

Comportement géochimique des éléments du groupe du platine (PGE) dans l'intrusion ultrabasique d'In Allarène (Hoggar Occidental)

Lakhdar BENMOUSSA *, Jean AMOSSE et Michel PIBOULE****

* Ecole Normale Supérieure, *Vieux Kouba, Alger, Algérie.*

** Laboratoire de Géologie Alpine UPRES-A, CNRS 69,
Institut Dolomieu, *15 rue Maurice Gignoux, 38031 Grenoble cedex, France.*

Résumé : L'étude du complexe basique-ultrabasique d'In Allarène a mis en évidence l'existence d'une série différenciée cumulative intrusive dans le socle archéen du môle d'In Ouzal. Elle comprend des dunités serpentinisées, des pyroxénites à caractère wehrlitique et des gabbros. La séquence de cristallisation (olivine - clinopyroxène - plagioclase) se rapporte à celle d'un liquide magmatique initialement riche en fer. La chromite apparaît subordonnée dans cette pile cumulative caractéristique d'une lignée sub-alkaline tholéitique. Quelques rares différenciés acides à caractères granophyriques ont été observés.

Les spectres des PGE des dunités mettent en évidence l'existence d'une différenciation marquée entre les IPGE (Os, Ir, Ru) et les PPGE (Rh, Pt, Pd) avec toutefois une pente positive, inverse de celles observées dans les cumulats dunitiques des ophiolites. Ceci traduit une différenciation marquée qui peut laisser supposer une précipitation précoce des IPGE dans des cumulats chromitiques situés à la base de la pile cumulative. Les pyroxénites présentent le même type de spectres à pente positive mais légèrement plus accentuée traduisant une différenciation plus importante entre PPGE et IPGE. Cette évolution atteste d'une légère précipitation de sulfures. La série gabbroïque confirme cette tendance sans marquer toutefois l'existence d'une précipitation massive de sulfures de métaux de base susceptible d'entraîner les éléments du groupe du platine. Ceci montre l'existence d'une fugacité en soufre modérée. Ces résultats, obtenus avec un petit nombre d'échantillons, ne permettent pas de conclure à l'absence d'une minéralisation en PGE à In Allarène.

Mots clés : Platinoïdes - géochimie - In Allarène - Hoggar.

Geochemical behaviour of Platinum Group Elements (PGE) in In Allarene ultramafic intrusion (West Hoggar)

Abstract : The In Allarene (Western Hoggar) basic and ultrabasic complex is intrusive in the Archean and Proterozoic basement (Môle d'In Ouzal). Serpentinised dunites, pyroxenite (wehrlites) and gabbros are largely exposed. The cumulative iron-rich sequence can be attributed to a sub-alkaline liquid. Some granophyres appear in the latest differentiated liquids. Chromite is scarce in the intrusion.

PGE patterns normalized to the mantle were drawn for dunites, pyroxenites and gabbros. In dunite, a positive slope, inverse of that reported for ophiolitic dunite is observed. An early precipitation of PGE in chromitite within dunitic cumulate can be expected. The patterns of PGE in pyroxenites and gabbros

show also a positive slope which is characteristic of precipitation of sulfides. Nevertheless no precipitation of sulfides which usually contain PGE was observed. Due to the restricted number of samples studied we cannot confirm to the absence of a PGE mineralisation in another part of the intrusion.

Key words : PGE - Geochemistry - In Allarene - Hoggar.

I. PRESENTATION GEOLOGIQUE DU COMPLEXE D'IN ALLARENE

Le complexe d'In Allarène se situe dans la zone centrale du môle d'In Ouzzal sur la carte géologique de Tirek (fig. 1). Le môle d'In Ouzzal est constitué de formations essentiellement archéennes et protérozoïques inférieures. Le complexe recoupe un socle métamorphique représenté par des formations granito-gneissiques et migmatitiques riches en amphibolites. L'esquisse du complexe a été définie à la suite des travaux du BRMA (Mission Verte 1957-1958).

L'intrusion est grossièrement ovale (6 km x 4km) avec une structure concentrique comportant au coeur un ensemble ultrabasique, entouré d'une couronne de pyroxénites, elle-même ceinturée à l'extérieur par des roches basiques à dominante gabbroïque. La structure générale concentrique et le pendage des formations rappellent ceux d'un lopolithe stratifié en forme de cuvette très aplatie (Rapport BRMA 1957-1958).

II. ETUDE PETROGRAPHIQUE

1 - Echantillonnage

L'échantillonnage de l'intrusion d'In Allarène a été réalisé au cours de deux campagnes en 1984 et 1987. Il porte sur l'ensemble des grands types lithologiques repérés sur le terrain à la faveur de coupes transversales et radiales (fig. 2). On a ainsi relevé, dans la partie centrale de l'intrusion, des faciès dunitiques hautement serpentinisés signalés dans les rapports du BRMA (1957-1958). La couronne de pyroxénites ceinture le coeur ultrabasique. Elle passe à sa périphérie à un ensemble de gabbros cumulatifs, eux mêmes auréolés de faciès plus fins à cachet doléritique. Quelques pyroxénites s'intercalent également au sein des dunités.

Accessoirement des granophyres, des granites et des syénites ont été échantillonnés dans les gabbros à l'Est de l'intrusion en filons ou en imprégnations locales dans les dolérites.

2 - Dunités serpentinisées

Il s'agit de métacumulats initialement très riches en olivine offrant des reliques texturales en pavés déterminés par d'anciennes olivines et très accessoirement par de rares cristaux de clinopyroxène. L'olivine primaire a été totalement remplacée par des minéraux du groupe de la serpentine qui confèrent une trame maillée à la texture adcumulat palimpseste (Wager *et al.*, 1960). Le chrysotile et l'antigorite sont accompagnés d'une fine granulation de magnétite secondaire contemporaine de la serpentinitisation.

Au coeur de l'intrusion, une dunite serpentinisée comporte plusieurs filets d'épaisseur millimétrique parallèles de chromite en grains automorphes à sub-automorphes à section losangique ou polyédrique. Les grains de chromite sont soit jointifs, soit séparés par des reliques d'anciennes olivines serpentinisées. Optiquement, elles sont homogènes et parfois fracturées et recoupées par les minéraux du groupe de la serpentine, ce qui confirme leur origine précoce et vraisemblablement cumulative.

3 - Pyroxénites

Les pyroxénites wehrlitiques correspondent à des hétéradcumulats à augite et olivine. L'olivine correspond à la phase cumulus et le clinopyroxène à la phase intercumulus (Wager *et al.*, 1960; Wager et Brown, 1968). La serpentinitisation affecte certains échantillons où l'olivine est partiellement ou totalement pseudomorphosée par l'antigorite et le chrysotile.

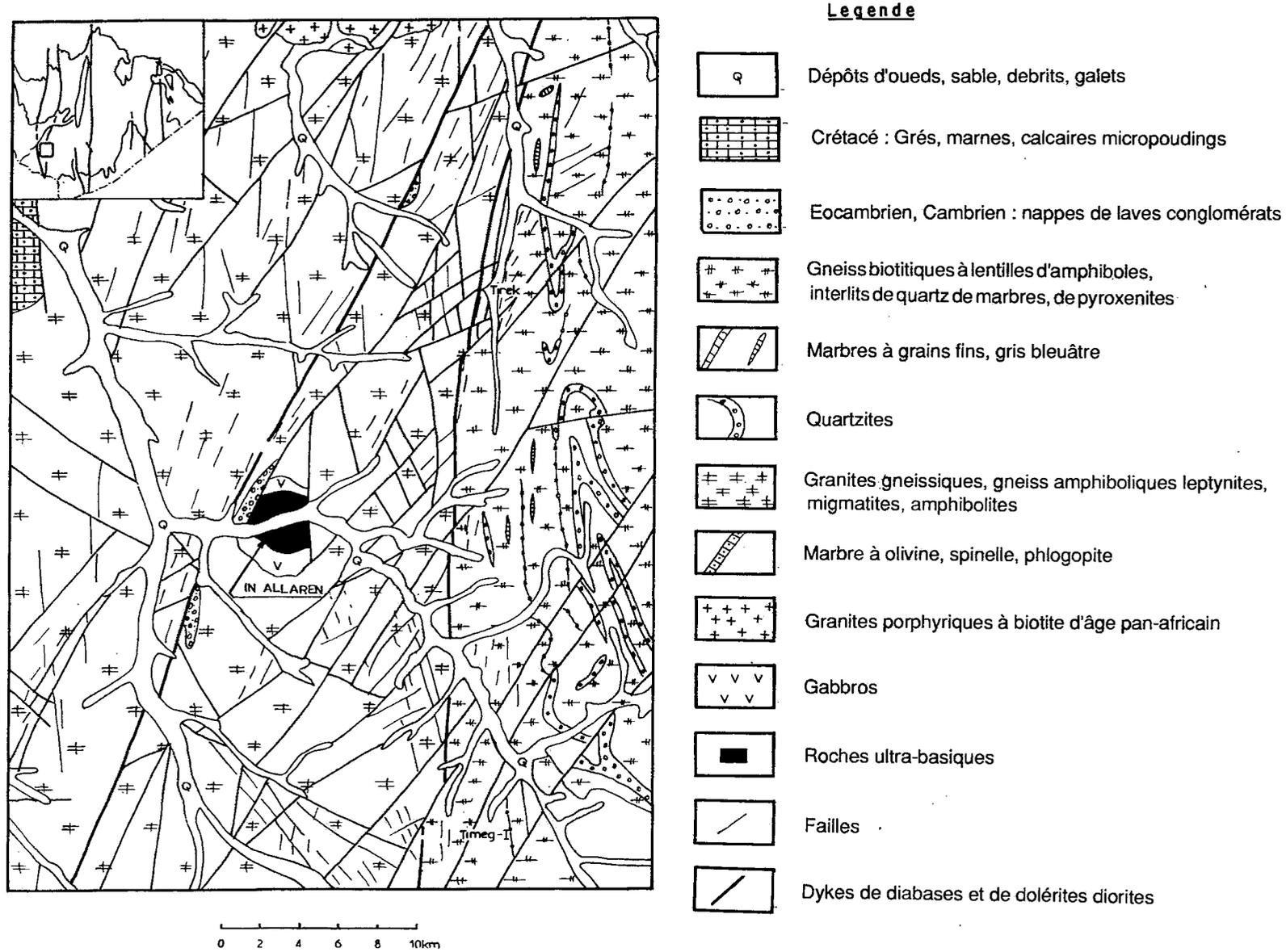


Fig. 1 - Carte géologique schématique simplifiée de la partie moyenne du môle d'In Ouzal
 (d'après Varava et al., modifiée)
Schematic geological simplified map of middle part of In Ouzal mole
 (According to Varava and others modified)

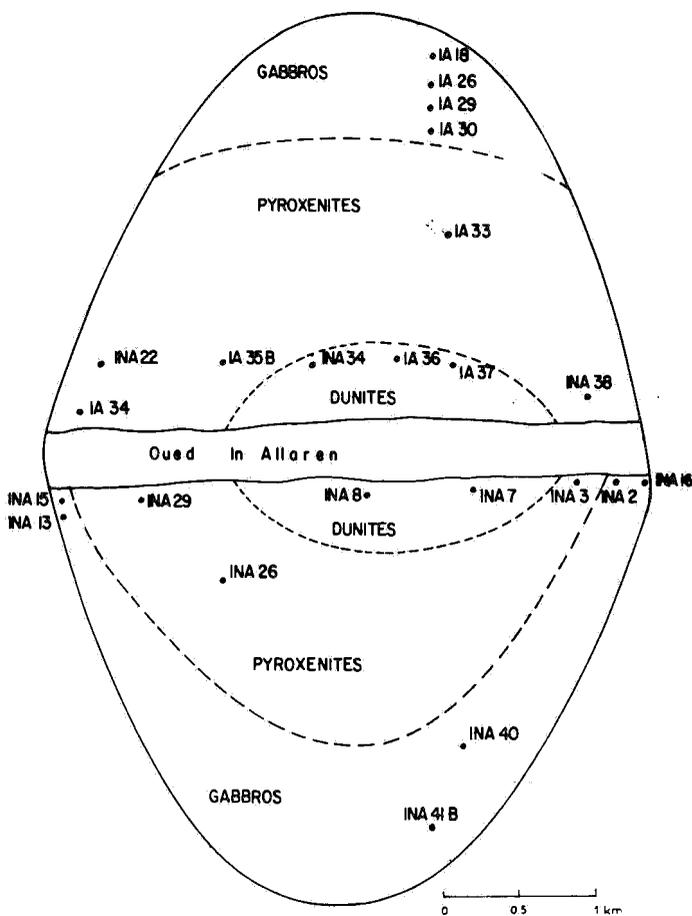


Fig. 2 - Carte d'échantillonnage
Sampling map

A proximité de la dunite à chromite décrite ci-dessus les pyroxénites présentent également quelques grains automorphes de chromite magmatique.

4 - Gabbros

Ce sont des gabbros cumulatifs à texture d'hétérad-cumulat où le plagioclase et le clinopyroxène sont en position cumulus. Le clinopyroxène représente également la phase intercumulus. Le plagioclase montre fréquemment un habitus prismatique tabulaire qui confère parfois une texture planaire à la roche. Très accessoirement il montre une texture en mosaïque granulée. La présence d'orthopyroxène primaire peut être suspectée par la présence de rares amas de bastite. La hornblende brune, la magnétite et la biotite

complètent en très petite quantité la paragenèse magmatique *s.l.* de certains échantillons. Dans ce cas, la hornblende titanée et la magnétite associée accompagnent et cimentent le clinopyroxène primaire et sont à rapporter vraisemblablement à une réaction tardi-magmatique liée à la présence de fluides.

Un mélagabbro à deux pyroxènes et olivine en phase cumulus et à plagioclase et olivine interstitiels a été reconnu en intercalation au sein des pyroxénites.

Les gabbros sont généralement affectés par une forte rétro-morphose métamorphique. Les plagioclases sont altérés et remplacés par des assemblages saussurites ou par de la séricite et parfois de la prehnite. Le clinopyroxène est pseudomorphosé par la hornblende verte ou par une amphibole actinolitique associée à la calcite. La bastite peut être rapportée à la phase d'amphibolitisation et de rétro-morphose de ces gabbros.

5 - Dolérites et faciès de bordure

Ce sont des métadolérites dont les minéraux magmatiques primaires ont été totalement rétro-morphosés et remplacés par des assemblages à hornblende, amphibole actinolitique, chlorite, plagioclase acide, calcite... et qui présentent une texture intersertale porphyrique palimpseste. Les contours des phénocristaux relictuels sont soit ceux de plagioclases soit plus rarement ceux d'anciennes olivines. L'apatite et le zircon primaire complètent l'assemblage. La rétro-morphose métamorphique affecte ainsi l'intégralité de la paragenèse magmatique.

6 - Granophyres de la zone de bordure

A la bordure orientale du massif, les métadolérites précédentes deviennent localement grossières et sont étroitement associées à un matériel intermédiaire à acide à texture granophyrique. Il s'agit de microdiorites à micropegmatites à plagioclase-quartz. Ce matériel fortement fracturé est affecté par une épidotisation poussée. Ce matériel acide correspond aux termes les plus différenciés reconnus dans l'intrusion magmatique d'In Allaren.

7 - Conclusion

L'ensemble de l'intrusion correspond à une lignée magmatique largement représentée par une séquence cumulative dunito-wehrlitique et gabbroïque; elle est extrêmement pauvre en liquides très différenciés (granophyres). Les phases hydroxylées, en particulier la hornblende primaire, sont très rares dans cette séquence.

Les minéraux ont subi une puissante rétro-morphose marquée d'une part par une forte amphibolitisation des pyroxénites, des gabbros et des dolérites ainsi que par une serpentinisation extrême des ultrabasites.

III. GEOCHIMIE DES ELEMENTS MAJEURS

1 - Dunites

L'analyse chimique des éléments majeurs des ultrabasites (tableau 1) montre tout d'abord leur caractère hypoalumineux ainsi que les faibles teneurs en calcium et sodium. Ces caractères s'accordent parfaitement avec la nature dunitique et cumulative des matériaux analysés qui sont exempts de clinopyroxène et de plagioclase. On notera en outre une relative richesse en fer par rapport au magnésium. La serpentinisation peut être à l'origine d'une déperdition en magnésium et d'un enrichissement relatif en fer. Cette richesse pourrait également attester du caractère déjà évolué du magma basaltique lors de la précipitation de l'olivine. L'absence de reliques primaires d'olivine analysables à la microsonde ne permet pas de choisir entre les deux hypothèses précédentes. Dans l'hypothèse où la richesse en fer a une origine magmatique, deux interprétations sont possibles : ou bien la séquence étudiée est incomplète et seule la partie sommitale des dunites affleure; ou bien le liquide basaltique initial à l'origine de l'intrusion d'In Allarène était riche en fer avant sa différenciation. Cette dernière hypothèse n'est pas à exclure car l'intrusion étudiée est probablement d'âge archéen ou protérozoïque inférieur: le liquide initial

peut dériver d'un manteau encore faiblement appauvri en fer par les fusions partielles.

2 - Pyroxénites

Les cumulats pyroxénitiques (tableau 1) sont également très magnésiens et très calciques; en revanche comme pour les dunites, l'aluminium et le sodium présentent de très faibles teneurs. Ces caractères généraux attestent à la fois de la forte participation de l'olivine et du clinopyroxène et de la quasi-absence du plagioclase dans ces cumulats. La précipitation massive du clinopyroxène en seconde phase après l'olivine au cours de la séquence de cristallisation confirme le cachet calcique du magma. Ce point s'accorde parfaitement avec la prédominance des wehrlites dans la séquence lithologique étudiée.

3 - Gabbros

D'après les compositions chimiques des gabbros (tableau 1) deux populations distinctes de cumulats basiques peuvent être définies :

- d'une part une population aluminomagnésienne riche en MgO (supérieur à 12,5 %) et à teneur modérée en alumine (10 à 13%). Elle correspond pétrographiquement à des mélagabbros ou à des roches intermédiaires comprises entre les wehrlites et le gabbros.

- d'autre part une population alumineuse ($Al_2O_3 > 15.5\%$, $MgO < 10\%$) et généralement riche en éléments attribuables au feldspath ($CaO + Na_2O + K_2O > 12\%$). Le plagioclase apparaît très calcique en raison des teneurs modérées en soude en général. La prédominance du plagioclase sur les minéraux magnésiens est attestée par des teneurs extrêmes en alumine dans certains échantillons et par des teneurs modérées en fer et magnésium. D'autre part les teneurs en TiO_2 et P_2O_5 sont faibles et variables et impliquent des proportions de liquides intercumulus

Tableau 1 - Composition chimique des échantillons des principaux faciès du massif d'In Allarène
Selected analytical data of In Allarène samples

Echantillon:	INA2	INA8	INA16	INA34	INA38	IA34	IA37	IA29
Nature	Per.	Per.	Per.	Per.	Per.	Pyr.	Pyr.	Gab.Al
SiO ₂	39,56	39,08	38,50	38,32	36,70	42,04	39,24	50,55
Al ₂ O ₃	0,01	0,01	0,39	0,04	0,32	1,11	0,64	15,87
FeO	10,13	10,53	11,70	10,80	9,41	10,89	10,12	8,35
MnO	0,08	0,11	0,07	0,12	0,07	0,22	0,15	0,19
MgO	37,17	37,73	35,99	34,64	39,00	30,83	33,66	6,40
CaO	0,27	0,24	0,17	0,26	0,06	7,31	4,57	8,10
Na ₂ O	0,01	0,01	0,03	0,04	0,24	0,2	0,19	2,48
K ₂ O	0,02	0,01	0,03	0,04	0,10	0,06	0,07	1,73
TiO ₂	0,02	0,03	0,03	0,04	0,01	0,14	0,04	0,75
P ₂ O ₅	0,17	0,15	0,04	0,05	0,01	0,01	0,01	0,46
Cr ₂ O ₃	0,29	0,33	0,35	0,27				
S							0,06	
P.A.F.	13,28	12,61	13,00	13,43	12,30	7,04	10,95	3,92
TOTAL	101,01	100,84	100,30	98,05	98,22	99,85	99,7	98,80
Echantillon:	INA13	INA41B	INA32	IA26	IA18	IA30	INA26	INA3
Nature	Gab.Al	Gab.Al	Gab.	Gab.	Dol.	Dol.	Syé.	Trondhj.
SiO ₂	45,69	50,37	46,57	49,39	52,37	54,15	62,65	67,35
Al ₂ O ₃	18,92	15,81	12,92	9,95	16,83	18,42	19,57	16,23
FeO	6,85	7,60	8,64	9,94	8,17	7,17	2,32	1,91
MnO	0,11	0,13	0,16	0,20	0,19	0,22	0,08	0,02
MgO	8,21	8,28	14,68	12,71	6,91	3,25	1,26	1,16
CaO	13,17	13,37	15,18	10,53	6,74	6,87	1,96	2,47
Na ₂ O	1,55	1,10	0,39	1,52	3,40	2,67	8,62	5,79
K ₂ O	1,14	0,16	0,03	0,60	1,40	2,23	0,41	1,93
TiO ₂	1,09	0,36	0,18	0,56	0,86	0,62	0,20	0,18
P ₂ O ₅	0,04	0,15	0,02	0,09	0,24	0,46	0,19	0,14
Cr ₂ O ₃	0,02		0,08	0,13			0,01	0,01
S	0,13		0,25	0,13	0,05		0,08	0,11
P.A.F.	2,63	1,84	1,80	3,11	2,34	3,70	1,73	2,21
TOTAL	99,55	99,17	100,90	98,86	99,50	99,76	99,09	99,51

modérées et variables d'un échantillon à l'autre. Ce caractère est habituel dans les hétéradcumulats gabbroïques. Cette typologie générale des gabbros s'accorde parfaitement avec celle proposée par Pearce (1984).

4 - Dolérites

Il s'agit de matériaux modérément siliceux contenant 50 à 54% en poids de silice et dont la teneur en alumine peut être élevée et supérieure à 15% attestant d'une légère tendance cumulative plagioclasique, en accord avec la présence de phénocristaux relictuels de feldspaths. Elles montrent un rapport FeO/MgO supérieur à 1 et des teneurs en TiO₂ faibles et inférieures à 1%. Le sodium et le potassium sont à des teneurs élevées et témoignent du caractère à la fois métamorphique et altéré des matériaux conforté par une perte au feu élevée. (albitisation, séricitisation...). Les compositions relevées pour ces dolérites ne permettent pas, en raison des transformations secondaires, de reconnaître facilement la nature du magma à l'origine de ces dolérites. Toutefois certaines compositions s'apparentent beaucoup à celles des gabbros précédents (teneurs en alumine, en silice, rapports FeO/MgO...). Certaines de ces dolérites peuvent de ce fait être assimilées à des gabbros-dolérites appartenant à la bordure des gabbros (faciès de « congélation »).

5 - Roches acides

Une roche acide échantillonnée à l'Ouest de l'intrusion dans les gabbros, offre une composition syénitique caractérisée par une teneur en silice élevée (62,65%), des teneurs en alumine et soude fortes (19,6 et 8,6% respectivement) et un rapport FeO/MgO proche de 2. Cette composition correspond à celle de produits différenciés de type albitite correspondant à un reliquat de différenciation tardif. La présence de liquides granophyriques observés en lames minces dans les métadolérites s'accordent

avec la présence de tels différenciés acides, correspondant à des liquides syénito-trondjhemitiques comparables à ceux décrits dans les complexes stratiformes ou dans les ophiolites (Wager, 1960; Barker, 1979 a et b).

6 - Discussion

Une très grande majorité des matériaux analysés à In Allarène correspondent à des cumulats. Peu de matériaux assimilables sans ambiguïté à d'anciens liquides magmatiques (dolérites, granophyres) ont été reconnus. Pour la séquence cumulative les compositions chimiques permettent de retracer une séquence de cristallisation simple à olivine/clinopyroxène / plagioclase où l'olivine apparaît largement prédominante. La richesse en fer relativement au magnésium est reconnue pour l'ensemble des matériaux analysés et laisse suspecter un liquide initialement riche en fer et provenant probablement d'un manteau peu affecté par des fusions partielles multiples.

De prime abord, les rares liquides magmatiques basiques reconnus n'offrent pas de tendances évolutives nettes permettant de les rapporter aux lignées de différenciation usuelles. Toutefois quelques très rares différenciés acides à cachet sub-alkalin tholéitique ont été reconnus. Leur très faible volume par rapport à la taille de l'intrusion, conjugué à l'absence de hornblende cumulative, plaide en faveur d'une telle nature.

IV. GEOCHIMIE DES PLATINOIDES

1 - Méthode analytique

La méthode analytique utilisée pour cette étude a été exposée dans une précédente publication (Amossé *et al.* 1986). Une amélioration majeure a été apportée à celle-ci afin de permettre l'extraction de Ru et Ir (Amossé 1994). L'utilisation de l'ICP-MS a permis d'abaisser considérablement les limites de détection par rapport à l'AAE (Absorption Atomique

Electrothermique) utilisée précédemment. La méthode est rappelée succinctement ci-dessous.

L'échantillon, soigneusement pulvérisé, est fondu en creuset de zirconium, par un mélange de peroxyde de sodium et de carbonate de sodium et de potassium. La masse refroidie est dissoute dans l'eau et acidifiée avec de l'acide chlorhydrique. Une dessiccation au bain de sable permet d'insolubiliser la silice qui est filtrée. Les PGE sont précipités dans le filtrat par du chlorure stanneux et entraînés avec un mélange de sélénium et de tellure. Le précipité récupéré sur filtre Millipore est dissous dans l'eau régale et soumis à l'analyse.

La détermination est réalisée au Laboratoire par ICPMS (VG Plasma Quad Turbo 2+). L'étalonnage est effectué à partir de solutions à 0 ppb, 2 ppb et 20 ppb. Les dérives instrumentales et les effets de matrices qui modifient le degré d'ionisation dans le plasma sont compensés par l'addition de standards internes à des teneurs de 50 ppb. (Nb pour les PGE légers et Re pour les PGE lourds). La méthode sera détaillée ultérieurement (Amossé, à paraître).

2 - Résultats

L'ensemble des résultats est consigné dans le Tableau 2.

2.1 - Dunites

D'une façon générale les teneurs relevées sont faibles et ne laissent apparaître que des anomalies mineures. Ceci confirme que l'échantillonnage que nous avons effectué n'a recoupé aucun horizon minéralisé. L'absence de chromite en quantité notable explique l'absence des IPGE (Ir et Ru) qui se trouvent alors disséminés dans la masse des dunites. Il en est de même pour les PPGE qui normalement se concentrent dans des horizons sulfurés absents de notre échantillonnage.

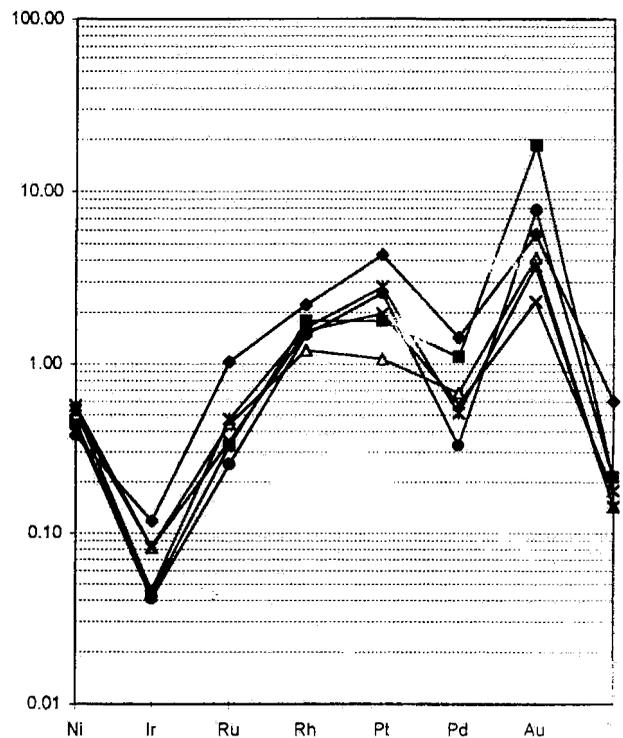


Fig. 3 - Spectres des teneurs en PGE des péridotites (dunites). Normalisation au manteau (Barnes, 1988)
PGE patterns of peridotites. Mantle normalization (Barnes, 1988)

L'étude des conditions de la différenciation a été réalisée en normalisant les valeurs acquises par rapport au manteau suivant la proposition de Barnes *et al.* (1988).

Les spectres observés pour les dunites (fig. 3) ont des pentes positives qui les écartent de ceux obtenus pour les chromites cumulatives des ophiolites. La faible teneur en iridium traduit probablement une précipitation précoce de cet élément avec des spinelles à un niveau inférieur de l'intrusion. Ce comportement est classique et a bien été mis en évidence sur le plan thermochimique par Amossé et Allibert (1990). Il traduit une diminution considérable de la solubilité de Ir dans le magma silicaté quand la fugacité en oxygène en équilibre avec le liquide augmente jusqu'aux valeurs qui conduisent à la précipitation de la chromite.

Tableau 2 - Données analytiques des éléments traces et ultratrace (PGE) des échantillons d'In Allarène
Analytical data of In Allarène samples: Traces and PGE

Echantillon:	IA36	INA2	INA8	INA16	INA34	INA38	IA33	IA34	IA35B	IA37
Nature	Per.	Per.	Per.	Per.	Per.	Per.	Pyr.	Pyr.	Pyr.	Pyr.
Ni	894	911	1010	1136	1064	861	516	659	439	756
Cr	3552	2525	2826	2915	2310	2160	2037	2011	1434	2172
Cu	26	6	4	5	4	6	4	7	10	17
Ru	2,54	1,84	2,48	1,95	2,65	1,43	1,57	2,27	1,16	5,77
Rh	4,38	2,85	1,92	2,49	2,6	2,37	2,89	4,89	2,2	3,54
Pd	2,84	4,84	2,97	2,57	2,27	1,46	9,18	3,17	5,2	6,3
Ir	0,22	0,19	0,36	0,36	0,2	0,18	0,25	0,3	0,18	0,52
Pt	18,87	14,78	8,84	16,28	23,27	21,59	8,51	17,76	23,04	35,81
Au	5,74	22,25	4,94	2,77	4,47	9,37	8,09	7,35	10,73	6,8
Echantillon:	INA7	INA29	INA15	IA29	INA13	INA40	INA41B	IA26	IA18	IA30
Nature	Pyr.	Pyr.	Pyr.	Gab.Al	Gab.Al	Gab.Al	Gab.Al	Gab.	Dol.	Dol.
Ni	477	570	477	80	204		151	305	148	121
Cr	1614	1680	1172	73	92		38	875	208	15
Cu	15	8	2	26	5		16	68	51	22
Ru	0,8	3,18	1,35	2,52	0,6	3,5	0,7	1,88	1,56	5,77
Rh	1,27	2,63	1,86	0,84	0,56	0,7	0,62	1,08	0,9	2,9
Pd	0,75	6,59	3,01	7,88	4,91	5,04	2,18	8,78	4,7	5,47
Ir	0,11	0,07	0,36	0,18	0,11	0,06	0,1	0,17	0,14	0,1
Pt	7,58	12,42	25,06	7,32	2,53	4,5	4,64	6,96	7,51	5,11
Au	10,06	6,06	3,5	11,14	5,13	9,5	2,47	7,71	7,79	3,91

Ni, Cr et Cu exprimés en ppm, PGE exprimés en ppb

L'iridium sert alors de germe de cristallisation aux grains de chromite. Ce fait a été mis en évidence par exemple dans l'ophiolite de Krasta (Amossé *et al.*, 1992). La partie dunitique exposée serait donc alors le sommet de la séquence inférieure de l'intrusion. Ceci rappelle l'une des hypothèses émises précédemment et fondée sur la teneur en fer élevée des dunites.

Le platine semble présenter une anomalie positive qui indique une précipitation de cet élément dans des phases telles que l'isoferroplatine qui constituent le support normal de cet élément pour un liquide dans lequel la fugacité en soufre est faible (Amossé *et al.*, 1990).

Le rhodium, et dans une moindre mesure le ruthénium, présentent également une anomalie positive qui va dans ce sens car comme nous l'avons montré récemment (Amossé, 1993) ces éléments, en l'absence d'une fugacité en soufre suffisante, rentrent dans le réseau des spinelles avant d'en être chassés par démixtion en subsolidus. Ce processus est fondamentalement différent de celui qui permet l'incorporation de l'iridium dans les spinelles, qui s'apparente plutôt à un piègeage. Dans le cas de Rh et Ru, il s'agit d'une incorporation des éléments dans les réseaux cristallins des spinelles, qui comme nous l'avons montré ne se produit pas dans le cas de l'iridium. Bien que nous n'ayons pas encore acquis toutes les données thermo-chimiques concernant ce processus il semble exister une « fenêtre » du rapport des fugacités d'oxygène et de soufre qui permet cette incorporation. Nous avons récemment mis en évidence le phénomène d'une façon indubitable dans une chromite de Tropoje (Albanie) (Amossé et Allibert, 1996). Ceci signifie cependant que la fugacité en soufre en équilibre avec le liquide magmatique est peu élevée, observation qui confirme celle déduite du comportement du platine.

On notera dans ces spectres une légère anomalie négative en palladium. Ceci signifie l'existence d'une différenciation du magma qui a permis l'extraction préférentielle du palladium des dunites par rapport à Pt et Rh. Elle s'est effectuée probablement à la faveur d'une complexation par le soufre dont la fugacité nécessaire pour complexer cet élément peut être modérée contrairement à celle qui est nécessaire pour

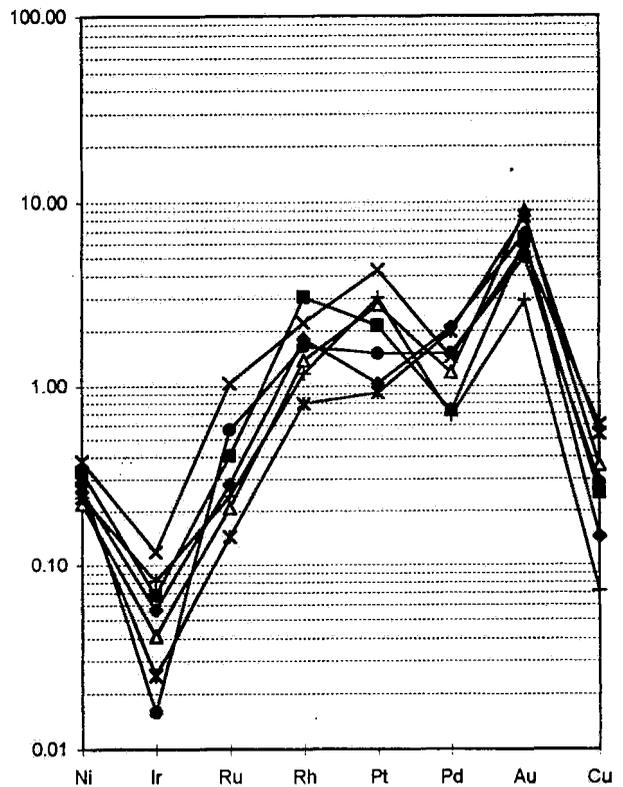


Fig. 4 - Spectres des teneurs en PGE des pyroxénites Normalisation au manteau (Barnes, 1988)
PGE patterns of pyroxenites. Mantle normalization (Barnes, 1988)

Pt et Rh. Ces deux éléments ont respectivement de plus fortes interactions avec le fer pour Pt et les spinelles pour Rh.

L'or montre une anomalie positive générale liée probablement à des remobilisations tardives non significatives pour le problème qui nous occupe et qui dispersent l'élément. Cette dispersion est probablement liée à la serpentinisation.

Les teneurs en nickel sont à rapporter presque exclusivement aux olivines.

2.2 - Pyroxénites

On constate que les spectres des pyroxénites (fig. 4) sont assez proches de ceux des dunites avec

COMPORTEMENT GEOCHIMIQUE DES ELEMENTS DU GROUPE DU PLATINE (PGE) DANS L'INTRUSION ULTRABASIQUE

toutefois une atténuation de l'anomalie négative en Pd. Ceci semble indiquer l'existence d'une précipitation discrète de phases sulfurées probablement dans les clinopyroxènes. En effet ceux-ci sont généralement porteurs d'inclusions de sulfures dans lesquelles se concentrent les PPGE. Toutefois le faible indice de différenciation (pente des spectres) qui apparaît pour ces matériaux atteste la faiblesse de la fugacité en soufre lors de la précipitation des cumulats pyroxénitiques. Au delà de l'analogie générale avec les dunites, l'or montre toutefois une absence de dispersion de ses teneurs. Ce fait tient, peut être, à l'absence d'altération tardi-magmatique des pyroxénites.

2.3. Gabbros et dolérites

Les spectres des gabbros et des dolérites (fig. 5) sont caractérisés par une différenciation plus marquée attestée par la forte atténuation de l'anomalie en palladium. Ces spectres rappellent ceux des cumulats plagioclasiques usuels qui sont caractérisés par une précipitation de sulfures de métaux de base et par conséquent par une précipitation concomitante des PPGE.

Ceci semble indiquer qu'il existe néanmoins au cours des derniers stades de cristallisation du magma une augmentation de la fugacité en soufre qui permet la précipitation discrète de sulfures. Ces derniers servent alors de phases porteuses des métaux précieux. Cette précipitation des sulfures est très limitée comme en atteste les très faibles teneurs en cuivre.

3 - Discussion

L'étude précédente montre tout d'abord la très faible fugacité en soufre qui a présidé à la mise en place de l'intrusion d'In Allarène. Ceci se traduit par la précipitation discrète de phases sulfurées accessoires. Néanmoins, les spectres de PGE des gabbros montrent à l'évidence l'existence d'un indice de différenciation magmatique (pente des spectres) qui a pu concentrer relativement les PPGE

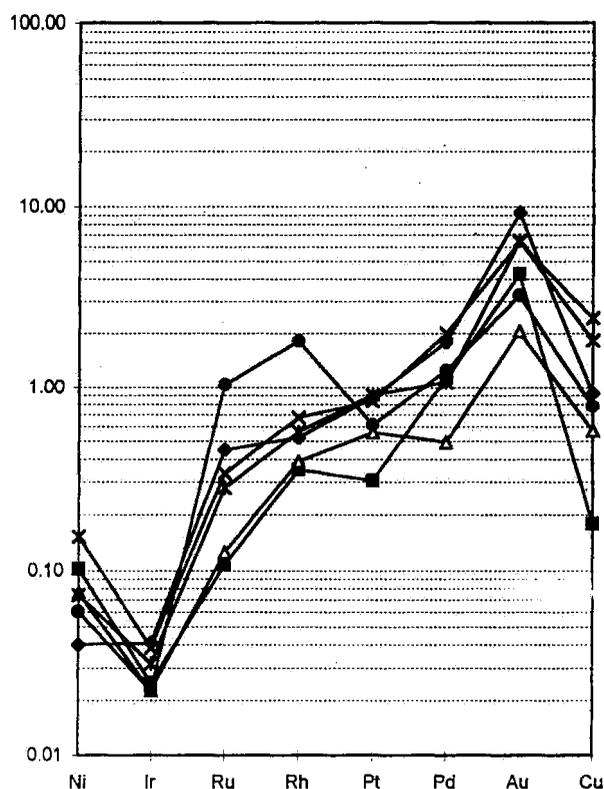


Fig. 5 - Spectres des teneurs en PGE des cumulats gabbroïques et des dolérites. Normalisation au manteau (Barnes, 1988)

PGE patterns of gabbroic cumulates and dolerites. Mantle normalization (Barnes, 1988)

par rapport aux IPGE. L'échantillonnage dont nous disposons ne nous permet pas de dire s'il existe une concentration en PGE qui devrait d'après nos résultats se situer dans la séquence gabbroïque. On remarquera toutefois qu'entre les termes ultramafiques et les termes gabbroïques l'indice de différenciation varie peu. Ceci corrobore la remarque concernant la faible fugacité en soufre du système magmatique. Le comportement du nickel entre les dunites, les pyroxénites et les gabbros montre à l'évidence qu'il est lié à l'olivine et non à une phase sulfurée importante. Cette pauvreté en soufre s'accompagne en outre d'une quasi absence d'eau et de chlore attestée par la pauvreté en hornblende et en mica primaire. Ces fluides sont susceptibles de complexer et de concentrer les PGE.

V- CONCLUSION

L'étude géochimique de l'intrusion d'In Allarène n'a pas permis de mettre en évidence une concentration significative en éléments du groupe du platine. L'absence d'horizons de chromitites qui concentrent les IPGE et l'absence de sulfures magmatiques de métaux de base qui concentrent les PPGE permet d'expliquer ce fait. La fugacité en soufre qui a présidé à la cristallisation de la séquence cumulative et qui permet la complexation dans le liquide magmatique des PPGE et leur précipitation dans les séquences sulfurées semble faible. Les spectres des PGE normalisés au manteau montrent néanmoins l'existence d'un indice de différenciation magmatique en particulier au niveau de la séquence gabbroïque. Aussi, compte tenu du faible nombre d'échantillons étudiés, on ne peut exclure la présence d'un horizon sulfuré dans une autre partie de la chambre magmatique.

Remerciements : Les auteurs remercient Messieurs Lakhdar Boukhalfa (Université de Batna), M'Hamed Megartsi (Université de Bab Ezzouar) et Belkacem Touahri (ORGM-Boumerdès) pour la lecture critique du manuscrit, et le Dr Zdenek Johan (BRGM-Orléans) pour ses recommandations sur les platinoïdes.

REFERENCES

- Amossé, J., Fischer, W., Allibert, M. et Piboule, M., 1986. Méthode de dosage d'ultra-traces de platine, palladium, rhodium et or dans les roches silicatées par spectrophotométrie d'absorption atomique électrothermique. *Analysis*, 14, n° 1, p. 26-31.
- Amossé, J., Allibert, M., Fischer W. et Piboule, M., 1990. Experimental study of the solubility of platinum and iridium in basic silicate melts - Implications for the differentiation of platinum-group elements during magmatic processes. *Chem. Geology*, 81, p. 45-53.
- Amossé, J., Allibert, M., Ostrosi, B., Qoku, E. et Lleshi, B., 1992. Comportement géochimique et minéralogie des éléments du groupe du platine (PGE) dans le gisement de Krasta (Albanie). *C.R. Acad. Sci. Paris*, 315, p. 559-564.
- Amossé, J. et Allibert, M., 1993. Partitioning of iridium and platinum between metals and silicate melts: evidence for passivation of the metals depending on fO₂. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57, p. 2395-2398.
- Amossé J., 1994. Analyse des ultra-traces des éléments du groupe du platine dans les matrices géologiques. *Journées SFMC*, Lille 4-6 Juillet.
- Amossé, J. et Allibert, M., 1996. Thermochemical behaviour of Pt, Rh and Ru vs. fO₂ and fs₂ in a basaltic melt: Implication for the differentiation of the elements. v.m. Goldschmidt Conference, march 31-april 4, 1996. *J. Conf. Abs.* 1, p. 14-15.
- Barnes, S.J., Boyd, R., Korneliussen, A., Nilsson, L.P., Often, M., Pedersen, R.B. et Robin, B., 1988. The use of mantle normalization and metal ratio in discriminating between the effects of partial melting, crystal fractionation and sulphide segregation on platinum-group elements, gold, nickel and copper: examples from Norway. In: «Geoplatinum 87», H.M. PRICHARD, P.J. POTTS, J.F.W. BOWLES et S.J. CRIBB (Eds), London, *Elsevier*, p. 113-143.
- Barker F. 1979 a. Trondhjemites, dacites and related rocks. *Elsevier*, Amsterdam, p. 659.
- Barker F. 1979 b. Trondjemites: definition, environment and hypothesis of origin.- In: Trondhjemites, dacites and related rocks, p. 1-12. *Elsevier*, Amsterdam, p. 659.
- Pearce, J.A. 1984. -A «user guide» to basalt discrimination diagrams. (Communication personnelle)
- Royer, Cl. et Rosique, A. 1958. Mission verte du BRMA, 1957-1958 rapport inédit BRMA Alger.
- Vara, V., Popkov, V. et Nastictch, N. 1982. Travaux géologique réalisés sur le gisement aurifère de Tirek en 1976-1981. Rapport inédit, SONAREM.
- Wager L.R. 1960. The Major Element Variation of the Layered Series of the Skaergaard Intrusion and the Reestimation of the Average Composition of the Hidden Layered Series of the successive residual magmas. *J. Petrol.*, 1, p. 364-398.
- Wager L.R., Brown G.M., Wadworth W. J. 1960. Types of igneous cumulates. *J. Petrol.*, p. 73-85.
- Wager L.R., Brown G.M. 1968. Layered igneous rocks, Ed. Oliver and Boyd, *Ebimburg*, p. 588.