral de béryllium.....	21
Figure 14 : Structure du béryl(Grant. W.M. et Schuman. J.S.1993).....	28
Figure 15 : photo représentant les variétés de béryl (Robert. 1986).....	29
Figure. 16 : béryl en chou-fleur (Helvite) encaissé dans un filon à quartz-zinnwaldite.....	32
Figure 17 : Le béryl hexagonal encarde (quartz, zinnwaldite et béryl).....	33
Figure18 : Exemples des types d'inclusions fluides les plus fréquents.....	34

Figure 19 : Les inclusions fluides primaires, pseudo-secondaire et secondair.....	37
Figure 20 : Platine microthermométrie Linkam TH MS 600.....	40
Figure 21 : Les différentes générations d'inclusions fluides dans le béryl (Gx20).....	41
Figure 22 : Histogramme des températures d'homogénéisation (Th) du béryl de Ouan-Rechla.....	45
Figure 23 : Histogramme des températures d'homogénéisation Th du quartz de Ouan-Rechla.....	49

Liste des tableaux

Tableau 01 : Propriétés physique du béryllium.....	22
Tableau 2 : Teneurs Moyennes en béryllium dans les roche ignées (g/t ou ppm).....	23
Tableau 3 : Minéraux du béryllium.....	24
Tableau 04 : Températures d'homogénéisation du béryl.....	44
Tableau 05 : Les températures d'homogénéisations des inclusions fluides dans le quartz...	48

Liste des planches

Planche 01 : Diverses inclusions monophasée, biphasée, et triphasée piégées dans le béryl (Gx50) ; d'échelle 40µm.....	42
Planche 02 : Les diverses formes d'inclusions fluides dans les béryls de Ouan-Rechla observées au microscope polarisant (Gx50) ; d'échelle 40µm.....	43
Planche 03 : Les principaux types d'inclusions fluides dans le quartz d'Ouan-Rechla observés au microscope polarisant (Gx50) ; d'échelle 30µm.....	46
Planche 04 : Les différentes formes d'inclusions fluides dans le quartz d'Ouan-Rechla observées au microscope polarisant (Gx50) d'échelle 30µm.....	47

Liste des abréviations

BRGM : Bureau de Recherche Géologique et Minière.

B.R.M.A : Bureau de Recherche Minière en Algérie.

EREM : Entreprise de Recherche Minière

FSTGAT : Faculté des Sciences de la Terre, Géographie et Aménagement du Territoire.

Lw: Liquide aqueux.

Lc : Liquide carbonique.

SONAREM : Société Nationale de Recherche et d'exploitation Minière.

Te : Température de l'eutectique.

Tfg : Température de la fin de fusion de la glace.

Th : Température d'homogénéisation.

Vc : Vapeur carbonique.

Les minéraux :

Be: Béryl

He: Helvite

Mic: Micas

Q:Quartz

ZW:Zinnwaldite

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

I-Présentation du travail

Ce modeste travail a été réalisé dans le cadre de la préparation du mémoire de master en Sciences de la Terre et de l'Univers, option Ressources Minérales et Environnement sur l'étude des inclusions fluides des béryls de la pegmatite du massif d'Ouan-Rechla, région de Laouni (Hoggar central, Algérie).

I-1- But du travail

Les inclusions fluides représentent des témoins des fluides minéralisateurs et peuvent nous renseigner directement sur les conditions de cristallisation des minéraux en particulier, des minerais et de leurs gangues et des roches en général.

Ce mémoire a pour but de contribuer à l'étude des inclusions fluides des béryls et du quartz de la pegmatite du massif de Ouan-Rechla, connu comme indice de béryl afin de déterminer la nature des fluides minéralisateurs à l'origine de la mise en place du béryl.

I-2- Méthodologie

Pour la réalisation de ce mémoire nous avons travaillé sur des échantillons de béryls et de quartz extraits de la pegmatite à béryls d'Ouan-Rechla de la région de Laouni. Les travaux effectués peuvent être résumés comme suit :

a-Synthèse bibliographique

La recherche bibliographique est une étape très importante pour une bonne connaissance de la géologie de la région en général et du massif Ouan-Rechla en particulier. Elle a été réalisée grâce à la consultation de plusieurs documents : Thèses de doctorat d'état, de magistère, mémoires de mastères, articles sur la géologie du Hoggar, sur le béryl et inclusions fluides, des ouvrages de base sur la géologie, rapports inédits sur la région de Laouni et d'Ouan-Rechla.

b- Travaux de laboratoire

Le travail de laboratoire a consisté en la préparation de cinq (5) échantillons de béryl et deux échantillons (2) de quartz pour l'étude microscopique et microthermométrie des inclusions fluides.

Le découpage, le polissage et la pré-finalisation des esquilles de béryls et quartz ont été réalisés par moi-même au niveau du laboratoire des lames minces du département des Sciences Géologiques de l'U.M.M.T.O. La finalisation et leur étude ont été réalisées à la F.S.T.G.A.T de l'U.S.T.H.B.

II- Historique

La découverte du massif de Ouan-Rechla fut en 1959-1960, par la mission de prospection générale du bureau de recherche géologique et minière (B.R.G.M).

Après sa découverte, le massif Ouan-Rechla a fait l'objet d'une étude minéralogique et pétrographique par JML-Boissonas (1960).

L'étude du granite et des pegmatites qui le composent a été entreprise plus tard, en 1963, par J.P Bonnici.

Plus récemment, Djadoun (1993) a repris l'étude du massif et une description détaillée ainsi que la pétrographie et la minéralogie fine des différents faciès du massif ont été réalisés. Kesraoui (2005) aborde la partie géochimique des granites évolués à albite – topazs de la coupole duOuan-Rechla.

III- Aperçu géographique

Le massif d'Ouan-Rechla se trouve dans la partie centro-occidentale de la feuille au 1 :200000_{em} de Laouni à environ 300Km au Sud-ouest de la ville de Tamanrasset. Il est localisé à l'intersection de deux failles régionales, l'une subméridienne, et l'autre curviligne de direction Nord Est (**Figure 1**).

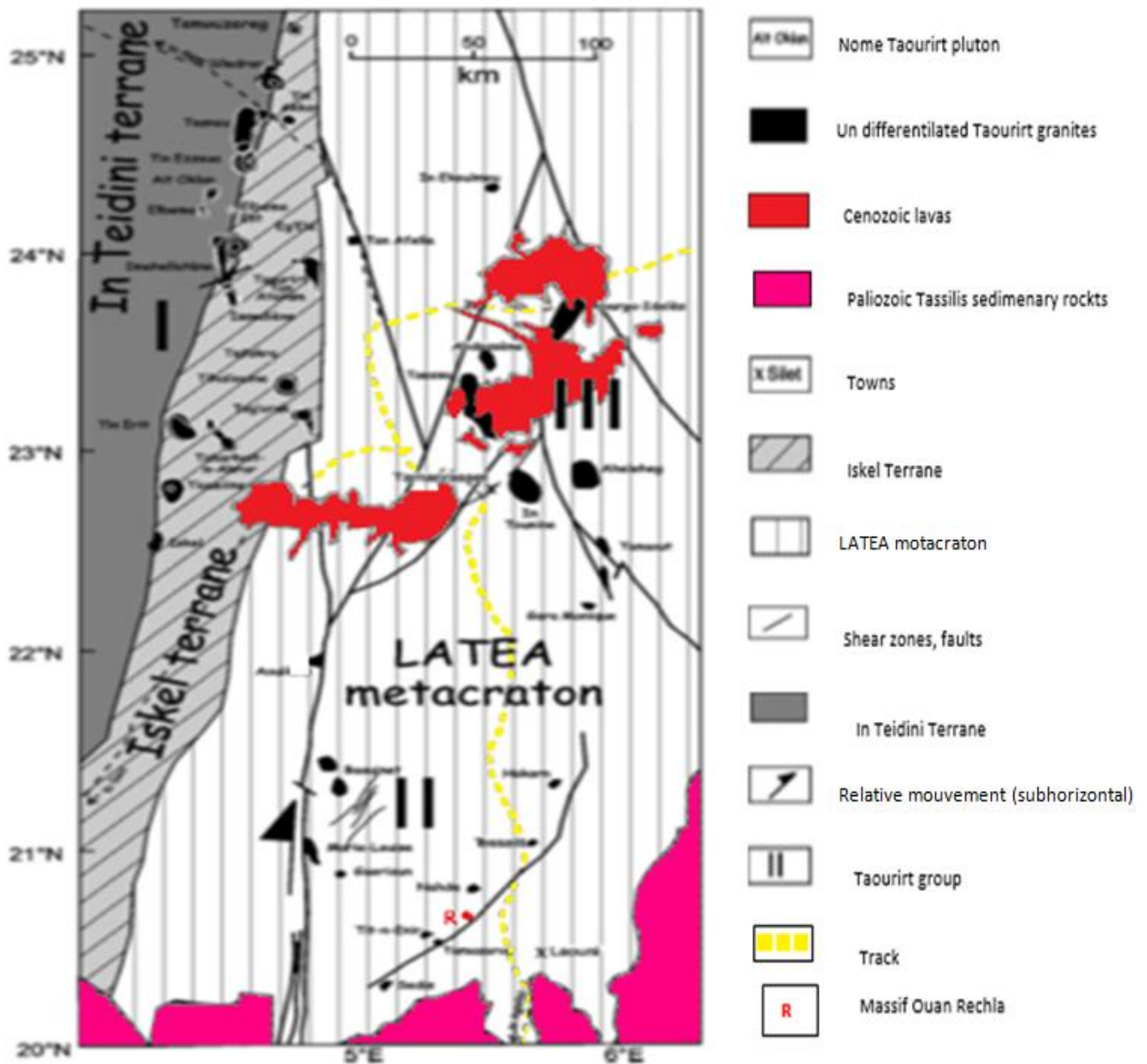


Figure 1 :Situation du massif de Ouan-Rechla dans le terrane de Laouni (In AzzouniSekKal et al, 2003)

CHAPITRE I :
CADRE
GEOLOGIQUE
REGIONAL

I -Généralités sur la géologie du Hoggar

I-1- Aperçu historique des travaux de recherches

Le socle précambrien du Hoggar, a fait l'objet de nombreux travaux de recherches géologiques, dont l'histoire est marquée par trois grands étapes :

-Travaux précurseurs : les plus appréciables sont dues aux deux pionniers de l'exploration géologique du Hoggar :

C.Killian (1932), qui fut le premier à proposer et à distinguer deux complexes : le « Suggarien » à la base et le « Pharusien » au sommet, avec un niveau basal de conglomérat

M. Lelubre (1952), généralise cette coupure stratigraphique en terme de cycle orogéniques : « Suggarien » et « Pharusien »(le premier modèle tectonique du Hoggar).

-Travaux de cartographie systématique :

Les géologues du BRMA et puis du BRGM (1952-1962), ont réalisé de nombreux travaux de recherche systématiques et ont établi la carte au 1/500000^{ème} de l'ensemble du Hoggar, sous la direction de C.Reboul (1962), en utilisant la distinction en séries et en cycles orogéniques, précédemment définies par M.Lelubre. La SONAREM (créée en 1967), actuellement EREM) procède à l'établissement de nombreuses cartes (inédites), à l'échelle 1/200000^{ème} et à de nombreux travaux systématiques de recherches miniers.

Travaux régionaux, introduction de la radiochronologie et travaux thématiques récents :

Cette étape est marquée surtout par l'utilisation du deuxième modèle géotectonique : « subdivision de l'ensemble du Hoggar en trois grands ensembles géologiques » (J.M.L. Bertrand et R. Caby 1978), qui permet la compréhension de la mise en place, de la structure, des relations structurales et des âges des formations géologiques du précambrien du Hoggar qui sont relativement facilités par les travaux des autres suivants et d'autres : J.M.L Bertrand et al (1966), J. Arène (1968), M. Gravelle (1969), R. Caby (1970), J. Boissonnas (1973), J.M.L. Bertrand (1974), L. Latouche (1978), G. Vitel 1979), M. Chikhaoui (1981), A.M. Boullier et J.M.L Bertrand (1982, 1986 et 1987) et K. Ouzegane 1987).

I-2– Situation géographique, structure générale et composition

Le Hoggar est situé au sud du Sahara Algérien et couvre une superficie d'environ 550.000Km². Il constitue la partie la plus importante du bouclier Touareg, quise prolonge au sud-ouest au Mali par le massif des Iforas et au sud-est au Niger par le massif de l'air(Figure2)

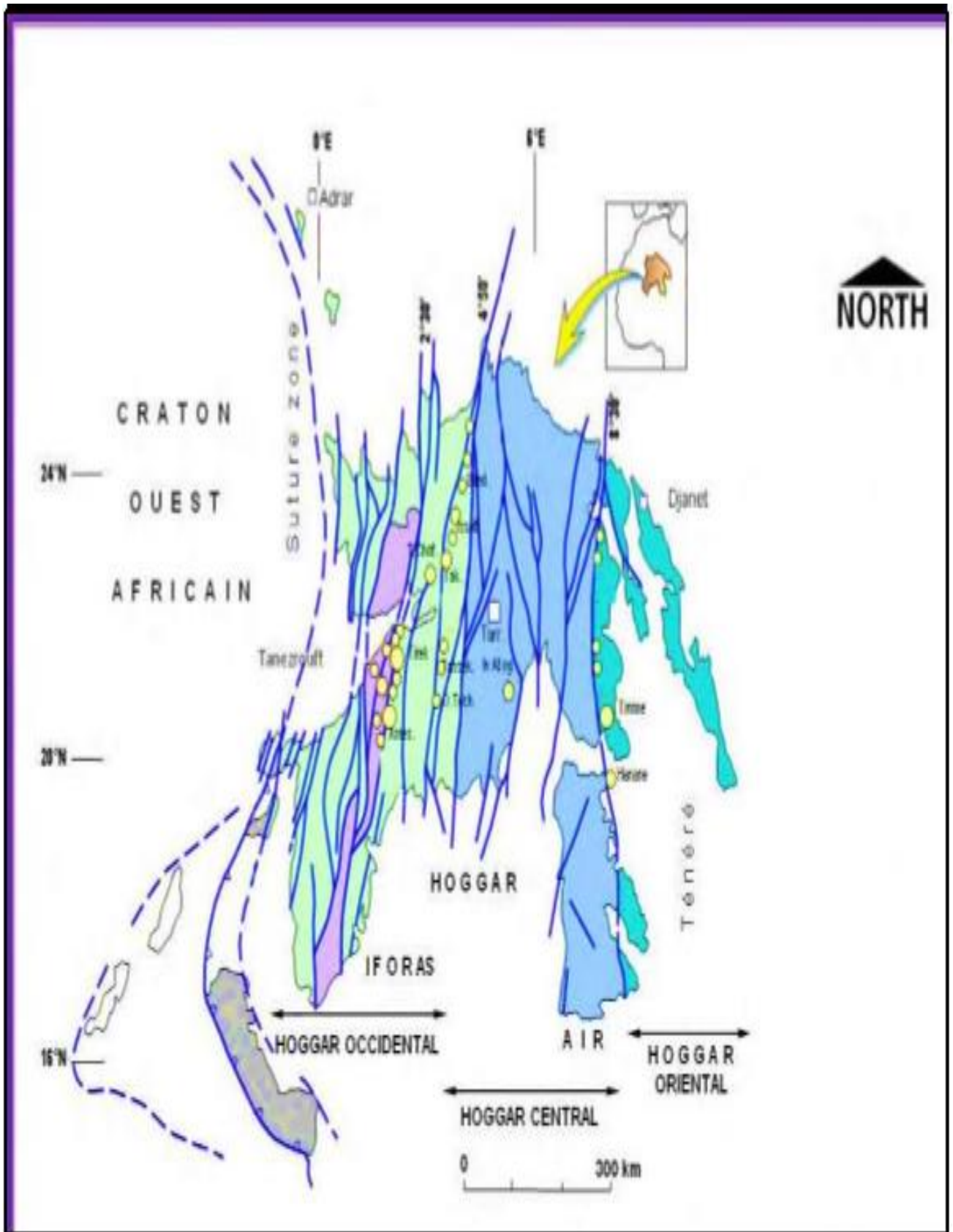


Figure 2 : Schéma des principaux domaines structuraux du Hoggar (Caby et al. 1982).

- Le Hoggar s'est formé principalement pendant l'orogénèse panafricaine (750-550), il est constitué principalement de terrains précambriens recouvert par des dépôts sédimentaires paléozoïques (les Tassillis).

Le Hoggar est structuré au cours de deux phases majeures de l'orogénèse panafricaine (Black et Liégeois 1993) :

-La première phase : est marquée par une hypercollision entre les terranes Est du bouclier Touareg et le craton Est saharien qui est précoce (750-660Ma) avec un développement d'une zone de subduction pentée vers l'ouest donnant lieu à une importante délimitation lithosphérique. (Caby 1969).

-La deuxième phase : est marquée par une collision oblique entre le craton ouest Africain et l'ensemble du bouclier Touareg-craton Est saharien qui est tardive (650-550Ma), cette phase est accompagnée par une manifestation d'un magmatisme typique de post-collision qui marque la fin de l'orogénèse panafricaine. Elle se traduit par une compression et un raccourcissement E-W ; responsable de la migration générale des blocs vers le nord. (JML.Bertrand 1974).

D'après (Bertrand et Caby 1978), la structure du Hoggar est caractérisée par de grands cisaillements N-S d'échelle continentale. Les accidents $4^{\circ}50'$ et $8^{\circ}30'$, séparent le Hoggar en trois grands domaines différents sur le plan de leur lithologie et leur évolution tectono-métamorphique, qui sont d'ouest vers l'Est.

-Le Hoggar occidental

-Le Hoggar central polycyclique

-Le Hoggar oriental

II - Description des grands domaines géologiques du Hoggar

II-1- Le Hoggar occidental : appelé également chaîne pharusienne ou panafricaine, est limitée à l'Ouest par le craton ouest Africain et à l'Est par l'accident majeur $4^{\circ}50'$.

La chaîne pharusienne renferme des formations du Protérozoïque moyen et supérieur. Cette chaîne est formée par juxtaposition de trois grands compartiments : le mole In Ouzzal, le rameau occidental et le rameau oriental :

-Le rameau occidental : est un ensemble précambrien à structures complexes, plissées et métamorphosées au cours de l'orogénèse panafricaine. Il est constitué de formations de :

-Formations du protérozoïque moyen : quartzites alumineuses, accompagnées d'intrusions gneissiques alcalines à subalcalines.

-Formation du protérozoïque supérieur : « série à stromatolithes » (R. Caby, 1970) à laquelle sont associés des sills et des laccolites de roche basiques et ultrabasiques.

-Formations du protérozoïque terminal, subdivisées en deux série (R.Caby,1970 et R.Caby et al 1981) :

-La série verte, recoupée des par des sills de dolérites quartzites, de diabase et de granodiorites.

-La série volcanique, composée de laves andésitique.

- **Le mole In Ouzzal**: est formé de terrains renfermant des gneiss à facies granulitique et de nombreux plutons granitiques. Il comporte principalement des roches d'âge archéen, structurées et métamorphisées à l'Eburnéen (Haddoum et al 1994).

- **Le rameau oriental** : « dénommé fossé pharusien central » s'étend sur une grande superficie et renferme des formations méta sédimentaires et volcaniques épizonales. Il est caractérisé par des cisaillements subméridiens, deux cycles tectono-métamorphiques ont été définis (Bertrand et al 1966, Gravelle1969) :

Pharusien1 : Pharusien ancien ou inferieur (PHI), du Protérozoïque supérieur, constitué de roches volcaniques et sédimentaires associées à des formations plutoniques basiques.

-Pharusien2 : Pharusien récent ou supérieur (PHII) du Protérozoïque terminal : renferment une association de roches volcaniques et sédimentaires

II-2- Le Hoggar central : est limité à l'Ouest par l'accident 4°50'et à l'Est par l'accident l'accident d'Honag au 8° 30'.

Ce domaine a toujours été considéré comme polycyclique, notamment du fait de la présence de datation à 1000Ma (kibarien = greenvillien). Les formations d'âge Paléo protérozoïque prédominent dans ce domaine. Il sont formées de migmatites et gneiss rubanés associés à des gneiss oeillés, alors que les formations mésoprotérozoïques comporte une alternance de marbres. Les formations néoprotérozoïques se situent le long des zones de cisaillement d'allongement subméridien. Le Hoggar central a été subdivisé en quatre régions :

-La région de l'Aleksod(Bertrand et lassere 1976) comprend :

-La série d'arechchom : constitue essentiellement d'orthogneiss et de méta-sédiments affectés par un métamorphisme amphibolitique profond.

La série de l'Aleksod : qui comprend des amphibolites et des métasédimentaire du faciès amphibolite.

-La région d'Oumelalen-Tamassint(Latouche, 1972 ; 1978, Latouche et Vidal 1974), elle comprend :

-La série rouge, avec ses gneiss rubanés, des quartzites et des marbres du faciès granulitique

La série des Gour Oumelal qui forme un assemblage varié de roches rubanées : gneiss à biotite-grenat, leptynite, charnockites acides, intermédiaires et basique, pegmatites à hypersthène, amphibolites, marbre et quartzites.

-La région de la Tefedest-Atakor (Vitel, 1979 ; Vialette et Vitel, 1979) qui comporte :

-La zone d'In Eker-Torsournine : constituée de gneiss à plagioclase-biotite-hornblende

-La zone d'Amsinassene, qui comprend un ensemble de granitoïdes, migmatites et des gneiss associés à des carbonates et à des pyroxénites.

-Le domaine d'Issalene(Bertrand et al 1987 ; Bertrand et Caby 1978) d'âge inconnu probablement éburnéen, ce domaine possède une lithologie très homogène et est caractérisé par des horizons d'orthogneiss alcalins.

II-3-Le Hoggar oriental : est limité à l'Ouest par la faille subméridienne 8°30' qui le sépare du Hoggar central.

Ce domaine a été subdivisé par (Black et al 1994) en quatre terranes (Djanet, Aouzegue, Edembo, et Barghot). Ils sont composés de terrains méta-sédimentaires, volcaniques, plutonique, et ophiolitique appartenant au cycle Panafricain, et de massif du Paléoprotozoïque de haut grade du métamorphisme réactivé au Panafricain. Ces formations sont recouvertes en discordance par les séries sédimentaires du Paléozoïque, et par d'importantes manifestations volcaniques (Mésocénozoïque) notamment au Hoggar central dans le Tassili N'Ajjer).

III- Structuration en terranes

Les résultats obtenus ces dernières années ainsi que les difficultés à établir des corrélations entre les différentes régions du Hoggar, ont ramené les autres de ce modèle à revoir le modèle géodynamique proposé et introduire la notion de "terrane" (Black et al ; 1994).

Ces auteurs proposent que le bouclier Touareg était constitué de 23 terranes (**Figure 3**) déplacé ou charriés pendant l'orogénèse panafricaine le long de grandes zones de cisaillement ou "méga-shear zones". Ces terranes ont leurs propres lithologies et caractéristiques tant du point de vue du métamorphisme que du magmatisme ou de la tectonique.

Ces terranes ont été assemblés au cours de deux phases principales (Liégeois et al 1994), marquées par les deux collisions majeures

IV-Le concept de terrane LATEA :

Ce nom désigne l'ensemble formé des terranes de Laouni, d'Azrou n'fad, de la Tefedest et de l'Egeré-Aleksod(**Figure 3**). Ces derniers ont commun un socle archéen et éburnéen (Latouche et Vidal, 1974) ; Bertrand et al ; 1986 ; Peucat et al ;2003). Ils constituent un bloc s'étant comporté en petit craton au cours de la première phase de l'orogénèse panafricaine.

Cependant, au cours de la période de post-collision de l'orogénèse panafricaine (620-580 Ma mais qui s'est poursuivie jusqu'à 520 Ma), ce craton fut en partie déstabilisé et démembré (Liégeois et al ;2003) jusqu'à correspondre à un métacraton.

Dans le cas de LATEA, la collision n'est pas accompagnée d'un épaissement de croûte majeur et les effets d'un métamorphisme de haut degré restent très limités. Elle acquiert un caractère intermédiaire entre un craton et une chaîne mobile totalement affectée par une orogénèse. Ceci indique que le socle archéen et paléoprotozoïque qu'est bien préservé (Liégeois et al. 2003). Elle conserve un épais manteau lithosphérique de craton mais ce dernier a subi une importante délimitation le long des méga-shear zones.

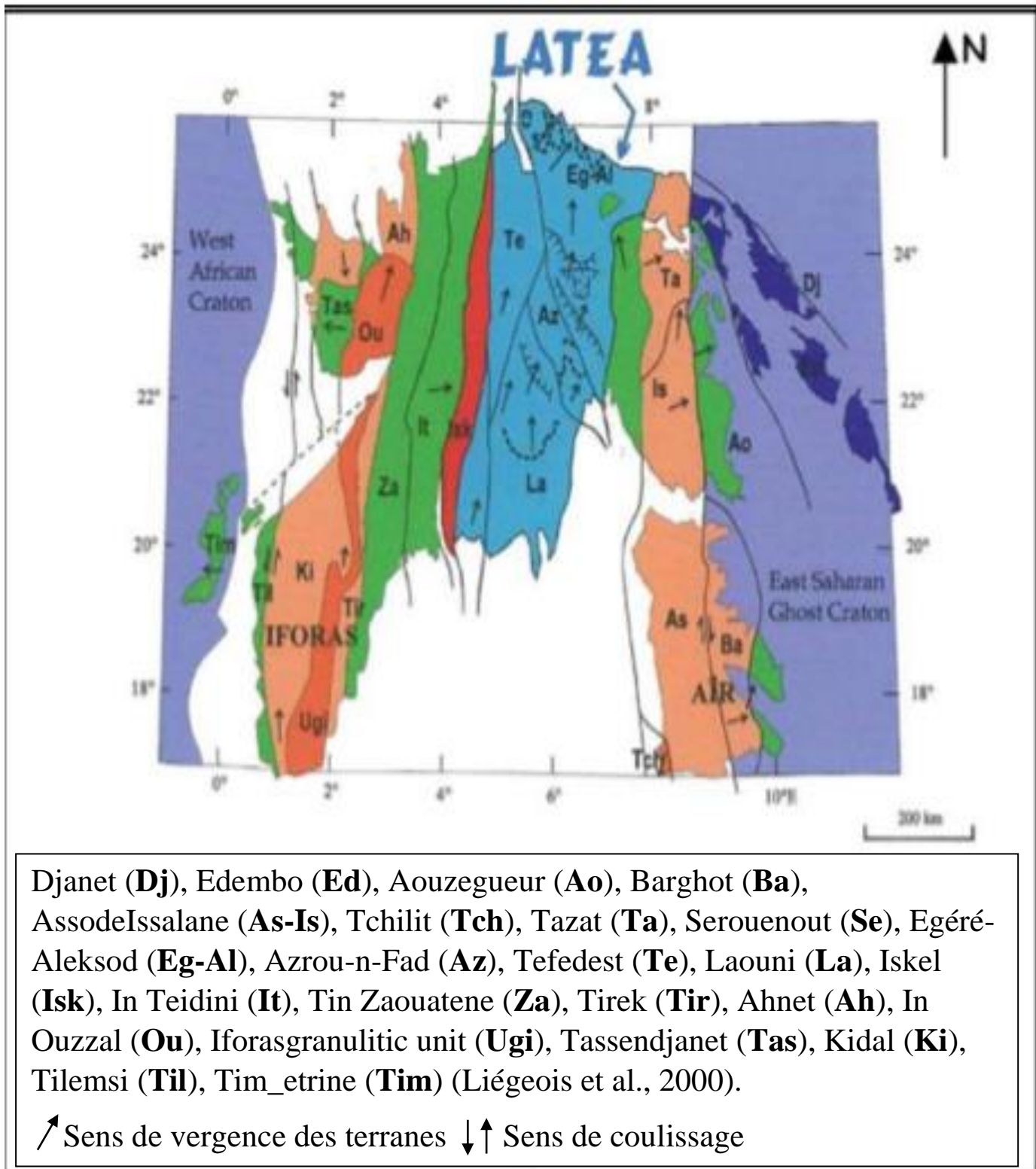


Figure 3 : Nouvelle subdivision du Hoggar et les 23 terranes(Liégeois et al ; 2000)

CHAPITRE II :
APERÇU
GEOLOGIQU
SUR LETERRANE
DE LAOUNI

I- La géologie du terrane de Laouni

Le terrane de Laouni est situé au Sud de la ville de Tamanrasset, il occupe toute la partie méridionale du micro-continent LATEA (Laouni, Azrou n Fad - Tefedest, Egéré - Aleksod). Il s'étend principalement sur une surface de 60 milles m²Tamanrasset, In Atei, Laouni, TinBegane et In Guezzam.

Cette région correspond à une série de nappes panafricaines reprenant un matériel éburnéen et panafricain, où des cisaillements ductiles s'associent à des éclogites panafricaines. Ce terrane se distingue par l'abondance des granites post-panafricains. La surface d'affleurement est formée de granites panafricains syntectoniques de nature calco-alcaline (Cottin, 1990).

Le terrane de Laouni, dont la forme générale est celle d'un grand losange, peut être divisé en quatre domaines (**Figure 4**)

Domaine1 :

Il est situé au Nord du terrane dans la région de Tin Begane et caractérisé par un empilement de nappes panafricaines en forme de dômes et de bassins. Les antiformes sont à dominance orthogneissiques et amphibolitiques séparés par des synformes de formations paradérivées.

Cette région est caractérisée par une mégastructure en « front de chevauchement » long de 100Km de direction NW-SE soulignée par des serpentinites, péridotites, roches ultramafiques-mafiques, des black shales, des micaschistes à grenat et des nodules de manganèse, interprétés comme des traces d'ophiolites (Latouche et al ; 2000).

Domaine2 :

Ce domaine est situé au Sud du terrane dans la région de Laouni. Il est presque entièrement granitisé avec apparition de roches métamorphiques au sein de cette masse granitique.

L'ensemble est intrudé de roches mafique-ultramafiques (Cottin et al ; 1990) qui jalonnent le domaine des bassins juvéniles panafricains de Laouni (Cottin et al ; 1998).

Domaine3 :

C'est le domaine des bassins juvéniles panafricains de Laouni. Il est formé de matériels paradérivés très différent de celui des domaines voisins.

Il est caractérisé par une association constante de schistes noirs graphiteux, d'anciens tufs basiques ou andésitiques et de niveaux lenticulaires de dunités plus ou moins serpentinisées.

Ces unités forment un alignement NW-SE, donc de même direction que celle de la trace ophiolitique de la région de Tin Bégane et des intrusions ultramafiques-mafiques de la région de Laouni.

Domaine4 :

C'est la zone de In Abbegui-In Atei, caractérisée par un groupe de trois synformes alignés le long de la limite Est du terrane de Laouni. On y trouve des roches acides à grains fins, des

gneiss mylonitiques à amphibolites et des minces niveaux de quartzites dont l'attribution est encore inconnue (Latouche et al ; 2000).

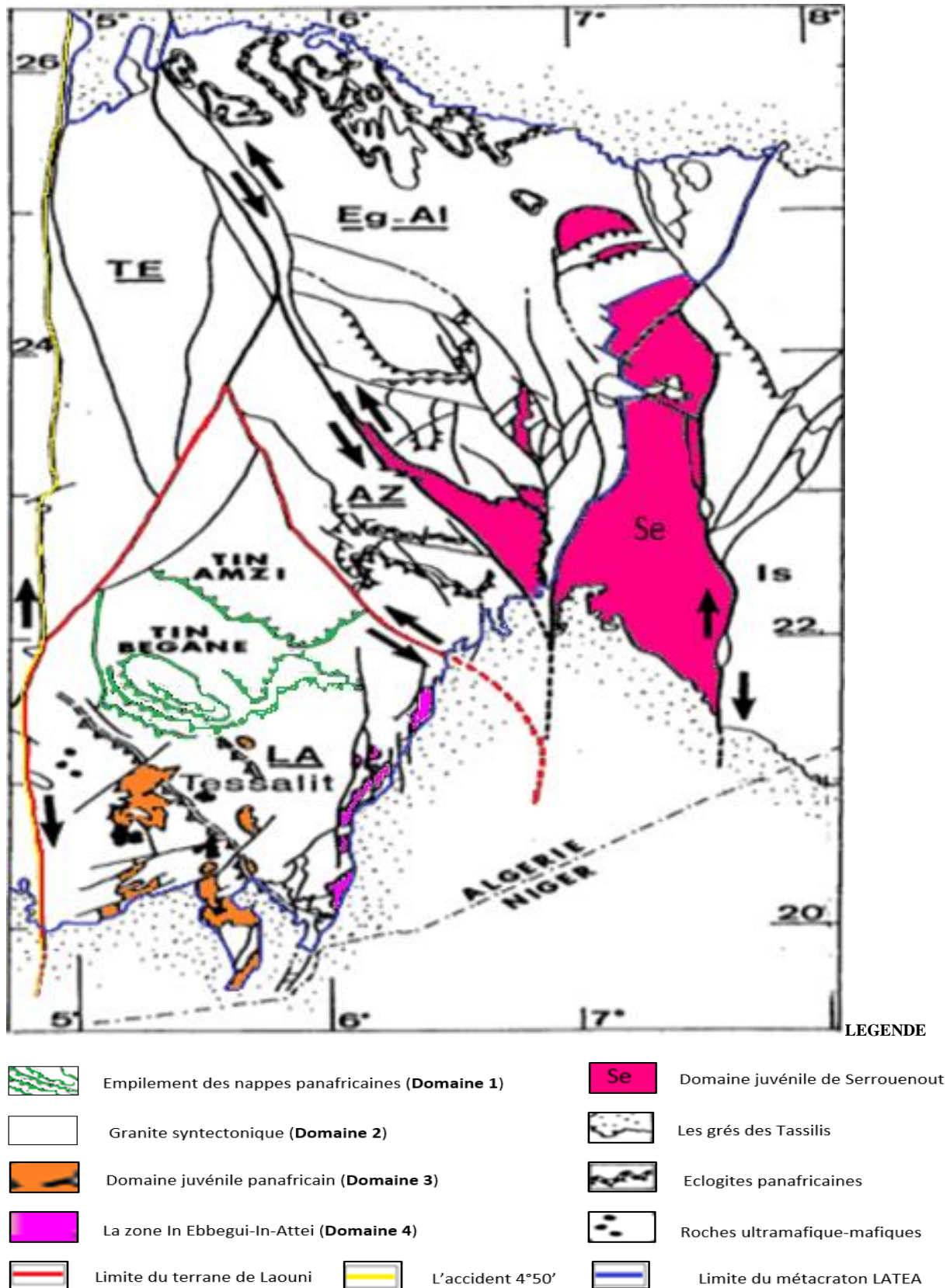


Figure 4 :Carte schématique des terranes du Hoggar central (Bonin, 2003)

I-1-Evolusion géodynamique

D'après Liégeois et al (1998), le modèle géodynamique appliqué pour l'ensemble du Hoggar central est décrit par une collision et post-collision difficilement compatible dans la région de Laouni.

Des études pétrographiques récentes réalisées sur les intrusions mafiques-ultramafiques de la région de Laouni concluent que leur mise en place est faite par un processus de différenciation magmatique primitif mantélique très magnésien et très faiblement contaminé par la croûte continentale et peut-être expliqué par un régime tectonique en extension dans cette partie du Hoggar central (Cottin et al ; 1990).

I-2- Les granites post-orogéniques de Laouni

La mise en place des granites post-tectoniques a été le dernier événement marqué dans la région de Laouni(**Figure 5**), en relation directe avec la phase de collision entre le bouclier Touareg et le craton Ouest Africain.

Ces granites sont postérieurs aux plissements Panafricains, ils forment les massifs suivants : Hakoun, Tessalit, Nahda, Tamazaror, Tit-N-Enir, **Rechla**, Sedis, Guerioune, Tillik-Adrar Marie Louise, et le groupe des Baouinet. Plusieurs de ces massifs forment un alignement NE-SW soulignant un accident courbe (Hakoun, Tessalit, Nahda, Tit-Enir, Tamazaror, OuanRechla et Sedis). Ces granites ont fait l'objet de plusieurs études géologiques, pétrographiques et gîtologiques par de nombreux ingénieurs et chercheurs : (B.R.G.M, 1963, Boissonnas, 1973 ; E.REM ? 1975, Benazzouz, 1989 ; Djadoune, 1993 ; Chalal, 2002 ; Kesraoui, 2005). Des minéralisations à métaux rares (Sn, W, Ta, Nb, Be, Li...) sont associées à ces granites. Les minéraux porteurs sont dans des filons ou en dissémination dans des greisens, pegmatites ou bien dans les granites eux même.

Ces massifs ont une structure en dôme ou en coupole par fois concentrique. Ils sont intrusifs, et recoupent l'ensemble des granites encaissants, roches métamorphiques et les intrusions ultramafiques-mafiques de la région de Laouni.

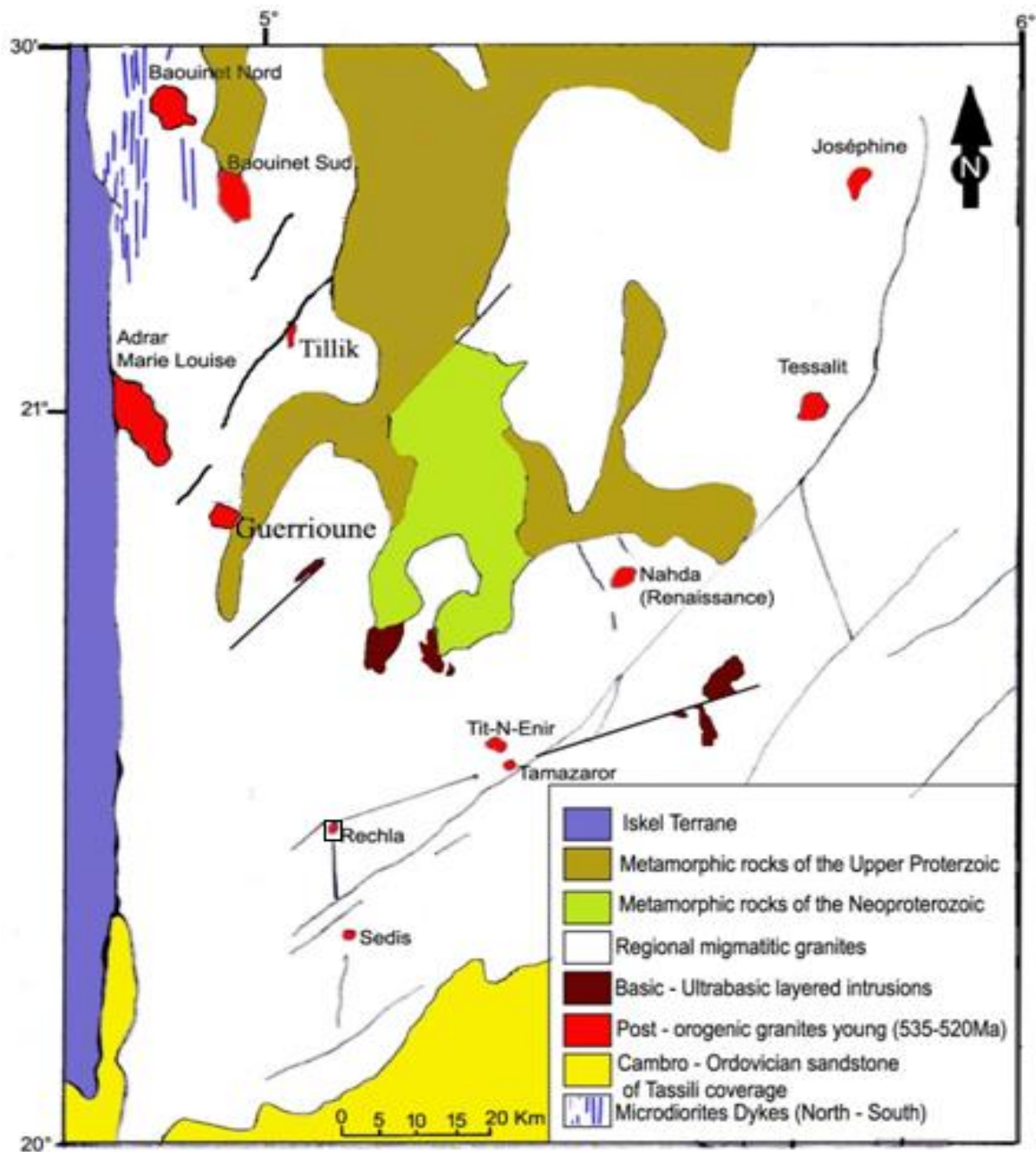


Figure 5 : Carte de situation des granites post-orogénique du terrane de Laouni (In A.Hamis article en cours)

I-3-Conclusion

La géologie du terrane de Laouni est une diversité très complexe des faciès pétrographiques. Cette région est caractérisée par une évolution géodynamique différente de celle des autres régions du Hoggar central, avec une phase de compression et d'extension qui a permis la mise en place des roches ultramafique-mafiques dans cette région. La mise en place des granites très évolués du Hoggar central constitue le dernier événement panafricain enregistré dans cette région.

CHAPITRE III :
CARACTERISTIQUE
GEOLOGIQUE
DU SECTEUR
D'ETUDE

I -Introduction

Le massif de Ouan-Rechla appelé aussi Alous-Ouan-Rechla ou tout simplement Rechla est situé dans la partie centro-occidentale de la feuille de Laouni, à 60Km, au Sud-Ouest du gisement de Nahda, lui-même situé à 250Km environ, au Sud-Ouest de Tamanrasset

(Figure 1).

Le granite et les formations pegmatitiques forment un relief en crête (Figure 6), haut de 50 mètres environ, au-dessus du « reg ».



Figure 6 : Massif d'Ouan-Rechla vu par satellite (image Google).

Les coordonnées du centre du massif sont : Long=5°07' Est = Lat=20°29' Nord. Côte 673m, sur la feuille de Laouni de l'IGN au 1/200 000^{ème}.

Le massif a été découvert par la mission de prospection générale effectuée par le BRGM, (1959-1960). L'inventaire minéralogique et l'étude pétrographique ont été entrepris au cours de la même mission par J. Boissonnas dans le cadre de sa thèse de Doctorat d'état Ès Sciences.

L'intrusion granitique et ses pegmatites ont fait l'objet d'une étude particulière par J.P Bonnici en 1963.

-Alous signifie : un relief en crête, Ouan signifie : celui de, Rechla signifie : nom de l'oued

II –Situation géographique et composition du massif

Le massif de Ouan-Rechla est situé à l'intersection des deux failles, l'une subméridienne et l'autre de direction Nord Est(Figure 6), matérialisée par des filons de quartz s'étendant jusqu'au massif de Tamazaror.

-L'affleurement granitique (granite à albite – topaze - lépidolite) apparaît sous forme d'une « sucette » disloquée en deux corps : le corps Nord Est et le corps Sud-Ouest sur la carte géologique du massif de Ouan-Rechla (Figure 7).

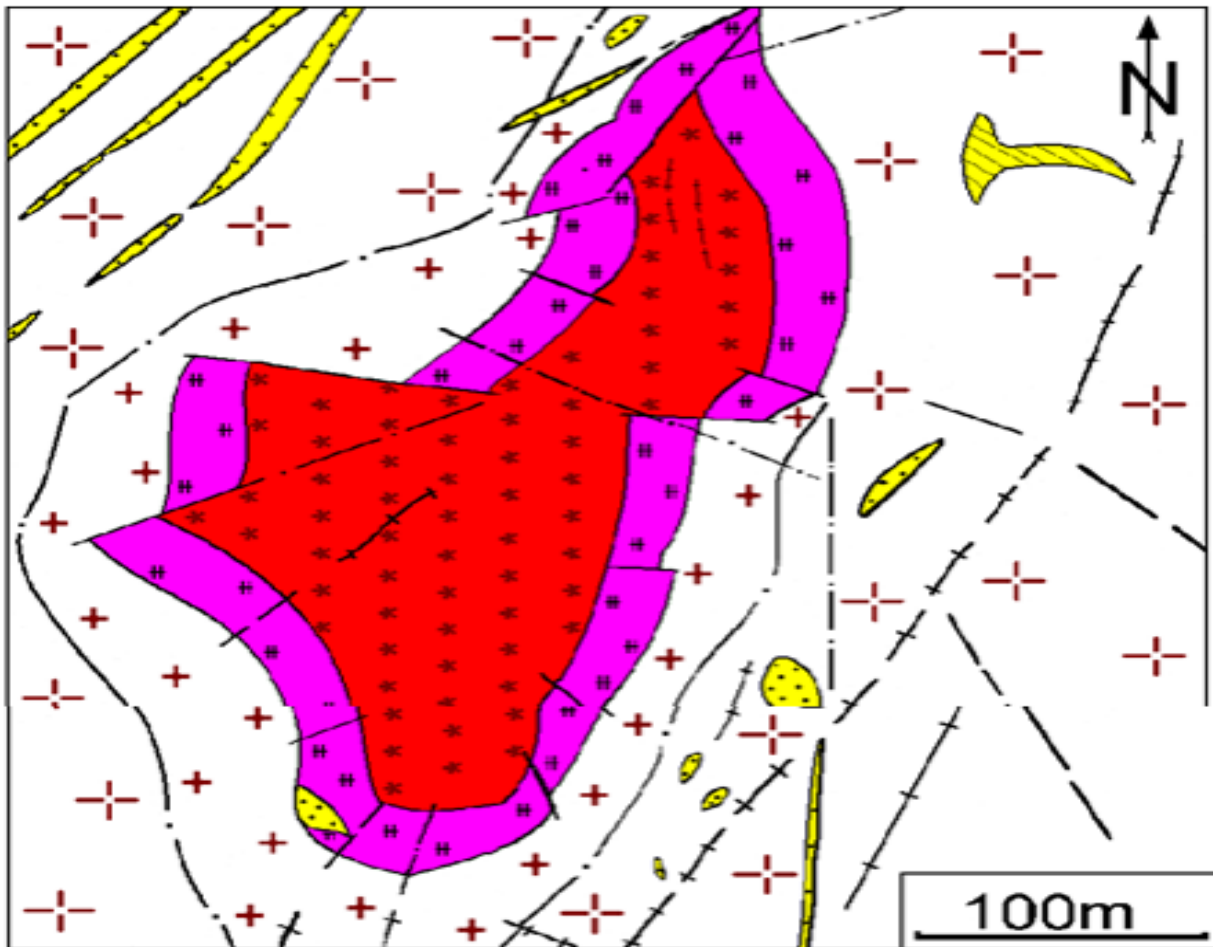






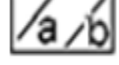
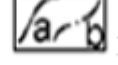


Figure 7 : Carte géologique de la coupole de OuanRechla

(In M. Kesraoui 2005, d'après les travaux de la sonarem et de Djadoun, 1993)

Légende :

	Granite régional encaissant		pegmatite
	Granite à biotite		Alluvions
	Granite à topaze et Mn-lépidolite		Filons de quartz et greisen
	Faillles a) observées b)		Limites de faciès a) observées b) supposées

- La partie Sud-Ouest du massif est marquée par un important recouvrement de sable.
- Les dépôts elluvio - dilluvionnaires sont abondants et forment des « ilots » sur la surface pénéplaine du pluton de granite migmatitique régional.
- Au Sud Est du massif, le granite migmatitique renferme des « passées » de pegmatoides et d'aplitoides.
- Au sein du pluton granitique régional, s'introduit un granite porphyroïde à biotite muscovite, de teinte rosâtre qui constitue l'encaissant d'un « liséré » de pegmatites à structure rubanée rythmique, dont la puissance variée de 2 à 35 mètres et plonge vers l'extérieur du massif.
- Le granite porphyroïde à biotite-muscovite est affecté à des degrés différents par l'altération superficielle.
- La pegmatite enveloppe la partie centrale du massif, constituée de granite à albite-topaze-lépidolite, apparaissant très lisse et souvent très friable à l'affleurement.
- Le granite à albite-topaze-lépidolite est soumis souvent à l'altération météorique qui est bien développé surtout au niveau des zones fissurées qui sont constituées des filons de quartz recoupant ce granite, le quartz lui-même montre des fissures remplies par de la zinnwaldite tardive (**Figure 8**).



Figure 8 : Filon de quartz recoupant le granite à albite topaze Mn lépidolite, le quartz lui-même montre des fissures remplies par de la zinnwaldite tardive. (inHamis, thèse en cours).

-L'ensemble du massif est recoupé par des failles matérialisées par des filons de quartz dont certains sont bréchiques et correspondant à des failles ayant rejouées à plusieurs reprises.

-Le développement des grésins forment des îlots dont la surface d'affleurement varie entre 2x 10 m et 25 x 75 m.

Ces îlots sont allongés en général suivant les directions : NNE-SSO, N-S et parfois E-O. Ils occupent les fissures créées par l'injection du granite à albite-topaze-lépidolite.

La présence des dépôts éoliens et éluvio-dilluvionnaires, rend parfois l'observation des contacts et l'échantillonnage difficiles à faire.

III- Etude pétrographique(d'après les travaux de Djadoun ; A ; 1990)

III-1-La formation encaissante

III-1-1-Le granite migmatitique régional : Il constitue l'encaissant du massif d'Ouan-Rechla, il se présente sous forme de roche grenue à grains moyens, parfois porphyroïde, sa couleur varie du rose au gris et dépend de la composition modale du feldspath. Par endroit, il est intensément déformé et a l'aspect de migmatite. Au Sud-Est de la coupole, il renferme des passées de « pegmatoïdes » et d'aplitoides. Il est aussi fortement parcouru de veinules verdâtres d'épidote.

Au microscope, il apparaît formé de quartz, de feldspath potassique, de plagioclase parfois très zoné, et de biotite. Les minéraux accessoires sont le sphène, le zircon, l'apatite, la magnétite et l'ilménite. Les minéraux d'altération sont la muscovite, la chlorite, le rutile et la fluorite.

III-2- Le granite porphyroïde à deux micas : est une roche grenue à gros grains, porphyroïde, de teinte rosâtre, certains cristaux de feldspath peuvent atteindre des dimensions de 1,5 à 6,5 cm. Au microscope, les minéraux qui le composent sont le quartz polycristallin, le microcline xénomorphe, l'orthose subautomorphe, le plagioclase, la biotite et la muscovite interstitielle. Les minéraux accessoires sont représentés par le sphène, le zircon, l'apatite et la magnétite. Les minéraux secondaires sont la chlorite, le rutile maclé sagénite, l'épidote, la fluorite et la séricite. Le granite porphyroïde à deux micas est fortement quartzique et leucocrate.

III-3- Le granite à albite- topaze-lépidolite

Aspect macroscopique

C'est une roche de couleur blanche à blanc grisâtre selon les proportions de quartz ou de mica. Sur un fond de feldspaths se distingue nettement le quartz globuleux de 3 à 5mm de diamètre. Les micas de couleur grise violacée forment des plages quelquefois assez grandes de 2 à 4mm. A l'affleurement sur les surfaces exposées à l'air libre, le granite peut être recouvert d'un enduit noir d'oxyde de manganèse qui tapisse aussi des fractures très irrégulières. Le granite à albite-topaze-lépidolite est moyennement quartzique.

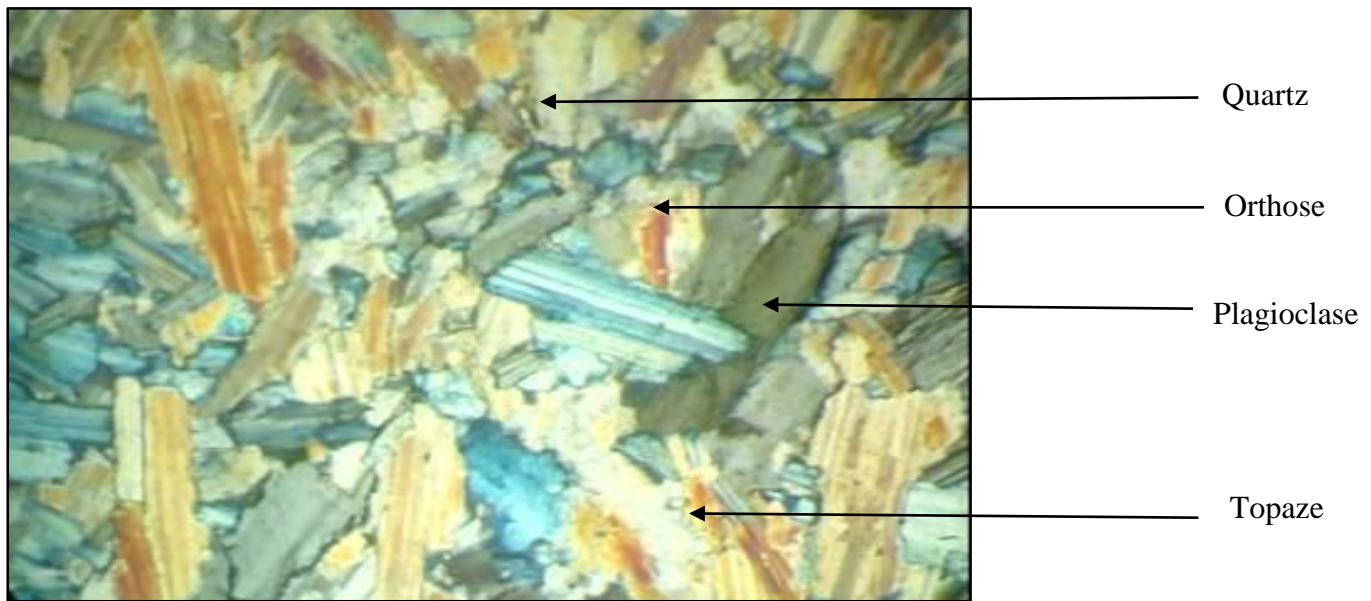
Aspect microscopique (Figure 9)

Figure 9 : Granite à albite topaze et lépidolite au microscope polarisant (LPA) de Grx20. In A.Hamis.

Le quartz :

Il forme des plages monocristallines fréquemment automorphes, hexagonales ou globuleuses. En inclusion sur ses faces de croissance se disposent d'une manière concentrique, de petites cristallites d'albite.

Plagioclase : est une albite représentant jusqu'à 60% du volume total de la roche.

On peut en distinguer deux générations, leur composition chimique obtenue par microsonde électronique (Djadoun, 1993).

-La première se présente en grands individus de 2 à 3mm, à macles discontinues ou sectorielles.

-La deuxième est celle des petites cristallites en inclusion dans le quartz globuleux et les feldspaths.

Le feldspath potassique :

Il forme généralement des cristaux automorphes à sub-automorphes. Deux types de feldspaths potassiques peuvent coexister : l'orthose et le microcline.

Topaze : Elle est facilement reconnaissable par sa limpidité, son relief et ses clivages très nets et perpendiculaires à l'allongement

Lépidolite : est en lamelles souvent allongées et parfois légèrement déformées, présentant un pléochroïsme très peu intense.

Les minéraux accessoires :

On peut observer des minéraux accessoires comme le béryl, le zircon, les oxydes à Nb, Ta, la cassitérite.

III-4-La pegmatite à Béryl :

La pegmatite affleure sur 1000m² environ en forme de coupole, son pendage est généralement de 70° vers l'extérieur du massif (**Figure 10**).

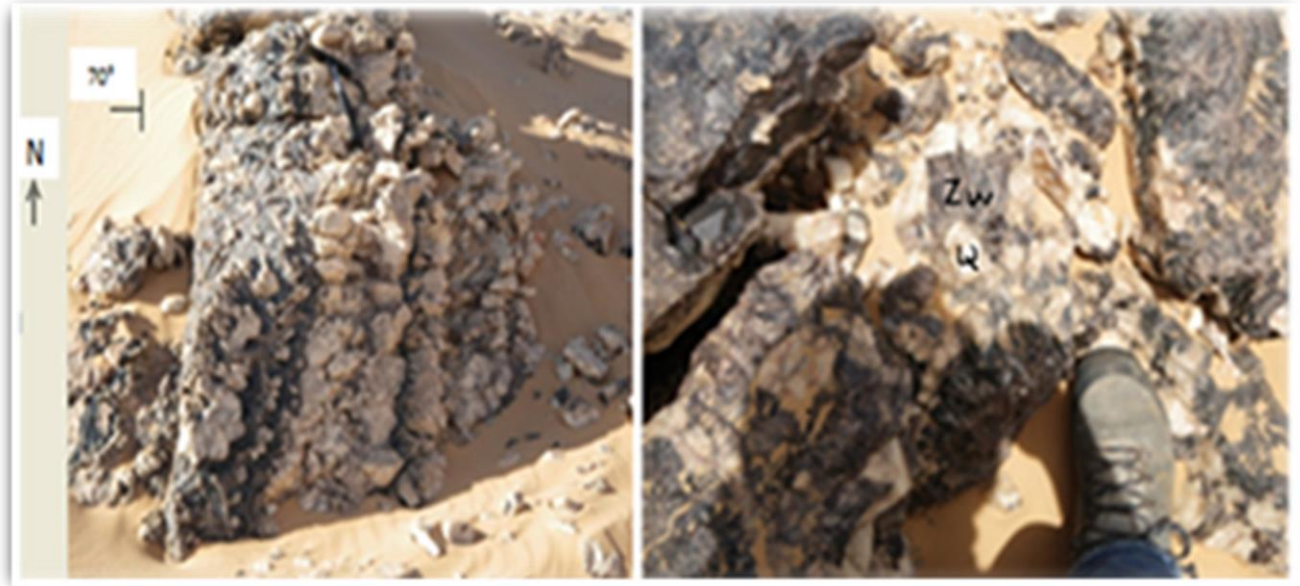


Figure10 : Pegmatite de OuanRechla, quartz- zinnwaldite-"béryl" (in Hamis, thèse encours), (Q : quartz, Zw : zinnwaldite).

Elle est zonée et constitué de deux ensembles bien distincts, du toit au mur on distingue sur une coupe géologique Est- Ouest à travers le massif de Ouan-Rechla (**Figure 11**)

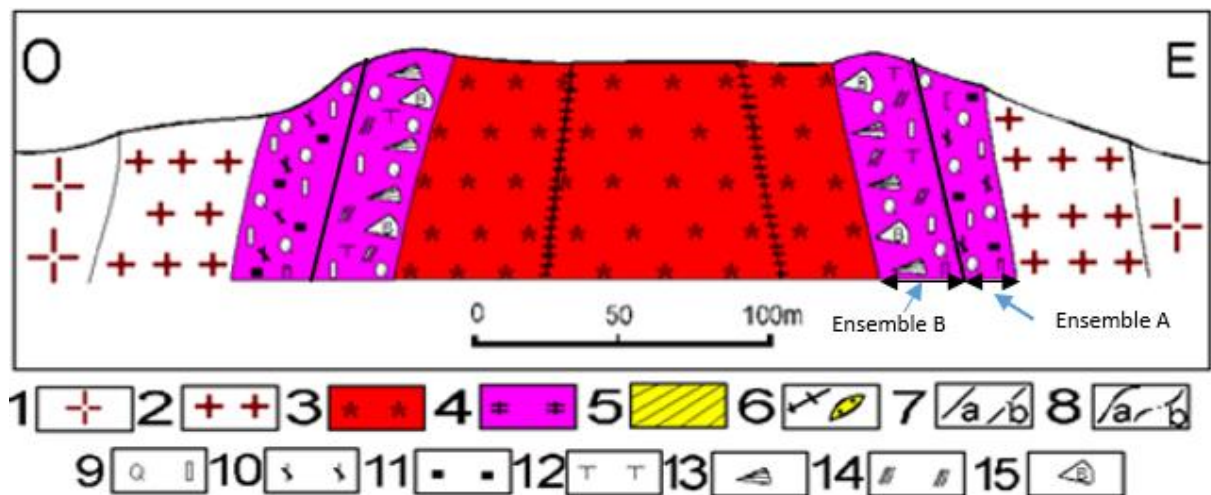


Figure 11 :Coupe géologique Est-Ouest à travers le massif de Ouan-Rechla (In M. Kesraoui 2005, d'après les travaux de la sonarem et de Djadoun, 1993)

Légende :1-Granite régional encaissant 2- granite à biotite 3-Granite à topaze et Mn-lépidolite 4-Pegmatite 5-Alluvions 6-Filons de quartz et greisen 7-Failles a) observées b) supposées 8-Limites de faciès a) observées b) supposées 9-Quartz et feldspath 10-micas 11-Fluorite 12-Topaze 13 et 14-Zinnwaldite 15-Béryl.

- Un premier ensemble « A » qui forme le toit de la pegmatite. Il est composé essentiellement de feldspath potassique et de très peu de quartz, les feldspaths sont de couleur rose, parcourus par endroits de fines veinules de quartz comprenant de petits cristaux de fluorite violette. Le quartz est de couleur blanc grisâtre, il forme des digitations dans le feldspath.
- Un second ensemble « B » assez complexe mais qui présente lui-même une certaine zonalité. A partir de l'encaissant vers le granite et Mn lépidolite, six zones successives ont été distinguées :
 - Une zone formée de feldspath potassique et zinnwaldite
 - Une zone formée de quartz, zinnwaldite et feldspath potassique
 - Une zone formée de zinnwaldite, quartz et topaze
 - Une zone formée de zinnwaldite, quartz et béryl. Les micas sont de couleur rose mauve argentée à violette.
 - Une zone formée de quartz, zinnwaldite et topaze
 - Enfin une dernière zone, peu épaisse, faisant contact avec le granite à albite-topaze-lépidolite. Elle est formée de zinnwaldite, de béryl et de quartz.
- Au microscope : la Figure 12 représente la zinnwaldite en contact avec le béryl

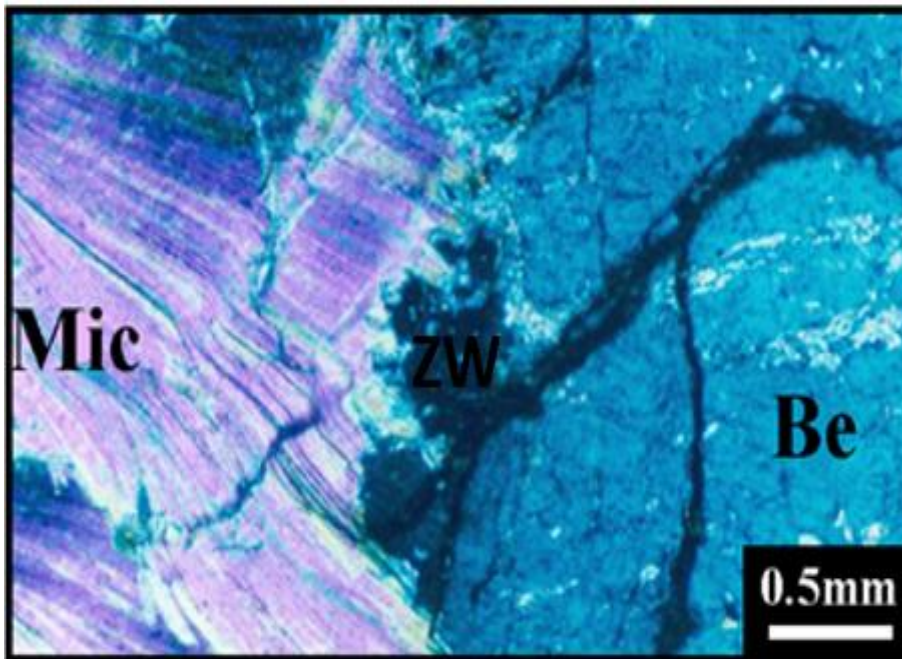


Figure 12 : Pegmatite de Rechla, Zinnwaldite en kink-band au contact du béryl. Be : Béryl. Mic : Micas ; ZW : Zinnwaldite. In. M. Kesraoui 2005.

IV-Conclusion

La chronologie de mise en place des différents faciès :

1-Injection du granite porphyroïde à biotite-muscovite, au sein du granite migmatitique régional qui constitue l'encaissant du massif.

2-Mise en place du granite à albite-topaze –lépidolite.

3- Mise en place des formations pegmatitiques.

4- Mise en place de lamprophyre et de filons de quartz (probablement en même temps que les étapes 2 et 3), ainsi que par l'injection forcée des formations précédentes.

CHAPITRE IV :
SYNTHESE
ET ETUDE
DES INCLUSIONS
FLUIDES

I-Généralité sur le béryllium

I-1 Introduction

Le béryllium est un élément chimique de symbole « Be » et de numéro atomique « 4 », de couleur grisâtre (**Figure 13**). Il est le premier représentant du groupe II (les éléments alcalino-terreux). C'est le seul métal qui combine une bonne résistance physique à nous et un haut point de fusion (1285°C).



Figure 13 : Minéral de béryllium

I-2- Utilisation

Le béryllium possède des particularités physico-chimiques qui lui ont fait jouer un rôle important dans la physique moderne et la technologie de pointe. Son application a été longtemps restreinte au domaine militaire et aéronautique.

- Il est de tous les métaux celui qui absorbe le moins les RX (17 fois moins que l'Al).

Pour cela, il est utilisé pour la fabrication des fenêtres de tubes des RX.

- Le béryllium en raison de ses propriétés et aussi utilisé comme réflecteur de neutrons dans les têtes nucléaires.
- C'est un métal ayant la plus faible section de capteur de neutrons thermiques. Cela, joint à sa faible densité et à sa faible masse atomique, en fait un excellent modérateur de neutrons concurrent de l'eau lourde et du graphite.
- Il est utilisé pour le gainage des combustibles comme l'uranium en raison de sa bonne résistance mécanique à chaud.

Le béryllium trouve une application aussi dans des alliages :

- Un alliage à 62% de Be et 38% d'Al, à module d'élasticité élevé, s'emploie dans les munitions à uranium.
- Un alliage de Be-Al est utilisé pour le gainage des pointes de pénétrateurs dans les munitions à uranium.
- Les alliages à plus de 1,5% de béryllium ont une résistance et une dureté élevées.
- Les alliages à moins de 0,75% de béryllium ont une forte conductivité.

I-3- Propriétés physico-chimique du béryllium

I-3-1- Les propriétés physique

Le béryllium a le point de fusion le plus élevé de tous les métaux ; il est plus léger et six fois plus résistant que l'aluminium. Sa ductilité est de 1/3 plus grand que celle de l'acier.

On connaît cinq isotopes du béryllium : Be^6 , Be^7 , Be^8 , Be^9 , Be^{10} .

Le Be^9 était considéré comme le seul isotope naturel, mais récemment d'autres isotopes radioactifs de faibles périodes, due à des réactions nucléaires dans l'atmosphère et la lithosphère ont été découverts. D'autre part le béryllium par sa faible masse du noyau, la faible tendance d'absorber les neutrons et son affinité très basse pour ces derniers, ralentit ceux-ci sans perte importante d'énergie. Par ces propriétés, il est plus efficace que le graphite comme ralentisseur de neutrons.

Le haut point de fusion, la grande résistivité, la forte conductivité thermique de l'oxyde de béryllium à l'état cristallin en font un réfractaire de haute qualité.

A haute température, sa stabilité et son énergie chimique en font un produit unique pour certaines utilisations.

Nombre atomique	4
Poids atomique	9,013
Densité spécifique	1,8445
Température de fusion	1285°C
Chaleur spécifique 30-100°C	0,425
Chaleur latente de fusion (cal/g)	5,917
Conductivité thermique à 20°C	0,35cgs
Conductivité électrique (en% du Cu)	38,9-43,1
Dureté (échelle de mohs)	6 à 7
Densité	2,63-2,80
Pouvoir réflecteur en (%) lumière blanche	50-55
Système cristallin à 20°C	hexagonal compact
Vitesse de propagation (m/s)	12,600

Tableau 1 : Propriétés physique du béryllium

I-3-2- Les propriétés chimiques

Le métal béryllium fut isolé simultanément par l'allemand « Wohler » et le français « Bussty » (1828).

En 1898, le chimiste français « Lebeau » réussit à préparer le béryllium avec 99,5% à 99,8% de pureté par électrolyse de sels fondus. Il montra ainsi la faible densité spécifique 1,85 et haut point de la fusion de métal.

Le béryllium est un élément très actif à haute température, ce qui rend la production du métal très difficile. A une température ordinaire, il s'oxyde peu dans l'air mais à 1000°C l'oxydation est rapide.

Le béryllium réagit avec les halogénures alcalins libérant le métal alcalin jusqu'à ce qu'un équilibre soit établi, ainsi les métaux alcalins et le Mg peuvent être utilisés pour produire du béryllium à partir de ses halogénures.

Le béryllium a un comportement chimique proche de celui de l'aluminium (l'électronégativité de l'ion Be^{++} à une valeur très voisine de celle de Al).

L'action de l'eau est fonction à la fois du mode de fabrication (métal en poudre ou métal fondu) et du contenu en impuretés métalliques.

Le béryllium n'est pas attaqué à 500°C par Na fondu. Cette propriété est intéressante pour les applications nucléaires.

I-4- Géochimie du béryllium

I-4-1- Dans les roches ignées

Plusieurs analyses effectuées par certains auteurs, sur les différentes roches magmatiques, ont été réalisées afin de déterminer les conditions du béryllium. Les résultats sont donnés dans le **tableau 2**

Type de roches	Goldshmidt	Sandelle (1952)	Beus A.A. (1959)
Roche ultra basiques	0	0,2	0,2
Roche basiques	3,6	0,1	0,4
Roche intermédiaires	-	1,6	1,8
Roche acides	3,6	03	05
Roche alcalines	36	-	07

Tableau 2 : Teneurs Moyennes en béryllium dans les roches ignées (g/t ou ppm).

I-4-2- Dans les roches métamorphiques

Concernant les roches métamorphiques n'ayant pas subi des phénomènes métasomatique, la teneur en béryllium très faible et souvent inférieure à la limite de détection des méthodes d'analyses utilisées.

Par contre les roches qui ont été l'objet de métamorphisme de contact, et surtout celles qui sont le résultat des contacts avec des magmas riches en béryllium, peuvent donner lieu à des gisements économiques.

I-4-3 Dans les roches sédimentaires

L'étude de pierccni (1943) pour quelques roches sédimentaires de l'Italie a donné les résultats suivants :

- Dans les grès : 1,7g/t de Be (4,5g/t de BeO)
- Dans les calcaires : 1,5g/t de Be (3,6g. /t de BeO)
- Dans les roches élastiques : 1,5 de Be (40g/t de BeO)

N°	Nom	Formule chimique	Teneur BeO(%)
01	Aminoffite	$\text{Ca}_2(\text{Be}, \text{Al})\text{Si}_2\text{O}_6(\text{OH})_2$	6.20
02	Barylite	$\text{Ba Be Si}_2 \text{O}_7$	15.77 à 16.01
03	Bavenite	$\text{Ca}_4(\text{Be}, \text{Al})_4(\text{Si}, \text{Al})_9\text{O}_{26}(\text{OH})_2 ?$	5.52 à 7.72
04	Bazzite	$\text{R}^+(\text{Sc}, \text{Al}, \text{Fe}, \text{Mg})_2 \text{Be}_3\text{Si}_6 \text{O}_{18} ?$	13.8
05	Bearsite	$\text{Be}_2(\text{As O}_4)(\text{OH})_4 \text{H}_2\text{O} ?$	16.75
06	Bertrandite	$\text{Be}_4 \text{Si}_2\text{O}_7 (\text{OH})_2$	39.60 à 42.62
07	Béryl	$\text{Al}_2 \text{Be}_3 \text{Si}_6 \text{O}_{18}$	11 à 14.3
08	Béryllite	$\text{Be}_5 \text{Si}_2\text{O}_7 (\text{OH})_4 2\text{H}_2\text{O}$	40.00
09	Béryllonite	Na Be PO_4	19 à 20
10	Béryllosodalite	$\text{Na}_4 \text{Be AlSi}_4 \text{O}_{12} \text{Cl}$	5.30
11	Bityite	$(\text{Ca}, \text{Na}, \text{K})(\text{Al}, \text{Li}, \text{Mg})_{2-3} (\text{Si}, \text{Al}, \text{Be})_4 \text{O}_{10}(\text{OH})$	2.27 à 7.30
12	Bromellite	BeO	98.02
13	Chkalovite	$\text{Na}_2 (\text{Be Si}_2 \text{O}_6)$	12.67
14	Chrysobéryl	$\text{Al}_2 \text{Be O}_4$	19.8
15	Danalite	$\text{Fe}_4\text{Be}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}\text{S}$	12.7 à 14.7
16	Epididymite	$\text{NaBeSi}_3\text{O}_7(\text{OH})$	10.5 à 11.2
17	Euclase	$\text{AlBeSiO}_4(\text{OH})$	17.0 à 21.8
18	Eudidymite	$\text{NaBeSi}_3\text{O}_7(\text{OH})$	10.5 à 11.2
19	Faheyite	$(\text{Mn}, \text{Mg}, \text{Na}) \text{Be Fe}_2^{3+} (\text{PO}_4)_4 6\text{H}_2\text{O}$	7.26
20	Gadolinite	$\text{Fe } 1/2\text{YBeSiO}_4\text{O}$	5.5 à 12.9
21	Gelbertrandite	$\text{Be}_4 \text{Si}_2\text{O}_7 (\text{OH})_2 3\text{H}_2\text{O} ?$	34.16
22	Genthelvite	$\text{Zn}_4 \text{Be Si}_3 \text{O}_{12} \text{S}$	12.6
23	Gugiaite	$\text{Ca}_2 \text{Be Si}_2 \text{O}_7$	9.49 à 11.74
24	Hambergite	$\text{Be}_2 (\text{B}_3\text{O}_3) (\text{OH})$	53.5
25	Harstigitite	$(\text{Ca}, \text{Mn}, \text{Mg})_7 \text{Be}_4 \text{Si}_6 (\text{O}-\text{OH}, \text{F})_{23-24} ?$	11.40 à 11.57
26	Helvite	$\text{Mn}_4 \text{Be}_3 \text{Si}_3 \text{O}_{12} \text{S}$	11 à 14.2
27	Herderite	$\text{Ca Be PO}_4 (\text{F}, \text{OH})$	15 à 16
28	Hsianghualite	$\text{Li}_2\text{Ca}_3\text{Be}_3(\text{SiO}_4)_2 \text{F}_2$	15.78 à 16.30
29	Hulburtite	$\text{CaBe}_2(\text{PO}_4)_2$	21.3
30	Karpinskyite	$\text{Na}_2 (\text{Be}, \text{Zn}, \text{Mg}) \text{Al}_2 \text{Si}_6 \text{O}_{16} (\text{OH})_2 ?$	2.58
31	Leucophanite	$(\text{Ca}, \text{Na})_2 \text{Be} (\text{Si}, \text{Al})_2 (\text{O}, \text{F}, \text{OH})_7$	9.49 à 11.74
32	Liberite	$\text{Li}_2 \text{Be Si O}_4$	25.47
33	Meliphanite	$(\text{Ca}, \text{Na})_2 \text{Be} (\text{Si}, \text{Al})_2 (\text{O}, \text{F}, \text{OH})_7$	9.49 à 11.74
34	Milarite	$\text{Kca}_2 (\text{Be}_2 \text{Al}) \text{Si}_{12} \text{O}_{20} 1/2\text{H}_2\text{O}$	5.24
35	Moraesite	$\text{Be}_2 (\text{PO}_4) (\text{OH}) 4\text{H}_2\text{O}$	25 à 28
36	Phenacite	$\text{Be}_2 \text{SiO}_4$	45.5
37	Rhodizite	$\text{NaKL}_4\text{Be}_3\text{B}_{10}\text{O}_{27}$	9.81 à 14.93
38	Roscherite	$(\text{Ca}, \text{Mn}, \text{Fe})_3 \text{Be}_3 (\text{PO}_4)_3 (\text{OH})_3 2\text{H}_2\text{O}$	12.58 à 13.74
39	Spherobertrandite	$\text{Be}_5(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})_4 ?$	45.20
40	Swedenborgite	$\text{Na Be}_4\text{Sb O}_7$	
41	Taaffeite	$(\text{Be}, \text{Mg}) (\text{Al}, \text{Fe})_2 \text{O}_4$	11.0
42	Tangerite	$(\text{Y}, \text{Ce}) \text{BeCo}_3 (\text{OH})_3 ?$	9.7
43	Trimerite	$\text{Ca} (\text{Mn}, \text{Fe}, \text{Mg})_2 (\text{BeSiO}_4)_3$	17.08
44	Vayrynenite	$(\text{Mn}, \text{Fe}) \text{Be PO}_4 (\text{OH})$

Tableau 3 : Minéraux du béryllium

I-5- Prix du béryllium

Les prix ne sont pas publiés régulièrement comparativement à d'autres métaux (Au, Ag, Ni, Cu, Pd, est...). Les prix sont fixés par Brush Wellman depuis 1999.

Le prix du minerai titrant entre 10% à 13% de BeO varie entre 900 et 980\$ U.S/Kg (Année 2012).

I-6- Types de gisements

I-6-1- Gites pegmatitique : Exemple de Kobokobo (Zaire)

Les gites pegmatitiques montrent une succession dans les éléments rares, et donc une zonalité régionale indépendante de l'âge de l'orogénie concernée et du degré du métamorphisme des roches encaissantes.

La répartition des éléments rares dépend de la profondeur de cristallisation, dans ou autour des granites. Les pegmatites à béryllium seraient donc profondes, N. Varlamoff (1972).

Les pegmatites de Kobokobo sont situées au Kivu dans la région de Kamituga, elles ont constitué l'un des plus grands gisements de béryllium du monde. Elles renferment du thorium.

La production totale a été 5436 tonnes de béryl, 124 tonnes de colombite et 23 tonnes de cassitérite.

Du point de vue structural la pegmatite se présente d'une manière particulière, le long d'un axe anticlinal fortement plissé et couché. De ce fait le corps minéralisé a une forme de croissant allongé avec une structure zonale, mais asymétrique.

Les différentes unités de la pegmatite se sont mises en place par décollements successifs du pli anticlinal. Les unités les plus anciennes, riches en feldspaths potassiques, occupent les parties apicales et externes du pli, les unités riches en albite, la partie interne.

Le béryllium se concentre préférentiellement avec les éléments radioactifs, sur le flanc normal. A Kobokobo, la disposition verticale des unités est inverse par rapport à celles des autres pegmatites. La roche encaissante est constituée par des schistes et des amphibolites, probablement intrusives.

-Les gisements d'émeraude du Brésil

Les principaux gisements d'émeraude sont :

-Carnaíba et socoto (Bahia)

-Mina Belmont et Capoeirana (Minas Gerais)

-Santa Terezinha (Goi'as)

Ils se situent exclusivement dans des séries volcano-sédimentaires du protérozoïque inférieur contenant des intercalations de roches mafiques et ultramafiques.

I-6-2-Gites de contact : Greisens, skarns, quartz à W-Sn-Mo

Ces gites parfois qualifiés de pneumatolytiques hydrothermaux seraient associés à des magmas intrusifs riches en Be, mais sans pegmatites.

Gisement de Boomer Mine au Colorado : c'est un gisement qui fut pendant longtemps le principal producteur de béryllium des U.S.A. Boomer Minee est un gisement à faible tonnage, mais à forte teneur. Il s'agit d'une pipe de greisens au contact d'une petite coupole de roches hololeucocrates intrusive à grain fin et à mica blanc, dans un encaissant de gneiss et micaschistes. D'autres pipes sont connues dans le même massif. Des filons de quartz, à topaze, wolframite, béryl, à liserés de greisens recoupent l'encaissant métamorphique. La bertrandine est présente dans les greisens.

I-6-3-Gisements associés à des laves acides, type SporMoutain (Ouest Utah, U.S.A)

Découvert en 1959 et décrit par D.A. Lindsey en 1977, le gisement de SporMountain est caractérisé par une séquence volcanique tertiaire constituée par trois termes, haut en bas :

III :

- Rhyolite alcaline à topaze, Be.

-Rhyolite alcaline et tufs, Be.

II :

-Brèches intrusives.

-Tufs rhyolitique (30-32m.a).

I :

-Basaltes et andésites, agglomérats. Rares tufs et rhyolites (38-39).

I-6-4- Autres gisements dans le monde

-Gisements du canada :

-Thor Lake (Sud-Est de Yellowknife, Territoire du Nord-Ouest), c'est une minéralisation à tantale-niobium, de terres rares, de zirconium, de gallium et de béryllium. Elle est encaissée dans un corps gabbro-syénitique et de granite.

Il constitue une ressource de 1,6Mt à 0,58% BeO et 435Kt à 0,21% Y₂O₃.

-Gisement d'Afrique :

-Zimbabwe : ceinture de Bulawayo à Harare

-Rwanda : zone de Rugendabari-Katumba

-Angola : province de Luanda

-Gisement des U.S.A

-Gisement de Gold Hill district (Utah), des veines de quartz, calcite, feldspath (adulaire), bertrandite recoupe une monzonite.

-Gisement d'étain de Lost River (Alaska), des intrusions granitiques stannifères dans un calcaire massif présente une minéralisation en chrysobéryl

-Gisement de Warm Springs (New Mexico), dans une rhyolite altérée par hydrothermalisme, minéralisée par de la bertrandite. Les réserves prouvées s'élèvent à 40000 t à 0,68% BeO.

II–Gisement de béryl

II-1-Rappel

Le mot béryl vient du grec bêrullos, qui dérive probablement du sanscrit vaidurya signifiant « cristal »

Le béryl est la source primaire de béryllium, et représente la phase « Be » la plus abondante dans la lithosphère de la terre. Il est une espèce minérale du groupe des silicates, sous-groupe des cyclosilicates ; d'aluminium et de béryllium de couleur gris-bleu, mais il existe des variétés d'autres couleurs. Le béryl est de formule chimique $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$, avec des traces de Fe, Mn, Mg, Ca, Cr, Na, Li, K, Rb, Cs, O, H et OH. Certains cristaux de béryl peuvent atteindre plus de 18 m.

Le béryl est un minéral peu fréquent, mais dont l'importance économique est grande, non seulement en tant que minerai de béryllium, mais également en raison de ses variétés utilisées comme gemmes. Peu abondant et très dispersé dans la nature.

Synonyme :

- béril
- bérylite
- béryllite

II-2- Historique du béryl

Le béryl est connu depuis la plus haute antiquité. Il était le seul minerai de Be jusqu'à 1997, l'année où le chimiste français Louis Vauquelin, cherchant à montrer à la suite d'une observation du minéralogiste Hauy la similitude de composition chimique de l'émeraude et du béryl, découvrit qu'ils étaient identiques et renfermaient une base nouvelle jusqu'alors confondu avec l'alumine.

II-3-Structure du béryl

La structure du béryl présente des anneaux de tétraèdres de silice (SiO_4), empilés selon l'axe C d'allongement du cristal et reliés par des ions d'aluminium (Al^{3+}) et de béryllium (Be^{2+}) (**Figure14**). Cette disposition ménage des emplacements vides ou peuvent se loger un certains

nombre d'éléments étrangers, tels des ions alcalins, des hydroxydes et des gaz rares. Ce qui explique les différences de densité entre les diverses variétés de béryl.

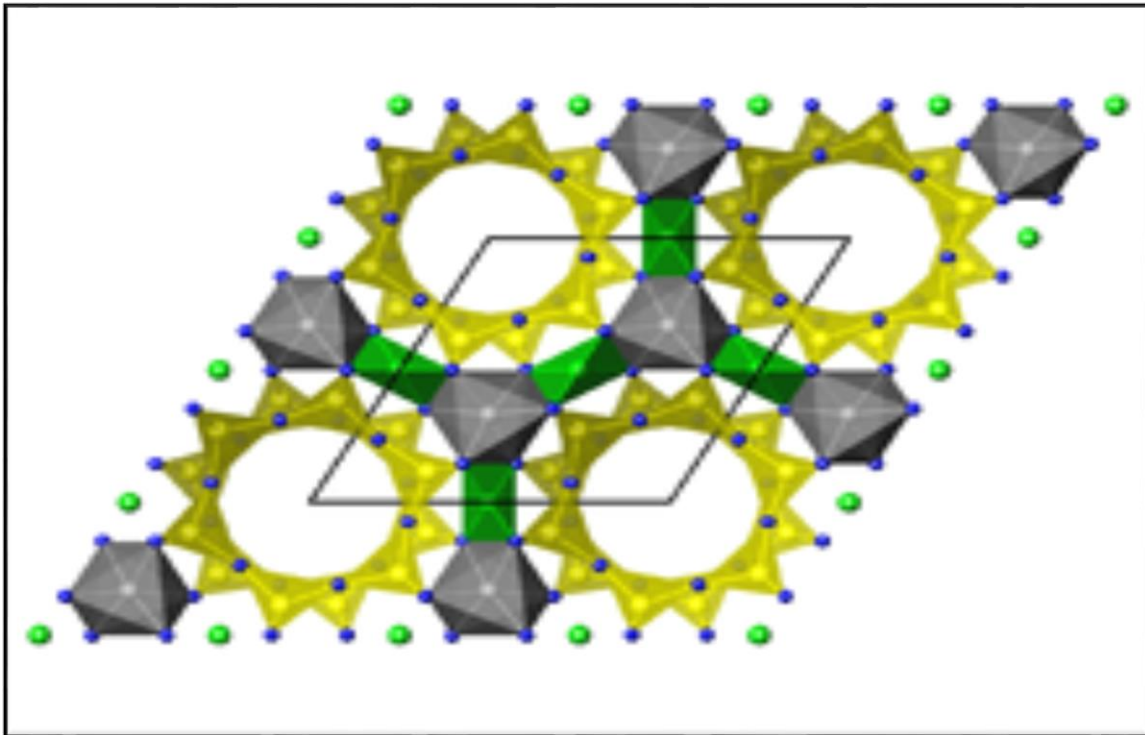


Figure 14: Structure du béryl (Grant. W.M. et Schuman. J.S.1993)

(Projetée dans le plan (a, b) . [Vert : Be, jaune : Si, gris : Al, bleu : O].

La maille conventionnelle est représentée par le parallélogramme noir).

II-4- Les propriétés physico-chimiques

Le béryl cristallise dans le système hexagonal et forme le plus souvent des prismes simples, d'éclat vitreux à mat et de cassure conchoïdale. La dureté du béryl est de 7,5 à 8, la densité est 2,7 à 2,9 et leur indice optique principal sont respectivement voisins de 1,57 et 1,58. Le béryl présente plusieurs couleurs variées, soumis à un rayonnement ultraviolet. Il est fluorescent et luminescent et peut être transparent ou opaque. Son trait est blanc. Le béryl est soluble dans l'acide chlorhydrique.

Le béryl s'altère difficilement en Kaolinite $Al_2SiO_5(OH)_4$, en Bertrandite $Be_4(OH)_2 Si_2O_7$, en Phénacite Be_2SiO_4 , en amphiboloïde d'épidymite $Na(OHBeSi_3O_7)$ et en cyclosillicaténarite $K_2Ca_4Al_2BeSi_{24}O_6(H_2O)$.

II-5- Variétés de béryl

On retrouve 6 grandes variétés de Béryl gemme :

L'aigue-marine de couleur verte pâle jusqu'à bleu. C'est la variété de béryl la plus courante. Le Bixbite d'un rouge intense (pierre très rare). Il doit sa couleur à la présence de manganèse. Émeraude de couleur verte, car elle contient du chrome. Héliodore décrivant une palette de couleurs allant du jaune pâle jusqu'au jaune-

orangé, car il contient du fer, la Morganite rose pâle à rose saumon, il doit sa couleur à la présence de césium et de lithium, et enfin la Goshénite, quant à elle est incolore (**Figure15**).

Tous les béryls d'une autre couleur sont simplement désignés par leur couleur respective, comme par exemple le béryl Jaune.



Figure 15 : photo représentant les variétés de béryl (Robert. 1986)

II-6-Géologie et minéraux associées

Le béryl est un minéral des pegmatites granitiques, de taille variable, parfois très grande. Il se forme à la fin de la cristallisation des massifs granitiques, lorsque le magma restant s'est enrichi en eau et en éléments rares par rapport au magma de départ.

Les éléments minéralisateurs (fluor, bore) favorisent le développement de grands cristaux. Dans de telles pegmatites, le béryl peut être associé à la topaze, la tourmaline, la muscovite et la lépidolite, à de gros cristaux de feldspaths et de quartz, au spodumène et à de nombreux oxydes de titane, tantale, etc. et au rutile, colombite, etc..

La synthèse hydrothermale des béryls à partir d'un mélange de silice, alumine et carbonate de béryllium peut se réaliser entre 400 °C et 850 °C sous des pressions de 400 à 2 000 bars. Le béryl peut également apparaître dans quelques syénitesnéphéliniques, syénites et marbres. La variété émeraude peut se trouver dans une paragenèse métamorphique (schiste à biotite).

II-7- Chronologie de la production de béryl : La production de Béryl à l'échelle industrielle commença en 1921. Son développement fut peu rapide

Jusqu'en 1930 quand le béryllium fut utilisé dans différents domaines de l'industrie.

La production était de quelques centaines de tonnes/an avant la deuxième guerre mondiale.

En 1956 atteint 11700 tonnes, ensuite 4700 tonnes en 1946, puis 5150 tonnes en 1956. En 1989, la production de béryllium était de 603 tonnes avec une prédominance américaine.

II-8- Types de gisements de béryl

II-8-1- gisements pegmatitiques

II-8-1-1-Définition

La pegmatite est une roche magmatique silicatée avec des cristaux qui dépassent 3 cm, elle correspond aux produits de fin de cristallisation d'un magma riches en éléments volatils (H₂O, CO₂...). Elle peut contenir des substances économiques utilisées dans la technologie de pointe (Be, Li, Nb, Ta, Cs, Cl, Th, REE...). A des pierres précieuses et semi précieuses peuvent se former (Béryl, Aigue marine, émeraude, topaze...).

II-8-1-2- Processus de formation des pegmatites

Le processus de formation d'une pegmatite est lié principalement à l'évolution magmatique depuis les termes les plus mafiques (péridotites) du manteau supérieur jusqu'aux termes les plus acides (granitoïdes) de sub-surfaces (1,5 à 3 Km), selon le processus de différenciation magmatique

Lors de l'ascension des magmas mantelliques, ces derniers subissent des transformations. Les roches ultrabasiques commencent à se former en impliquant les minéraux lourds réfractaires (ferromagnésiens), on a ainsi la formation des péridotites. Le magma continue à remonter et la différenciation se poursuit, d'autres types de roches apparaissent, ce sont les termes basiques (gabbros, diorites).

Une fois les minéraux ferromagnésiens épuisés dans les roches ultra-mafiques et mafiques, le magma s'enrichi d'autres éléments tel les volatiles (Cl, B, F, V). Ces derniers qui diminuent la température de fusion et tendent à briser les édifices silicatés (tétraèdres SiO₄), libérant l'oxygène (O₂) qui forme aussi avec les éléments dit hygromagmatophiles ou complexants (Ta, Sn, W, Zr) des complexes stables et libres dans le magma (PO₄)³⁻, (TO₄)³, (WO₄)²⁻. Ceux-ci s'interposent aux tétraèdres (SiO₄).

Tous ces éléments et complexes libres à des contribuent à une faible polymérisation du magma, ce qui lui permet de remonter encore à des niveaux de sub-surface (3 à 4 Km). A de telles profondeurs, les fluides sont suffisamment abondants. Ils se joignent à de fortes concentrations de gaz qui provoquent la fracturation des roches créant des fissurations. La température continuait à baisser, ce jus résiduel se concentre dans les fissures où il fait déposer d'énormes cristaux de quartz, orthose, albite et des minéraux économiques comme le béryl, tourmaline, topaze, spodumène. On obtient ainsi les roches appelées pegmatite granitiques.

II-8-1-3- Classification des pegmatites

Deux principales classifications ont été proposées pour distinguer les différents types de pegmatites granitiques :

a-Selon la profondeur Jébrak, (2006), on distingue :

- **Des pegmatites abyssales (>11Km)** : Ce sont des pegmatites de grandes profondeurs encaissées dans des terrains métamorphiques, et qui ont subi un métamorphisme amphibolitique et granitique.
- **Des pegmatites profondes (7-11Km)** : ce sont des pegmatites encaissées dans des roches métamorphiques, schistes à almandin et disthène. Elles peuvent contenir de U, Nb, Ti, ...
- **Des pegmatites de moyenne profondeur : (3,5-5,7Km)** : Elles sont encaissées dans des roches métamorphiques, schiste à andalousite. Elles sont minéralisées en éléments lithophiles (Li, Be, Sn, W).

b- Selon la composition chimique J. jung, (1978), on distingue :

- **Des pegmatites potassiques :** Ce sont des pegmatites communes à microcline et perthite. Elles sont associées aux granites calco-potassiques et ont une texture graphique. Les minéraux accessoires sont : la tourmaline noire ferrifère, la muscovite et la topaze.

- **Des pegmatites sodolithiques :** C'est une pegmatite où les minéraux tels que le quartz et l'albite sont accompagnés par les minéraux lithinifères dont le plus caractéristique est le lépidolite vert. Le béryl s'y rencontre également en cristaux verdâtres.

II-8-2- Gisements non pegmatitiques

Ces gîtes qualifiés de pneumatolytique-hydrothermaux, associés à des roches magmatiques intrusives riches en béryllium. Ces roches sont riches en alcalins et éléments volatiles. Leur participation à la production mondiale reste faible. Le béryllium extrait comme produit de l'exploitation de greisen et de filon de quartz de haute température à W, Sn, Mo, Be.

II-8-3- Gisements liés aux laves acides

La minéralisation qui contient le béryllium se situe dans les nodules d'opale des tufs rhyolitiques. Le minéral porteur est la bertrandite. L'exemple de gisement peut être celui de SporMountain en Utah (USA).

II-9-Exploitation des gisements du Béryl

Le béryl est la source primaire de béryllium. Le béryllium métal de très faible densité, est utilisé en alliages, avec le cuivre en particulier. Il est également utile comme réflecteur neutronique dans la production d'énergie nucléaire et pour la réalisation des fenêtres de sortie des tubes à rayons X, du fait de sa très faible absorption des rayons X.

III- Géologie de béryl de Rechla

La majorité des minéralisations de béryl dans la région de Laouni sont rencontrés dans les massifs de Guerioune, Rechla, Tit-N-Enir, Nahda et Tamazaror. Par contre à Tillik et Sedis, le béryl a été découvert uniquement dans les alluvions.

III-1- La répartition du béryl à Ouan-Rechla

Le béryl de Ouan-Rechla se trouve dans la zone de contact avec la pegmatite, et dans la partie orientale du granite à albite-topaze-lépidolite.

III-1-1- Zone de contact avec la pegmatite

A- La zone à zinnwaldite (et /ou lépidolite) ; quartz, et béryl :

Le béryl de couleur vert, se rencontre dans le quartz et la zinnwaldite (et/ou lépidolite).

Cette association prend souvent la forme de « cocardes » (J.P.Bonnici, 1963), qui sont formées de quartz au centre, de zinnwaldite et de béryl autour. Cette distribution donne un ordre apparent pour les « cocardes ». Ces phases minérales s'englobent indifféremment entre eux. Cette zone est parfois non visible. Sa puissance est de l'ordre de 0,25 mètre.

B- La Zone à lépidolite, béryl et quartz : (peu fréquente). Elle est directement en contact avec le granite à albite-topaze-lépidolite.

Le béryl est gris verdâtre, en cristaux prismatiques à sections hexagonales et groupés en sphérolite radiés (béryl en « chou-fleur », helvite); J.P. Bounnici, 1963), constituant des bandes de 1,5 à 8 cm. Il se développe surtout au sein de lépidolite, par endroits sur les plus hauts reliefs du massif, cette zone est presque horizontale au-dessus du granite à albite-topaze-lépidolite. Elle est formée par une succession de couches de 3 à 6 cm d'épaisseur de greisen (sur micacée) et de quartz.

III-1- 2- La partie orientale du granite à albite-topaze-lépidolite (en réseau filonien)

Dans la partie orientale du granite à albite-topaze-lépidolite, il a été rencontré un filon de béryl hexagonal (J. P. Bounnici, 1963), affleurant sur 3 m environ et d'une puissance de 0,04 m, de direction N115° à N120° et présentant un pendage de 50° Est.

III-2-Minéralogie du béryl de OuanRechla

L'indice de Ouan-Rechla est caractérisé par la présence de deux variétés morphologiques du béryl : un béryl hexagonal et un béryl en chou-fleur (helvite) associés à la pégmatisation.

III-2-1 Le béryl en choux fleur (helvite) : Il est de couleur gris verdâtre et se rencontre de la zinnwaldite de formule chimique $(Ca, Mn, Mg)_7 Be_4 Si_6 (O-OH, F)_{23-24}$, il présente un aspect fibreux en forme de chou-fleur. Ces fibres se débitent facilement. Les dimensions de ces fibres dépassent les 3 cm. (Figure 16).

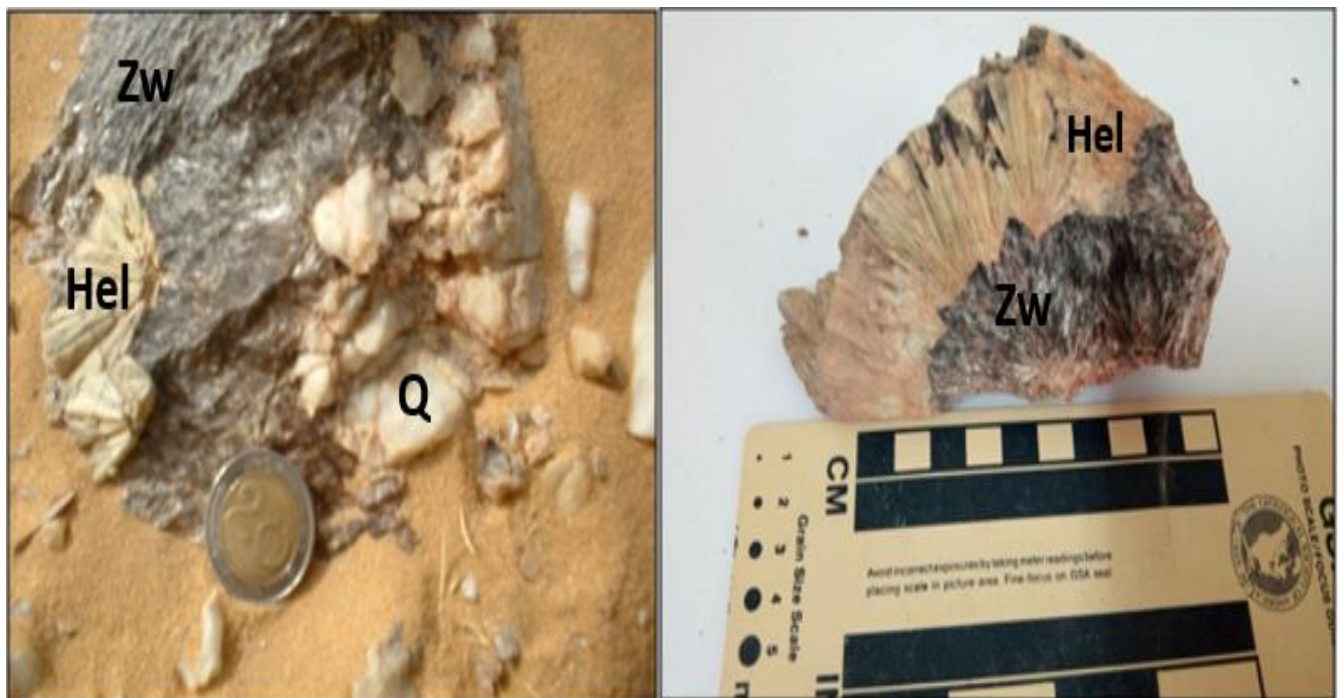


Figure. 16 : béryl en chou-fleur (Helvite) encaissé dans un filon à quartz-zinnwaldite.

(Hel: helvite; ZW: Zinnwaldite; Q: Quartz)

III-2-2-le béryl hexagonal :leur formule chimique est $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ est de couleur vert se rencontre dans la zinnwaldite et quartz souvent cette association prend la forme de “cocarde”. (Figure 17), le béryl se présente sous forme de cristaux hexagonal très, dur, leur dimension peut attendre plusieurs centimètres environ 6 cm.



Figure 17 :le béryl hexagonal en cocarde (quartz, zinnwaldite et béryl)

(Be: Béryl;Q:Quartz;Zw:Zinnwaldite)

IV-Etude des inclusions fluides

IV-1-Généralités sur les inclusions fluides

IV-1-1-Introduction

Les fluides sont des constituants majeurs de l'écorce terrestre, qui jouent un rôle extrêmement important dans les phénomènes de transferts et interactions avec les roches qui constituent la charpente de l'écorce. Ils jouent un rôle fondamental dans pratiquement tous les processus physico-chimiques qui affectent la croûte terrestre.

IV-1-2- Définition

Les inclusions fluides sont des petites cavités à l'intérieur des minéraux. Ces cavités ont une taille de moins d'un micromètre à plusieurs centaines de micromètres. Elles contiennent des

micro-volumes du fluide ayant circulé au moment de la formation ou de la fracturation de la roche.

Les inclusions fluides sont en général composées de deux phases à température ambiante, une phase liquide et une phase vapeur sphérique issue de la contraction du fluide, plus importante que celle du minéral qui le contient. Mais, d'autres phases peuvent être présentes, comme des solides ou un liquide immiscible avec l'eau.

L'inclusion fluide est supposée être un réservoir hermétiquement clos et inerte chimiquement ; ceci suggère une constance des caractéristiques physico-chimiques du fluide depuis son piégeage.

IV-1-3- Les types d'inclusions fluides

Les inclusions fluides peuvent contenir plusieurs phases : liquide, gazeuse et solide. Les types de remplissage les plus fréquents sont les suivants (**Figure 18**) :

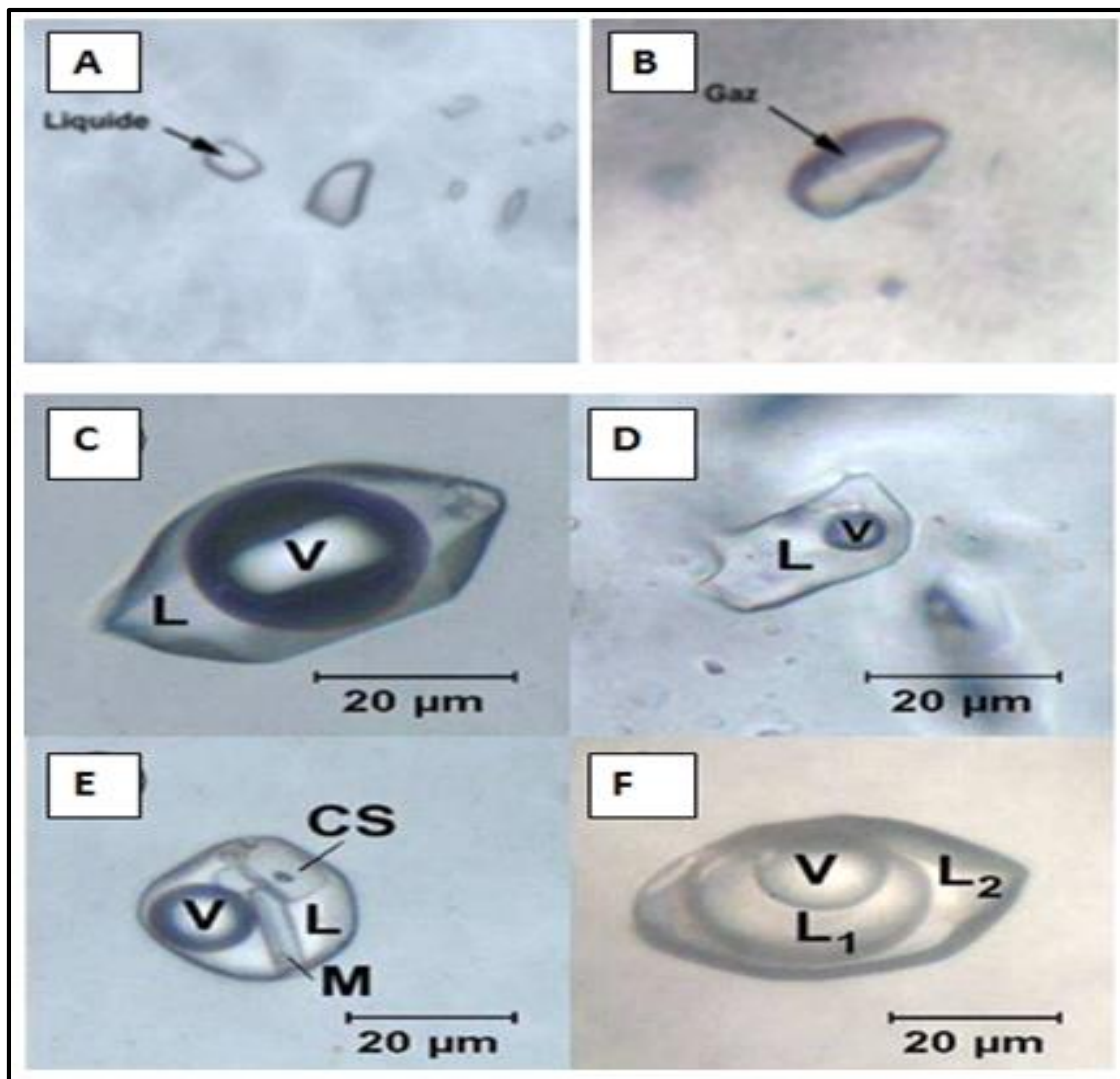


Figure 18 : Exemples des types d'inclusions fluides les plus fréquents

-Monophasé liquide (L) : remplie d'un liquide : eau, une solution saline ou du pétrole (Figure 16 A)

-Monophasé vapeur (V) : une phase vapeur de faible densité (CO_2 , H_2O , N_2 , CH_4 , NH_2O) (Figure 16 B)

-Biphasé vapeur : (V+L) : la phase vapeur est dominante variant de 50 à 80% (Figure 16 C)

-Biphasé liquide : (L+V) : la phase liquide est dominante (liquide >50%) (Figure 16 D)

-Multiphasés : (L+V+S) : elle renferme une phase aqueuse saturée en sel, une phase gazeuse, et une ou plusieurs phases solides (Figure 16 E)

-Inclusion à liquides immiscibles : L_1+L_2 [ex : $\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_2$ (liquides)], la présence de deux liquides immiscibles dont l'un est aqueux (généralement de l'eau), l'autre est souvent un liquide riche en CO_2 , ou hydrocarbures (Figure 16 F).

Les inclusions biphasées (liquide vapeur) peuvent être décrites par le remplissage vapeur qui est donnée par : $R_V = (\text{volume de la vapeur/volume total de l'inclusion})$ à T° ambiante

-Les inclusions dont le remplissage est faible seront désignées par la lettre "L".

-Les inclusions dont le remplissage est fort seront désignées par la lettre "V".

-L'existence d'un second liquide immiscible dans le liquide aqueux à une température inférieure à 31°C témoigne de l'existence d'une phase carbonique. On ajoutera la lettre "C" au nom de la famille (exemple : L_c , L_v) même si la phase carbonique n'est pas directement visible, mais seulement révélée par microthermométrie.

-Les solides éventuellement présents dans l'inclusion peuvent être des cubes de sel ; et d'autres solides tels que des phyllithes, des opaques (minéraux métalliques, carbone) ou d'autres minéraux.

IV-1-4- La morphologie des inclusions fluides

Les inclusions ne présentent pas de formes caractéristiques et sont partiellement contrôlées par la cristallographie du minéral hôte, exemple :

-Forme cubique : comme les inclusions d'halite présentent la forme d'un cristal négatif parfait.

-Forme irrégulière : dans les minéraux qui présentent un bon clivage comme les carbonates rhomboédriques.

-Forme alignée : le long des clivages (orienté et aplati selon le clivage).

-Forme sphérique : sont caractéristiques du quartz.

-Forme aciculaire : dans les apatites.

IV-1-5 - Occurrences des inclusions fluides

La taille des inclusions fluides est généralement comprise entre 2 et 20 μm et peut atteindre plusieurs dizaines, de voire exceptionnellement quelques centaines de micromètres.

-Les études conventionnelles d'inclusions fluides peuvent être réalisées sur la plupart des minéraux transparents à la lumière visible dont le quartz, la fluorine, la calcite, la barytine, l'halite, la sphalérite, la cassitérite, l'apatite, la dolomite et la topaze. À cause de leurs caractères physiques (transparence, faible réfringence, absence de clivages visibles) et chimiques (minéraux généralement très purs).

-Le minéral de choix pour l'étude des inclusions fluides est le quartz, dans 80% des cas (Shepherd et al 1985). En effet, sa faible solubilité permet de préserver le volume de la cavité constant ainsi que la densité et la composition globale du fluide qu'elle contient. L'utilisation du microscope infrarouge permet depuis peu l'étude des minéraux opaques comme la wolframite ou la sphalérite (V. Luders and Reutel, 1996).

Les éléments les plus fréquents dans les cavités sont : Na, K, Li, Mg, Sr, Ca, Ba

IV-1-6 - Classification des inclusions fluides

En 1984, Roedder a défini trois classes d'inclusions différents selon leur genèse (**Figure 19**) :

1-Les inclusions primaires : le piégeage des inclusions peut se former au cours de la croissance du minéral hôte, souvent à la faveur des défauts cristallins. Elles sont le plus souvent disposées suivant les zones de croissance des cristaux, ou isolée.

2- Les inclusions secondaires : elles sont également formées après la cristallisation du minéral dans des microfractures initiées sous contraintes mécaniques ou thermiques.

3- Les inclusions pseudo- secondaires : elles présentent les mêmes caractéristiques que les inclusions secondaires sauf que les fractures ne franchissent pas les limites des cristaux (Roedder, 1984).

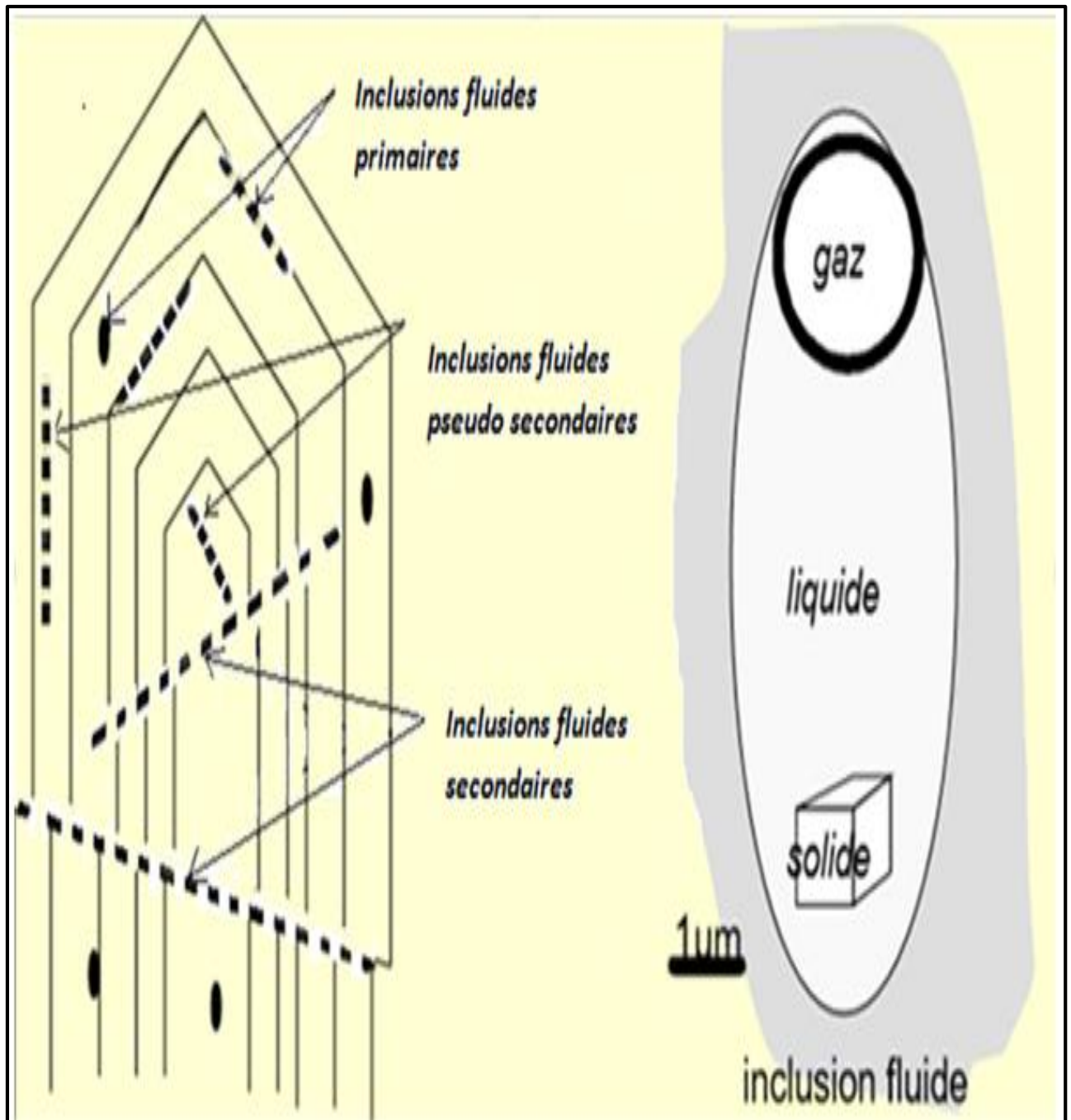


Figure 19 : Les inclusions fluides primaires, pseudo-secondaire et secondair

IV-1-7- Les techniques d'étude des inclusions fluides

Le contenu des inclusions est accessible par différentes techniques :

A- Les méthodes destructrices :

Consiste en la mesure des températures des changements de phases qui interviennent dans une inclusion fluide lors du refroidissement ou de son chauffage. Ou une analyse des ions dissous par broyage et lessivage (Roedder, 1963) ; ou par l'analyse des gaz par spectroscopie de masse ou par chromatographie (Cuney et al, 1976).

La méthode la plus utilisée est la microthermométrie

- **La microthermométrie**

La microthermométrie consiste en la mesure des températures des changements de phases qui interviennent dans une inclusion fluide lors du refroidissement ou de son chauffage. L'échantillon étudié consiste en un fragment de lame épaisse polie sur les deux faces (épaisseur de l'ordre de 150 μm). Le matériel utilisé est un microscope optique à transmission, équipé d'une platine qui permet classiquement de refroidir jusqu'à -190°C et de chauffer jusqu'à 600°C (voir jusqu'à des températures $>$ à 1000°C , pour l'étude d'inclusions magmatiques). Selon le type de platine, le refroidissement est obtenu par la circulation directe d'azote liquide ou d'azote gaz refroidi, le chauffage étant assuré par une résistance électrique.

La calibration de la platine microthermométrique doit être réalisée régulièrement afin de contrôler la reproductibilité et la précision des mesures. Aux basses températures, elle est effectuée à l'aide d'inclusions standards naturelles à CO_2 pur (point triple de $\text{CO}_2 = -56,6^\circ\text{C}$) et synthétique de composition connue. La précision aux basses températures ($T < 20^\circ$) est de $0,1^\circ\text{C}$.

La calibration à haute température ($T > 100^\circ\text{C}$) est réalisée par la fusion de solides standards et l'utilisation d'inclusion synthétiques.

L'incertitude pour les hautes températures est de $\pm 2^\circ\text{C}$ ou plus ($\pm 5^\circ\text{C}$) pour les très hautes températures ($\geq 400^\circ\text{C}$).

Le refroidissement des inclusions fluides permet d'accéder à des paramètres importants concernant la nature des systèmes et plus particulièrement l'estimation de la salinité globale du fluide par la mesure de la température de fusion de la glace, d'hydrates de sels, de gaz... Le chauffage permet de déterminer la température minimale de piégeage du fluide (température d'homogénéisation) et la densité globale des fluides à H_2O -sels.

La nomenclature utilisée pour la détermination des températures de refroidissement et de chauffage est la suivante :

Te : la température de début de fusion de la glace qui est la température de l'eutectique du système.

TC : la température de congélation exprimée en $^\circ\text{C}$.

Tfg : la température de dernière fusion de la glace qui dépend de la salinité.

Th : la température d'homogénéisation exprimée en $^\circ\text{C}$.

ThCO₂ : La température d'homogénéisation du CO_2 .

B- Les méthodes non destructrices : La seule méthode qui n'est pas destructrice est la spectroscopie Raman

- **La spectroscopie Raman :**

La spectroscopie Raman et une spectroscopie moléculaire vibrationnelle. L'effet Raman est détectable lorsqu'un milieu est éclairé par une lumière monochromatique en général du domaine visible. La spectroscopie Raman est la seule technique d'analyse ponctuelle non destructive utilisée pour la détermination de la composition de la phase volatile des inclusions fluides ainsi que pour l'identification de certains solides. Un nombre limité d'espaces peuvent être analysés quantitativement par spectroscopie Raman notamment les gaz polyatomiques et certaines espèces polynucléaires en solution. Cependant, de nombreuses espèces peuvent être aussi identifiées qualitativement.

Les principales espèces classiquement analysées sont :

-les gaz : constituants majeurs (CO_2 , CH_4 , N_2) et mineurs (H_2S , H_2 , O_2 , CO , COS , SO_2 , C_2H_6 , C_3H_8).

-les solides à température ambiante : carbonate, sulfate, phosphate, oxydes et silicates... Cependant, NaCl et KCl ne sont pas actifs en spectroscopie Raman et ne sont pas identifiables par cette technique.

-les solides formés à basse température : hydrate de gaz (CO_2 , CH_4 , N_2 , H_2S), hydrates de sels (Na , K , Ca , Mg , Li). La détermination des sels présents en solution est importante pour le choix du système H_2O - sels utilisé pour une interprétation semi-quantitative des fusions en termes de salinité des fluides.

-les espèces en solution tels que les sulfates (HSO_4^- , SO_4^{2-}), les carbonates (HCO_3^- , CO_3^{2-}), la concentration en sulfates et bisulfates ainsi que le PH ont pu être déterminés grâce à l'analyse par spectroscopie Raman des ions poly atomiques tels que HSO_4 et SO_4 présent dans les inclusions fluides.

IV-1-8- Appareillage utiliser et principe mesures

L'installation est conçue autour d'une platine chauffante et réfrigérante de type Chaixmeca ou Linkam(**Figure 20**), d'un coffret de mesure et de régulation électronique.

Le domaine de variation thermique couvert pour ces platines varie de -180 à $+600^\circ\text{C}$. L'étalonnage de la platine est réalisé en mesurant le point de fusion des substances pures que l'on met à la place de l'échantillon.



Figure 20 : Platine microthermométrie Linkam TH MS 600

Conclusion

L'histoire des inclusions fluides s'étend sur de nombreux siècles, et près de deux siècles dans sa phase scientifique. L'étude des inclusions fluides a bénéficié des apports des découvertes sur la compréhension des interactions fluide minéraux. Elles fournissent des données quantifiées quant à la chimie des paléo-fluides, leurs conditions pression- température de piégeage et la géométrie des paléo-circulations.

IV-2 -Etude des inclusions fluides du massif de Ouan-Rechla

Dans ce chapitre, nous étudierons les inclusions fluides rencontrées dans le béryl et le quartz qui sont des éléments constitutifs de la pegmatite du massif de Ouan –Rechla.

IV-2-1- Les inclusions fluides dans le béryl

IV-2-1-1- Introduction

Dans le but de déterminer la nature des fluides minéralisateur, on a procédé principalement à l'étude microthermométrie des inclusions fluides de certaines phases minérales (béryl et quartz) du massif de Ouan-Rechla. Cinq (5) Esquilles de béryl et deux (02) de quartz ont été préparées et étudiées dans le laboratoire de géologie minière de l'USTHB. La technique consiste à un chauffage/ refroidissement par la circulation d'azote liquide refroidi, des inclusions fluides sur une platine de type LinKam THMS-600 montée sur un microscope Olympus BX50.

IV-2-1-2- Etude microscopique

Les nombreuses observations au microscope polarisant sur les inclusions fluides piégées lors de la formation des cristaux de béryl, nous a permis de déterminer les différentes générations d'inclusions et de sélectionner les inclusions fluides les plus représentatives. Elles sont de taille variable et de formes diverses : arrondie, allongée, irrégulière...

A-Génération d'inclusions fluides dans le béryl (Figure 21)

L'étude microscopique nous a permis de distinguer trois générations d'inclusion fluide :

Inclusions fluides primaires isolées ou suivant les plans de clivages, les inclusions fluides secondaires suivant les premières fractures et les inclusions fluides secondaires suivant les secondes fractures (figure .14).

- Inclusions fluides primaires (Ifp1) isolées
- Inclusions fluides primaires (Ifp2) suivant les plans de clivages
- Inclusions fluides secondaires (IfS1) suivant les premières fractures
- Inclusions fluides secondaires (IfS2) suivant les secondes fractures

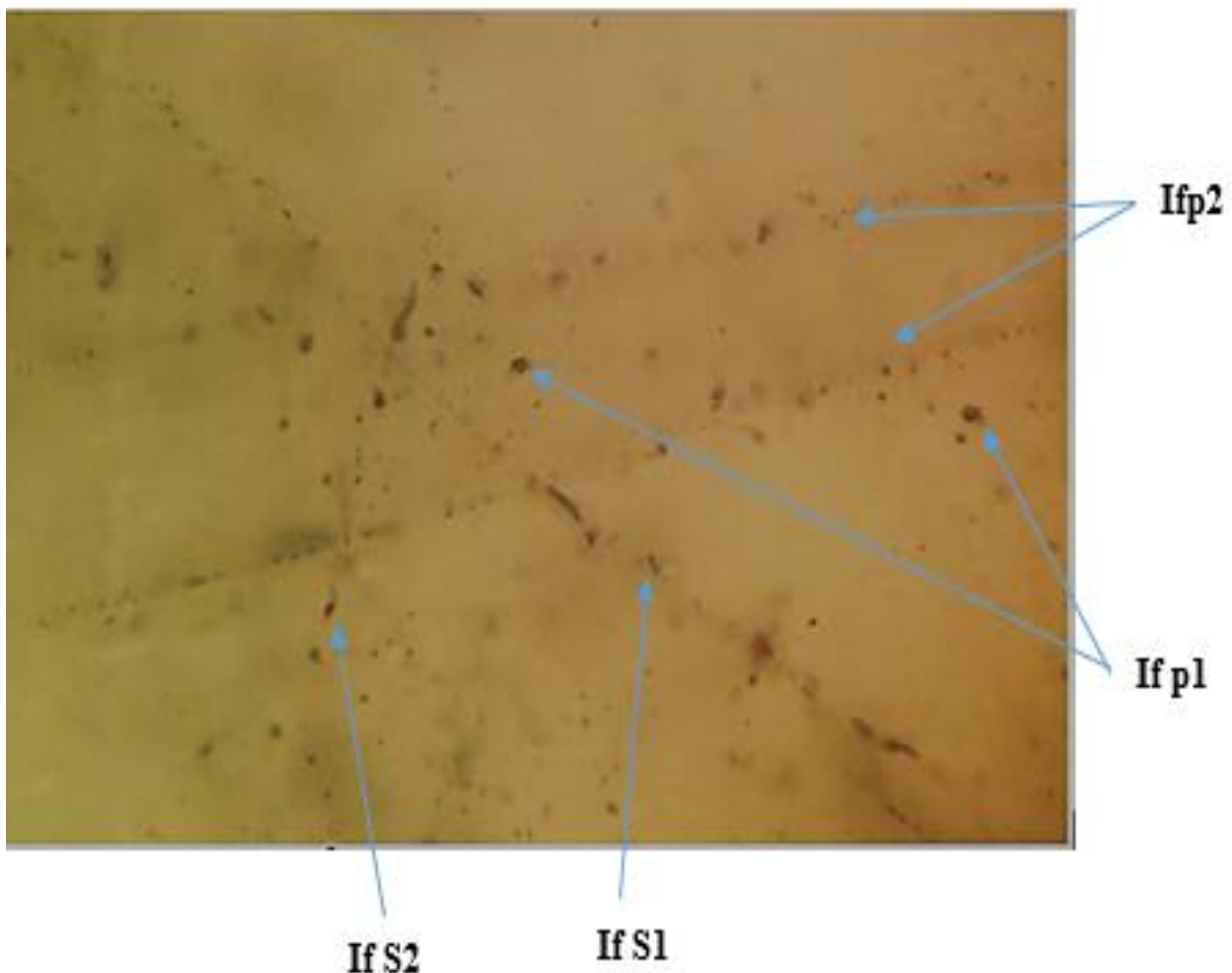


Figure 21: Les différentes générations d'inclusions fluides dans le béryl (Gx20)

B- Types d'inclusions Fluides

Selon la nature du composant identifié au microscope, nous avons déterminé quatre (04) types d'inclusions fluides :

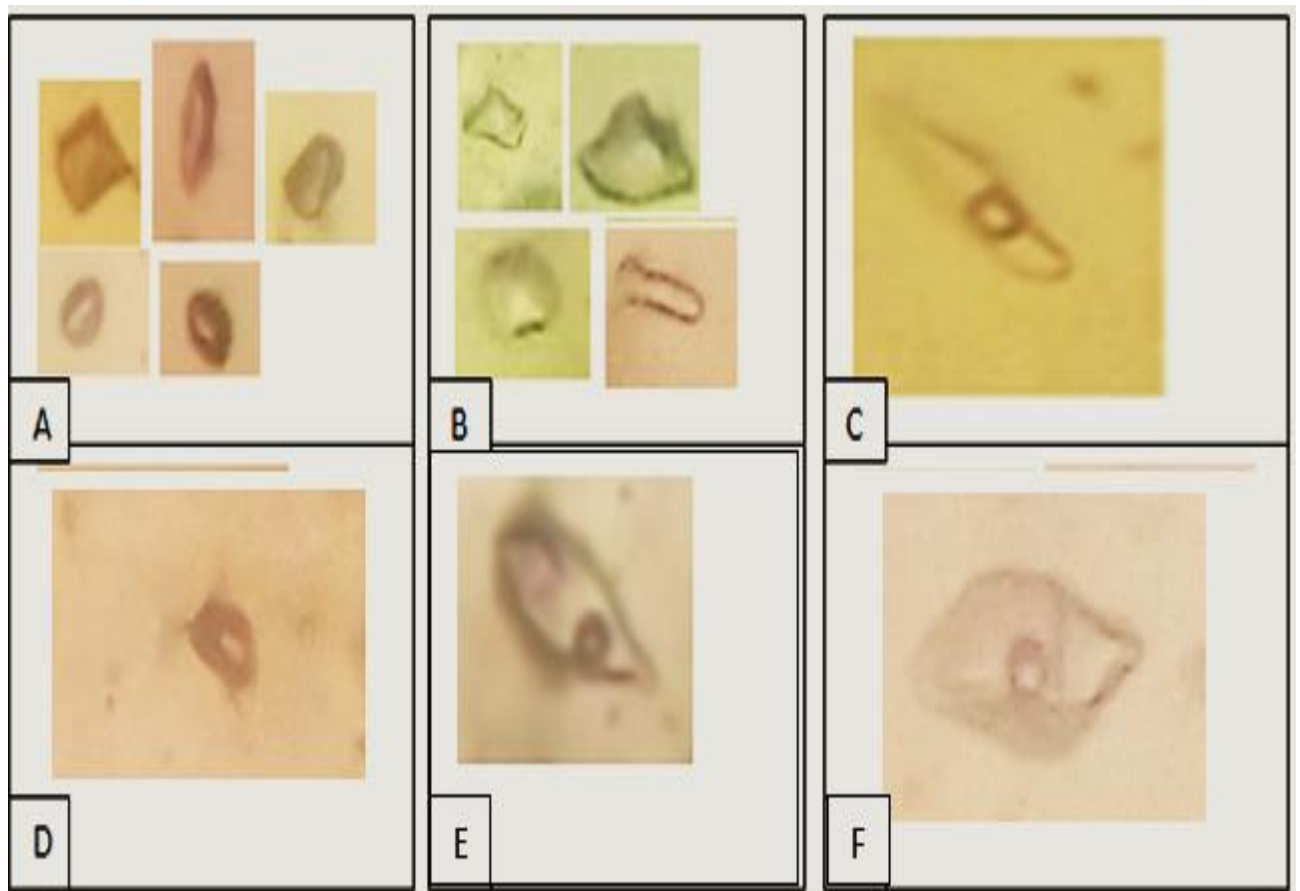
1- Monophasée : dans ce type, on observe des inclusions à liquide seul (L) et des inclusions fluides à vapeur seule (V). (Figure A et B)

2- Biphasées (L+V) : sont les plus fréquentes, les proportions varient entre la phase liquide et la phase vapeur. (Figure C et figure D)

3- Triphasées (L+V+S) : ils contiennent trois phases : liquide (L), vapeur (V) et solide (S). (Figure E)

4- Triphasées à liquides immiscibles : ils contiennent un liquide aqueux (Lw), un liquide carbonique (Lc), et une vapeur carbonique (Vc). (Figure F)

Planche 1



Diverses inclusions monophasée, biphasée, et triphasée piégées dans le béryl (Gx50) ; d'échelle 40 μ m.

-A : Photomicrographie d'inclusion fluide monophasée remplie par une seule phase vapeur (V=100%)

-B : photomicrographie d'inclusion fluide monophasée remplie par une seule phase liquide (L=100%)

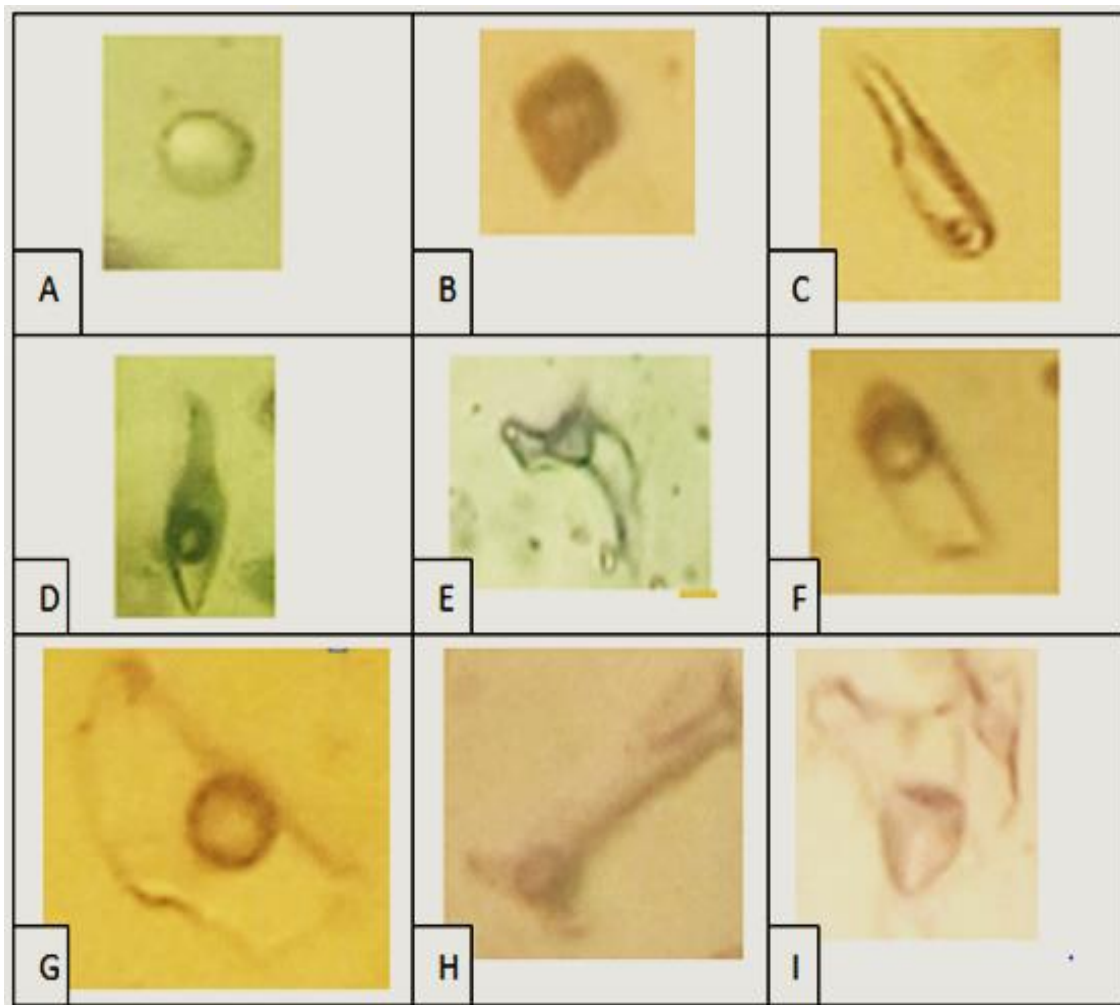
-C : photomicrographie d'inclusion fluide biphasée avec un remplissage vapeur faible (remplissage liquide) (V<50%)

-D : photomicrographie d'inclusion fluide biphasée avec un remplissage vapeur forte (V=90%)

-E : photomicrographie d'inclusion fluide triphasée riche en liquide (L+V+S)

-F : photomicrographie d'inclusion fluide à liquide immiscible (L_w, L_c, V_c)

Planche 2



Les diverses formes d'inclusions fluides dans les béryls de Ouan-Rechla observées au microscope polarisant (Gx50) ; d'échelle 40µm.

-A : forme arrondie

-B : forme carrée

-C : forme allongée

D, E, F, G, H, I : forme irrégulière

IV-2-1-3-- Etude microthermométrie :

Toutes les mesures effectuées sur les inclusions fluides piégées par le béryl, ont été portées sur les inclusions primaires. Ces dernières donnent des températures d'homogénéisation (Th) entre 175°C et 350°C

N°	Béryl	forme	type	Composition	RV%	Th°(c)
01	Be a	irrégulière	Isolée	Biphasée	30%	193
02	Be a	irrégulière	isolée	Biphasée	20%	238
03	Be a	irrégulière	isolée	Biphasée	20%	213
04	Be a	Carrée	isolée	Biphasée	10%	298
05	Be a	Necking	isolée	Biphasée	30%	308
06	Be a	irrégulière	isolée	Biphasée	40%	306
07	Be a	irrégulière	isolée	Biphasée	60%	322
08	Be a	irrégulière	isolée	Biphasée	20%	262
09	Be a	irrégulière	isolée	Biphasée	30%	339
10	Be a	irrégulière	isolée	Biphasée	30%	300
11	Be a	irrégulière	isolée	Biphasée	10%	217
12	Be b	irrégulière	isolée	triphasée	40%	270
13	Be b	irrégulière	isolée	Biphasée	60%	309
14	Be b	Arrondie	isolée	Biphasée	80%	175
15	Be b	Prismatique	isolée	Biphasée	40%	350
16	Be c	Prismatique	isolée	Biphasée	40%	311
17	Be c	irrégulière	isolée	Biphasée	20%	343
18	Be c	irrégulière	isolée	Biphasée	30%	330
19	Be c	irrégulière	isolée	Biphasée	30%	326
20	Be c	irrégulière	isolée	Biphasée	30%	337

Tableau 04 : Températures d'homogénéisation du béryl

- **Interprétation des histogrammes des Th dans le béryl**

Histogramme des températures d'homogénéisation (Th) du béryl de Ouan-Rechla.

Les résultats microthermométriques des inclusions fluides primaires piégées dans le béryl, révèlent des températures d'homogénéisation en phase liquide(Th), variant entre 175°C et 350°C, avec quatre intervalles dominants : un premier à (175 - 200°C), le deuxième à (200 - 225°C), le troisième à (250 - 275°C) et le quatrième à (275 - 300°C).

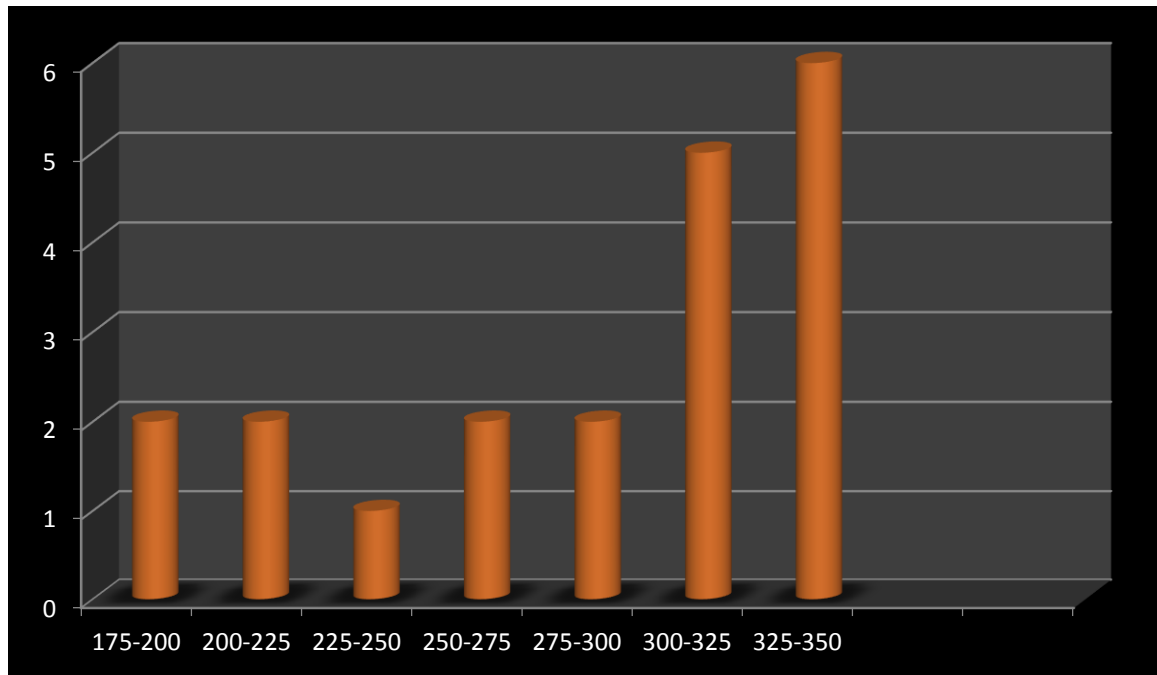


Figure 22 : Histogramme des températures d'homogénéisation (Th) du béryl de Ouan-Rechla

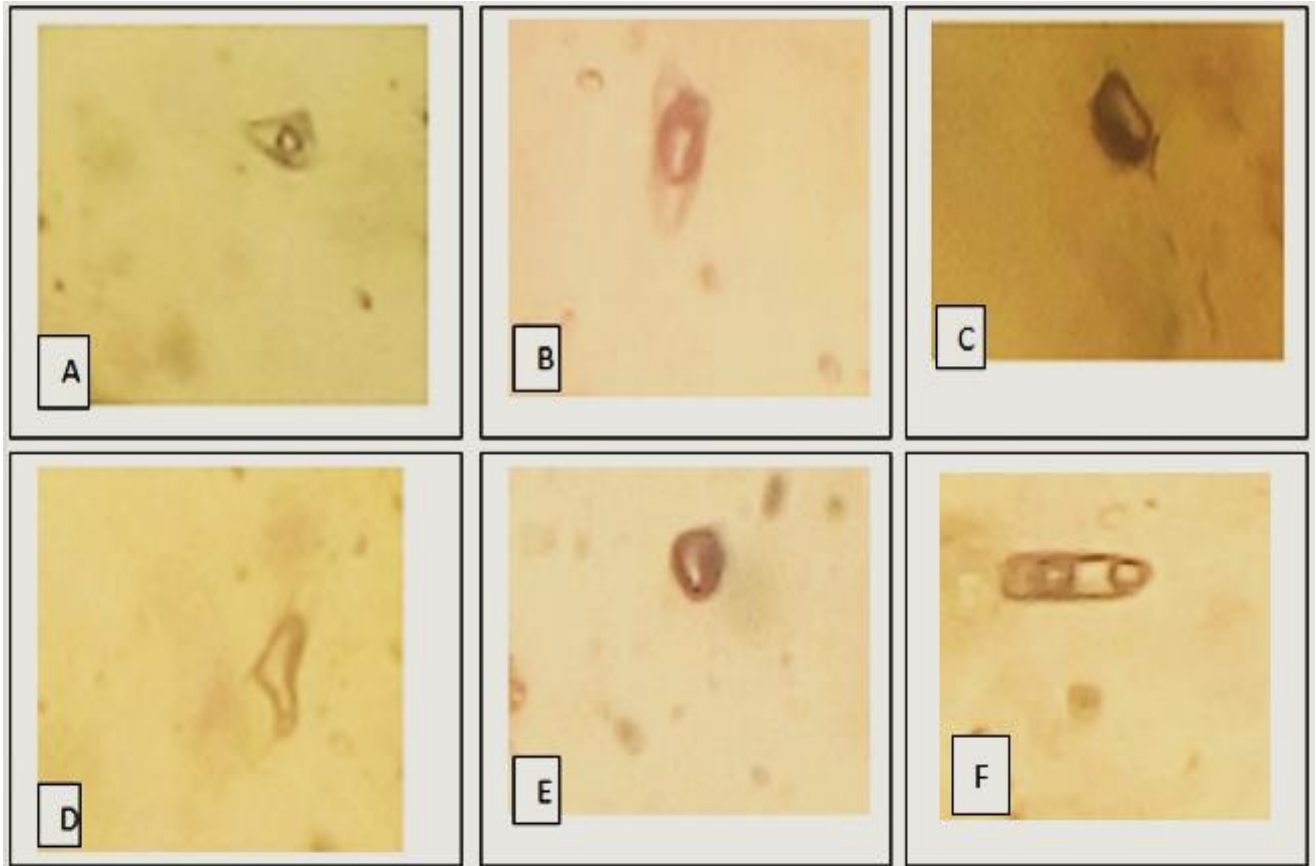
IV-2-2-Les inclusions fluides dans le quartz

IV-2-2-1-Etude microscopique

De nombreuses observations au microscope polarisant sur les inclusions fluides piégées par le quartz de Ouan-Rechla, nous a permis de sélectionner quelques inclusions fluides. Elles sont de petite taille par rapport à celle du béryl, de forme, irrégulière, allongée, arrondie...

Les inclusions fluides piégées dans le quartz sont de trois types :

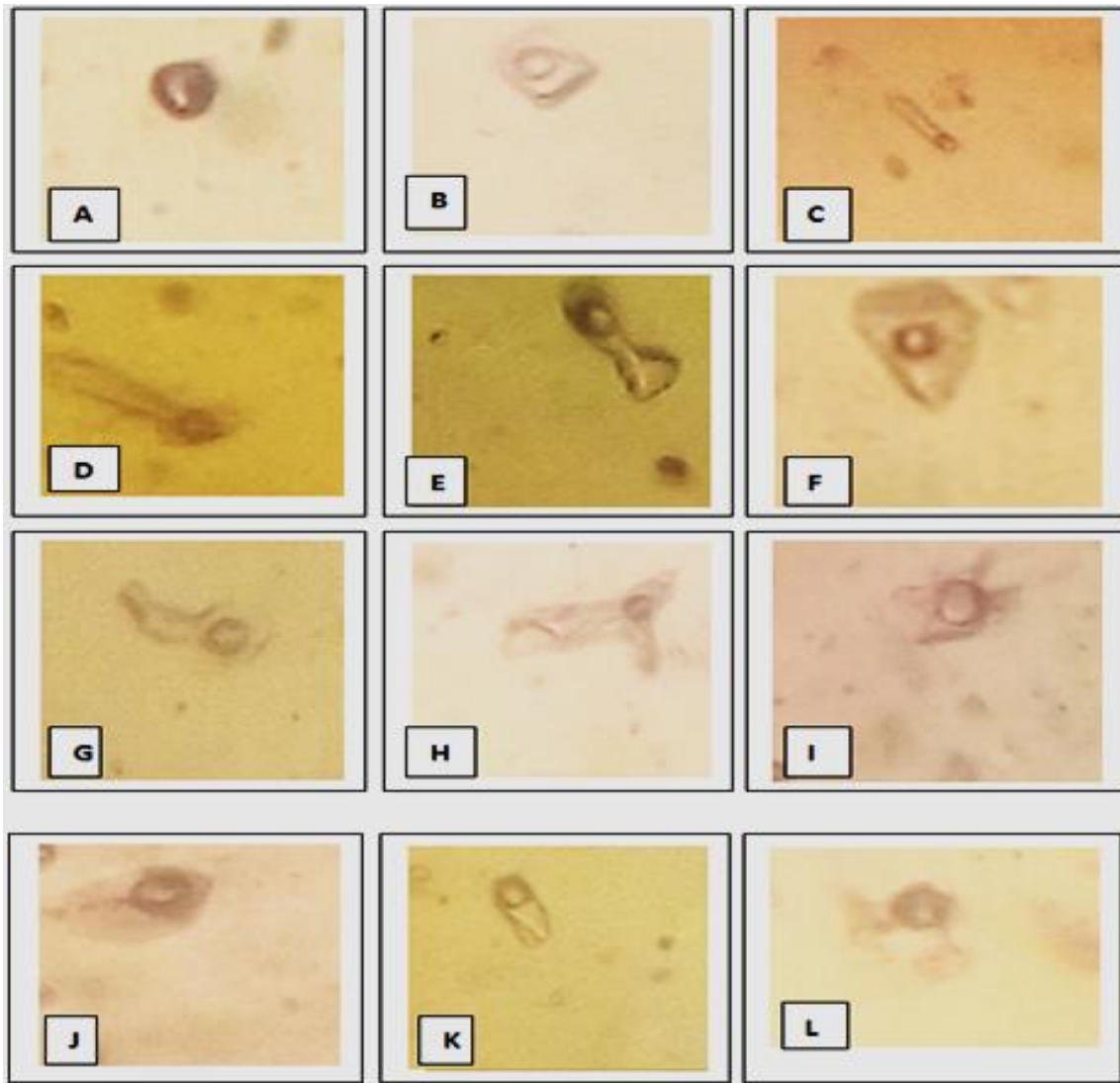
- Monophasé : dans ce type, on observe des inclusions à liquide seul (L), et des inclusions fluides à vapeur seul (V). (Figure D et E)
- Biphasé : c'est le plus fréquent, les proportions varient entre la phase liquide et la phase vapeur (L+V) Figures A, B, C)
- Triphasé : Ce type d'inclusion contient trois phases distinctes : [liquide (L), vapeur (V) et solide (S)]. (Figure F).

Planchée 3

Les principaux types d'inclusions fluides dans le quartz d'Ouan-Rechla observés au microscope polarisant (Gx50) ; d'échelle 30 μ m.

- A : photomicrographie d'inclusion fluide biphasée (L+V), avec un remplissage vapeur faible ($R_v < 50\%$)
- B : photomicrographie d'inclusion fluide biphasée (L+V) avec un remplissage vapeur moyen ($R_v = 50\%$)
- C : photomicrographie d'inclusion fluide biphasée (L+V) avec un remplissage vapeur fort ($R_v = 90\%$)
- D : photomicrographie d'inclusion fluide monophasé liquide (L)
- E : photomicrographie d'inclusion fluide monophasée vapeur(V), ($R_v = 100\%$)
- F : photomicrographie d'inclusion fluide triphasée (L+V+S)

Planchée 4



Les différentes formes d'inclusions fluides dans le quartz d'Ouan-Rechla observées au microscope polarisant (Gx50) d'échelle 30 μ m.

- A : Forme Arrondie
- B : Forme carrée
- C : Forme allongée
- D : Forme necking
- E, F, G, H, I, J, K, L : Forme irrégulière

IV-2-2-2- Etude Microthermométrie

Toutes les mesures effectuées sur les inclusions fluides piégées par le quartz, ont porté sur les inclusions primaires. Ces dernières donnent des températures d'homogénéisation (T_h) entre 200°C et 395°C.

N°	Quartz	forme	type	Composition	RV	Th°(c)
01	Qa	irrégulière	isolée	Biphasée	20%	380
02	Qa	carrée	isolée	Biphasée	40%	378
03	Qa	irrégulière	isolée	Biphasée	30%	314
04	Qa	irrégulière	isolée	Biphasée	20%	395
05	Qa	irrégulière	isolée	Biphasée	20%	362
06	Qa	prismatique	isolée	Biphasée	10%	350
07	Qa	irrégulière	isolée	Biphasée	40%	330
08	Qa	irrégulière	isolée	Biphasée	30%	329
09	Qa	irrégulière	isolée	Biphasée	50%	320
10	Qa	irrégulière	isolée	Biphasée	40%	295
11	Qa	irrégulière	isolée	Biphasée	40%	331
12	Qa	neckingue	isolée	Biphasée	10%	393
13	Qa	irrégulière	isolée	Biphasée	20%	349
14	Qa	irrégulière	isolée	Biphasée	50%	371
15	Qa	irrégulière	isolée	Biphasée	20%	323
16	Qa	irrégulière	isolée	triphasée	20%	200
17	Qb	irrégulière	isolée	Biphasée	30%	278
18	Qb	irrégulière	isolée	Biphasée	40%	200
19	Qb	irrégulière	isolée	Biphasée	20%	258
20	Qb	irrégulière	isolée	Biphasée	30%	299

Tableau 05 : Les températures d'homogénéisations des inclusions fluides dans le quartz

- **Interprétation des histogrammes des températures d'homogénéisation (Th)**

Histogramme des températures d'homogénéisation (Th°) du quartz de Ouan-Rechla

Les résultats microthermométriques des inclusions fluides primaires piégées dans le quartz, révèlent des températures d'homogénéisation en phase liquide (Th), variant entre 200°C et 395°C, avec deux intervalles dominants : le premier à (320-350°C), le deuxième à (350-380°C).

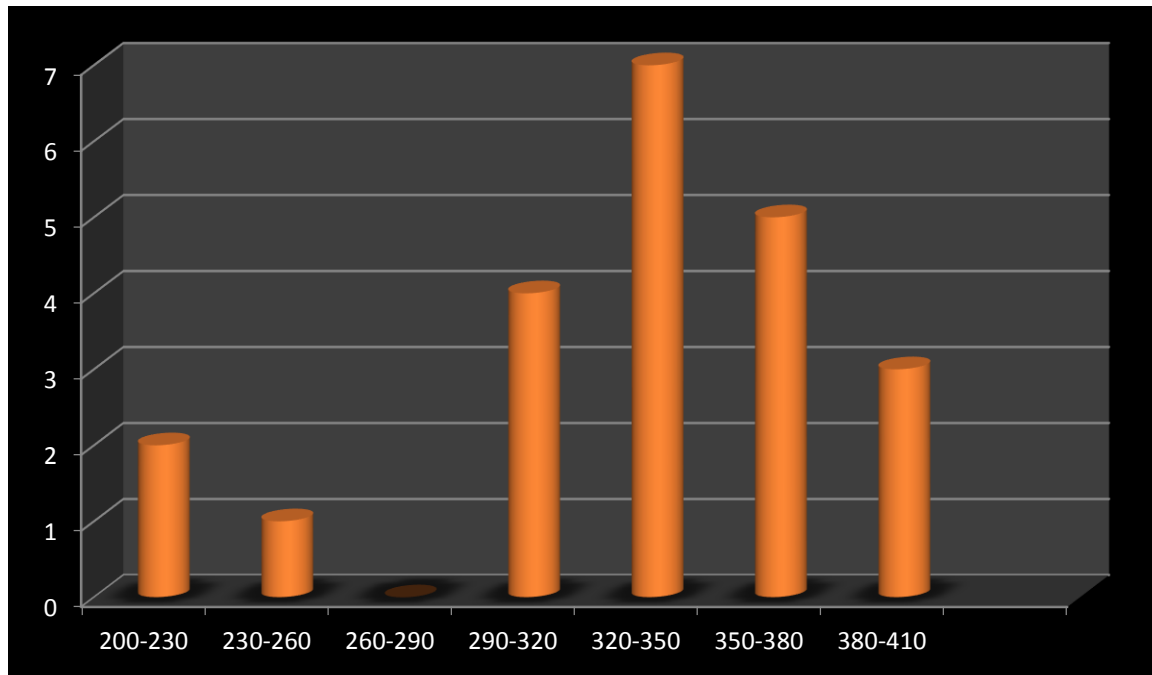


Figure 23 : Histogramme des températures d'homogénéisation T_h du quartz de Ouan-Rechla

Conclusion et discussions

L'étude microthermométrique sur les minéraux de quartz et de béryl de la pegmatite du massif granitique de Ouan-Rechla montre que les températures obtenues sur le béryl sont en moyenne de 300°C. Les températures obtenues dans le quartz et en moyenne de 350°C.

Ces températures sont caractéristiques des fluides magmatique ou métamorphique.

Etant donné que nous avons utilisé que les T_h , nous ne pouvons préciser la nature des fluides

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Les granites post-orogéniques constituent le dernier événement enregistré dans la région de Laouni, en relation directe avec la phase de collision entre le bouclier Touareg et le craton Ouest Africain. Ils présentent des minéralisations en métaux rares importants pour l'économie. Ces granites sont classés parmi les granites à métaux rares (G.M.R) et renferment des minéralisations à (W, Sn, F, Nb, Ta, Li Mo et Be) dans la région de Laouni.

A Ouan-Rechla la minéralisation s'exprime sous forme de béryl en relation avec la pegmatite. Le béryl se présente sous forme hexagonal ou "en chou-fleur", il affleure soit au contact direct entre la pegmatite et le granite à albite-topaze-lépidolite (béryl en chou-fleur), soit dans la pegmatite en "cocarde" (béryl hexagonal), soit dans le filon associé au quartz, recoupant le granite à albite-topaze-lépidolite (béryl hexagonal). La couleur verdâtre de ces béryls serait due probablement à la présence de chrome (Cr) dans le réseau cristallin. Le Cr proviendrait des roches basiques et ultrabasiques existants dans la région de Laouni.

L'étude des inclusions fluides au microscope polarisant sur le quartz et le béryl, montre que ces inclusions sont de taille variable. Elles présentent différentes formes (arrondie, carrée, allongée et irrégulière...) et sont de quatre types : monophasée (liquide seul ou gaz seul) ; biphasée (liquide-vapeur), elles sont plus fréquentes, les proportions varient entre la phase liquide et la phase vapeur. Les inclusions fluides triphasées (L.V.S) sont plus ou moins fréquentes. Enfin, les inclusions triphasées à liquide immiscible (Lw, Lc, Vc) rares. Sur le plan génétique, ces inclusions peuvent être réparties en trois générations. Les inclusions se trouvant isolées ou alignées suivant les plans de clivage sont considérées comme primaire. Les inclusions alignées suivant les plans de fractures sont considérées secondaire.

Les résultats thermométriques basés sur les températures d'homogénéisations (Th) obtenues sur le béryl et le quartz de la pegmatite d'Ouan-Rechla présentent dans l'ensemble une certaine régularité.

Les Th obtenues dans le béryl présentent un intervalle allant de 175°C à 350°C, la moyenne des températures est supérieure à 200°C.

Les Th obtenues dans le quartz présentent un intervalle allant de 200°C à 395°C et la moyenne des températures est supérieure à 300°C.

De ce fait, on peut dire que ces températures sont assez élevées et peuvent être classées comme températures d'origine magmatique ou métamorphique.

Afin de déterminer avec précision la nature de ces fluides, nous devons faire une étude microthermométrique complète que l'on doit compléter avec le Raman pour déterminer la nature des inclusions solides et des différents gaz.

Références bibliographiques

Abdelsalam, M., Liegeois, J.P., Stern, R.J., 2002. The Saharan metacraton. *Journal of African Earth Sciences* 34, 119–136.

AKKouche, F., Khellaf, C., 2007. Etude géologique et géochimique du gisement de béryl de Guerioune, Laouini (Hoggar Central, Algérie). Mémoire d'ingénieur d'Etat. USTHB. Alger.

Azzouni-Sekkal, A., Liégeois, J.P., Bechiri-Benmerzoug, F., Belaidi-Zinet, S., and Bonin, 2003. The Taourirt magmatic province, a marker of the closing stage of the pan-African orogeny in the Tuareg Shield: review of available data and Sr-Nd isotope evidence. *Journal of African Earth Sciences* 37(2003) PP. 311-350

Bertrand, J.M.L., al., 1986. Rapport sur les travaux effectués au Hoggar en collaboration avec l'EREM durant la période 1980-1986.

Bertrand, J.M.L., 1974. Evolution polycyclique des gneiss précambriens de l'Aleksod (Hoggar central, Sahara algérien). *Thèse Doctorat ès-Sciences*. Université Montpellier. CNRS, Série Géologie 19, 370 p

Bertrand, J.M.L., Caby, R., 1978. Geodynamic evolution of the Pan-African orogenic belt: a new interpretation of the Hoggar Shield (Algerian Sahara). *Geologische Rundschau* 67, 357–388.

BENAISSA, H. Etude cristallogénétique des tourmalines des filons de quartz aurifères de l'indice de Seldrar, terrane d'Iskel (Hoggar occidental). Diplôme de master académique. Aboubaker Belkaid. TLEMCEM.

Benazzouz., 1989. Pétrographie des granites « Taourits » et pegmatites associés de la région de Laouini (Hoggar centro-méridional) Thèse de magistère I.S.T, U.S.T.H.B. Alger, 195 P.

Bertrand, J.M.L., Caby, R., 1978. Géodynamique evolution of the pan-african orogenic belt : a new interpretation of the Hoggar Shield (Algerian Sahara) . *Geologische Rundschau* 67, 357-388.

Black, R., Liegeois, J. P., 1993. Cratons, mobile belts, alkaline rocks and continental lithospheric mantle: the Pan-African testimony. *Journal Geological Society London* 150, 89–98.

Black, R., Latouche, L., Liegeois, J.P., Caby, R., Bertrand, J.M., 1994. Pan-African displaced terranes in the Tuareg Shield (Central Sahara). *Geology* 22, 641–644.

-Boissonnas, J., 1960. Mission de synthèse géologique S1. Hoggar, 1959 ?60. Etude géologique des granites wolframifères de la région de Laouini. B.R.G.M. Algérie.

Boissonnas, J., 1973. Les granites à structures concentriques et quelques autres granites tardifs de la chaîne Pan-Africaine en Ahaggar (Sahara central, Algérie). Thèse de doctorat ès-sciences naturelles. Université Paris.

Bonnici, J.P., 1963. L'intrusion granulitique d'Alous-Ouan-Rechla, rapport BRGM inédit.

Bonnici, J. P., 1963. L'intrusion granulitique d'Alous-Ouan-Rechla, rapport BRGM inédit.

Bouguebrine, J., 2009. Etude des inclusions fluides associées aux gisements à W-Sn du Hoggar central. Diplôme de magister. USTHB Alger.

Boullier, A.M., 1991. The Pan-African Trans-Saharan belt in the Hoggar Shield (Algeria, Mali, Niger): a review. In: Dallmeyer, R.D., L_e_corch_e, J.P. (Eds.), The West African Orogens and Circum- Atlantic Correlatives. Springer Verlag, Berlin, pp. 85–105.

Chalal., 2002. Magmatisme panafricain à albite topaze, minéralisation Sn-W, Nb-Ta et les fluides associés dans le terranes de Laouni (Hoggar central, Algérie). Thèse Doctorat, USTHB, Alger.

Cottin, J.Y., 1990. Le magmatisme et le métamorphisme pan-africain, témoins d'amincissement crustal dans la région de Laouni (Hoggar central, Algérie)

Djadoun, A., 1993. Contribution à l'étude des granites alumineux et des pegmatites associées de la région de Laouni (Hoggar central). A l'exemple des massifs Alous-OuanRechla, Tit-N-Enir et Tamazaror. Mémoire de Magister USTHB. Alger.

E.RE.M., 1975. Travaux de prospection et d'évaluation de métaux rares dans la partie sud de Hoggar central (groupe de Guerioune). O.R.G.M. Boumerdes.

Gravelle, M., 1969. Recherches sur la géologie du socle précambrien de l'Ahaggar centr-occidental dans la région de Silet-Tibehouine. Thèse Doc. Etat, Univ. Pars-VII, 298 P.

Hamis, A. Le béryl : Géologie, minéralogie, et géochimie des gisements de la région de Laouni (Hoggar central, Algérie). Thèse de doctorat en cours.

Jébrak, M., 2006. Economic Geology – then and now. Geoscience Canada, 33: 81-93. Article repris avec résumé en turc dans Yerbilimleri, 2006, 48-49, p. 1-27.

Kerdoun, H., 2008. Géologie, pétrographie du massif de Tillik (Laouni, Hoggar Central). Diplôme d'ingénieur d'Etat en géologie. USTHB. Alger.

Kesraoui, M., 2005. Nature et évolutions comparées à métaux rares dans le Hoggar central (Algérie) à travers la pétrographie, la cristallogéochimie des micas et des minéraux à Ta, Nb, W, et la géochimie. Thèse de doctorat. USTHB. Alger.

Liegeois, J.P., (Ed.), 1998. Post-collisional magmatism Lithos 45, 560 p. Li_egeois, J.-P., Black, R., 1987. Alkaline magmatism subsequent to collision in the Pan-African belt of the Adrar des Iforas. In: Fitton,

Marie Christine, B., 2003. Les paléofluides par les inclusions fluides. Comité Français.

Michel, D., 2003. Les grandes étapes du développement de l'étude des inclusions fluides. Comité Français.

Rapport B.R.G, M., 1959-1960. Mission de prospection générale. Rapport inédit

Roedder, E., and 1963. Studies of fluid inclusion II: Freezing data their interpretation, Econ, Geol.58, pp 167-211.

Roedder, E., 1984. Fluid inclusions; Review in Mineralogy.12. Min Soc, of America, éd. Ribbe PH, 644 P.

SAIFI, S., 2012. Les inclusions fluides et leurs applications dans la recherche et la prospection minière et pétrolière. U. M. HammedBouguerra, Boumerdès, Algérie.

Sarni, Y., Yahia, M., 2008. Etude pétrographique et minéralogique du gisement à W de Nahda (Laouni, Hoggar central). Mémoire d'ingénieur, I.S.T. / U.S.T.H.B, Alger. 58 p.

Grant, W.M., et Schuman, J.S., 1993. Toxicology of the eyes: effects on the eyes and visual systems from chemicals, drugs, metals and minerals, plants, toxins and venoms; also, systemic side effects from eye medications. Vol. 1, 4th ed. Springfield (ILL.).

Robert., 1986. High-pressure crystal chemistry of beryl ($\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$) and euclase (BeAlSiO_4 OH) American Mineralogist.

Luders, V., and, C., Reutel., 1996. PACOFI VI, 78-80.