

CHRONOLOGIE DES INJECTIONS MAGMATIQUES D'IN TÉRIA (ILLIZI, ALGÉRIE) : MISE EN ÉVIDENCE D'UN ÉPISODE KIMBERLITIQUE.

Sid Ali KECHID* et M'Hamed MEGARTSI*

RÉSUMÉ

Sur une grille pétrogénétique, diverses données concernant les domaines subsolidus des paragenèses mantelliques, les solidus des roches ultramafiques ainsi que les courbes expérimentales limitant les domaines des magmas alcalins sont recoupées avec les données thermobarométriques propres à la région d'In Téria et les données sur les géothermes des régions sahariennes (Hoggar, Tassili, Plate-forme saharienne). Le magmatisme alcalin polyphasé d'In Téria peut être ainsi appréhendé depuis la formation de kimberlites probables jusqu'aux dernières émissions mélilitiques (épisode mélilitique II), en passant par les épisodes mélilitique I et carbonatitique; l'évolution de la lithosphère peut être aussi estimée depuis un stade de lithosphère épaisse (stade cratonique, épisode kimberlitique ; $P \geq 150$ km) jusqu'à un stade d'amincissement lithosphérique (épisode mélilitique II; $P \leq 50$ km). Ces quatre épisodes magmatiques traduisent une longue période d'érosion thermique, qui a été principalement marquée par la cristallisation, à partir de magmas de composition kimberlitique ou mélilitique, de pyroxénites alcalines abondantes.

Probablement lié à l'ouverture de l'océan atlantique, ce volcanisme représenterait au Sahara une manifestation de la période de « magmatisme global » mésozoïque-cénozoïque. A l'échelle de l'Afrique du NW, le plus grand volume de laves alcalines, qui s'est épanché durant le Cénozoïque, montre une distribution spatiale et chronologique qui tend à accréditer plutôt l'hypothèse de l'intrusion de points chauds que celle d'une remontée asthénosphérique. Sous les Tassili N'Ajjer, ce sont les données de géophysique qui ont mis en évidence l'existence de fortes anomalies thermiques liées au passage d'un point chaud, selon une direction E-W à ENE-WSW (axe Illizi-In Salah), qui serait conforme aux directions mésozoïques relevées dans le Hoggar voisin ou au sein même de la Plate-forme saharienne. Si, à In Téria les ultimes manifestations mélilitiques (II) ont eu lieu au Quaternaire tardif, la venue antérieure et discrète de probables kimberlites, pourrait remonter au Crétacé, bien avant la période principale d'extension cénozoïque, qui a vu la formation de nombreuses pyroxénites alcalines, représentant plus de 70 % des xénolites ultramafiques récoltés dans les cratères de ce district.

Mots clés - Grille pétrogénétique - Paragenèses mantelliques - Magmatisme alcalin - Point chaud.

* Laboratoire de Métallogénie et de Magmatisme de l'Algérie, FSTGAT-USTHB. BP. 32 El Alia, Bab Ezzouar, Alger, Algérie.

E-mail : kechidsa3@yahoo.fr; m megartsi @ hotmail. com.

- Manuscrit déposé le 08 Juin 2008, accepté après révision le 20 Décembre 2008.

CHRONOLOGY OF IN TERIA (ILLIZI, ALGERIA) MAGMATIC INJECTIONS: HIGHLIGHTING OF A KIMBERLITIC EPISODE.

ABSTRACT

On a petrogenetic grid, various data concerning subsolidus fields of mantellic parageneses, ultramafic rocks solidi as well as experimental curves limiting the fields of alkaline magmas are recut with thermobarometric data suitable for In Teria and data on géotherms for Saharan areas (Hoggar, Tassilis, Saharan Plateforme). The polyphased alkaline magmatism of In Téria can be thus apprehended since the probable kimberlite formation until the last melilitic emissions (melilitic II episode), while passing by the melilitic I and carbonatitic episodes; the evolution of the lithosphere can be also estimated since a stage of thick lithosphere (cratonic stage, kimberlitic episode; $P \geq 150$ km) until a stage of lithospheric thinning (melilitic II episode; $P \leq 50$ km). These four magmatic episodes translate a long period of thermal erosion, which was marked by the crystallization, from magmas of kimberlitic or melilitic composition, of abundant alkaline pyroxenites.

Probably related to the opening of the Atlantic Ocean, this volcanism would represent in the Sahara a manifestation of the Mesozoic-Cenozoic «global magmatism» period. On the North-Western Africa, the greatest volume of alkaline lava, which was erupted during the Cenozoic, shows a space and chronological distribution which tends to rather accredit the hypothesis of a hot-spot intrusion than that of an asthenospheric upwelling. Under the Tassili N'Ajjer, geophysical data show the existence of strong thermic anomalies related to the passage of a hot-spot, according to an E-W to ENE-WSW direction (Illizi-In Salah axis), which would be in conformity with the Mesozoic directions raised in the close Hoggar or even in the Saharan Platform. If in In Téria the ultimate melilitic (II) emissions took place during late Quaternary, the former and discrete arrival of probable kimberlites, would have taken place during the Cretaceous, before the main period of the Cenozoic extension, which saw the formation of many alkaline pyroxenites, which represent more than 70 % of ultramafic xenoliths collected in the craters of this district.

Keywords – Petrogenetic grid - Mantle paragenesis - Alkaline magmatism - Hot-spot.

INTRODUCTION

Dans les Tassili N'Ajjer, des travaux de géophysique ont mis en évidence la présence de fortes anomalies thermiques, s'étendant le long d'un couloir E-W à ENE-WSW, entre Illizi et In Salah (fig. 1); ces anomalies ont été interprétées comme étant liées à la mise en place d'un point chaud (Lesquer et *al.*, 1990). En réponse au réchauffement du manteau qui s'en est suivi à l'aplomb de la région d'In Téria (Illizi), quatre épisodes magmatiques au moins ont pu être identifiés (Kechid et Mégartsi, 2005; Kechid, 2006). Le dernier épisode ($P < 50$ km) est représenté par des mélilitites quaternaires à olivine

contenant de nombreux xénolites mantelliques de péridotites et de pyroxénites alcalines. Ces pyroxénites, qui sont elles-mêmes les témoins d'un épisode magmatique antérieur ($P \approx 90$ km), comportent les empreintes métasomatiques laissées lors du passage de liquides carbonatitiques ($50 \text{ km} < P < 100 \text{ km}$), juste avant l'arrivée des laves à mélilite; à l'instar des pyroxénites alcalines des rifts est-africains (ex : Ouganda), elles représentent, à In Téria, plus de 70 % du volume de xénolites échantillonnés. La présence dans les sédiments de cette région d'une ilménite de composition particulière, très riche en MgO (12%; Kaminski, 1988), laisse entrevoir la possi-

CHRONOLOGIE DES INJECTIONS MAGMATIQUES D'IN TÉRIA (ILLIZI, ALGÉRIE) :
MISE EN ÉVIDENCE D'UN ÉPISODE KIMBERLITIQUE

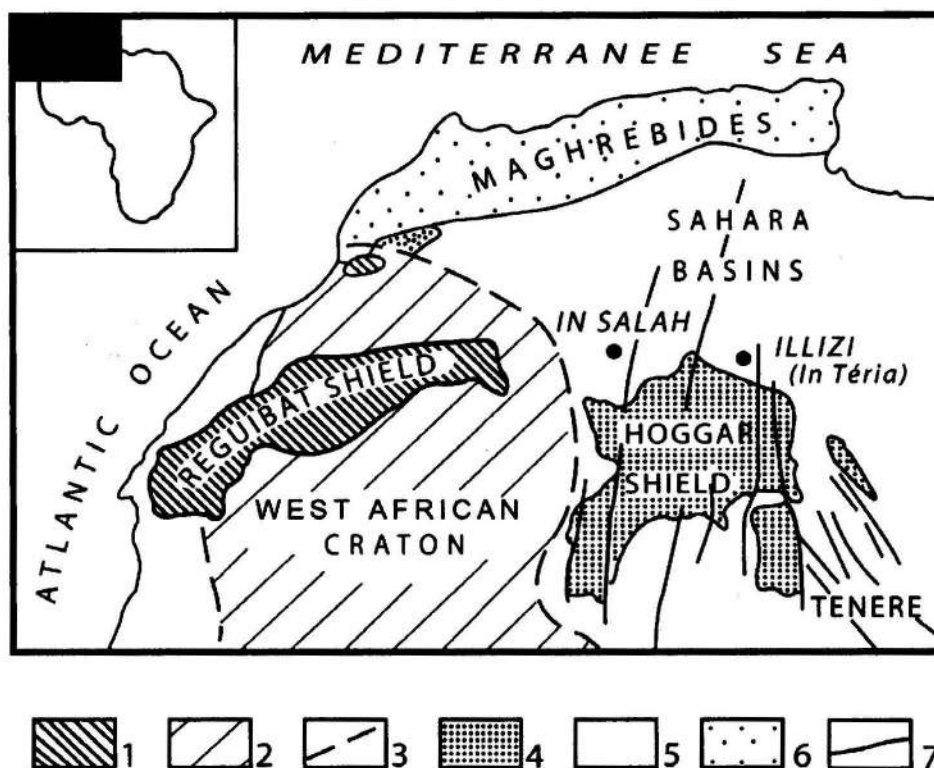


Fig. 1- Représentation des grands ensembles structuraux de l'Afrique du NW.

Representation of the great structural sets of the Northwestern Africa.

1-3 : Craton Ouest-Africain (*West African Craton*); 1 : substratum, > 2000 Ma (*substratum, > 2000 My*); 2 : couverture sédimentaire (*sedimentary cover*); 3 : limite du craton d'après Lesquer et al. (1984) (*limit of the craton according to Lesquer and al., (1984)*); 4, 5 : domaine panafricain (*Pan-African domain*); 4 : substratum, 600 Ma (*substratum, 600 My*); 5 : couverture sédimentaire post-panafricaine (*post-Pan-African sedimentary cover*); 6 : chaîne alpine plissée des Maghrébides (*folded alpine belt of Maghrebides*); 7 : méga-cisaillements (*mega-shear-zones*).

bilité d'un épisode kimberlitique, qui serait le plus ancien ($P \geq 150$ km). Toutes ces manifestations magmatiques ont probablement emprunté le même chemin avant de se retrouver dans les cratères d'In Téria. Elles ont toutes, plus ou moins, contribué au métasomatisme et à l'érosion thermique progressive du manteau originel. La description de ces événements magmatiques est faite ici dans un ordre chronologique qui permet de suivre l'évolution de la lithosphère saharienne depuis une situation de lithosphère épaisse (ou cratonique) jusqu'à une situation d'amincissement lithosphérique (ou rifting), correspondant respectivement à la mise en place

de kimberlites supposées et de laves à mélilite. Deux cycles d'émission de laves à mélilite sont distinguées dans cette région : les plus anciennes, provenant de la fusion en profondeur de péridotites à grenat (et/ou de MARID) et ayant avorté et cristallisé près du Moho sous forme de pyroxénites alcalines variées; les plus récentes, ayant réussi à trouver leur chemin vers la surface, en transportant des nodules variés d'un manteau métasomatisé en fin de premier cycle par des liquides carbonatitiques.

Les appareils volcaniques d'In Téria sont très jeunes. Mégartsi (1972) leur a attribué un

âge quaternaire. La très bonne conservation d'un cône résiduel, les formes encore apparentes d'autres structures dans le relief, de même que le rapport du réseau hydrographique avec ces appareils, sont autant de faits qui indiquent que leur mise en place s'est faite bien après la formation du relief et du réseau hydrographique actuels. Compte tenu du fait que l'essentiel des traits du relief actuel a été esquissé au cours du Pléistocène moyen (Conrad, 1969), on peut supposer que l'éruption des laves à mélilitite d'In Téria a eu lieu au Quaternaire moyen à tardif. Cet âge ne représenterait en fait que l'âge des dernières émissions mélilitiques (épisode mélilitique II). Quant à la période de mise en place des injections magmatiques antérieures (épisodes kimberlitique, mélilitique I et carbonatitique), lesquelles auraient emprunté les mêmes structures volcaniques avant d'arriver à la surface, elle pourrait correspondre à la période de «magmatisme global» kimberlitique et lamprophyrique ultramafique décrit dans le monde, notamment en Afrique du Sud et au Brésil, pendant la période Mésozoïque-Cénozoïque. En Afrique du NW, c'est au Cénozoïque que les épanchements volcaniques correspondent au maximum d'extension continentale; à In Téria, c'est durant cette période que le grand volume de pyroxénites alcalines aurait été produit et l'intensité du métasomatisme culminé. Bien avant, la présence relativement courante d'ilménite magnésienne et de diamant dans les sables sahariens pourrait coïncider avec l'apogée du «magmatisme global» kimberlitique au Crétacé.

GRILLE PÉTROGÉNÉTIQUE

Pour suivre l'évolution des événements magmatiques survenus à In Téria, nous avons reporté sur un diagramme Profondeur-Température (fig.2), un certain nombre de données propres à cette région et une série de courbes expérimentales, dont:

- le solidus à sec de la péridotite (courbe 1);
- le solidus «péridotite- fraction volatile» ($X_{CO_2} = CO_2 / CO_2 + H_2O = 0,8$) adapté à ce type de contexte métasomatisé, ainsi que les assemblages subsolidus correspondants (courbe 2; Wyllie, 1978; 1980);
- le solidus péridotite-H₂O-CO₂ (courbe 3; Falloon et Green, 1990);
- le solidus péridotite-H₂O (courbe 4; Falloon et Green, 1990);
- le solidus de la kimberlite (Eggler et Wendlant, 1979) : au-delà de 100 km de profondeur, ce solidus est pratiquement confondu avec le solidus «péridotite-fraction volatile» précédent. Pour des besoins de commodité graphique, des assemblages subsolidus de la kimberlite, seul l'assemblage akermanite (Ak) / monticellite (Mo) est reporté ici ($T \geq 950$ °C). La courbe correspondante est destinée à montrer que la mélilitite peut effectivement cristalliser lors du refroidissement d'une kimberlite avortée dans les niveaux proches de la surface;
- le solidus à sec des MARID (courbe 5; Sweeney et al., 1993);
- les solidus et liquidus des MARID à 10% H₂O (respectivement courbes 6 et 6'; Sweeney et al., 1993);
- le champ de stabilité des péridotites à grenat d'In Téria (Dautria et al., 1992), représenté ici par un rectangle (fig.2). On peut noter que ce dernier occupe le centre du champ des MARID;
- les géothermes sahariens (Lesquer et al., 1990);
- le géotherme du craton du Kaapvaal (Boyd et Gurney, 1986);
- la limite Graphite / Diamant (Bundy et al., 1961; Kennedy et Kennedy, 1976);

CHRONOLOGIE DES INJECTIONS MAGMATIQUES D'IN TÉRIA (ILLIZI, ALGÉRIE) :
MISE EN ÉVIDENCE D'UN ÉPISODE KIMBERLITIQUE

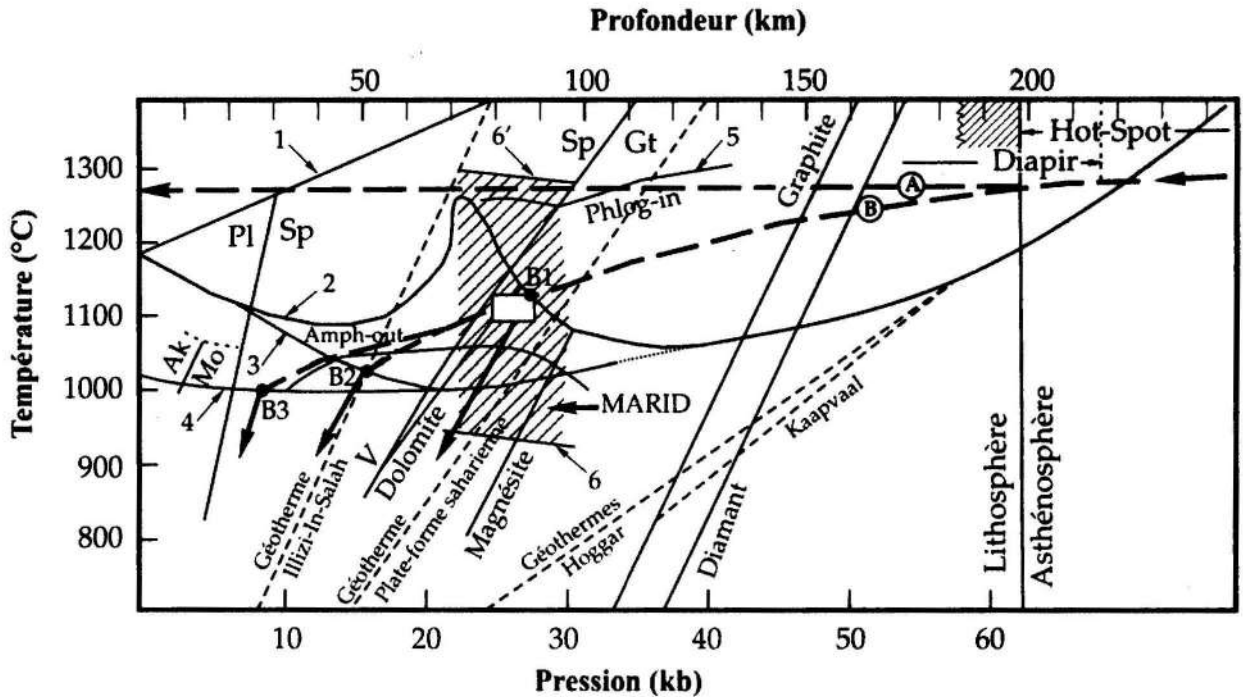


Fig.2 - Diagramme Profondeur-Température montrant l'évolution et la chronologie des injections magmatiques d'In Téria (voir texte pour commentaire).

Depth-temperature diagram showing the evolution and the chronology of In Téria magmatic injections (see text for comment).

- les limites supérieures de stabilité du phlogopite et de l'amphibole (Mengel et Green, 1989),

- les champs de stabilité des lherzolites à grenat (Gt) / spinelle (Sp) / plagioclase (Pl).

Les autres repères qui ont servi à affiner la chronologie des injections magmatiques d'In Téria proviennent d'estimations thermobarométriques sur les conditions P-T d'équilibre des péridotites et d'informations tirées à partir d'études théoriques sur l'origine des magmas alcalins profonds. Les péridotites ont ainsi permis de fixer deux repères : l'un à 880-1050°C et 40-50 km pour les péridotites à spinelle (Kechid et Mégartsi, 2005; fig.3) et l'autre à 1050-1100°C et 25-27 kb pour les péridotites à grenat (Dautria *et al.*, 1992). Dans ces roches, de même que dans les pyroxénites, l'empreinte du métasomatisme s'est faite d'abord par des fluides hydratés puis par des fluides carbonatitiques. Les estima-

tions effectuées sur les pyroxénites et sur quelques wherlites ont livré un seul repère : 1000°C et 8-10 kb (Kechid et Mégartsi, 2005). Quant aux laves à mélilite, elles sont considérées comme étant issues de la fusion partielle de péridotites à grenat (Wilson et Rosenbaum, 1995; fig.4).

ÉVOLUTION DE LA LITHOSPHERE SAHARIENNE

1- Situation cratonique

Episode kimberlitique

Cette situation implique la supposition d'un épisode kimberlitique à In Téria. Cet épisode est d'abord rendu possible grâce à la découverte dans cette région de nodules d'ilménite très riche en MgO (12 %). Ce minéral a été également signalé dans le Massif de l'Atakor (Dautria,

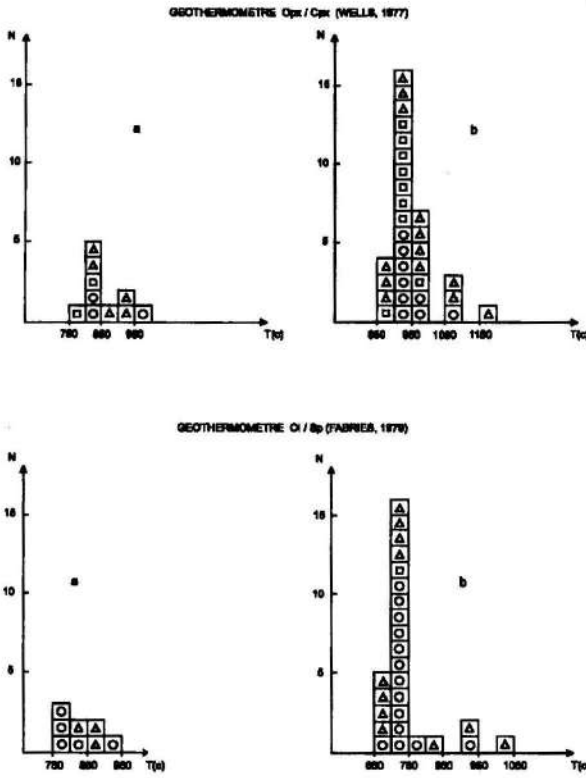


Fig.3 - Histogramme des températures d'équilibre estimées au cœur (o) et au bord (Δ) des minéraux des péridotites d'In Téria.

Histogram of equilibrium temperatures estimated for cores (o) and edges (Δ) of In Téria peridotites minerals.

a - Lherzolites à spinelle granuloblastiques (*Granuloblastic spinel lherzolites*); b - Lherzolites à spinelle porphyroclastiques (*Porphyroclastic spinel lherzolites*).

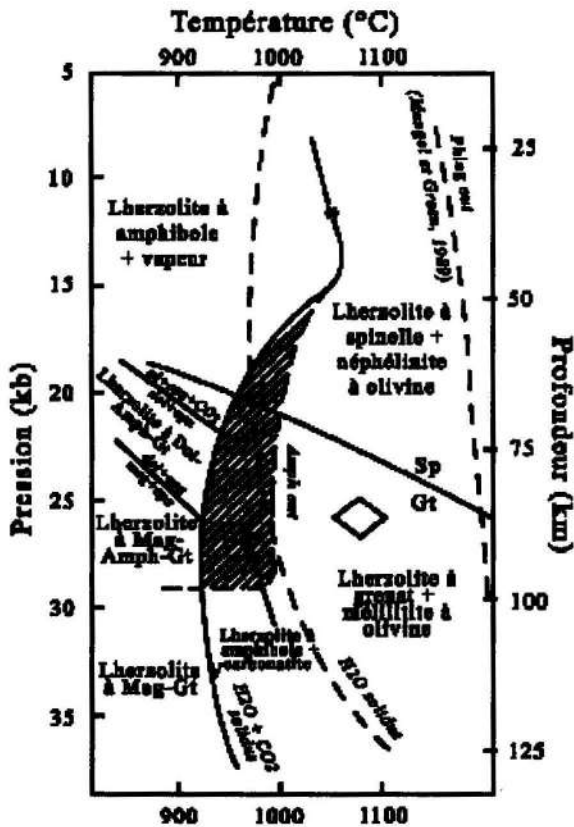


Fig.4 - Diagramme P-T (Wilson et Rosenbaum, 1995) montrant la position des solidus (H_2O) et (H_2O+CO_2) d'une péridotite fertile (d'après Falloon et Green, 1990), les conditions du métasomatisme hydraté (étoile; d'après Kechid et Megartsi, 2005) et les conditions d'équilibre de la péridotite à grenat-phlogopite d'In Téria (carré; d'après Dautria et al., 1992).

P-T diagram (Wilson et Rosenbaum, 1995) showing the position of the (H_2O) and (H_2O+CO_2) solidus of a fertile peridotite (according to Falloon and Green, 1990), the conditions of hydrated metasomatism (star; according to Kechid and Megartsi, 2005) and equilibrium conditions of garnet-phlogopite peridotite of In Téria (square; according to Dautria and al., 1992).

Amph : Amphibole (*Amphibole*); Ol : Olivine (*Olivine*); Cpx : Clinopyroxène (*Clinopyroxene*); Opx : Orthopyroxène (*Orthopyroxene*); Dol : Dolomite (*Dolomite*); Sp : Spinelle (*Spinel*); Gt : Grenat (*Garnet*); Mag : Magnésite (*Magnesite*).

CHRONOLOGIE DES INJECTIONS MAGMATIQUES D'IN TÉRIA (ILLIZIN ALGÉRIE) :
MISE EN ÉVIDENCE D'UN ÉPISODE KIMBERLITIQUE

1988); ici, son extrême richesse en MgO (15 %) a conduit cet auteur à considérer un épisode kimberlitique antérieur aux laves basanitiques prédominantes. Il est ensuite rendu possible si l'on considère un solidus approprié aux contextes métasomatisés. Sur la figure 2 sont mentionnés le solidus «péridotite-fraction volatile» (Wyllie, 1978), ainsi que les indications sur les niveaux où se produit la mise en place des kimberlites depuis l'intrusion d'un point chaud à celle des liquides à la base de la lithosphère. Sont également représentés par des flèches en gras :

- le trajet rectiligne d'une kimberlite jusqu'à la surface, par fracturation hydraulique de la lithosphère (trajet A). Un tel trajet aurait été celui des premiers liquides ayant percé les assises paléozoïques d'In Téria. Ce sont des kimberlites probables qui ont dû être remaniées au sein des mêmes structures volcaniques par les venues successives des laves à mélilitite. Les témoins de ces kimberlites restent à rechercher sous forme de fragments de roches emballés dans les ultimes épanchements de ces laves;

- le trajet adiabatique, légèrement courbe, de diapirs impulsés thermiquement (érosion thermique; trajet B). A cette profondeur, le solidus montre deux intersections avec le géotherme du Hoggar, l'une à environ 180 km et l'autre à 250 km. Ces profondeurs correspondent respectivement au solidus à $X_{H_2O} = 20\%$ (de la fraction volatile) de la péridotite, immédiatement au-dessus la limite asthénosphère / lithosphère (solidus à sec), et le solidus du point chaud.

L'évolution et le mode de mise en place complexes des liquides kimberlitiques et des liquides différenciés (mélilitites à olivine, néphélinites, carbonatites) des environnements comparables à celui d'In Téria peuvent être illustrés à l'aide de structures montrant l'évolution de la lithosphère et des magmas depuis un stade cratonique jusqu'à un stade de rift (fig.5; Wyllie, 1989). Le stade cratonique, dans lequel la base de la lithosphère est soumise à l'intrusion d'un point chaud montre un

déplacement latéral du magma entre les deux limites décrites ci-dessus (180 et 250 km). A ce niveau, les magmas dérivant de lherzolites n'évo- luent pas ni ne précipitent en cristaux ou fluides tant qu'ils n'atteignent pas le solidus, situé entre 10-15 km au-dessus de la limite asthénosphère / lithosphère. Cependant, lorsqu'ils sont en contact avec des harzburgites, ils vont provoquer des réactions et la précipitation de gros minéraux (mégacristaux). Lorsque ces magmas arrivent à s'approcher du solidus, ils développent des fluides riches en H_2O . Les fluides riches en CO_2 ne peuvent pas exister à ces niveaux du manteau. Elles sont soit réduites par fissuration thermique donnant des microdiamants qui vont se joindre aux vieux macrodiamants qui résident à la base du craton depuis des centaines de millions d'années; ou bien, elles vont provoquer la fusion partielle de la lithosphère lherzolitique ou réagir avec des harzburgites pour produire de la magnésite et un enrichissement conséquent du fluide en H_2O . Les vapeurs peuvent être aussi à l'origine de la fracturation qui permet une ascension rapide du magma kimberlitique.

Baucoup d'intrusions de ce niveau vont se solidifier par «mort thermique» avant d'aller plus loin (kimberlite de type I), mais d'autres vont pénétrer la croûte en tant qu'intrusions kimberlitiques (kimberlite de type II). La distinction entre ces deux types de kimberlites provient de l'observation de terrain. Les kimberlites avortées de type I, ayant eu le temps nécessaire pour précipiter le diamant et d'autres mégacristaux (ex : olivine), sont généralement retrouvées en enclaves dans les kimberlites micacées de type II qui se sont directement épanchées à la surface et qui n'ont pas résidé longtemps à la base de la lithosphère.

Les kimberlites peuvent aussi monter du magma primitif accumulé au-dessus du point chaud ou à partir de chambres magmatiques latérales situées à la base de la lithosphère (fig.5). La base appauvrie et réfractaire de la lithosphère, à 150-200 km de profondeur, est probablement envahie de petits corps et dykes de kimberlites, pendant des milliards d'années. La plupart des

kimberlites avortent et exsolvent leurs fluides. La combinaison de kimberlites avortées et de leurs vapeurs a contribué à la génération d'une couche hétérogène dans cet intervalle de profondeur, caractérisée par de nombreux volumes différemment métasomatisés.

2- Amincissement lithosphérique

Avec le temps, le flux continu des diapirs générés par le point chaud et la concentration d'autres magmas à la limite asthénosphère / lithosphère va favoriser de futurs amincissements de la lithosphère. Selon certains auteurs (Gliko *et al.*, 1985), il suffit seulement de «quelques nombreux millions d'années» pour réduire de moitié l'épaisseur de la lithosphère, pour peu que des conditions thermiques appropriées soient réunies à la base de la lithosphère. Le magma près de la limite asthénosphère / lithosphère va remonter soit en même temps que cette limite, soit en percolant à travers la nouvelle matrice déformable ou bien en formant une série de

diapirs dont la quantité de liquides sera en continue augmentation, en relation avec la montée progressive de la limite asthénosphère / lithosphère loin au-dessus du solidus Périidotite-H-O. L'amincissement de la lithosphère au-dessus du point chaud, équivalent au bombement de la lithosphère déformable, permet ainsi aux liquides accumulés de monter, avec les isothermes, sans traverser le solidus (fig.5). Parfois, localement le magma peut alors s'insinuer au-dessus de cette limite; il est accompagné d'une libération de vapeur et d'une fracturation hydraulique qui lui permettent de s'échapper dans le système de rift en formation.

Episode méilitique I

Si les magmas montent dans la lithosphère, ils vont emprunter des parcours adiabatiques ou bien suivre un parcours légèrement au-dessus du géotherme (Spera, 1984). Comme les magmas approchent le solidus (point B1; fig.2), tout en restant en équilibre avec la lherzolite encais-

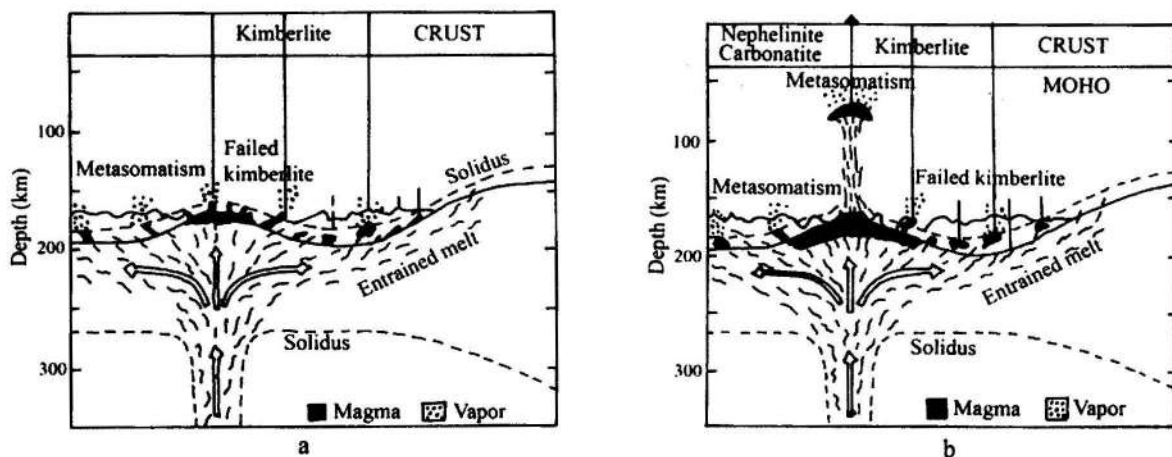


Fig.5 - Coupes illustrant (a) l'intrusion d'un point chaud et la formation de chambres magmatiques, dans le domaine limité par le solidus de la péridotite et la limite asthénosphère/lithosphère, à la base d'un craton et (b) un amincissement lithosphérique au-dessus d'un point chaud, avec infiltration de magmas et métasomatisme du manteau, sous un rift (d'après Wyllie, 1989).

Diagrams showing (a) an intruding hot-spot and the formation of magmatic chambers, in the domain between the peridotite solidus and the asthenosphere/lithosphere boundary, the corresponding isotherms, beneath a craton, and (b) a thinning out of the lithosphere above a hot-spot, with infiltrating magmas and mantle metasomatism, beneath a rift zone (from Wyllie, 1989).

CHRONOLOGIE DES INJECTIONS MAGMATIQUES D'IN TÉRIA (ILLIZI, ALGÉRIE) :
MISE EN ÉVIDENCE D'UN ÉPISODE KIMBERLITIQUE

sante, il se produit une cristallisation avec libération de vapeur et le développement de chambres magmatiques. Ici, l'intersection du solidus avec le trajet du diapir se fait à une profondeur de 80-90 km; elle tombe aussi dans le champ des MARID, très près du rectangle représentant le domaine de stabilité de la péridotite à grenat trouvée à In Téria (Dautria et al., 1992). En raison de leurs proches conditions P-T de formation avec les péridotites à grenat, il n'est donc pas exclu de trouver des nodules de MARID à In Téria. Dans ce cas, la cristallisation de MARID, ou d'assemblages subsolidus similaires (Eggler et Wendlant, 1979), libère de l'eau qui va hydrater le manteau sus-jacent et contribuer au développement de phlogopite dans un encaissant constitué de péridotites à grenat, le mica étant effectivement observé dans le spécimen décrit par Dautria et al. (1992). Dans les niveaux situés au-dessus, c'est l'amphibole qui prendra le relais du phlogopite. L'épisode de métasomatisme hydraté décrit dans les nodules ultramafiques d'In Téria (Kechid et Mégartsi, 2005; Kechid, 2006) correspond à la cristallisation des premières chambres magmatiques à ces niveaux de profondeur. Il est de ce fait relativement ancien; il tendra à progresser dans les niveaux supérieurs dans des conditions de lithosphère amincie et suivra un géotherme probablement proche de celui qui caractérise aujourd'hui la Plateforme saharienne (fig.2).

En ce qui concerne CO₂, il participe d'abord à la cristallisation de dolomite aux côtés des phases hydratées précédentes et du grenat dans l'encaissant péridotitique; il sera ensuite expulsé sous forme de vapeurs au-delà de la courbe de stabilité du carbonate. Dès ce stade, on peut supposer que la libération du fluide CO₂ occasionnera, par réaction violente, la fracturation de la lithosphère qui servira à l'acheminement des futurs magmas.

L'hydratation de ces niveaux du manteau conduira nécessairement à l'abaissement du

solidus de la péridotite de sorte que les roches envisagées plus haut (MARID, péridotites à grenat - phlogopite/amphibole-dolomite) vont se retrouver dans un domaine théoriquement en fusion partielle. Comme le prévoient certains auteurs (Wilson et Rosenbaum, 1995; Boyd et Gurney, 1986), les magmas produits à ces niveaux vont inclure les parents des néphélines à olivines, des laves à mélilite et d'autres associations ignées qui vont se différencier à des profondeurs plus faibles en carbonatites. A In Téria, il semble que ce soit en effet des laves à mélilite qui ont d'abord été produites à cette profondeur (80-90 km), lors de la fusion partielle de péridotites à grenat et/ou de supposés MARID. Pour circonscrire plus précisément l'épisode mélilitique, les travaux théoriques (Wilson et Rosenbaum, 1995; fig.4) prévoient des conditions minimales de température entre 1000 et 1200°C, 1200°C étant la limite supérieure de stabilité du phlogopite (Wendlant et Eggler, 1980), et des pressions dans le champ de stabilité du grenat ($P \geq 20$ Kb), pour produire des liquides silicatés en équilibre avec une péridotite carbonatée et dont la composition est celle d'une mélilitite à olivine. En dessous de 1025°C, ces liquides se transforment en carbonatites.

Ces liquides approchent, probablement par montée diapirique, le nouveau solidus saturé en eau (péridotite-H₂O; Falloon et Green, 1990), lequel représente la dernière barrière thermique à ces liquides; ils traversent la limite grenat / spinelle et la courbe limitant vers le haut le domaine de stabilité de l'amphibole ou celui de coexistence des lherzolites à amphibole et des carbonatites, à une profondeur de 50 km (point B2; fig.2). En dehors de travaux théoriques mentionnant à cette profondeur des assemblages subsolidus kimberlitiques constitués de phlogopite, calcite et diopside (Eggler et Wendlant, 1979), des nodules de roches ayant cristallisé à cette profondeur n'ont pas encore été identifiés à In Téria. A l'approche du solidus, ces liquides vont former des chambres magmatiques ou bien

traverser ce solidus hydraté et s'insinuer au sommet d'une lithosphère en fracturation.

A In Téria, on peut envisager qu'au moins en partie sinon la totalité des laves à mélilitite s'est échappée à travers les fractures et s'est insinuée dans les niveaux de base de la croûte (Moho), avant de cristalliser sous forme de pyroxénites alcalines, avec lesquelles elles montrent, en outre, des caractères chimiques très proches (Mégartsi, 1972; Kechid, 2006). Notons que ces pyroxénites constituent plus de 70 % du volume des roches ultramafiques retrouvées dans les cratères d'In Téria.

Toutes les observations précédentes montrent le trajet de liquides et leurs différenciations successives depuis les niveaux lithosphériques profonds jusqu'à la surface. Pendant cette période, l'épisode mélilitique, en tant que lave, n'a pu atteindre la surface et peut être considéré, de ce fait, comme un épisode avorté, en raison justement des différenciations et cristallisations successives mentionnées dans ce paragraphe.

Épisode carbonatitique

Il faut d'abord souligner qu'à In Téria cet épisode n'a pas été suivi d'épanchements volumineux en surface, à l'instar de ceux d'Ouganda ou ceux du bassin rhénan (Allemagne), par exemple; ce sont des liquides très réduits qui ont percolé dans le manteau et réagi avec ses minéraux pour développer une série de symplectites qui ont été d'abord décrites expérimentalement (Wallace et Green, 1988) puis retrouvées dans de rares échantillons naturels provenant des régions sus-citées et à In Téria. Wilson et Rosenbaum (1995) ne donnent pas de détails qui permettent de cadrer cet épisode dans un diagramme P-T. Cependant, on peut voir (fig.4) que les carbonatites occupent un domaine compris entre, d'une part, les solidus Péridotite-H₂O-CO₂ et Péridotite-H₂O étendu à la courbe de disparition de l'amphibole ($T \leq 1025^\circ\text{C}$) et,

d'autre part, entre 15 et 30 kb (ou 50-100 km). Ce domaine est à cheval sur ceux des lherzolites à grenat et des lherzolites à spinelle. On peut considérer que les liquides mélilitiques puissent se transformer en carbonatites à $T < 1025^\circ\text{C}$ ou bien que ces deux liquides coexistent à ce niveau. Nous avons retenu, dans ce qui précède, l'hypothèse de la cristallisation des pyroxénites alcalines directement à partir des liquides mélilitiques. C'est une cristallisation superficielle comme l'indiquent les conditions P-T estimées sur ces roches (8-9 kb et $800-1000^\circ\text{C}$), qui s'est effectuée juste à la base de la croûte (point B3; $P < 50$ km; fig.2). Elle a été probablement accompagnée d'un enrichissement relatif du liquide résiduel en carbonatites. A partir du point B2, celles-ci vont progressivement exercer de fortes pressions et causer un réseau dense de microfractures, permettant aux liquides carbonatitiques de percoler et métasomatiser les niveaux supérieurs du manteau ainsi que ceux de la croûte continentale inférieure (granulites). Cet épisode carbonatitique vient en fin du premier cycle et semble relativement récent.

Dans les descriptions des caractéristiques pétrographiques de l'unique échantillon de péridotite à grenat d'In Téria (Dautria et al., 1992), il n'est pas mentionné de paragenèses secondaires liées aux liquides carbonatitiques, à l'instar de celles que l'on observe dans les autres péridotites (à spinelle) et pyroxénites. Cela vient confirmer la différenciation de ces liquides métasomatiques dans des niveaux superficiels.

Enfin, le chemin suivi par ces liquides (mélilitiques et carbonatitiques) pour remonter vers la surface est proche du géotherme Illizi- In Salah (Lesquer et al., 1990) : une partie remonte directement à travers des fractures préexistantes entraînant sur son passage des fragments de lherzolites à spinelle, l'autre partie encore suffisamment «chaude» possède l'énergie nécessaire pour traverser le toit du manteau supérieur, à la manière des diapirs, et arracher des frag-

CHRONOLOGIE DES INJECTIONS MAGMATIQUES D'IN TÉRIA (ILLIZIN ALGÉRIE) :
MISE EN ÉVIDENCE D'UN ÉPISODE KIMBERLITIQUE

ments de pyroxénites alcalines (fig. 2). La prédominance des nodules de pyroxénites sur ceux des péridotites laisse penser qu'à In Téria la fin du trajet vers la surface des liquides à l'origine des pyroxénites s'est faite par diapirisme, étant donné les températures élevées de ces derniers ($\approx 1000^\circ\text{C}$). Cet épisode carbonatitique vient clôturer un premier cycle d'émissions magmatiques à In Téria.

Épisode mélilitique II

Après les kimberlites, les mélilitites à olivine ont constitué les précurseurs des magmas qui ont évolué vers la surface (liquides carbonatitiques). Or, pour expliquer un épisode mélilitique (II) qui vient transporter les fragments d'un manteau métagénésé par des liquides carbonatitiques qui sont différenciés eux-mêmes à partir d'un magma mélilitique (I), force est de considérer à In Téria l'existence d'un autre épisode mélilitique (II) qui annonce le début d'un second cycle de venues magmatiques. Ce cycle interviendrait probablement après une période d'arrêt de l'activité du point chaud qui serait suffisamment longue pour refroidir des niveaux relativement profonds de la nouvelle lithosphère, situés entre B2 et B3, dans le champ des lherzolites à spinelle, et qui vont permettre, lors d'une reprise de l'activité du point chaud, le redéploiement des laves à mélilite (II). Le point B3 représente les chambres magmatiques des niveaux les plus superficiels du manteau, dans lesquels cristallisent les pyroxénites, en compagnie de quelques wherlites et hornblendites ayant livré des conditions P-T très voisines (950-1050°C, 8-9kb; Kechid et Mégartsi, 2005). Ces deux derniers types de roches font partie d'un cortège de nodules largement dominé par les pyroxénites. L'ensemble de ces nodules montrant des spécimens aussi bien déformés que non déformés. Ils traduisent, à In Téria, la complexité d'un magmatisme dont seulement les ultimes manifestations (épisode mélilitique II) pourraient être confinées au Pléistocène moyen. Un argument en faveur

de l'existence probable de cet épisode magmatique provient des observations microscopiques relevées sur les pyroxénites. En effet, celles-ci montrent qu'elles sont soit plus ou moins déformées soit indemnes de toute trace de déformation; elles représentent ainsi des injections qui sont différentes et espacées dans le temps. Les pyroxénites très déformées seraient les plus anciennes et représenteraient les produits de cristallisation soit de liquides issus de la fusion partielle, à grande profondeur, de péridotites à grenat (ou de MARID) soit, pour expliquer la différenciation des lherzolites en harzburgites et dunites, de liquides dérivés à plus faible profondeur de péridotites à spinelle. Les pyroxénites peu ou pas déformées, plus récentes, représenteraient les dernières injections avant le transport vers la surface de l'ensemble des nodules par les laves de l'épisode mélilitique II. Cette histoire, qui est antérieure à ce dernier épisode, implique de fait une lithosphère plus épaisse, permettant d'envisager un épisode kimberlitique comme source originelle des produits émis à la surface d'In Téria.

ÂGE ET ORIGINE PROBABLES DU VOLCANISME D'IN TÉRIA

1- Âge

Plus de 80 % des kimberlites mondiales se sont épanchées au cours de la période Mésozoïque-Cénozoïque (200-50 Ma) et sont souvent associées à des phases de formation de rifts et de bassins continentaux. Par exemple, la majorité des kimberlites créacées d'Afrique du Sud couvrent une période d'environ 70 Ma entre 125 et 55 Ma (Heaman et al., 2003) et suivent de près l'ouverture australe de l'Océan Atlantique située autour de 130 Ma. C'est le cas aussi du Brésil où le magmatisme alcalin couvre 50 Ma entre 125 et 75 Ma (ex : Sgarbi et al., 2004). L'Afrique du NW a également été concernée, durant cette période, par une activité magmatique importante qui a été marquée par l'épanchement

de grands volumes de laves alcalines, essentiellement durant le Cénozoïque (ex : Hoggar, Maghrébides, Darfour, Tibesti). A In Téria, le caractère polyphasé du magmatisme autorise la considération d'une histoire plus étendue que ne le laissent supposer ses ultimes émissions survenues au Quaternaire (Mégartsi, 1972). En effet, il faudrait considérer une période relativement importante pour rendre compte de l'histoire polyphasée de cristallisation et de déformation des pyroxénites, à laquelle il faut ajouter celle de percolation de liquides carbonatitiques, avant le transport des nodules lors de l'épisode méliolitique II; cette histoire peut correspondre à la période d'ouverture maximum cénozoïque évoquée ci-haut. La venue de probables kimberlites à la surface d'In Téria ou du Hoggar voisin pourrait ainsi remonter au Mésozoïque et constituer au Sahara une répercussion du «magmatisme global».

Une autre période majeure de formation de kimberlites et de magmatisme associé (lampiroïtes), contemporaine d'épisodes d'extension continentale, se situe entre 630 et 560 Ma (Labrador, Québec, Groenland occidental, Scandinavie; ex : Heaman et al., 2004). En Algérie, cette période correspond à une phase de serrage intense (E-W) qui est responsable de l'édification de la chaîne panafricaine (Hoggar); elle serait, de ce fait, non propice à l'injection de kimberlites. De même, au Paléozoïque, les dépôts essentiellement continentaux qui ont fait suite au démantèlement de la chaîne panafricaine ne sont pas caractéristiques d'une extension importante et ne devraient, par conséquent, pas renfermer de vestiges d'un magmatisme d'origine profonde.

Enfin, l'une des plus anciennes périodes prolifiques de magmatisme kimberlitique précambriennes a eu lieu pendant le Mésoproterozoïque, autour de 1,1 Ga, par exemple en Afrique du Sud et au Groenland occidental (Scott-Smith, 1989), en Finlande (O'Brien et

al., 2005), au Québec (Alibert et Albarede, 1988), en Amérique du Nord (Kaminsky et al., 2000) ou encore en Inde (Sridhar et al., 2004). En Algérie, cette période pourrait s'avérer propice pour la recherche de potentielles kimberlites ou de diamant détritique étant donné qu'elle correspond, par exemple dans le Hoggar, à l'initiation de l'océan africain et au dépôt des formations volcano-sédimentaires pharusiennes dans des bassins orientés N-S (Gravelle, 1969; Haddoum, 1984).

2- Origine

Si la relation spatiale et temporelle du magmatisme kimberlitique avec les épisodes majeurs d'extension et de rifting pendant le Mésozoïque est claire, son assimilation soit à une remontée de l'asthénosphère soit à la mise en place d'un ou plusieurs panaches mantelliques n'est, quant à elle, pas encore clairement établie. Dans ce cas, le timing ainsi que la distribution spatiale des kimberlites peuvent aider à faire la distinction entre les deux hypothèses. Les kimberlites formées lors du passage d'un point chaud montrent un trend linéaire et une répartition progressive de l'âge des émissions, alors que les kimberlites formées pendant la remontée de l'asthénosphère, contemporaine d'une extension continentale, devraient se retrouver le long de corridors mais ne montreraient pas une évolution chronologique progressive de leur mise en place. En Afrique du NW, l'association exclusive de ce magmatisme à une remontée asthénosphérique proposée par certains auteurs (Liégeois et al., 2005) ne semble pas toujours justifiée au vu de la répartition chronologique progressive et spatiale de certains massifs volcaniques. Par exemple dans la péninsule du Cap-Vert (Sénégal), le magmatisme se trouve sur un trend N-S et couvre une période de l'ordre de 30 Ma avec des émissions répétées entre 30, 21, 14,5-5,3 et 1,5-0,57 Ma; ou bien celui du linéament NE-SW Atakor-N'Ajjer (Hoggar) qui se distribue entre 20-12, 7-4 et 3-0,01 Ma. Ces données qui sont

CHRONOLOGIE DES INJECTIONS MAGMATIQUES D'IN TÉRIA (ILLIZI, ALGÉRIE) :
MISE EN ÉVIDENCE D'UN ÉPISODE KIMBERLITIQUE

plutôt favorables à l'hypothèse de points chauds à l'origine du volcanisme alcalin de l'Afrique du NW, semblent également démontrées par l'âge (55-50; 40 Ma) et la position géographique du volcanisme de Gharyan, près de Tripoli (Libye), et l'âge (20-12; 7-4; 3-0,01 Ma) et la position géographique du volcanisme de l'Atakor (Hoggar), lesquels paraissent traduire le déplacement, sur un point chaud, de l'Afrique vers le NE, sur une période d'environ 35 Ma (Liégeois et *al.*, 2005) qui correspond à une distance de l'ordre de 1000 km, séparant les deux sites volcaniques sus-cités. Les émissions relativement récentes (11; 8-2 Ma) survenues à Gharyan feraient apparemment partie d'un autre linéament, grossièrement N-S, reliant les massifs d'Assawda, d'El Haruj et du Tibesti, et dont l'activité se situe entre 12 et 0,4 Ma. Également, l'idée de relier ce volcanisme et, en particulier, celui du Hoggar, à la collision Afrique-Europe se heurte à l'absence totale de traces de déformations, matérialisant la réactivation de méga-shear-zones panafricaines, ou de manifestations magmatiques alpines conséquentes, au niveau de la Plate-forme saharienne ou dans le Hoggar même; les séries sédimentaires de la Plate-forme saharienne, y compris celles du Cénozoïque, étant tranquilles et épargnées par la tectonique alpine. Ce modèle, destiné à expliquer, par exemple, au Nord de l'Himalaya (Plateau du Tibet) l'ouverture de rifts orientés N-S lors de la collision Inde-Asie, elle-même N-S, a pu être conçu compte tenu de l'épaisseur relativement réduite de cette chaîne (90 km), ce qui n'est pas le cas au niveau de la Plateforme saharienne, où ce sont environ 2000 km qui séparent la chaîne des Maghrébides du Bouclier Targui. Par ailleurs, les travaux de géophysique entrepris dans cette région de l'Afrique, notamment les régions d'Illizi et de l'Atakor, tendent plutôt à montrer nettement le passage de panaches mantelliques (Lesquer et *al.*, 1990). A In Téria (Illizi), les injections des laves à mélilite, provoquées par l'intrusion d'un important point chaud, font partie d'un linéament d'anomalies thermiques ENE-

WSW, passant par In-Salah et Illizi, qui serait conforme à des directions majeures de distension ayant déjà joué durant le Crétacé au Sahara (ex : oued Amded dans le Hoggar). Dans la région de l'Atakor, une série d'injections magmatiques alcalines font suite à un ancien épisode kimberlitique envisagé grâce à la découverte de nodules d'ilménite magnésienne (15 % MgO; Dautria, 1988). Rappelons que ce minéral a également été trouvé dans les fonds de batée à In Téria (12 % MgO; Kaminski, 1988). Enfin, des résultats de géochimie isotopique obtenus sur des laves alcalines cénozoïques du Taharak (Hoggar) attestent de la présence d'un composant de type HIMU qui serait remonté par un panache (Aït-Hamou et *al.*, 2000).

CONCLUSION

Les modèles géodynamiques proposés pour les régions sahariennes ne rendent pas toujours bien compte de la réalité de l'évolution de la lithosphère du domaine panafricain. Par exemple, le problème posé par la découverte de diamant ou d'ilménite magnésienne, bien qu'à l'état détritique, impliquant probablement la mise en place de kimberlites dans ces régions, n'est pas encore résolu et n'est pas intégré dans les interprétations géodynamiques classiques, selon lesquelles l'épaisseur de la lithosphère saharienne ne devrait pas excéder 150 km. Aussi, nombre d'arguments, dont la répartition spatiale et chronologique du magmatisme alcalin du NW de l'Afrique ou bien les caractéristiques géochimiques déterminées dans quelques régions (ex : Taharak, Hoggar), traduisent plutôt l'intrusion de points chauds qu'une remontée de l'asthénosphère qui serait la conséquence d'une délamination de l'ensemble du manteau lithosphérique. Dans les profondeurs d'une lithosphère ayant échappé aux effets thermiques d'un point chaud, qui sont situées loin de part et d'autre de l'axe de symétrie d'un rift, les modèles montrent que les kimberlites peuvent se former suite au fluage

latéral du point chaud. Sous In Téria, ou sous l'Atakor, l'intrusion de panaches mantelliques s'est probablement produite dans les conditions d'une lithosphère épaisse, ayant favorisé la formation de kimberlites à sa base. A In Téria, l'étude de la chronologie des injections magmatiques vient renforcer la probabilité de la venue de ce type de lave dans cette région; celles-ci auraient trouvé leur chemin vers la surface ou bien avorté, à des profondeurs inférieures à 50 km, certainement sous forme d'une première génération de pyroxénites alcalines. Cet épisode a précédé deux cycles d'émission de laves à mélilitite : le premier (I), provenant de la fusion de péridotite à grenat et/ou de MARID, à une profondeur de l'ordre de 90 km et dont les produits ont refroidi près de la surface sous forme d'un autre cortège de pyroxénites; le second (II), intervenant après une période d'arrêt de l'activité du point chaud et le refroidissement de la lithosphère; un épisode carbonatitique, très discret, précède de peu le développement de ces derniers liquides mélilitiques (II) qui ont entraîné vers la surface tous les nodules qui jonchent les cratères d'In Téria. Si dans cette région les dernières manifestations magmatiques (épisode mélilitique II) se sont déroulées au Quaternaire, il faudrait remonter plus loin, peut-être jusqu'au Crétacé, pour pouvoir envisager un épisode kimberlitique; c'est durant la période d'extension majeure cénozoïque que la formation de pyroxénites variées, à partir de liquides kimberlitiques ou mélilitiques, accompagnée d'injections très discrètes de liquides carbonatitiques, que le manteau d'In Téria avait pu être intensément métasomatisé.

Remerciements : Nous remercions Mr A. Ouabadi et Mr J. Hernandez d'avoir accepté d'apporter les corrections nécessaires à ce manuscrit. Nous tenons également à remercier Mr A. Bendaoud pour l'amélioration de la qualité des figures.

BIBLIOGRAPHIE

- AIT-HAMOU, F., DAUTRIA, J.M., CANTAGREL, J.M., DOSTAL, J. ET BRIQUEU, L. 2000.** Nouvelles données géochronologiques et isotopiques sur le volcanisme cénozoïque de l'Ahaggar (Sahara algérien) : des arguments en faveur de l'existence d'un panache. *C. R. Acad. Sci. Paris / Earth and Planetary Sciences*, 330, pp. 829-836.
- ALIBERT, C. AND ALBAREDE, F. 1988.** Relationships between mineralogical, chemical and isotope properties of some North American kimberlites. *J. Geophys. Res.* 3, pp. 7643-7691.
- BOYD, F.R. AND GURNEY, J.J. 1986.** Diamond and the African lithosphere. *Science*, 232, pp. 472-477.
- BUNDY, F.P., BOVENKERK, H.P., STRONG, H.M. AND WENTOR, R.H., JR. 1961.** Diamond-Graphite equilibrium line from the growth and graphitisation of diamond. *J. Chem. Phys.*, 35, pp. 383-391.
- CONRAD, G. 1969.** L'évolution continentale post-hercynienne du Sahara algérien. (Saoura, Erg Chech, Tanezrouft, Ahnet, Mouydir). *Mem. C.R.Z.A. 10, Ser. Geol. Ed. C.N.R.S. Paris*.
- DAUTRIA, J.M. 1988.** Relations entre les hétérogénéités du manteau supérieur et le magmatisme en domaine continental distensif. Exemple des basaltes alcalins du Hoggar (Sahara Central, Algérie) et de leurs enclaves. *Thèse de doctorat d'Etat. Université du Languedoc, Montpellier*, 421p.
- DAUTRIA, J.M., DUPUY, D., TAKHERIST, D. AND DOSTAL, J. 1992.** Carbonate metasomatism in the lithospheric mantle: peridotitic xenoliths from a melilitic district of the Sahara Basin. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 111, pp. 37-52.
- EGGLER, D.H. AND WENDLANDT, R.F. 1979.** Experimental studies on the relationship between kimberlite magmas and the partial melting of peridotite. In: Boyd FR, Meyer HOA (eds). *The mantle sample: inclusions in kimberlites and other volcanics. Am. Geophys. Union, Washington DC*, pp. 308-338.

CHRONOLOGIE DES INJECTIONS MAGMATIQUES D'IN TÉRIA (ILLIZI, ALGÉRIE) :
MISE EN ÉVIDENCE D'UN ÉPISODE KIMBERLITIQUE

- FABRIÈS, J. 1979.** Spinel-olivine geothermometry in peridotites from ultramafic complexes. *Contrib Mineral Petrol.*, 69, pp. 329-336.
- FALLOON, T.J. AND GREEN, D.H. 1990.** Solidus of carbonated fertile peridotite under fluid-saturated conditions. *Geology*, 18, pp. 195-199.
- GLIKO, A.O., GRACHEV, A.F. AND MAGNITSKI, V.A. 1985.** Thermal model for lithospheric thinning and associated uplift in the neotectonic phase of intraplate orogeny activity and continental rifts. *J. Geodynam. Res.* 3, pp. 137-153.
- GRAVELLE, M. 1969.** Recherches sur la géologie du socle précambrien de l'Ahaggar centro-occidental dans la région de Silet-Tibehaouine. *Unpublished Thesis, University of Paris, Paris*, 781p.
- HADDOUM, H. 1984.** Lithologie, évolution structurale et géodynamique des terrains précambriens d'Abankor-Timgaouine (Hoggar, Algérie). *Thèse de 3^{ème} cycle, Paris-Sud Orsay University, France*, 182p.
- HEAMAN, L.M., KJARSGAARD, B.A. AND CREASER, R.A. 2003.** The timing of kimberlite magmatism in North America : implication for global kimberlite genesis and diamond exploration. *Lithos*, 71, pp. 153-184.
- HEAMAN, L.M., KJARSGAARD, B.A. AND CREASER, R.A. 2004.** The temporal evolution of North American kimberlites. *Lithos* 76, pp. 377-397.
- KAMINSKI, F.V. 1988.** Réinterprétation des données anciennes sur les minéralisations de l'Algérie. *Rapport inédit, EREM*.
- KAMINSKY, F.V., SABLUKOV, S.M., SABLUKOVA, L.I. AND SHCHUKIN, V.S. 2000.** Petrology of kimberlites from the newly discovered Whitefish Lake field in Ontario. *GeoCanada 2000* (abstract #1203).
- KECHID, S.A. ET MEGARTSI, M., 2005.** Pétrogenèse des xénolithes mafiques et ultramafiques des laves à mélilite d'In Téria (Illizi, Algérie). *Bulletin du Service Géologique de l'Algérie*, 16, pp. 127-149.
- KECHID, S.A. 2006.** Les xénolithes de péridotites réfractaires et de clinopyroxénites alcalines des laves à mélilite d'In Téria (Illizi, Algérie) : pétrologie et implications dans l'évolution géodynamique de la lithosphère saharienne. *Thèse d'Etat. Alger*, 224p.
- KENNEDY, C.S. AND KENNEDY, G.C. 1976.** The equilibrium boundary between graphite and diamond. *J. Geophys. Res.*, 81, pp. 2467-2470.
- LESQUER, A., TAKHERIST, D., DAUTRIA, J.M. AND HADIOUCHE, O. 1990.** Geophysical and petrological evidence for the presence of an «anomalous» upper mantle beneath the Sahara Basins (Algeria). *Earth Planet Sci Lett.*, 96 : pp. 407-418.
- LESQUER, A., BELTRAO, J.F. AND ABREU, F.A.M., 1984.** Proterozoic links between northeastern Brazil and West Africa : a plate tectonic model based on gravity data, *Tectonophysics*. 110, pp. 9-26.
- LIÉGEOIS, J.P., BENHALLOU, A., AZZOUNI-SEKKAL, A., YAHIAOUI, R. AND BONIN, B. 2005.** The Hoggar swell and volcanism : Reactivation of the precambrian Tuareg shield during Alpine convergence and West African Cenozoic volcanism. *Geological Society of America*, special paper, 388p.
- MEGARTSI, M. 1972.** Etude des structures circulaires du Nord-Est d'Illizi (ex Fort- Polignac) Sahara nord-oriental. *Thèse 3^{ème} cycle, Université d'Alger*, 101p.
- MENGEL, K. AND GREEN, D.H. 1989.** Stability of amphibole and phlogopite in metasomatised peridotite under water-saturated and water-undersaturated conditions. In : Kimberlites and related rocks. Vol. 1. *Geol. Soc. Aust. Spec Publ.*, 14, pp. 571-581.
- O'BRIEN, H., PELTONEN, P. AND LEHTONEN, M. 2005.** The North Atlantic alkaline rocks-probes for testing continuity of subcontinental lithospheric mantle. In: Secher, K., Nielsen, M.N. (eds), Extended abstract Danmarks of gronland's Geologiske Undersogelse Rapport 2005/68, *Workshop on Greenland's diamond potential*. 85p.

- SCOTT-SMITH, B.H., 1989.** Lamproïtes and kimberlites in India. *Neues Jahrb. Miner. Abh.* 161, pp. 193-225.
- SGARBI, P.B.A., HEAMAN, L.M. AND GASPAR, J.C. 2004.** U-Pb perovskite ages for Brazilian Kamafugitic rocks: further support for a temporal link to the Trindade mantle plume hotspot track. *J. South Am. Earth Sci.* 16, pp. 715-724.
- SPERA, F.J. 1984.** Carbon dioxide in petrogenesis III: role of volatiles in the ascent of alkaline magma with special reference to xenolith-bearing mafic lavas. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 88, pp. 217-232.
- SRIDHAR, M., CHOWDHARY, V.S., NAYAK, S.S. AND AUGUSTINE, F.P. 2004.** discovery of kimberlite pipes in Gadwal area Mahbunagar dist. *A. P.J. Geol soc. India* 63, pp. 95-99.
- SWEENEY, R.J., THOMSON, A.B. AND ULMER, P. 1993.** Phase relations of a natural MARID compositions and implications for MARID genesis, lithospheric melting and mantle metasomatism. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 115, pp. 225-241.
- WALLACE, M.E. AND GREEN, D.H. 1988.** An experimental determination of primary carbonatite magma composition. *Nature*, 335, pp. 343-345.
- WELLS, P.R.A. 1977.** Pyroxene thermometry in simple and complex systems. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 62, pp. 129-139.
- WENDLANT, R.F. AND EGGELER, D.H. 1980.** The origins of potassic magmas: 2. Stability of phlogopite in natural spinel lherzolite and in the system $KAlSiO_4$ -MgO-SiO₂-H₂O-CO₂ at high pressures and high temperatures. *Am. J. Sci.*, 280, pp. 421-458.
- WILSON, M. AND ROSENBAUM, J.M. 1995.** Melilitites: partial melts of the thermal boundary layer. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 119, pp. 181-196.
- WYLLIE, P.J. 1978.** Mantle fluid compositions buffered in peridotite-CO₂-H₂O by carbonates, amphibole and phlogopite. *J. Geol.*, 86, pp. 687-713.
- WYLLIE, P.J. 1980.** The origin of kimberlites. *J. Geophys. Res.*, 85, pp. 6902-6910.
- WYLLIE, P.J. 1989.** The genesis of kimberlites and some low SiO₂, high-alkali magmas. In *Kimberlites and related rocks*, Geological Society of Australia. Spec. Pub., N°14- Blackwell Scientific Publisher, 1, pp. 603-615.