

LES ÉCLOGITES GRANULITISÉES DE TI-N-EGGOLEH (TERRANE DU SÉROUËNOUT, HOGGAR CENTRAL): ÉTUDE MÉTAMORPHIQUE ET CONSÉQUENCE GÉODYNAMIQUE.

Amel BITAM-DERRIDJ*, Khadidja OUZEGANE**, Zouhir ADJERID***,
Gaston GODARD**** et Jean-Robert KIENAST****

RÉSUMÉ

La région de Ti-N-Eggoleh, terrane du Sérouënout (Hoggar central, Algérie), est essentiellement constituée de roches métamorphiques du faciès éclogite. Ces roches sont variées et constituées d'assemblages à omphacite, grenat et quartz, témoins d'une ancienne croûte océanique, affectée par un métamorphisme de haute pression. L'étude des éclogites a montré la présence d'une évolution métamorphique complexe. Sur la base d'observations texturales, cinq stades métamorphiques ont été distingués:

- (i) un stade pré-éclogitique matérialisé par des inclusions de clinozoïsite, rutile et quartz dans le grenat;
- (ii) un stade éclogitique avec les assemblages à omphacite, grenat ($Alm_{49-56} Pyr_{25-22} Grs_{25-21}$), quartz et ilménite. L'omphacite, (Jd_{30}) a été remplacée par les symplectites à clinopyroxène-plagioclase;
- (iii) un stade amphibolitique qui apparaît durant le stade de décompression. La présence de larges hornblendes associées à des plagioclases est interprétée comme le résultat de la déstabilisation du grenat au contact de l'omphacite;
- (iv) un stade granulitique durant lequel l'orthopyroxène (En_{37}) et le plagioclase (Ab_{39-65}) se développent en symplectites et en couronnes selon les réactions suivantes: grenat + quartz \rightarrow Opx + plagioclase; amphibole + quartz \rightarrow Cpx + Opx + plagioclase + H_2O ;
La dernière réaction est symptomatique d'une déshydratation de haut grade après une amphibolitisation de l'éclogite.
- (v) un dernier stade matérialisé par le développement de fines intercroissances de chlorite + plagioclase autour de l'amphibole, résultat de la réaction amphibole \rightarrow chlorite + plagioclase + H_2O .

* Laboratoire des Ressources Minérales et Energétiques. Université M'Hamed Bougara, Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie. 35000-Boumerdès, Algérie. (e-mail : amel.derridj@gmail.com) - aderridj1@yahoo.fr.

**Laboratoire de Géodynamique, Géologie de l'Ingénieur et de Planétologie, Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographie et de l'Aménagement du Territoire, U.S.T.H.B., B.P. 32 El Alia, Dar el Beida, 16111-Alger, Algérie.

***École Normale Supérieure, B.P. 92, vieux Kouba, 16000-Alger, Algérie.
(E-mail : zouhir. adjerid@gmail.com).

**** IPGP, Univ. Denis-Diderot (Paris 7), 4, place Jussieu, 75252-Paris, France.

- *Manuscrit déposé le 06 Décembre 2008, accepté après révision le 23 Mai 2009.*

L'évolution métamorphique est complexe. Le pic du métamorphisme coïncide avec les conditions du faciès élogite ($P \approx 17$ kbar, $T = 650 \pm 50^\circ\text{C}$) correspondant à la paragenèse omphacite-grenat. Après le premier stade d'hydratation dans le faciès amphibolite (10-11kbar, $600 \pm 40^\circ\text{C}$), un second pic métamorphique dans le faciès granulite a permis le développement de l'orthopyroxène-plagioclase (10-11kbar, $813 \pm 60^\circ\text{C}$).

L'épisode élogitique à Ti-N-Eggoleh correspondrait à la subduction, l'amphibolitisation qui fait suite à une décompression isotherme correspond au premier stade de l'exhumation des élogites et la reprise granulitique qui fait suite à un réchauffement isobare, est en relation probable avec la phase post-collisionnelle et la mise en place de batholites panafricains dans un contexte général de transtension dans le Hoggar central.

Mots clés - Éclogite à omphacite - Métamorphisme panafricain de haute pression - Terrane du Sérouenout - Trajectoire pression-température.

GRANULITE-FACIES OVERPRINTING ECLOGITE FROM TI-N-EGGOLEH (SEROUENOUT TERRANE, CENTRAL HOGGAR): METAMORPHIC STUDY AND GEODYNAMIC IMPLICATION.

ABSTRACT

The Ti-N-Eggoleh area in Serouenout terrane (Central Hoggar, Algeria) consists predominantly of eclogite-facies rocks. These are varied rocks and consist mainly of omphacite, garnet and quartz bearing which are regarded as the remnants of an old oceanic crust affected by a high-pressure metamorphism. The study of the eclogites has evidenced a complex metamorphic evolution during subduction. On the basis of textural observations, five stages of metamorphic recrystallization are distinguished :

- (i) a pre-eclogite stage materialized by inclusions of clinozoisite, rutile and quartz in garnet;
- (ii) the eclogite-facies stage with omphacite, garnet ($\text{Alm}_{49-56} \text{Pyr}_{25-22} \text{Grs}_{25-21}$), quartz and ilmenite. Omphacite (Jd_{30}) was subsequently replaced by the common clinopyroxene - plagioclase symplectite.
- (iii) in the first decompression stage, the widespread presence of hornblende associated with plagioclase is interpreted as growing at the expense of garnet-omphacite;
- (iv) during the granulite-facies stage, orthopyroxene (En_{37}) and plagioclase (Ab_{39-65}) grew into symplectites and coronas with the following reactions: garnet + quartz \rightarrow Opx + plagioclase; amphibole + quartz \rightarrow Cpx + Opx + plagioclase + H_2O . The last reaction is symptomatic of a high-grade dehydration after the amphibolitization of the eclogite;
- (v) the second retrogression is materialized by the development of thine intergrowths of chlorite + plagioclase around amphibole as: amphibole \rightarrow chlorite + plagioclase + H_2O .

The metamorphic evolution is complex. The peak of the metamorphism coincides with the eclogite-facies conditions ($P \approx 17$ kbar, $T = 650 \pm 50^\circ\text{C}$), coeval with the omphacite-garnet paragenesis. After the first hydrated retrogression in amphibolite-facies conditions (10-

LES ÉCLOGITES GRANULITISÉES DE TI-N-EGGOLEH (TERRANE DU SÉROUËNOUT, HOGGAR CENTRAL):
ÉTUDE MÉTAMORPHIQUE ET CONSÉQUENCE GÉODYNAMIQUE.

11kbar, $600 \pm 40^\circ\text{C}$), the second granulite-facies metamorphic peak produced orthopyroxene–plagioclase in symplectite (10-11kbar, $813 \pm 60^\circ\text{C}$).

The process of subduction provides an efficient mechanism to transport oceanic material to great depths causing eclogitization at Ti-N-Eggoleh area. The dominant isothermal decompression associated with the early phase of exhumation (from the eclogite to the amphibolite facies) was followed by an important phase of heating towards the granulite facies that could be linked to the post collisional emplacement of large Pan-African batholiths in the Central Hoggar.

Keywords - Omphacite with eclogites - Pan-African high-pressure metamorphism - Serouenout Terrane - P-T path.

INTRODUCTION

Le Hoggar central (fig.1a) est un exemple de région précambrienne polycyclique qui a été divisée, depuis les travaux de Bertrand *et al.* (1978), en plusieurs grands domaines (Aleksod, Oumelalen-Temassint, Tefedest-Atakor, Issalane). Dans le cadre de la nouvelle subdivision du Hoggar, Liégeois *et al.* (2003) considèrent le Hoggar central comme le résultat de l'amalgamation de cinq terranes sous l'acronyme de LATEA: Laoui, Azrou-N-Fad, Tefedest, Egéré-Aleksod et Sérouënout (fig.1b). Ces auteurs, à la suite de Black *et al.* (1994) présentent un modèle qui schématise les grandes lignes de l'évolution de cette partie du Hoggar qui correspondrait à une succession de domaines juvéniles panafricains (Sérouënout, Iskel) alternant avec des terranes formés de roches d'âges variés, plus ou moins remobilisées au Panafricain (fig.1b). Ainsi, le LATEA au Panafricain correspondait à une marge passive (Liégeois *et al.*, 2003). Le Sérouënout (fig.1b), quant à lui, correspondrait à un matériel juvénile comprenant de la croûte océanique. En effet, Bertrand *et al.* (1978) et Caby (2003) ont décrit de vastes lambeaux ophiolitiques déformés, témoins d'un océan pré-panafricain (800Ma) dans les superterrains du «Pharusien» et du Sérouënout. Bertrand *et al.* (1978) ont décrit, parallèlement, des batholites syntectoniques de gabbros. La collision, qui a eu lieu entre ce micro-continent et un arc-insulaire, a été accompagnée par le charriage de

matériel océanique, dont une partie sous forme d'éclogites. Cet événement a été daté vers 686 Ma dans la région de Laoui (Liégeois *et al.*, 2003). Enfin, la période qui va de 580 Ma à 540 Ma correspond à des stades tardifs post-collisionnels dans un contexte général de transtension avec mise en place d'un grand nombre de granites alcalins dits de type Taourirt (Azzouni-Sekkal *et al.*, 2003).

Les éclogites, témoins de gradients métamorphiques de type haute pression-basse température (10 à $15^\circ\text{C}/\text{km}$), sont classiquement considérées comme le résultat de l'enfouissement rapide de matériaux océaniques ou continentaux sous l'effet du phénomène de subduction. De ce fait, elles constituent des marqueurs tectoniques importants, car susceptibles de révéler des mouvements tangentiels de grande ampleur. Les éclogites ont été décrites dans plusieurs régions du Hoggar aussi bien dans sa partie occidentale que dans sa partie centrale. En effet, dans le terrane de Tassendjanet (Hoggar occidental), les éclogites de Tin Zebane El Kahla (Fettous, 2001) et celles de Tiléouine (Berger, 2008) ont été interprétées comme des basaltes tholéïtiques intra-continentaux, entraînées dans une zone de subduction à l'ouest du terrane de l'In Ouzzal (Berger, 2008) jusqu'à une profondeur de 60km correspondant à une pression de 17 kbar. L'omphacite relique de la paragénèse éclogitique n'a pas été préservée, cependant elle a été transformée en symplectite à clinopyroxène ($\text{Na}_2\text{O} < 2.45\%$)-plagioclase.

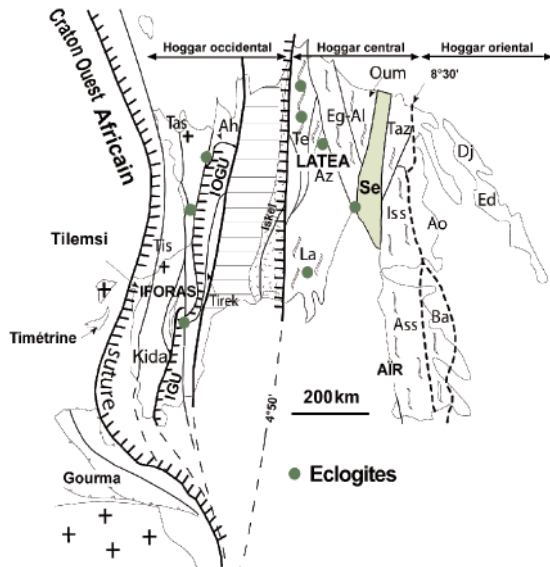


Fig.1a - Carte schématique du bouclier Touareg et des terrains limitrophes d'après Caby (2003), montrant la localisation des éclogites. Abréviations des localités.

Schematic map of the Tuareg shield and the border areas after Caby (2003), showing eclogite location.

Ah=Ahnet (*Ahnet*); Ao=Aouzegueur (*Aouzegueur*); Ass=Assodé (*Assode*); Ba=Barghot (*Barghot*); Ed=Edembo (*Edembo*); Dj=Djanet (*Djanet*); Iss=Issalane (*Issalane*); Oum=Gour Oumelalen (*Gour Oumelalen*); Tas=Tassendjanet (*Tassendjanet*); Taz=Tazat (*Tazat*); Se=Serouenout (*Serouenout*).

Dans le Hoggar central, les éclogites à omphacite-disthène de l'Aleksod ont été interprétées par Sautter (1983) comme le résultat d'une collision intercontinentale, le protolithe des éclogites étant d'âge archéen à éburnéen alors que le métamorphisme est panafricain. Dans la région de Tin-Begane, les éclogites ne sont pas préservées. Les protolithes des amphibolites à grenat (Liégeois et *al.*, 2003), comme celles de la région de Tahifet correspondent à des basaltes d'arc insulaire datés à 685 Ma (Boughrara, 1999; Liégeois et *al.*, 2003). Le métamorphisme éclogitique estimé dans la région de Tin Begane par reconstitution de l'omphacite à partir des symplectites fines à clinopy-

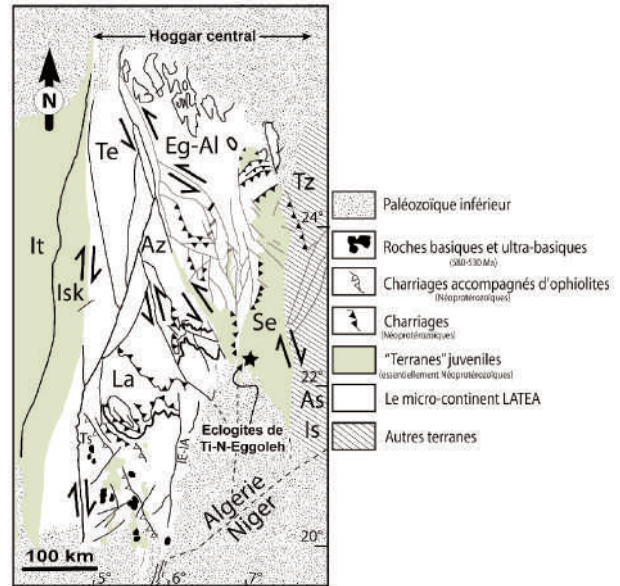


Fig.1b - Carte des terranes du Hoggar central (Liégeois et *al.*, 2003) montrant la localisation du terrane juvénile du Sérrouenout.

Sketch map of terranes from the Central Hoggar (Liégeois et al., 2003) showing the location of juvenile Serouenout Terrane.

Eg-Al=Egéré-Aleksod (*Egéré-Aleksod*); Te=Tefedest (*Tefedest*); Az=Azrou-n-Fad (*Azrou-n-Fad*); Se=Sérrouenout (*Serouenout*); Iss=Issalane (*Issalane*); Ass=Assodé (*Assodé*); La=Laouni (*Laouni*); Isk=Iskel (*Iskel*); It=In Teidini (*In Teidini*); Ts=Tessalit mountains (*Tessalit mountains*); Tz=Tazat (*Tazat*); IE-IA=In Ebbeggui-In Attei domain (*In Ebbeggui-In Attei domain*).

roxène-plagioclase est supérieur à une pression de 17 kbar avec des températures autour de 800°C. Au nord-est, dans la région de Tahifet, Zetoutou et *al.* (2004) et Boubazine-Benhala (2007) définissent des pressions de 16 kbar dans le faciès éclogite à partir du géobaromètre jadéite-albite-quartz et 11 kbar correspondant au faciès amphibolite de haute pression. Pour toutes les autres régions du Hoggar qui correspondent au LATEA, y compris l'Egéré (Zetoutou et *al.*, 2004), l'exhumation des éclogites s'est effectuée dans les conditions du faciès amphibolite avec parfois développement de la staurotide (Zetoutou et *al.*, 2004). Au contraire comme nous le montrerons dans cette publica-

tion, la trajectoire P-T des éclogites de Ti-N-Eggoleh est beaucoup plus complexe. En effet, dans le terrane du Sérouënout, les éclogites sont affectées par un métamorphisme de haute pression (omphacite-grenat-rutile-quartz) suivi par une décompression dans le faciès amphibolite (hornblende verte- plagioclase) puis par un stade de haute température granulitique marqué par l'apparition de l'orthopyroxène en symplectites avec de la hornblende brune, du clinopyroxène et du plagioclase (Derridj et *al.*, 2007).

DESCRIPTION DE LA RÉGION D'ÉTUDE

Les éclogites du terrane du Sérouënout sont observées dans la région de Ti-N-Eggoleh (fig.1b) où la série métamorphique domine largement l'ensemble des affleurements. Cette série regroupe des roches orthodérivées (éclogites, gabbros, amphibolites avec et sans grenat et serpentinites) et paradérivées (marbres, talc-schistes). Le tout étant recoupé par des gabbros et des granites et par de nombreux filons de dolérites d'orientations variées. L'association des serpentinites et des marbres, évoque des ophicalcites caractéristiques des croûtes océaniques (Adjerid et *al.*, 2006). De plus, les protolithes des éclogites correspondent à des basaltes océaniques de type MORB.

Les éclogites, objet de notre étude, affleurent toujours en lentilles de forme et de taille variées (3 à 500m de long). Ce sont des roches qui présentent une minéralogie diversifiée (fig.2). En effet, ces roches renferment des grains pluri-millimétriques d'oxydes (spinelles, magnétite et ilménite, fig.2c) et de pyroxènes, avec des grenats sub-automorphes d'un diamètre moyen de 3 cm. De nombreux petits grenats peuvent être ainsi dispersés dans la roche ou groupés sous forme de lentilles d'environ 6 cm de long (fig.2a) montrant une déformation marquée et une recristallisation en points tri-

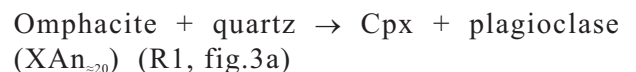
ples. Ces grenats sont systématiquement entourés de couronnes réactionnelles très sombres composées de kelyphites à hornblende, plagioclase ± clinopyroxène ± orthopyroxène.

En bordure de ces lentilles d'éclogites on peut rencontrer des amphibolites à grenat. L'ensemble de ces collines montre que les éclogites rétro-morphosées et les amphibolites sont intimement liées. En effet, on observe souvent les termes de passage entre éclogite et amphibolite, ce qui nous a mené à penser que les secondes dérivent des premières.

PÉTROLOGIE ET ANALYSE PARAGÉNÉTIQUE DES ÉCLOGITES RÉTRO-MORPHOSÉES DE LA RÉGION DE TI-N- EGGOLEH

L'étude pétrographique des éclogites décrites précédemment, a montré la présence de plusieurs assemblages minéralogiques qui ont été regroupés par micro-domaines réactionnels.

Dans les micro-domaines à clinopyroxène-plagioclase en symplectite, on observe des pyroxènes qui présentent des zonations parfaitement visibles (fig.3). En effet, la composition la plus sodique correspond à l'omphacite relictuelle qui n'est conservée qu'au cœur du clinopyroxène secondaire, pauvre en Na₂O et qui se développe en association symplectitique avec le plagioclase. Les textures réactionnelles observées suggèrent que l'omphacite, au contact du quartz (très souvent totalement consommé), a exsolvé le plagioclase permettant la croissance d'un clinopyroxène secondaire. Ainsi, les symplectites à clinopyroxène-plagioclase (fig.3a) sont le résultat de la réaction:



Les *grenats* se présentent sous forme de nombreux grains globulaires très souvent craquelés.

Dans ces micro-domaines à grenat, des textures réactionnelles sont toujours présentes. En effet, elles peuvent être coronitiques lorsque le grenat réagit avec le quartz ou symplectitiques lorsqu'il réagit avec le clinopyroxène omphacitique, le plagioclase et l'amphibole. L'ensemble de ces observations a permis de décrire les réactions suivantes (fig.3):

grenat + Cpx + plagioclase($XAn_{\approx 20}$) → amphibole + plagioclase($XAn_{\approx 40}$) (R2, fig.3b);

grenat + Cpx + plagioclase($XAn_{\approx 20}$) → amphibole + plagioclase($XAn_{\approx 60}$) + magnétite (R3, fig.3c);

grenat + quartz → Opx + plagioclase($XAn_{\approx 50}$) + Cpx (R4, fig.3d);

grenat + quartz → Opx + plagioclase($XAn_{\approx 70}$) (R5, fig.3e).

Le microscope électronique à balayage montre que les fissures du grenat renferment généralement un assemblage composé de rutile, ilménite, magnétite, spinelle et sphène. Cet assemblage est également observé dans l'amphibole mais aussi parmi les symplectites à clinopyroxène-plagioclase.

Dans les micro-domaines à amphiboles-orthopyroxènes, les amphiboles, très répandues, sont de formes et de taille variées car elles peuvent montrer différents stades de croissance qui vont d'un fin liseré entre les cristaux de clinopyroxène omphacitique jusqu'aux gros cristaux de quelques millimètres de large qui sont le produit de la réaction grenat-Cpx-plagioclase. L'amphibole peut être également une phase réactante. En effet, au contact du quartz, l'amphibole réagit et permet ainsi la croissance de symplectites à orthopyroxène-clinopyroxène-plagioclase (fig.3), selon la réaction:

amphibole + quartz → orthopyroxène + clinopyroxène + plagioclase($XAn_{\approx 70}$) + H₂O (R6, fig.3f).

Le report des différents équilibres que nous venons de décrire, dans un diagramme P-T qualitatif, permet de distinguer 5 stades métamorphiques, dans la région de Ti-N-Eggoleh (fig.4) avec le pic écolitique (stade 2), le stade amphibolitique (stade 3) et le stade qui correspond au faciès granulite (stade 4).

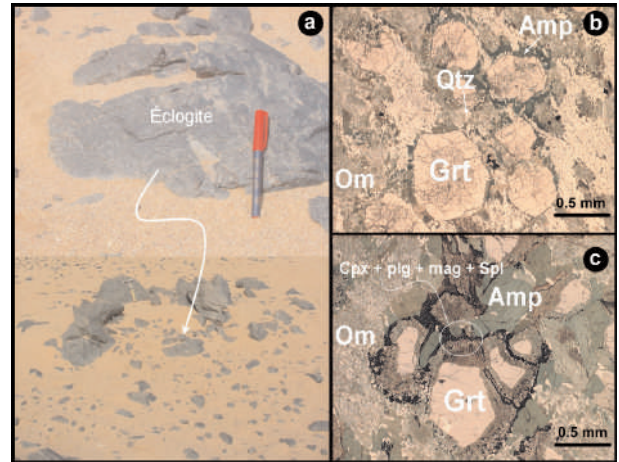


Fig. 2 (a) - Lentille d'éclogite préservée au cœur d'une amphibolite à grenat.

Eclogite lenses preserved in the bottom of an amphibolite with garnet.

(b). Microstructure à grenat-clinopyroxène-plagioclase-amphibole d'une éclogite. De grands cristaux de grenat sont entourés par des symplectites à clinopyroxène-plagioclase. Des cristaux d'amphibole se développent autour de l'omphacite, du grenat et de l'amphibole primaire.

Representative garnet-clinopyroxene-plagioclase-amphibole microstructure of the eclogite. Large garnet crystals surrounded by a clinopyroxene-plagioclase after omphacite. Crystals of amphibole have grown around garnet, omphacite and primary amphibole.

(c). Microstructure représentant la paragenèse à grenat-clinopyroxène-plagioclase-amphibole-magnétite-spinelle. De petits cristaux de magnétite-spinelle-amphibole se développent entre de larges cristaux de grenat et d'amphibole.

Representative microstructure of garnet-clinopyroxene-plagioclase-amphibole-magnetite-spinel. Small crystals of magnetite-spinel-amphibole grew at the interface between the large crystals of garnet and amphibole.

LES ÉCLOGITES GRANULITISÉES DE TI-N-EGGOLEH (TERRANE DU SÉROUËNOUT, HOGGAR CENTRAL):
ÉTUDE MÉTAMORPHIQUE ET CONSÉQUENCE GÉODYNAMIQUE.

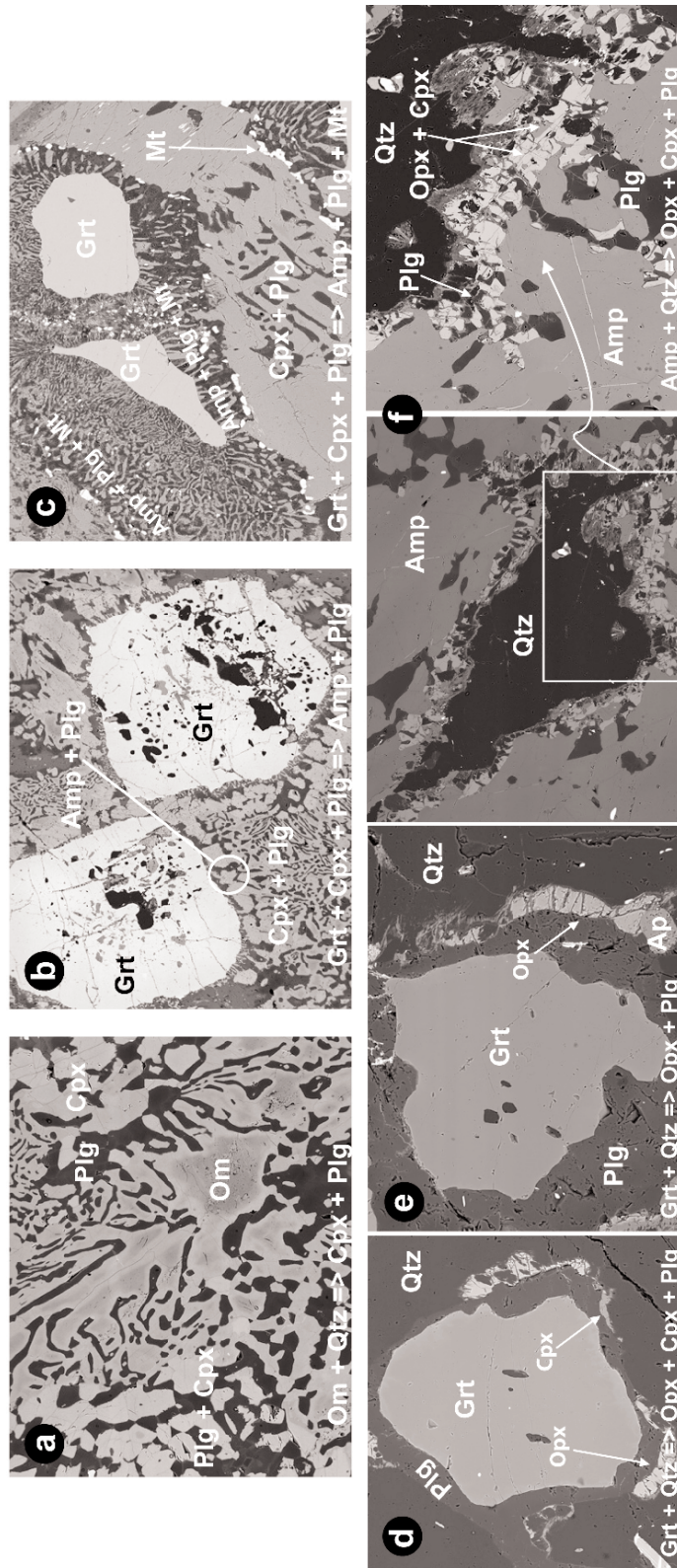


Fig.3 - Images MEB des réactions montrant le développement de différentes paragénèses, du pic de pression avec des reliques d'omphacite (a) entourées par les symplectites à clinopyroxène-plagioclase, au faciès amphibolite avec la réaction grenat + omphacite + H₂O \rightarrow amphibole + plagioclase. L'augmentation de la température permet le développement de l'orthopyroxène en couronne ou en intercroissance avec le plagioclase et le clinopyroxène, entre grenat-quartz et amphibole-quartz (d, e, f).

Reactionnal history from the SEM imagery showing different sequences of parageneses development from the pressure peak with omphacite relic (a) surrounded by clinopyroxene-plagioclase symplectite, to amphibolitic facies with : garnet + omphacite + H₂O \rightarrow amphibole + plagioclase reaction, and finally the temperature raising, which produced the development of orthopyroxene corona in intergrowth with plagioclase and clinopyroxene between garnet-quartz and amphibole-quartz boundaries (d, e, f).

Abréviations (Abbreviations) : Grt : grenat (garnet); Om : omphacite (omphacite); Amp : amphibole (amphibole); Cpx, clinopyroxène (clinopyroxene); Opx : orthopyroxène (orthopyroxene); Mt : magnétite (magnetite); Plg : plagioclase (plagioclase); Qtz : quartz (quartz).

COMPOSITION CHIMIQUE DES MINÉRAUX

Une étude ponctuelle à la microsonde électronique a été effectuée sur les différents minéraux dans le but de déterminer leur composition chimique. Les analyses quantitatives ont été entreprises grâce à la SX100 de l'université de Paris VII dans les conditions suivantes: voltage de 15kV et un courant image de 30 NA. Les analyses de toutes les phases sont représentées dans des tableaux I à IV (annexes).

Le grenat

Les analyses chimiques effectuées sur cette phase, révèlent des compositions peu diversifiées (tabl.I) avec une composition en alman-

din de 52 à 53%, en pyrope de 15 à 16% et en grossulaire de 24 à 27%. Les teneurs en andradite sont parfois appréciables et peuvent dépasser 2%. Le XMg varie de 0.23 à 0.24. D'après la classification de Taylor et Neal (1989), cette composition particulière permet au grenat de se projeter dans le domaine des éclogites de type C, caractéristique des zones de subductions (Coleman *et al.*, 1965; fig. 5a).

Une traversée du grenat a été réalisée dans le but de comprendre l'influence de la composition minéralogique du micro-domaine sur la composition du grenat. Ainsi, au contact des symplectites à amphibole-plagioclase, le grenat s'enrichit en almandin et grossulaire et s'appauvrit en pyrope (fig. 5b). Cette variation

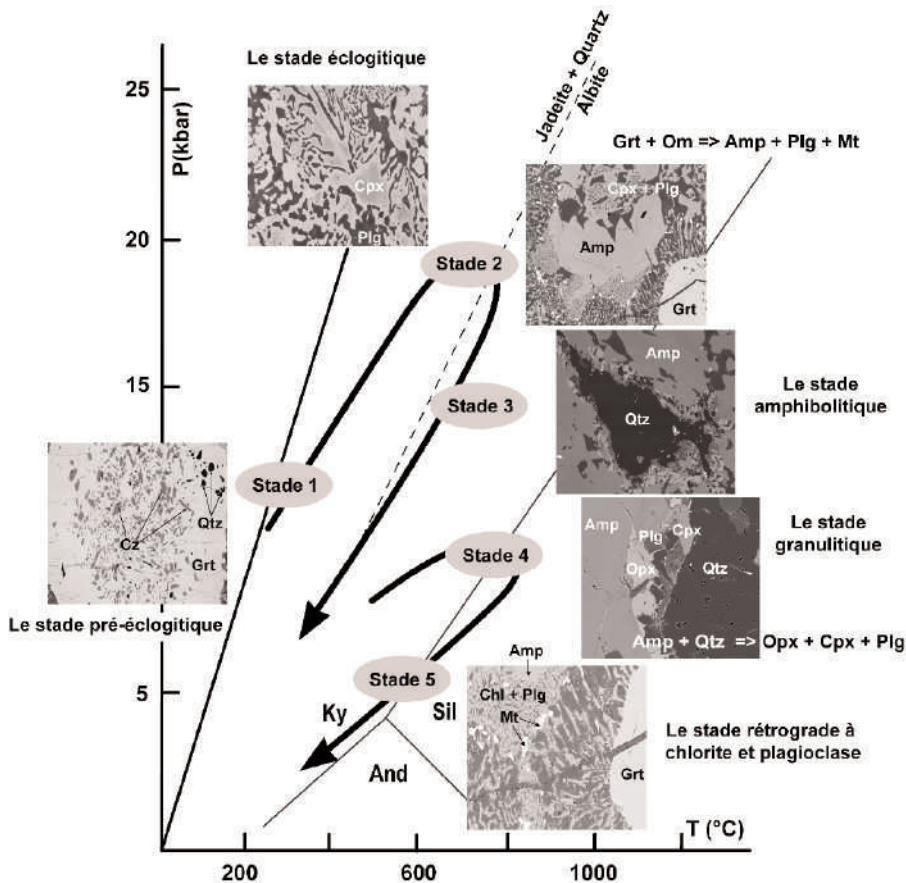


Fig.4 - Trajectoire P-T montrant la transition éclogite-amphibolite-granulite
P-T path showing the transition eclogite-amphibolite granulite.

LES ÉCLOGITES GRANULITISÉES DE TI-N-EGGOLEH (TERRANE DU SÉROUËNOUT, HOGGAR CENTRAL):
ÉTUDE MÉTAMORPHIQUE ET CONSÉQUENCE GÉODYNAMIQUE.

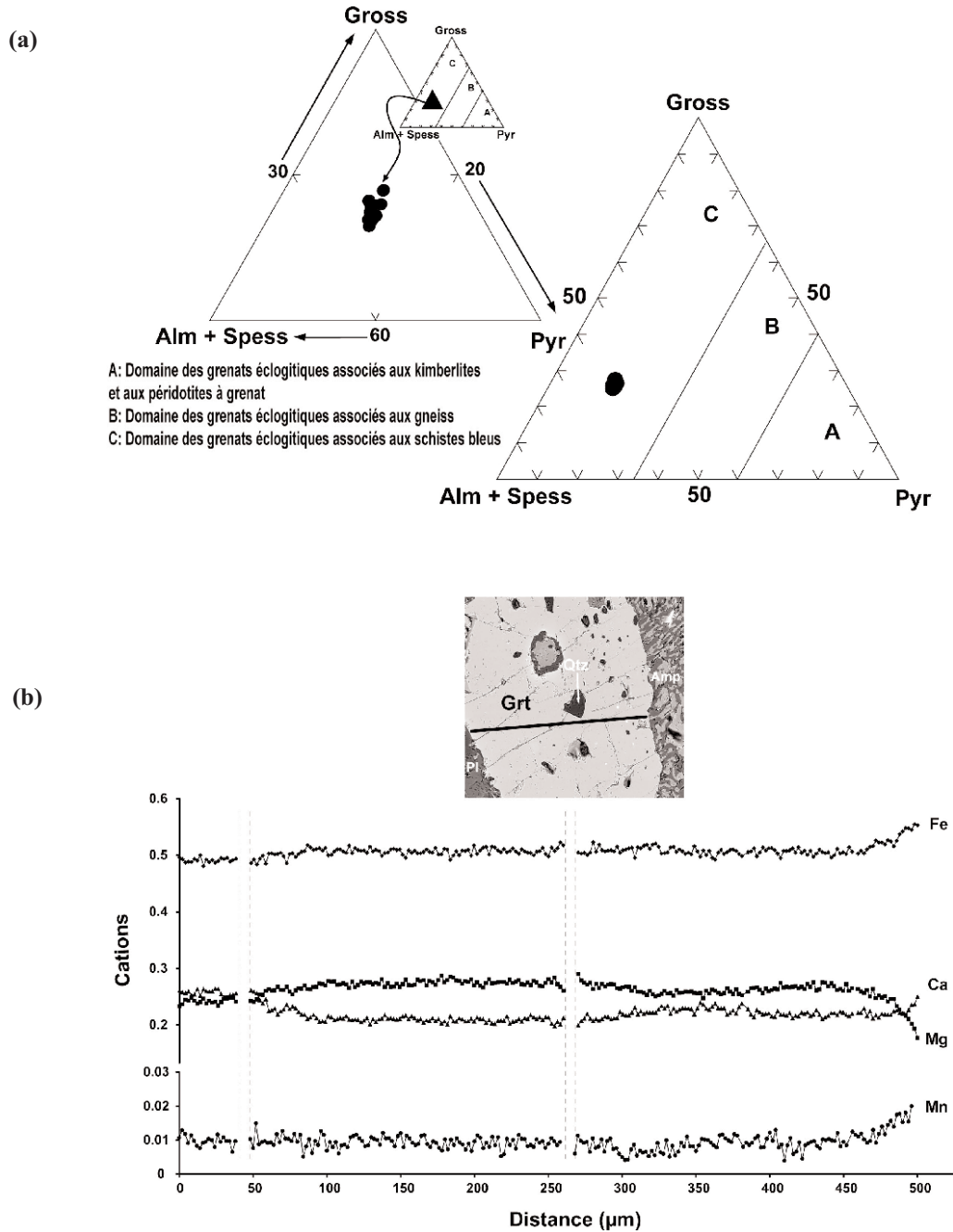


Fig.5(a) - Représentation de la composition du grenat dans le diagramme Grossulaire-Almandin+Spessartine-Pyrope d'après la classification de Taylor et Neal (1989)

Compositions of garnet in the Grossularite-Almandine+Spessartine-Pyrope diagram of Taylor & Neal (1989) classification.

(b). Composition d'une traversée effectuée sur un grenat.

Compositional profile of garnet.

peut aussi s'expliquer par les variations des conditions de pression et de température au cours de l'exhumation.

Le clinopyroxène

Les analyses du clinopyroxène permettent de distinguer deux types (tabl. II). Un clinopyroxène ($0.69 < X_{Mg} < 0.71$) riche en Na_2O (2.7-4.3 %), correspondant à une omphacite avec un maximum de 30 % en composante jadeïtite (fig. 6a) et un clinopyroxène beaucoup moins riche en Na_2O (0.18-0.76). Les pourcentages les plus élevés en jadeïtite sont analysés sur des omphacites qui exsolvent du plagioclase sodique (An_{10-20}). Cette omphacite appartenant au stade éclogitique est conservée uniquement au cœur des grandes lattes de clinopyroxène dont les bordures sont

rétroréformées en diopside-augite ($0.66 < X_{Mg} < 0.69$, fig.6b) de composition pauvre en Na_2O ($< 0.8\%$). Cette dernière est le produit de déstabilisation de l'omphacite suivant la réaction R_1 (omphacite + quartz \rightarrow Cpx + plagioclase). Le clinopyroxène issu de R_4 est une augite qui présente les rapports les plus bas en X_{Mg} (< 0.40 , fig.6b).

L'orthopyroxène

Les calculs stœchiométriques (tabl. II) permettent de projeter l'orthopyroxène dans le champ de la ferrosilite (fig. 7). L'intervalle assez large des compositions en terme de Mg et Fe ($0.26 < X_{Mg} < 0.49$) est lié au type de réaction dont elle est issue. La ferrosilite, issue de la réaction de déstabilisation du grenat en symplectites à Opx-plagioclase (R_5 grenat +

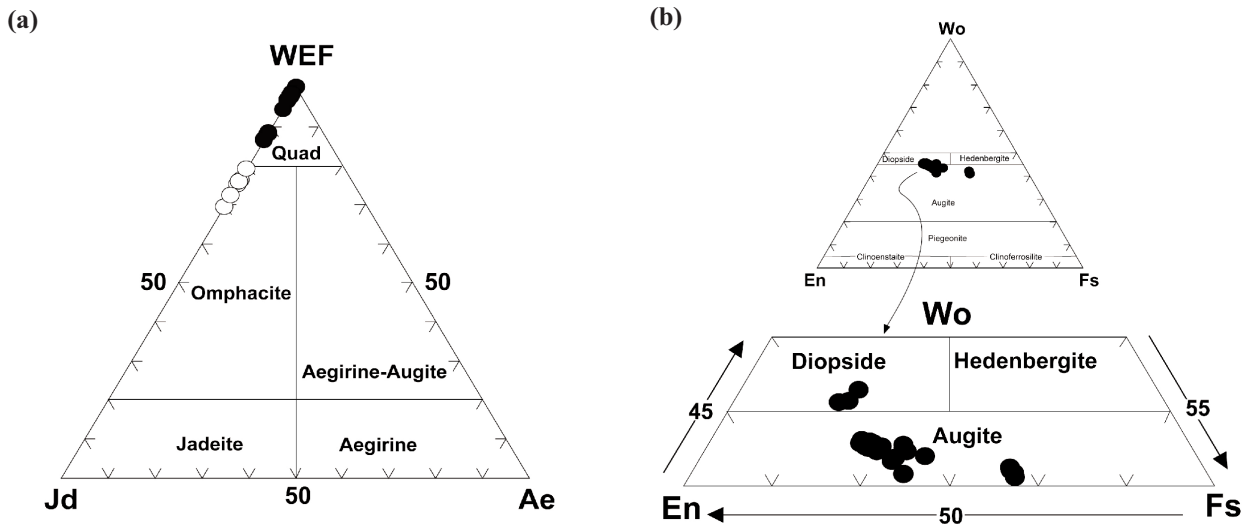


Fig.6(a) - Composition des clinopyroxènes, dans le diagramme (Wollastonite+Enstatite+Ferrosilite)-Jadeïtite-Aegirine de Morimoto (1988), montrant la variation de la composition de l'omphacite durant la transition vers le faciès amphibolite et granulite.

Clinopyroxene compositions in the (Wollastonite+Enstatite+Ferrosilite)-Jadeite-Aegirine diagram of Morimoto (1988) showing the composition variation of omphacite during the transition to the amphibolite and granulite facies.

(b) - Composition des clinopyroxènes dans le diagramme Wollastonite-Enstatite-Ferrosilite

Clinopyroxene composition in the Wollastonite-Enstatite-Ferrosilite diagram.

LES ÉCLOGITES GRANULITISÉES DE TI-N-EGGOLEH (TERRANE DU SÉROUËNOUT, HOGGAR CENTRAL):
ÉTUDE MÉTAMORPHIQUE ET CONSÉQUENCE GÉODYNAMIQUE.

quartz \rightarrow Opx + plagioclase($X_{An_{\approx 50}}$) est plus magnésienne ($X_{Mg} > 0.40$) que celle issue des symplectites à Opx-Cpx-plagioclase (R_4 Grenat + quartz \rightarrow Opx + plagioclase($X_{An_{\approx 50}}$) + Cpx) avec un $X_{Mg} < 0.30$.

L'amphibole

Les analyses d'amphiboles (tabl. III) ont été recalculées pour le Fe^{3+} et montrent une zonation depuis le cœur vers la bordure (fig.8). Le cœur des grains de couleur verte correspondent à des édenites selon la classification de Leake *et al.* (1997) avec des teneurs en Si > 6.60 et des teneurs en titane, faibles de l'ordre de 0.40%. En bordure, l'amphibole devient brune et s'enrichit en titane avec des teneurs qui peuvent atteindre 2%. Cette amphibole correspond à de la pargasite avec Si < 6.20 et $(Na+K)^A > 0.50$. Ces variations sont en relation avec la transition amphibolite-granulite.

Le plagioclase

La composition des plagioclases forment deux groupes, le premier de l'oligoclase à l'andésine, le second de la bytownite à l'anorthite (fig. 9, tabl. IV). Cette différence dans la composition est en relation avec les différentes générations de plagioclases distinguées. En effet,

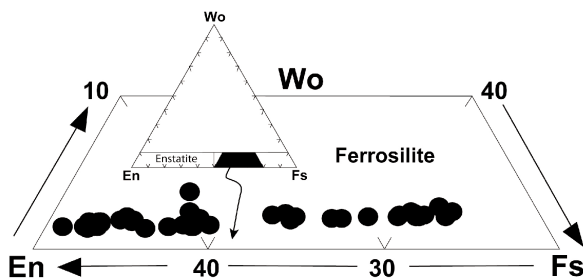


Fig. 7 - Composition des orthopyroxènes dans le diagramme Wollastonite-Enstatite-Ferrosillite

Orthopyroxene composition in the Wollastonite-Enstatite-Ferrosillite diagram.

les plagioclases exsolvés à partir de l'omphacite suivant R_1 sont de composition oligoclase-andésine alors que le plagioclase issu des réactions R_2 , R_3 , R_4 et R_6 correspondent à de l'anorthite-bytownite.

Conditions du métamorphisme et cheminement pression-température

Seule une étude thermodynamique fine des assemblages métamorphiques primaires, essentiellement à omphacite + grenat + quartz \pm plagioclase($X_{An_{10-20}}$) permet de quantifier les valeurs minimales de P et T atteintes lors du stade éclogitique qui correspond à la première apparition du plagioclase. De la même façon, c'est par l'étude des assemblages de déstabilisation liés à la décompression des paragenèses éclogitiques, le plus souvent sous forme de symplectites très fines autour des grenats et des omphacites, que l'on peut reconstituer le cheminement P-T qui a conduit à la remontée

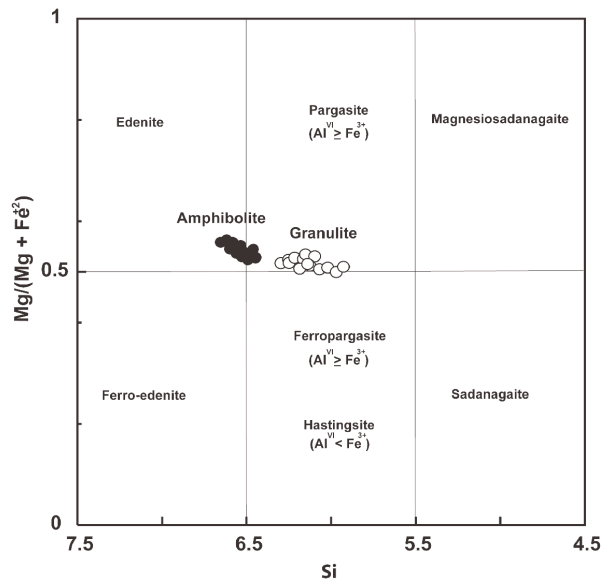


Fig. 8 - Diagramme de classification des amphiboles d'après Leake *et al.* (1997).

*Classification diagram of amphiboles according to Leake *et al.* (1997).*

de ces éclogites des grandes profondeurs, donc aux modalités de leur exhumation; les assemblages secondaires, amphibolitiques, sont en général composés de grenat, d'amphibole, de plagioclase et de quartz. Cette paragenèse est suivie d'un métamorphisme granulitique représenté par une paragenèse à grenat, clinopyroxène, orthopyroxène, plagioclase. Ces conditions vont permettre d'affiner le cheminement P-T que nous venons de mettre en évidence grâce aux équilibres reportés dans cette étude et de retracer l'histoire métamorphique de ces roches depuis le stade de l'enfouissement jusqu'à l'exhumation.

A partir des calculs réalisés par le logiciel THERMOCALC, l'estimation pression-température des éclogites montrant une succession paragenétique développée à différents moments de l'histoire est montrée sur la figure 10 et détaillée ci-dessous:

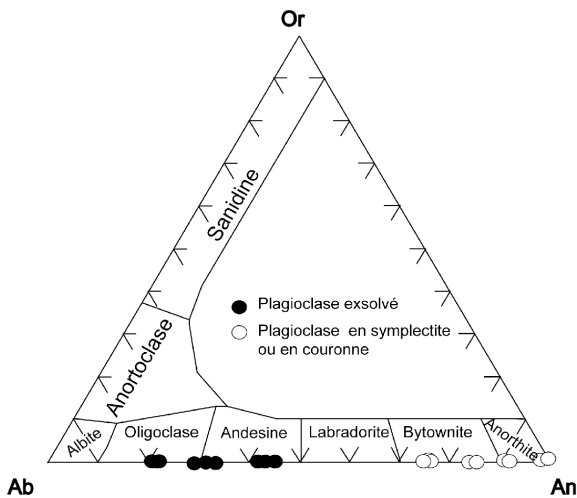


Fig. 9 - Composition des plagioclases dans le diagramme orthoclase-albite-anorthite. Les plagioclases de type albite s'exsolvent à partir du clinopyroxène primaire, alors que les plagioclases de type anorthite sont observés en couronne ou en symplectites avec le clinopyroxène.

Plagioclase composition in the orthoclase-albite-anorthite diagram. Plagioclase with high albite content has been exsolved from primary clinopyroxene, whereas the highest anorthite content are observed in the corona or in symplectite with the clinopyroxene

Les assemblages primaires : Le pic du métamorphisme

La conservation de micro-domaines à omphacite dans les éclogites est indicatrice d'un pic de métamorphisme dans des conditions de haute pression. Le logiciel THERMOCALC a permis d'estimer ces conditions à une température de $650 \pm 50^\circ\text{C}$ et une pression de 16.8 ± 0.48 kbar en utilisant les estimations des

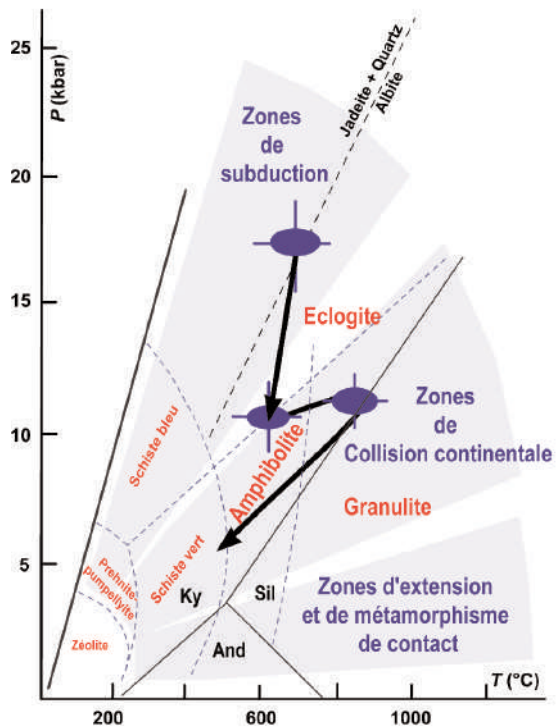


Fig. 10 - Trajectoire P-T montrant les conditions de métamorphisme des éclogites de la région de Ti-N-Eggoleh. Cette trajectoire est en accord avec un gradient géothermique bas. Le diagramme montre également la relation entre les différents faciès métamorphiques et les processus géodynamiques.

P-T path showing estimated metamorphic conditions for eclogite from Ti-N-Eggoleh area. This P-T path is in accordance with a low geothermal gradient. The diagram shows also the different metamorphism facies and the relation between metamorphism and geodynamical processes.

activités des pôles jadéite, diopside et hédénbergite dans les clinopyroxènes de type omphacite et des pôles pyrope, grossulaire et almandin dans les grenats en équilibre avec le quartz et le rutile calculé d'après Holland et Powell (programme ax, non publié, tabl. V a; en annexe).

L'exhumation des éclogites : le stade amphibolite à grenat

L'amphibolitisation des roches se fait lors d'une décompression, au cours d'un événement rétrograde, qui atteint des conditions de bas grade, comme en témoignent les symplectites à hornblende-plagioclase (tabl. V b; en annexe), qui se développent autour des assemblages à grenat-omphacite. Ces paragenèses révèlent des températures de $600 \pm 40^\circ\text{C}$ et des pressions de 10.5 ± 1 kbar.

Les assemblages progrades : la transition amphibolite → granulite

La croissance de l'orthopyroxène en couronne autour de l'amphibole suggère une élévation de la température, avec des conditions qui coïncident avec le faciès granulite (tabl. V c, en annexe). La zonation des amphiboles traduit elle aussi cette augmentation de la température. Ainsi, l'effet thermique est venu se superposer au métamorphisme amphibolitique, pendant l'exhumation des éclogites. Les conditions approximatives obtenues, par l'application de la méthode "average P-T" de THERMOCAL, sont de l'ordre de $813 \pm 60^\circ\text{C}$ et 11 ± 1 kbar.

CONCLUSION

Le terrane du Sérouënout (Hoggar central) montre des vestiges d'une ancienne croûte océanique (serpentinites, carbonates, basaltes océaniques) entraînée dans des zones de subduction, dont les témoins pourraient être les éclogites. Ces éclogites se trouvent en accordance

métamorphique avec un encaissant de type "white schist", où se développe, en équilibre, l'association de haute pression à talc-disthène-quartz (Adjerid et *al.*, 2006).

La région de Ti-N-Eggoleh, qui a subi un métamorphisme de haut grade, montre un cheminement pression-température complexe. En effet, toutes les réactions décrites dans cette étude ont eu lieu à différents stades métamorphiques caractérisés par des conditions P-T très variées impliquant une évolution géodynamique particulière. Aussi, il était impossible de retracer un cheminement pression-température simple et unique comme cela a été proposé pour les éclogites d'autres régions du Hoggar (Liégeois et *al.*, 2003; Zetoutou et *al.*, 2004; Boubazine-Benhalla, 2007; Berger, 2008). Toutes les observations effectuées dans la région peuvent être interprétées de deux façons différentes:

1. Deux cycles orogéniques séparés dans le temps, avec un premier cycle qui montre l'exhumation des éclogites vers le faciès amphibolite; un arrêt dans le temps de l'exhumation suivi par un second cycle qui explique le passage amphibolite-granulite.
2. Un seul cycle orogénique avec deux étapes où la première étape correspond à l'enfouissement le long des zones de subduction des basaltes et des cortèges océaniques jusqu'à l'éclogitisation qui correspond pour une pression de 17 kbar et une température de 600°C (fig. 10) à une profondeur de 50-60 km. Ce stade est caractérisé par la stabilité de l'omphacite (30% en composante jadéitique) avec le grenat. Les reliques de l'omphacite sont préservées aux cœurs des clinopyroxènes secondaires, ayant pris naissance lors de l'amphibolitisation de ces éclogites, pendant un stade de rétro-morphose qui s'est fait dans les conditions du faciès amphibolite. La seconde étape syn-collisionnelle correspond à l'exhumation rapide des éclogites le long des zones de cisaillement par

l'amphibolitisation des éclogites suite à un gradient géothermique bas ($15^{\circ}\text{C}/\text{km}$) typique des zones de subduction. Au cours du stade post-collisionnel, une délamination de la lithosphère et une remontée de l'asthénosphère induit un transfert de chaleur vers les éclogites amphibolitisées qui se transforment en granulites.

Une étude géochronologique fine devrait permettre de mieux contraindre la trajectoire pression-température-temps si particulière de la région de Ti-N-Eggoleh. Toutefois, une étude comparative des éclogites et des granulites du Hoggar permet de mieux appréhender les conséquences géodynamiques d'un tel cheminement.

(i) Les roches océaniques, éclogitiques ou non, datées dans le bouclier touareg sont toutes dans l'intervalle 750-650 Ma: Tilemsi (730-700 Ma; Caby et Andreopoulous-Renaud, 1987), Tin Begane (680 Ma; Liégeois et *al.*, 2003), Eberjigui-Aouzegueur (660 Ma; Liégeois et *al.*, 1994), ces phases d'accrétion océaniques précèdent la collision principale panafricaine. Il est donc raisonnable d'attribuer cette fourchette d'âge à Ti-N-Eggoleh.

(ii) La reprise granulitique de haute température d'un métamorphisme antérieur de plus haut degré est connu ailleurs au Hoggar, même si ce métamorphisme est différent: il s'agit de la reprise du métamorphisme éburnéen granulitique de Tidjenouine (900°C , 8 kbar) par un autre épisode métamorphique granulitique panafricain (700°C , 3.5 kbar) et daté à 614 Ma, âge des grands batholites panafricains (Bendaoud et *al.*, 2008). Aux valeurs de pression – température près, la problématique est la même. Il est donc également raisonnable de proposer que le réchauffement granulitique est également de l'âge des batholites et donc de la phase transpressive post-collisionnelle. Ti-N-Eggoleh étant sur une limite de terrane, la remontée transpressive a été plus importante qu'à Tidjenouine et la plus haute température peut effectivement

s'expliquer par la délamination linéaire de la lithosphère se faisant le long des grandes zones de cisaillement (permettant la remontée de l'asthénosphère et la remontée du degré géothermique) et également à l'origine des batholites panafricains (Liégeois et *al.*, 2003). L'épisode éclogitique correspondrait ainsi à la subduction, l'amphibolitisation à l'accrétion de l'assemblage de Ti-N-Eggoleh sur le LATEA et la reprise granulitique à la phase post-collisionnelle affectant l'ensemble du LATEA déjà mise en évidence à Tidjenouine (Bendaoud et *al.*, 2008)

Remerciements : Nous tenons à remercier les Professeurs Jean-Paul Liégeois et Aziouz Ouabadi pour leurs suggestions pertinentes. Les travaux de terrain dans la région de Ti-N-Eggoleh ont pu être menés grâce à l'assistance inestimable de Farid Ighilahriz, Directeur de l'OPNA. Cette publication est une contribution au projet CNRS-PICS «Architecture lithosphérique et dynamique du manteau sous le Hoggar», au projet TASSILI «Architecture et évolution du Bouclier Touareg: le rôle des grands accidents lithosphériques» et au projet CNEPRU «Géodynamique des terrains métamorphiques du Hoggar».

BIBLIOGRAPHIE

- ADJERID, Z., DERRIDJ, A., OUZEGANE, K., KIENAST, J.R. ET GODARD, G. 2006. Le terrane du Sérouenout (LATEA, Hoggar central): vestiges d'une ancienne croûte océanique. *Fourth meeting of IGCP 485-USTHB, Algiers, Algeria*, 2-3 December 2006.
- AZZOUNI-SEKKAL, A., LIÉGEOIS, J. P., BECHIRI-BENMERZOUG, F., BELAIDI-ZINET, S. AND BONIN, B. 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, pp. 331-350.
- BENDAOU, A., OUZEGANE, K., GODARD, G., LIÉGEOIS, J.P., KIENAST, J.R., BRUGUIER, O. AND DRARENI, A. 2008. Geochronology and metamorphic P-T-X evolution of the Eburnean granulite-facies metapelites of Tidjenouine (Central Hoggar, Algeria): witness of the LATEA metacratonic evolution. *The Geological Society of London*, special Publications, 297, pp. 111-146.

LES ÉCLOGITES GRANULITISÉES DE TI-N-EGGOLEH (TERRANE DU SÉROUËNOUT, HOGGAR CENTRAL):
ÉTUDE MÉTAMORPHIQUE ET CONSÉQUENCE GÉODYNAMIQUE.

- BERGER, J. 2008.** Les associations de roches basiques - ultrabasiques néoprotérozoïques d'Amalaoulou (Gourma, Mali), du Tassendjanet (Hoggar occidental, Algérie) et cénozoïques du Saghro (Anti-Atlas, Maroc): témoins de l'évolution géodynamique de la ceinture péri-cratonique ouest-africaine. *Thèse de doctorat. Université Libre de Bruxelles*, 404p.
- BERTRAND, J.M., CABY, R., DUCROT, J., MOUSSINE-POUCHKINE, A. AND SAADALLAH, A. 1978.** The late Pan-African intra-continental linear fold belt of the Eastern Hoggar (central Sahara, Algeria): geology, structural development, U/Pb geochronology, tectonic implications for the Hoggar Shield. *Precambrian Research*, 7, pp. 349-376.
- BLACK, R., LATOUCHE, L., LIÉGEOIS, J.P. AND BERTRAND, J.M. 1994.** Pan-African displaced terranes in the Tuareg shield (Central Sahara). *Geology* 22, pp. 641-644.
- BOUBAZINE-BENHALA, S. 2007.** Le métamorphisme de haute pression de la région de Tahifet, Hoggar central. Algérie. *Thèse de Magister. USTHB*.
- BOUGHRARA, M. 1999.** Analyse pétrologique et géochronologique de la région de Tin Begane (Hoggar central, Algérie): un exemple de la datation d'une série métamorphique en contexte polycyclique. *Thèse de Doctorat du Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris*. 361p.
- CABY, R. ET ANDREOPOULOUS-RENAUD, U. 1987.** Le Hoggar oriental, bloc cratonisé à 730 Ma dans la chaîne panafricaine du Nord du continent africain. *Precambrian Research*, 36, pp. 335-344.
- CABY, R. 2003.** Terrane assembly and geodynamic evolution of Central-Western Hoggar: a synthesis. *Journal of African Earth Sciences*, 37, pp. 133-159.
- COLEMAN, R. G., BEATTY, L. B. AND BRANNOCK, W. W. 1965.** Eclogites and eclogites: their differences and similarities. *Geological Society of America, Bulletin*, 76, pp. 483-508.
- DERRIDJ, A., GODARD, G., ADJERID, Z., OUZEGANE, K. AND KIENAST, J.R. 2007.** Eclogite from the Serouenout Terrane (Central Hoggar, Algeria): Evidence for two Precambrian orogenic cycles. *International eclogite field symposium, Scotland*. 29 Juin-7 Juillet 2007. pp. 22-23
- FETTOUS, E. H. 2001.** Les cisaillements lithosphériques en conditions anhydres et hydratées :Exemples au Hoggar-Algérie. *Thèse de Magister, USTHB, Alger*, 200p.
- LEAKE, B. E., WOOLLEY, A. R., ARPS, C. E. S., BIRCH, W. D., GILBERT, M. C., GRICE, J. D., HAWTHORNE, F.C., KATO, A., KISCH, H. J., KRIVOVICHEV, V. G., LINTHOUT, K., LAIRD, J., MANDARINO, J., MARESCH, W. V., NICKEL, E. H., ROCK, N. M. S., SCHUMACHER, J. C., SMITH, D. C., STEPHENSON, N. C. N., UNGARETTI, L., WHITTAKER, E. J. W. AND YOUZHI, G. 1997.** Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. *Mineralogical Magazine*, 61, pp. 295-321.
- LIÉGEOIS, J. P., BLACK, R., NAVEZ, J AND LATOUCHE, L. 1994.** Early and late Pan-African orogenies in the Aïr assembly of terranes (Tuareg shield, Niger). *Precambrian Research*, v. 67, pp. 59-88
- LIÉGEOIS, J. P., LATOUCHE, L., BOUGHRARA, M., NAVEZ, J. AND GUIRAUD, M. 2003.** The LATEA metacraton (Central Hoggar, Tuareg shield, Algeria): behaviour of an old passive margin during the Pan-African orogeny. *Journal of African Earth Sciences*, 37, pp. 161-190.
- MORIMOTO, N. 1988.** Nomenclature of pyroxenes. *Mineralogical Magazine*, 52, pp. 535-550.
- SAUTTER, V. 1983.** Les éclogites et les amphibolites à grenat des terrains précambriens de l'Aleksod: leur signification dans le cadre de l'orogénèse panafricaine. *Thèse Doct. Univ. de Paris VI*. 165p.
- TAYLOR, L.A. AND NEAL, C.R. 1989.** Eclogites with oceanic crustal and mantle signature from Bellsbank Kemberlite, South Africa. Part I: mineralogy, petrography, and whole rock chemistry. *Journal of Geology*, 97, pp. 551-567.
- ZETOUTOU, S., OUZEGANE, K., BOUBAZINE, S. AND KIENAST, J.R. 2004.** Azrou N' Fad (central Hoggar, Algeria) one of the deepest terranes of LATEA:arguments based on P-T evolution in eclogites. *Journal of African Earth Sciences*, 39, pp. 193-200.

Tableau I - Analyses représentant la composition chimique des grenats.
Representative analyses of the chemical composition of garnet.

Echantillon Minéral	Tig.245		Tig.245		Tig.245		Tig.245		Tig.245		Tig.245		Tig.245		Tig.245		Tig.245							
	Grt		Grt		Grt		Grt		Grt		Grt		Grt		Grt		Grt							
SiO ₂	38.89		38.88		38.63		38.58		38.66		38.78		38.67		38.81		38.29		38.93		38.63		38.51	
TiO ₂	0.11		0.07		0.13		0.1		0.15		0.11		0.09		0.11		0.16		0.1		0.11		0.11	
Al ₂ O ₃	21.82		21.62		21.77		21.44		21.64		21.43		21.55		21.66		21.55		21.61		21.58		21.74	
FeO	24.71		24.54		25.11		24.7		24.93		24.62		24.48		24.82		24.57		24.72		24.41		24.77	
MnO	2.15		2.08		2.07		2.29		2.15		2.36		1.74		1.87		1.96		2.06		1.99		2.16	
MgO	4.29		4.21		4.2		4.20		4.23		4.16		4.11		4.26		4.18		4.17		4.33		4.25	
CaO	9.62		9.51		9.62		9.55		9.63		9.61		9.9		9.85		9.77		9.63		9.6		9.52	
Na ₂ O	0.04		0.03		0.03		0.01		0.02		0.04		0.02		0.03		0.00		0.00		0.02		0.01	
Total	101.62		100.95		101.56		100.87		101.4		101.11		100.56		101.41		100.47		101.23		100.48		101.07	
											Cations													
Si	2.993		3.014		2.979		2.996		2.986		3.004		3.008		2.994		2.983		3.012		2.989		2.983	
Ti	0.006		0.004		0.007		0.006		0.009		0.006		0.005		0.007		0.009		0.006		0.005		0.007	
Al	1.979		1.974		1.977		1.961		1.968		1.955		1.974		1.967		1.978		1.969		1.979		1.983	
Fe ²⁺	1.569		1.591		1.57		1.574		1.571		1.571		1.593		1.57		1.571		1.599		1.576		1.57	
Fe ³⁺	0.022		0.000		0.049		0.031		0.039		0.024		0.000		0.031		0.03		0.000		0.031		0.034	
Mg	0.493		0.487		0.483		0.487		0.487		0.48		0.476		0.49		0.485		0.481		0.489		0.491	
Mn	0.14		0.136		0.135		0.151		0.141		0.155		0.115		0.122		0.13		0.135		0.127		0.142	
Ca	0.793		0.79		0.795		0.794		0.797		0.798		0.825		0.814		0.816		0.798		0.801		0.79	
Na	0.006		0.004		0.004		0.001		0.003		0.006		0.003		0.005		0.000		0.001		0.003		0.001	
Cations	8		8		8		8		8		8		8		8		8		8		8		8	
Alm	52.28		52.88		52.56		52.34		52.4		52.19		52.88		52.33		52.36		53.06		52.58		52.45	
And	1.1		0.00		2.44		1.54		1.96		1.23		0.00		1.54		1.51		0.00		1.54		1.68	
Gross	25.35		26.25		24.16		24.89		24.62		25.28		27.39		25.58		25.69		26.48		25.2		24.71	
Pyr	16.42		16.18		16.17		16.19		16.24		15.95		15.82		16.33		16.17		15.96		16.32		16.39	
Spes	4.67		4.54		4.53		5.01		4.7		5.15		3.81		4.07		4.32		4.49		4.25		4.73	
Ouv	0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00	
XMg	0.24		0.23		0.24		0.24		0.24		0.23		0.23		0.24		0.24		0.23		0.24		0.24	

Tableau III - Analyses représentant la composition chimique des amphiboles.
Representative analyses of the chemical composition of amphibole.

Echan-Minéral	Tig.245 Amp	Tig.245 Amp	Tig.245 Amp	Tig.245 Amp	Tig.245 Amp	Tig.245 Amp	Tig.245 Amp	Tig.245 Amp	Tig.245 Amp	Tig.245 Amp	Tig.245 Amp	Tig.245 Amp
SiO ₂	39.42	39.22	39.16	40.84	39.82	43.5	45.58	45.48	45.22	45.44	45.14	43.7
TiO ₂	0.16	0.12	0.18	0.27	0.14	0.54	0.42	0.49	0.52	0.49	0.49	0.55
Al ₂ O ₃	16.94	16.58	16.84	14.9	15.26	12.93	11.08	10.64	10.49	10.48	11.00	12.26
FeO	17.98	18.08	18.19	17.46	17.49	15.36	15.38	14.94	14.86	14.98	14.91	15.28
Cr ₂ O ₃	0.01	0.01	0.07	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.05	0.07	0.00
MnO	0.1	0.07	0.01	0.04	0.11	0.00	0.03	0.00	0.00	0.02	0.06	0.00
MgO	9.29	9.4	9.33	10.26	9.97	10.69	11.72	11.89	11.82	11.79	11.5	11.32
CaO	10.03	10.25	10.23	9.93	10.05	9.92	9.74	9.71	9.75	9.98	9.75	10.07
Na ₂ O	2.93	2.84	2.78	2.94	2.92	3.26	3.19	3.27	3.23	3.24	3.23	3.4
K ₂ O	0.49	0.52	0.53	0.43	0.5	0.55	0.47	0.47	0.44	0.51	0.52	0.54
Total	97.35	97.09	97.32	97.08	96.26	96.78	97.61	96.89	96.33	96.98	96.67	97.12
						Ca-						
TSi	5.96	5.941	5.917	6.177	6.08	6.62	6.855	6.891	6.889	6.885	6.865	6.622
TAI	2.04	2.059	2.083	1.823	1.92	1.38	1.145	1.109	1.111	1.115	1.135	1.378
TFe ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TTi	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total_T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
CAI	0.976	0.899	0.914	0.832	0.823	0.937	0.817	0.789	0.771	0.755	0.835	0.809
CCr	0.001	0.001	0.008	0.001	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.006	0.008	0.000
CFe ³⁺	0.073	0.196	0.203	0.000	0.103	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CTi	0.018	0.014	0.02	0.031	0.016	0.062	0.048	0.056	0.06	0.056	0.056	0.063
CMg	2.094	2.123	2.102	2.314	2.269	2.425	2.628	2.686	2.684	2.663	2.607	2.557
CFe ²⁺	1.838	1.767	1.753	1.823	1.788	1.572	1.508	1.469	1.485	1.521	1.493	1.571
CMn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CCa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total_C	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
BMg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BFe ²⁺	0.362	0.327	0.343	0.386	0.342	0.383	0.427	0.424	0.409	0.377	0.404	0.365
BMn	0.013	0.009	0.001	0.005	0.014	0.000	0.004	0.000	0.000	0.003	0.008	0.000
BCa	1.625	1.664	1.656	1.609	1.644	1.617	1.569	1.576	1.591	1.62	1.589	1.635
BNa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total_B	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ACa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ANa	0.859	0.834	0.814	0.862	0.864	0.962	0.93	0.961	0.954	0.952	0.953	0.999
AK	0.095	0.1	0.102	0.083	0.097	0.107	0.09	0.091	0.086	0.099	0.101	0.104
Total_A	0.95	0.94	0.92	0.95	0.96	1.07	1.02	1.05	1.04	1.05	1.05	1.10
Cations	15.95	15.94	15.92	15.95	15.96	16.07	16.02	16.05	16.04	16.05	16.053	16.103
XMg	0.49	0.5	0.5	0.51	0.52	0.55	0.58	0.59	0.59	0.58	0.58	0.57

Tableau V a - Estimations de P et T à partir des activités des phases grenat, plagioclase, omphacite et quartz.*Estimations of P and T with end-member in garnet plagioclase, omphacite and quartz*

	py	gr	alm	an	ab	di	hed	jd	q
				P	T				
				16.8 kbar	650°C				
a	0.0570	0.0190	0.0730	0.160	0.800	0.460	0.110	0.300	1.00
sd(a)/a	0.15000	0.16126	0.15000	0.07056	0.05000	0.05000	0.10000	0.050	0

Tableau V b - Estimations de P et T à partir des activités des phases grenat, plagioclase, amphibole et quartz..*Estimations of P and T with end-member in garnet, plagioclase, amphibole and quartz.*

	py	gr	alm	an	ab	fact	ts	parg	gl	q	H2O
						P	T				
						10.5 kbar	600°C				
a	0.00470	0.0460	0.130	0.680	0.470	0.00220	0.00190	0.0300	0.00136	1.00	1.00
sd(a)/a	0.20791	0.15000	0.15000	0.05000	0.05000	0.25000	0.45883	0.20000	0.54193	0	0

Tableau V c - Estimations de P et T à partir des activités des phases grenat, plagioclase, orthopyroxène, clinopyroxène et quartz.*Estimations of P and T with end-member in garnet, plagioclase, orthopyroxene, clinopyroxene and quartz.*

	py	gr	alm	an	di	cats	en	fs	mgts	q
					P	T				
					11 kbar	813°C				
a	0.00730	0.0280	0.670	0.620	0.230	0.0400	0.0700	0.400	0.00530	1.00
sd(a)/a	0.19490	0.15000	0.15000	0.05000	0.05929	0.25000	0.14286	0.10000	1.88679	0