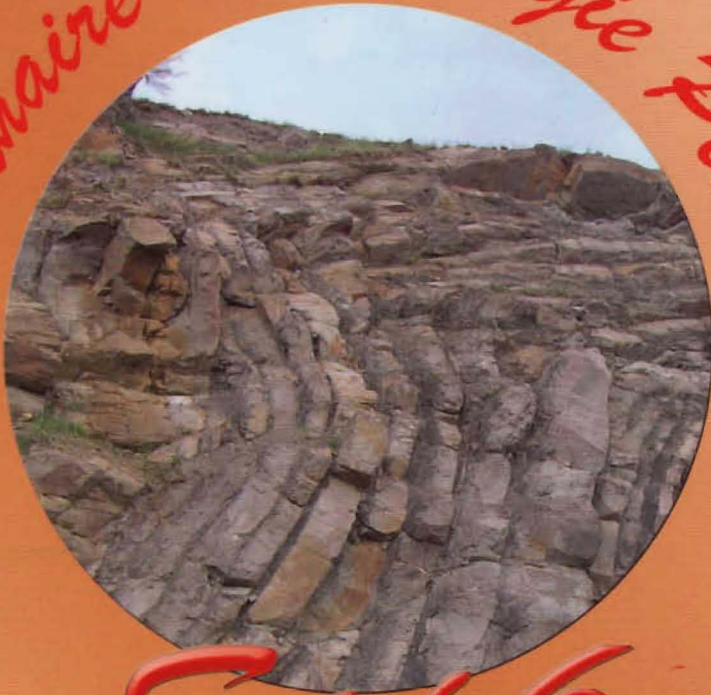


ACTIVITE AMONT

Division Centre de Recherche et Développement

Sous le Haut Patronage de M.le Ministre
de l'Energie et des Mines

6^{ème} Séminaire de Géologie Pétrolière



Sgp6

Recueil des Résumés



TOTAL

SP 4 | Session Posters Pluridisciplinaire

Moulley Charaf CHABOU (1), Amar SEBBAI (1), Gilbert FERAUD (3),
Hervé BERTRAND (4), Brahim BENRABAH (5).

(1)Département Génie Minier, Ecole Nationale Polytechnique. Alger, Algérie. mehabou@caramail.com.

(2)Département des Sciences de la Terre, Université Ferhat Abbas, Sétif, Algérie.

(3)Université de Nice – Sophia Antipolis – France. ferau@unice.fr.

(4)Ecole Normale Supérieure et UCB Lyon, France, Hervé, BERTRAND@cns-lyon.fr.

(5)Sonatrach. BSD. Boumerdès.

DATATION 39-AR - 40-AR DE LA DOLERITE DU SONDAGE GSL-3
(BASSIN DE TINDOUF).

Nous avons daté par la méthode 39-Ar - 40-Ar sur plagioclases la dolérite du sondage Ghassel-3 situé dans la région du flanc sud du bassin de Tindouf. Cette dolérite a été récupérée à 2330 m de profondeur dans le socle précambrien.

Le spectre de l'échantillon, en forme de selle, montre une augmentation de l'âge à hautes et à basses températures, ce qui est caractéristique d'un excès d'argon. A moyennes températures, entre 916°C et 1214°C, l'échantillon montre un « mini plateau » correspondant à un âge de 198,9 + 1 Ma (représentant 32 % de 39-Ar cumulé). Nous considérons cet âge « mini plateau » comme une bonne estimation de l'âge de l'échantillon.

Cet âge mésozoïque indique que cette dolérite (considérée dans certaines études comme étant précambrienne) appartient à la Province Magmatique de l'Atlantique Central. Les sondages EAN-1 et HTN-1 réalisés dans le flanc sud du bassin de Tindouf ont traversé des dolérites à des profondeurs et à des niveaux stratigraphiques similaires à ceux de GSL-3. Ces dolérites sont probablement d'âge Mésozoïque.

Bassins occidentaux

Datation ^{39}Ar - ^{40}Ar de la dolérite du sondage GSL-3 (Bassin de Tindouf)

Moulley Charaf CHABOU^(1,2), Amar SEBAI⁽¹⁾, Gilbert FERAUD⁽³⁾, Hervé BERTRAND⁽⁴⁾,
Brahim BENRABAH⁽⁵⁾.

⁽¹⁾Département Génie Minier, Ecole Nationale Polytechnique. Alger. Algérie.
mchabou@caramail.com

⁽²⁾Département des Sciences de la Terre, Université Ferhat Abbas, Sétif. Algérie.

⁽³⁾Université de Nice – Sophia Antipolis – France. feraud@unice.fr

⁽⁴⁾Ecole Normale Supérieure et UCB Lyon, France. Herve.Bertrand@ens-lyon.fr

⁽⁵⁾Sonatrach. BSD. Boumerdès.

Résumé

Nous avons effectué des analyses $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ sur plagioclases de la dolérite du sondage Ghassel-3 situé dans la région du flanc sud du bassin de Tindouf. Cette dolérite a été recoupée à 2330 m de profondeur dans le socle précambrien.

Le spectre de l'échantillon, en forme de selle, montre une augmentation de l'âge à hautes et à basses températures, ce qui est caractéristique d'un excès d'argon. A moyennes températures, entre 916°C et 1214°C, l'échantillon montre un « mini-plateau » correspondant à un âge de $198,9 \pm 1$ Ma (représentant 32 % de ^{39}Ar cumulé). Nous considérons cet âge « mini plateau » comme une bonne estimation de l'âge de l'échantillon.

Cet âge mésozoïque indique que cette dolérite (considérée dans certaines études comme étant précambrienne) appartient à la Province Magmatique de l'Atlantique Central (CAMP). Les sondages EAN-1 et HTN-1 réalisés dans le flanc sud du bassin de Tindouf ont traversé des dolérites à des profondeurs et à des niveaux stratigraphiques similaires à ceux de GSL-3. Ces dolérites sont probablement d'âge Mésozoïque.

Mots clés : Bassin de Tindouf – Sondage GSL 3 - Datation $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ – Dolérite - CAMP (Province Magmatique de l'Atlantique central).

1. Introduction

Dans les bassins occidentaux du Sahara algérien, on connaît depuis longtemps l'existence d'un magmatisme mésozoïque, constitué principalement de dolérites, dont la mise en place est supposée liée à l'ouverture de l'Atlantique central [1]. Des volumes de magmas plus conséquents qu'il n'y paraît à l'affleurement ont été injectés dans ces bassins, comme semble l'indiquer l'abondance des sills en subsurface dans les bassins de Tindouf et de Reggane. En effet, tous les sondages pétroliers réalisés dans ces bassins ont rencontré des dolérites à des profondeurs allant de 100 à 3920 m [2]. Dans les bassins de Tindouf et de Reggane, les sills sont interstratifiés principalement dans le Dévonien supérieur et le Carbonifère inférieur et certains sondages pétroliers réalisés dans le flanc sud du bassin de Tindouf ont également recoupé des dolérites au dessus du socle [2]. La superficie occupée par ce magmatisme dépasse 240,000 km² avec une épaisseur moyenne des sills de 100 m [2]. Cependant, malgré leur abondance, ces roches magmatiques ont été peu étudiées, notamment du point de vue géochronologique : les quelques datations par la méthode K-Ar (sur roche totale) donnent des âges dispersés entre 166 Ma et 189 Ma [3]. Des datations $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$

récentes donnant des âges compris entre $198,9 \pm 1,8$ et $192,7 \pm 3,0$ Ma [4] ont démontré que ces roches appartiennent à la Province Magmatique de l'Atlantique Central (CAMP).

Le but de cette étude est de présenter les résultats des analyses $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de la dolérite du sondage GSL-3 situé dans la région du flanc sud du bassin de Tindouf et qui a été recoupée à 2322 m de profondeur dans le socle précambrien. En l'absence de datation géochronologique absolue, il est difficile de dater la mise en place de cette roche et certaines études la considère comme étant d'âge Précambrien. D'autres sondages réalisés dans la région sud du bassin de Tindouf ont rencontrés des dolérites à des profondeurs et à des niveaux stratigraphiques similaires à ceux du sondage GSL-3.

2. Contexte géologique général

Le bassin de Tindouf correspond à une vaste dépression dissymétrique allongée WSW-ENE (800 km de long sur 200 à 400 km de large), avec un flanc sud peu incliné et un flanc nord très redressé. Ce bassin est limité au nord par l'Anti-Atlas, au sud par la dorsale Reguibat, à l'est par les chaînes d'Ougarta et la dépression de Reggane et à l'ouest par le bassin d'El Aioun et les Mauritanides. La couverture sédimentaire du bassin, essentiellement paléozoïque, montre un épaissement régulier de 1500 m environ au sud pour atteindre 8000 m au nord. La partie centrale du bassin est masquée par les formations continentales « hamadiennes » crétacées et tertiaires. Ce bassin s'est individualisé à la fin du Paléozoïque (Carbonifère supérieur).

Le sondage Ghassel-3 (GSL-3) a été implanté dans la région du flanc sud du bassin de Tindouf. Ses coordonnées géographiques sont : $27^{\circ}39'40''\text{N}$ et $6^{\circ}13'43''\text{W}$ [5] (figure 1).

La bordure sud du bassin de Tindouf est un monoclinal à faible pendage (1 à 2° Nord en moyenne), comprenant des terrains ordoviciens à carbonifères supérieurs [6,7,8,9]. La structure de cette bordure est caractérisée par la présence de deux sous-bassins (Djebilet et Iguidi) séparés par le môle de Laroussi [7]. Le sous-bassin de Djebilet est peu profond, tandis que celui de l'Iguidi a été fortement subsident. Quelques failles de direction WSW-ENE ou SW-NE recoupent l'ensemble du Paléozoïque et sont injectées de dolérites.

Le sondage GSL-3, implanté sur une remontée du socle à la limite Est du sous-bassin de Djebilet, a traversé une série sédimentaire, allant de l'Ordovicien au Viséen supérieur [5] (figure 2). On retrouve tous les termes de la série du flanc sud du bassin de Tindouf, à l'exception de la formation namuro-westphalienne de Hassi Aouleouel qui a été probablement érodée.

Le sondage a par ailleurs rencontré un sill doléritique de 73 m d'épaisseur (2322 à 2395 m de profondeur). Il s'agit d'une dolérite gris-foncé ou vert foncé à noire avec des veinules remplies de calcite et de serpentine [5]. Cette dolérite est située dans le socle (Précambrien), entre des quartzites métamorphiques et des gneiss [5].

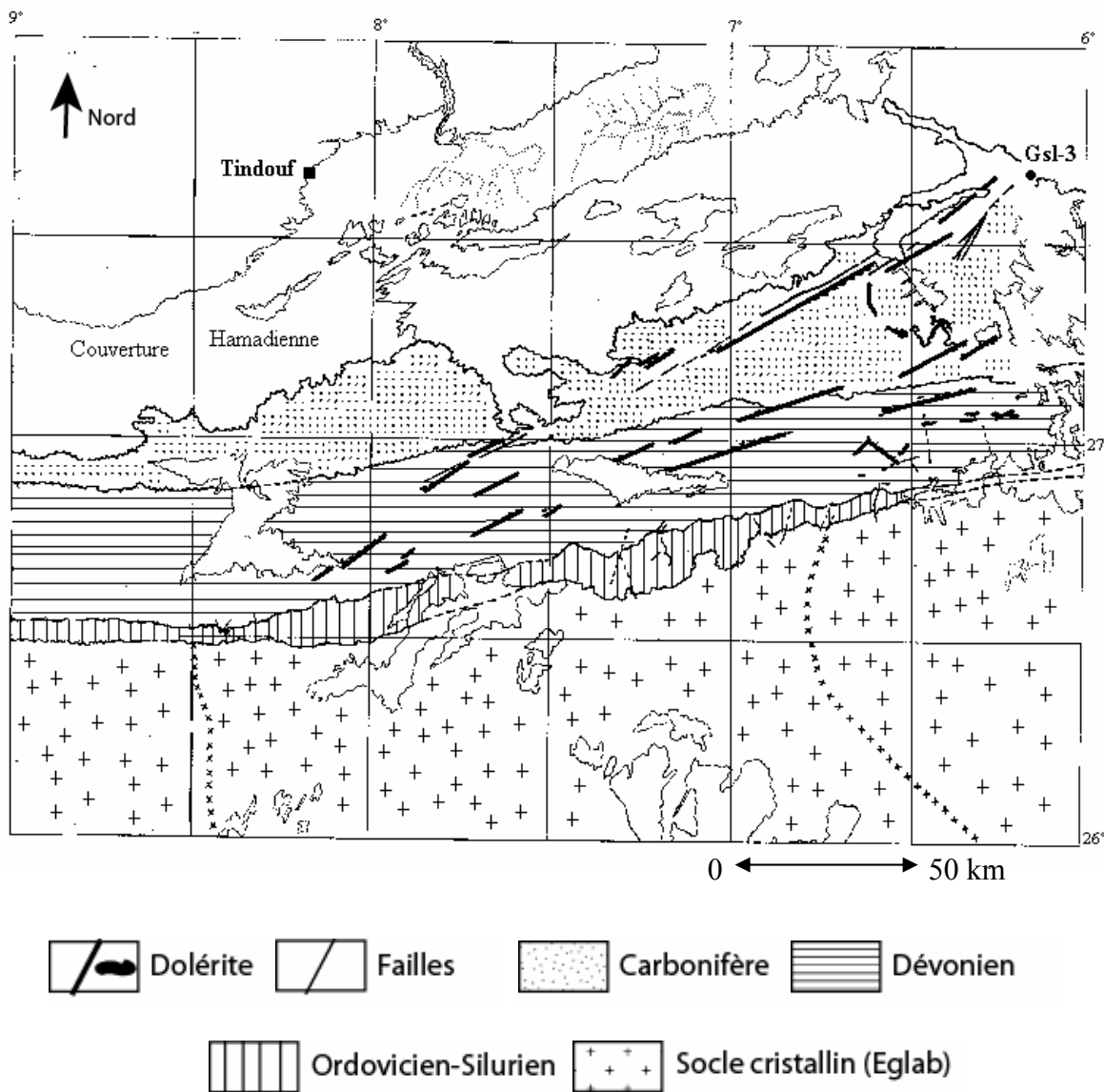
3. Les dolérites du flanc sud du bassin de Tindouf

3.a. En affleurement

Toute la série paléozoïque du flanc sud du bassin de Tindouf est injectée par un vaste système de gabbro-dolérites [6,9] (figure 1). Ces roches se présentent sous trois formes :

- 1) **en dykes**, qui correspondent au type de structure le plus répandu dans cette région. Il s'agit de longs dykes, généralement peu épais (1 à 10 m), dont un triple faisceau (bien visible sur la figure 1), orienté WSW-ENE recoupe la série paléozoïque du flanc sud du bassin de Tindouf entre les méridiens 6°10' et 8°30'Ouest. Notons aussi que les failles NE-SW et ENE-WSW recoupant cette région, sont liées aux montées magmatiques. A l'est, dans la région de Bou-Bernous, plusieurs dykes injectent des failles NE-SW ou N-S ;
- 2) **en sills**, qui sont rares et peu épais dans cette partie du bassin de Tindouf. Ils sont souvent injectés dans les formations argileuses du Famennien. D'autres sills affleurent parfois à l'est, dans la région de Bou-Bernous ;
- 3) **en massifs intrusifs**, probablement des « cheminées », sont également connus dans la région et affectent des surfaces importantes.

L'âge des dolérites de la couverture sédimentaire du flanc sud du bassin de Tindouf est postérieur au Carbonifère supérieur [6], probablement Mésozoïque.



En croisillon, les grandes lignes de fractures du socle cristallin. **GSL-3** : Sondage étudié.

Figure 1 : Esquisse géologique de la région du flanc sud du bassin de Tindouf (d'après P. Gevin, [6]) montrant la position du sondage GSL-3.

Profondeur en m	Age	Formations	Ep. en m	Lithologie
0	Tertiaire	Hamada	22	Dalles de calcaires et sables
22	Viséen supérieur	Ain el Barka	294	Calcaires, argiles et évaporites
296	Viséen inférieur	Kerb es Sefiat	137	Argiles, grès et calcaires
433	Tournaisien	Kerb es Slougua	337	Argiles et Grès
770	Famennien	Kerb en Naga Oued Ghazal	476	Grès calcaireux ou argileux Argiles
1246	Frasnien	Oued Tsubia	184	Argiles et siltstones
1430	Givetien	Sebbat	59	Calcaires
1489	Couvinien	Oued Talha	139	Argiles et calcaires
1628	Emsten	B.I.A.	126	Grès et argiles
1754	Siegenien			
1994	Silurien	Sebkhya Mabbes	240	Argiles
2276	Ordovicien	Ghezziane	282	Grès
2692	Précambrien	Socle métamorphique	416	Quartzite et Gneiss Dolérite

Figure 2 : Colonne lithostratigraphique du sondage GSL-3 (flanc sud du bassin de Tindouf), modifiée d'après le rapport de fin de sondage GSL-3 [5].

3.b. En sondage

En subsurface, les sondages pétroliers réalisés dans cette région ont rencontré des dolérites à plus de 2300 m de profondeur (figure 3), dans le socle ou dans des grès attribués au Cambrien [2]. Ainsi, outre le sondage GSL-3, le sondage EAN-1 a rencontré une dolérite massive (89 m d'épaisseur entre 2436 et 2525 m de profondeur) dans les grès d'El Aroueta considérés comme d'âge Cambrien. Le sondage HTN-1 a également recoupé des intercalations de dolérites dans les grès arkosiques du Cambrien ? (entre 2512 et 2529 m de profondeur) et a été arrêté à 2534 m de profondeur après avoir rencontré une dolérite massive à partir de 2529 m de profondeur. Les autres sondages réalisés dans cette partie du bassin de Tindouf (GSL-2, OLF-1 et ARE-1) et qui n'ont pas rencontré de dolérites, ont tous été arrêtés à des profondeurs inférieures à 1700 m, et n'ont donc pas atteint le niveau doléritique (figure 3). La corrélation entre les trois sondages GSL-3, EAN-1 et HTN-1 (figure 3) indique que ce niveau doléritique affecte probablement toute la région du flanc sud du bassin de Tindouf.

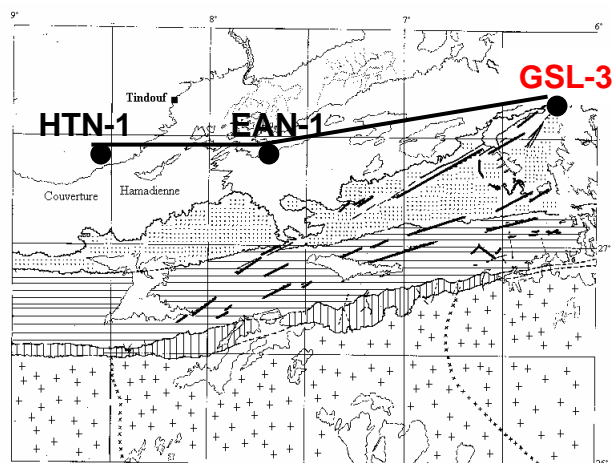
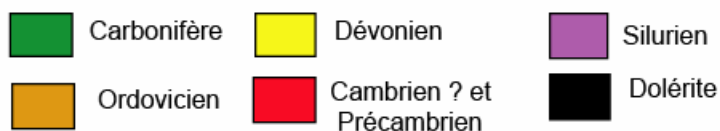
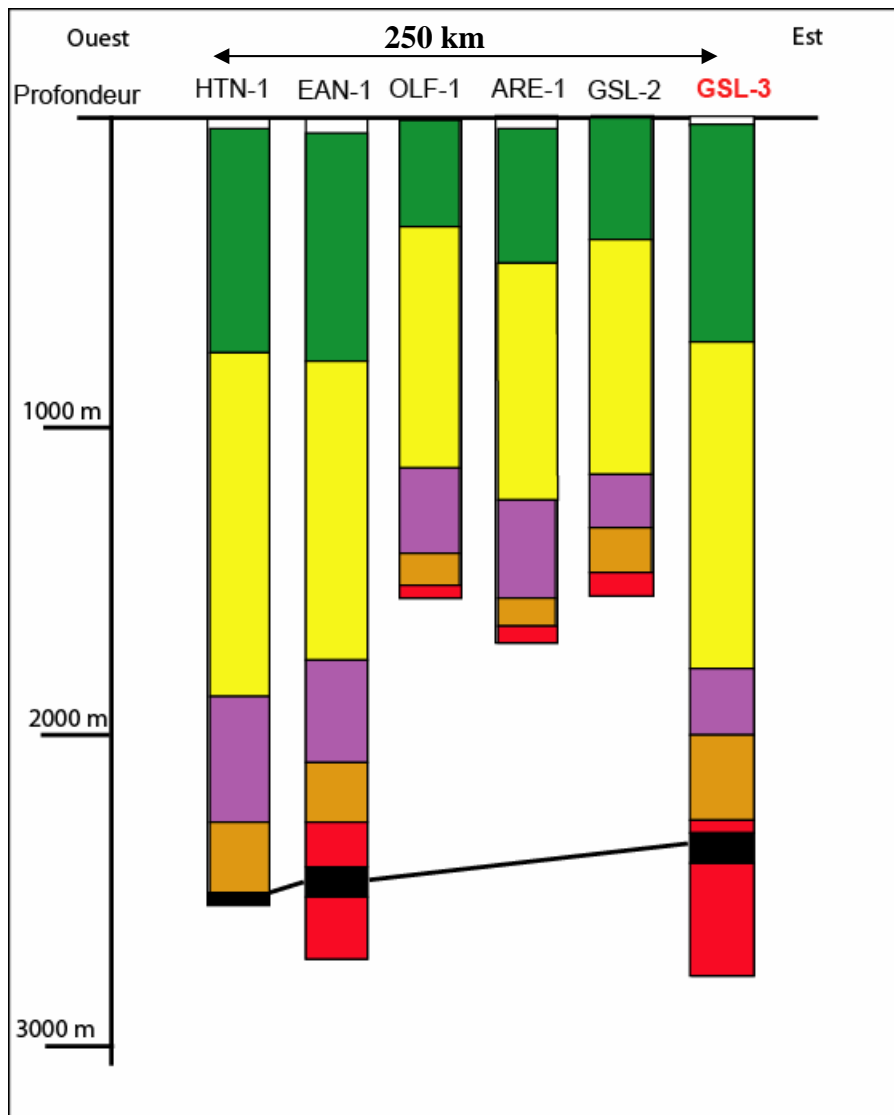


Figure 3 : Positionnement des dolérites dans les sondages du flanc sud du bassin de Tindouf

L'âge de ces dolérites de subsurface est problématique : s'agit t-il de dolérites précambriennes comme celles qui apparaissent en massifs sur le socle du Bouclier Reguibat. Ou bien s'agit t-il de sills doléritiques d'âge Mésozoïque, qui ont été alimentés par les nombreux dykes qui recourent la couverture sédimentaire paléozoïque de la région. Seule une datation géochronologique absolue permet de répondre à cette question. L'existence de carottes dans le niveau doléritique du sondage GSL-3 a permis de faire un échantillonnage en vue d'une étude géochronologique et géochimique.

4. Pétrographie et géochimie de la dolérite du sondage GSL-3

Des échantillons de dolérites, prélevés à trois niveaux différents (GSL-3a à 2332 m, GSL-3b à 2338 m et GSL-3c à 2349 m) ont été étudiés du point de vue pétrographique et géochimique [2]. La datation a été réalisée sur l'échantillon GSL-3a.

Macroscopiquement, la roche est massive, compacte, noire et assez dense, avec des cristaux de pyroxène assez visibles ; tandis que microscopiquement, elle correspond à une texture ophitique (figure 4). Les minéraux principaux sont le plagioclase (labrador) et le clinopyroxène (augite) en phénocristaux. Des minéraux opaques, des plages de micropegmatite et de l'apatite sont également présents. La biotite secondaire est abondante. On note l'existence de minéraux d'altération tels que la chlorite, l'amphibole secondaire, l'épidote et la séricite.

Du point de vue géochimique, la dolérite a une composition de tholéiite à quartz normatif ($49,02 \leq \text{SiO}_2 \leq 50,26$) pauvres en titane (TiO_2 de 0,92 à 1,01 %), typiques des roches de la CAMP.

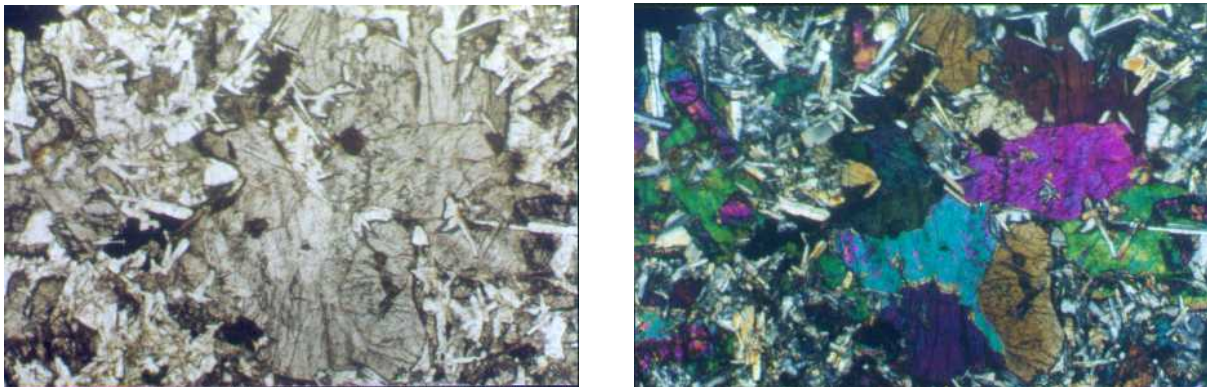


Figure 4 : Lame mince de l'échantillon GSL-3b en lumière naturelle (a) et polarisée (b) : texture ophitique, phénocristaux d'augite (brun en LN) et plagioclases poecilites (en blanc en LN) (Grossissement : 32x).

5. Datation ^{39}Ar - ^{40}Ar de la dolérite

L'échantillon GSL-3a a été analysé sur plagioclase par la méthode $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ au laboratoire de Géochronologie du CNRS-UMR Géosciences Azur, Nice (France). Il a été irradié pendant environ 70 heures dans le réacteur de l'Université McMaster à Hamilton (Canada). L'échantillon a été chauffé par laser et mesuré par un spectromètre de masse. Les âges-plateau et moyennes pondérées (avec les marges d'erreur) sont donnés à 2σ . Les constantes de désintégration utilisées sont celles de [10]. Les résultats des analyses $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ sont consignés dans le tableau 1.

Le spectre de l'échantillon GSL-3a est en forme de selle, et montre une augmentation de l'âge à hautes et basses températures, ce qui est caractéristique d'un excès d'argon [11]. A moyenne température, entre 916° et 1214°C, l'échantillon montre un « mini-plateau » correspondant à un âge de $198,9 \pm 1,8$ Ma (représentant 32 % de ^{39}Ar cumulé) (figure 5). Si le plagioclase analysé était dépourvu de la moindre altération, cet âge pourrait être considéré comme un âge maximum. Des analyses à la microsonde effectuées sur des plagioclases frais de cet échantillon montrent que les rapports Ca/K (convertis en rapports $^{37}\text{Ar}_{\text{Ca}}/^{39}\text{Ar}_{\text{K}}$ par la relation $\text{Ca}/\text{K} = 1,83 \times ^{37}\text{Ar}_{\text{Ca}}/^{39}\text{Ar}_{\text{K}}$) sont plus élevés que ceux donnés par les analyses d'argon. Il est donc probable que cet âge soit également affecté par l'altération. Il est donc impossible de savoir si cet âge est trop vieux (excès d'argon) ou trop jeune (altération) par rapport à l'âge vrai. Le diagramme isochrone ($^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ vs. $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$) a fourni un âge de $197,84 \pm 0,967$ Ma avec un rapport $(^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar})_i$ de 371.95 (figure 6). Cet âge est concordant (légèrement plus jeune) avec l'âge mini-plateau. L'existence de l'excès d'argon dans cet échantillon peut s'expliquer par le fait que la roche analysée provient d'un sill intrusif dans le socle précambrien des Eglab.

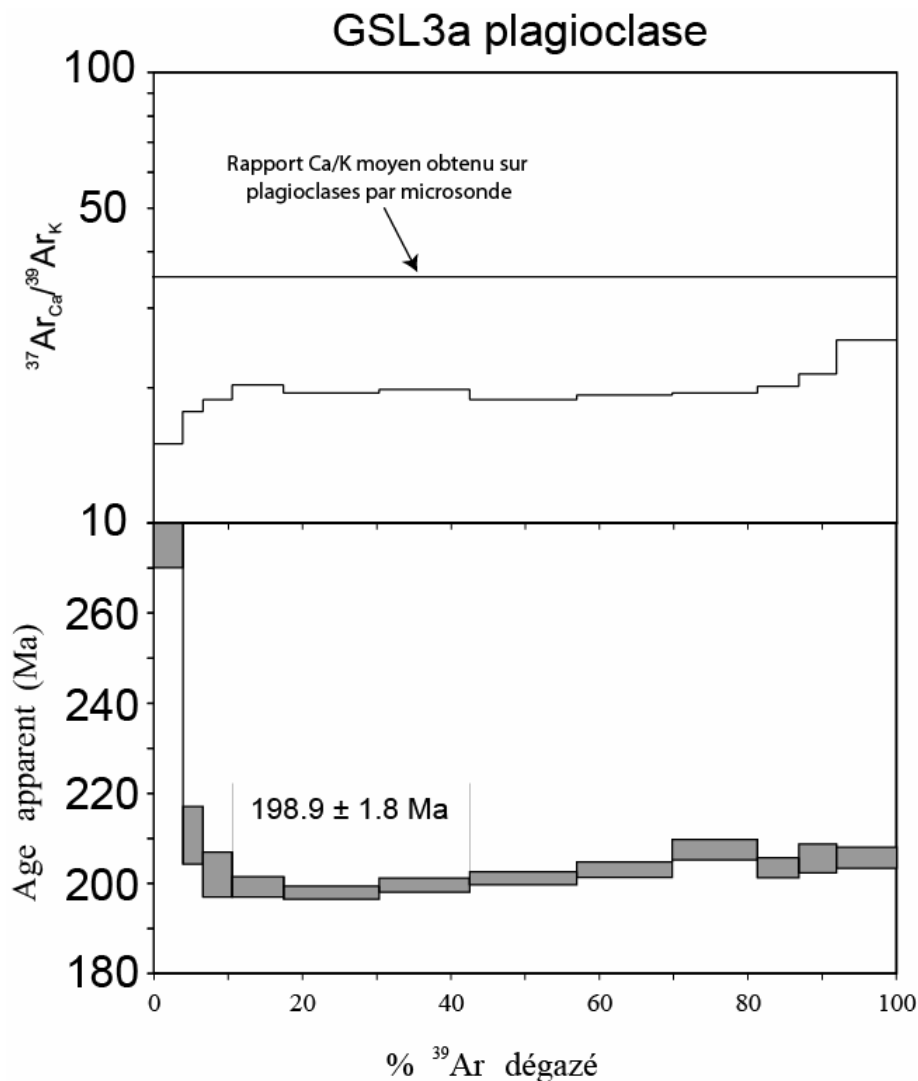


Figure 5 : Spectres d'âges $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ et spectres $^{37}\text{Ar}_{\text{Ca}}/^{39}\text{Ar}_{\text{K}}$, en fonction de ^{39}Ar libéré, obtenus sur plagioclases de la dolérite du sondage GSL-3. Les rapports $^{37}\text{Ar}_{\text{Ca}}/^{39}\text{Ar}_{\text{K}}$ des plagioclases frais sont donnés par la moyenne des rapports Ca/K obtenus à la microsonde, convertis en rapports $^{37}\text{Ar}_{\text{Ca}}/^{39}\text{Ar}_{\text{K}}$ par la relation $\text{Ca}/\text{K} = 1,83 \times ^{37}\text{Ar}_{\text{Ca}}/^{39}\text{Ar}_{\text{K}}$.

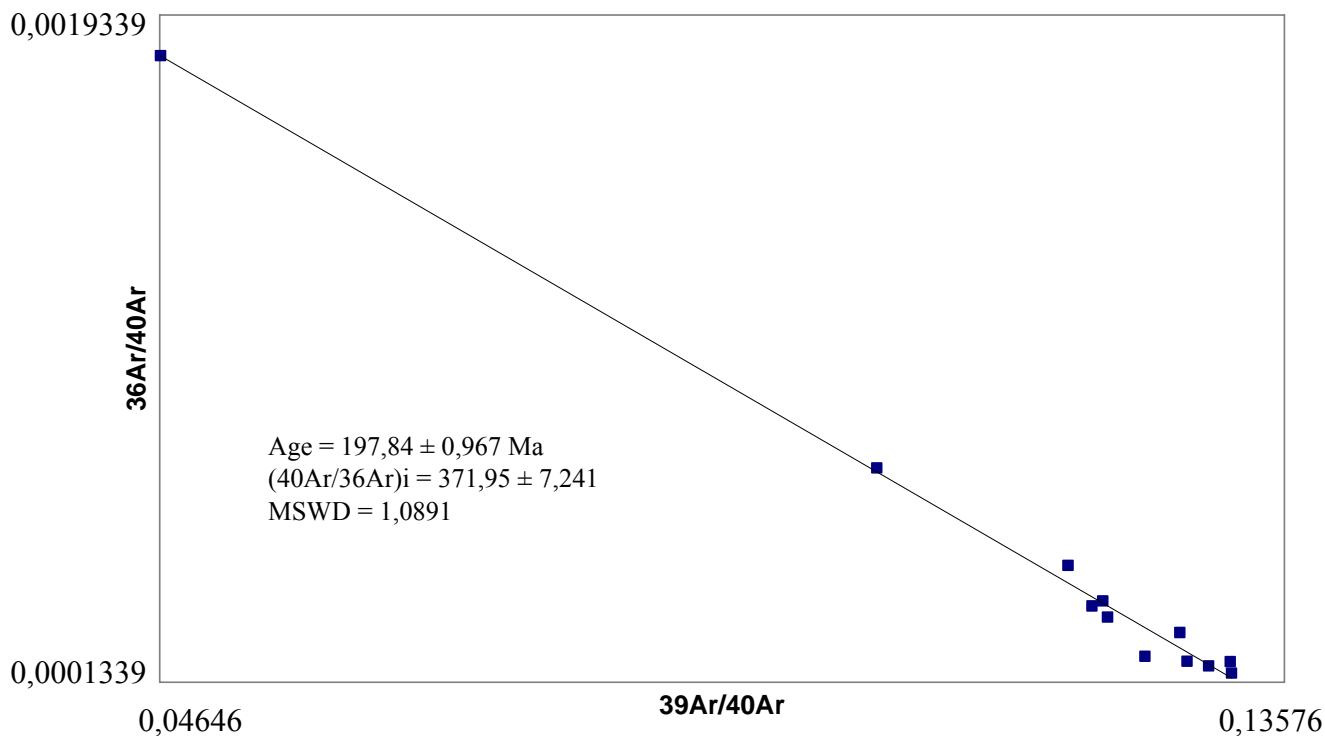


Figure 6 : Diagramme isochrone sur plagioclase de la dolérite du sondage GSL-3

Temp. (°C) ou numéro étape	Contamination atmosphérique (%)	^{39}Ar (%)	$^{37}\text{Ar}_{\text{Ca}}/^{39}\text{Ar}_{\text{K}}$	$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}_{\text{K}}$	Age apparent (Ma) ± 1 sigma		
1	53.8	3.88	14.998	9.943	276.1	±	6.0
2	20.9	2.74	17.705	7.450	210.71	±	6.4
3	13.0	3.90	18.784	7.123	202.0	±	5.0
4	7.8	6.92	20.270	7.021	199.2	±	2.3
5	5.4	12.90	19.470	6.973	198.0	±	1.4
6	4.5	12.18	19.828	7.037	199.7	±	1.5
7	5.1	14.45	18.792	7.092	201.1	±	1.5
8	5.5	12.83	19.225	7.163	203.1	±	1.7
9	5.9	11.47	19.468	7.330	207.5	±	2.3
10	10.2	5.58	20.120	7.179	203.5	±	2.2
11	9.0	5.06	21.420	7.257	205.6	±	3.2
Fusion	9.8	8.10	25.473	7.263	205.7	±	2.4

Age total = 205.4 ± 0.7

Tableau 1 : Résultats des analyses ^{39}Ar - ^{40}Ar sur plagioclase de la dolérite du sondage GSL-3

6. Discussion et conclusion

- La dolérite du sondage GSL-3 a fourni un âge approché de $198,9 \pm 1,8$ Ma. Cet âge peut être soit maximum, soit minimum (si l'altération est importante). Cependant, on peut considérer cet âge comme une bonne estimation de l'âge vrai de l'échantillon (qui doit être légèrement supérieur ou inférieur). Cet âge est concordant avec l'âge isochrone de $197,84 \pm 0,967$ Ma obtenu sur cet échantillon.
- Cette étude démontre que la dolérite du sondage GSL-3 appartient à la Province Magmatique de l'Atlantique Central (CAMP). Cette province, la plus vaste province magmatique de notre planète ($\sim 7 \times 10^6$ km²), s'est mise en place autour de la limite Trias–Jurassique (200 Ma) [12]. Elle est liée à la fragmentation initiale de la Pangée et à l'ouverture de l'Atlantique Central, et les témoins de cette province affleurent aujourd'hui sur quatre continents : Amérique du Nord, Amérique du Sud, Afrique de l'Ouest et Europe.
- Les dolérites des sondages EAN-1 et HTN-1, rencontrées aux mêmes profondeurs que la dolérite du sondage GSL-3 ont probablement le même âge Mésozoïque et appartiennent également à la CAMP. Elles sont de même âge et de même nature que les sills, dykes et coulées doléritiques du Sud-Ouest algérien (bassins de Tindouf, de Reggane, du Hank et de Béchar).
- Les sills doléritiques du flanc sud du bassin de Tindouf rencontrés en sondage, ont probablement été alimentés par les dykes qui recourent la couverture paléozoïque de la région, comme semble le confirmer les corrélations géochimiques entre ces dykes et la dolérite du sondage GSL-3 (M.C. Chabou et al., travaux en cours).
- Cette étude indique que des intrusions magmatiques ont été mises en place dans le socle (où à la limite entre le socle et la couverture sédimentaire paléozoïque) au début du Jurassique dans la région du flanc sud du bassin de Tindouf. Ces intrusions ont induit un effet thermique considérable sur l'ensemble de la série paléozoïque. Les modèles thermiques de maturation de la matière organique des roches mères de cette partie du bassin de Tindouf doivent tenir compte de la mise en place de ces roches. Ces dolérites en intrusion dans le socle du flanc sud du bassin de Tindouf ont été considérées jusqu'à maintenant comme précambriennes et donc sans effet thermique sur la couverture sédimentaire paléozoïque.

7. Références

[1] **J. Fabre**, Introduction à la géologie du Sahara algérien, *SNED, Alger, 1976, 422 p.*

[2] **M.C. Chabou**, Etude pétrographique et géochimique du magmatisme mésozoïque de l'Ouest de la plate-forme saharienne, *Thèse de Magister, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, 2001, 181 p.*

[3] **J. Conrad**, Les séries carbonifères du Sahara central algérien : stratigraphie, sédimentation, et évolution structurale, *Thèse de Doctorat ès sciences, Université d'Aix Marseille, 1984, 178 p.*

- [4] **M.C. Chabou, A. Sebai, G. Féraud, H. Bertrand**, Datation ^{40}Ar - ^{39}Ar de la province magmatique de l'Atlantique Central dans le Sahara occidental algérien, *21^{ème} RST, Dijon, France (2006)*.
- [5] **Sonatrach**, Rapport de fin de sondage GSL-3, *Sonatrach, Direction Recherche et Production. 1971*.
- [6] **P. Gevin**, Etudes et reconnaissances géologiques sur l'axe cristallin Yetti-Eglab et ses bordures sédimentaires, *Service de la Carte Géologique de l'Algérie, 1960, 328 p.*
- [7] **L. Bitam, R. Gourvennec et M. Robardet**, Les formations paléozoïques anté-carbonifères du sous-bassin de Djebilet (flanc sud du Bassin de Tindouf, Nord-Ouest du Sahara algérien), *In : L. Bitam et J. Fabre (Eds.), Géodynamique du craton ouest africain central et oriental : héritage et évolution post-panafricains. Mémoires du Service Géologique de l'Algérie, n°8, Boumerdès, 1996, 15-22.*
- [8] **S. Guerrak**, Time and space distribution of Palaeozoic oolitic ironstones in the Tindouf Basin, Algerian Sahara, *In : T.P Young and W.E.G. Taylor (Eds.), Phanerozoic Ironstones, Geological Society Special Publication, 46 (1989), 197-212.*
- [9] **N. Rebbouh**, Mise au point sur la stratigraphie du Paléozoïque du flanc sud du bassin de Tindouf, *Rapport inédit, Exploration, Sonatrach, 1994.*
- [10] **R.H. Steiger, E. Jager**, Subcommittee on geochronology: convention of the use of decay constants in geo- and cosmochronology, *Earth Planet. Sci. Lett. 36 (1977) 359-362.*
- [11] **M.A. Lanphere, G.B. Dalrymple**, Identification of Excess ^{40}Ar by the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age spectrum technique, *Earth Planet. Sci. Lett. 32 (1976) 141-148.*
- [12] **S. Nomade, K.B. Knight, E. Beutel, P.R. Renne, C. Vérati, G. Féraud, A. Marzoli, N. Youbi, H. Bertrand**, Chronology of the Central Atlantic Magmatic Province: Implications for the Central Atlantic rifting processes and the Triassic-Jurassic biotic crisis, *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., 244 (1-4) (2007) 326-344.*