

DISTRIBUTION DE QUELQUES ÉLÉMENTS EN TRACE
(Pb, Mn, Ga, Cr, V, Cu, Zn, Zr, Ni, Co, Sr, Li)
DANS UN CORTÈGE OPHIOLITIQUE DE TYPE ALPIN
I. ROCHES TOTALES

J.-F. PARROT et D. RAMBAUD

laboratoire de Géologie des SSC de l'ORSTOM
laboratoire de Spectrographie des SSC de l'ORSTOM

RÉSUMÉ

Cette courte étude géochimique porte sur la distribution de quelques éléments en trace dans le cortège ophiolitique du Pinde septentrional (Grèce) ; dix-neuf échantillons représentatifs de cet ensemble de type alpin ont été analysés :

- a. 5 péridotites ;
- b. 4 péridotites plagifères (types pétrographiques particuliers à la zone de passage stratifiée des péridotites aux gabbros, dans ce cortège) ;
- c. 4 gabbros de basicité décroissante ;
- d. 3 dolérites ;
- e. 3 albitophyres.

Dix-sept éléments en trace ont été dosés, sur roche totale, par les méthodes spectrographiques d'émission ; on remarque que :

1. Pb augmente vraisemblablement en présence d'albite ;
2. Mn dépend du pourcentage en pyroxène ;
3. Ga croît avec les alcalins ;
4. Cr est compris dans les olivines (sous forme d'inclusions) et le diopside des péridotites, mais semble totalement absent des clinopyroxènes gabbroïques (augite) ;
5. V dont l'abondance dans les ultrabasites est essentiellement fonction du pourcentage en pyroxène, présente par ailleurs une forte concentration dans les dolérites et les albitophyres ;
6. Cu se concentre à la limite dolérites-albitophyres ;
7. Zn croît avec l'acidité des types pétrographiques ;
8. Zr présente une teneur maximum dans les péridotites plagifères ;
9. Ni se concentre dans les olivines, et présente de plus grandes valeurs lorsque celles-ci sont serpentinisées ;
10. Co a une évolution comparable à celle du Ni ;
11. Sr ne présente pas d'évolution marquante ;
12. Li se comporte sensiblement comme Pb ;
13. Bi, Mo, Sn, Ba et Rb ont des valeurs inférieures à la limite de sensibilité de la méthode.

ABSTRACT

This short geochemical note concerns the distribution of some trace elements in the ophiolitic suite of North Pindus (Greece) ; nineteen representative samples of this alpine complex were analysed :

- a. 5 peridotites ;
- b. 4 plagioclastic peridotites (particular petrographic types of the layered passage peridotite-gabbro zone, in this ophiolitic suite) ;
- c. 4 gabbros of decreasing basicity ;
- d. 3 dolerites ;
- e. 3 albitophyres.

Seventeen trace elements were analysed for the total rock by spectrographic emission methods ; results, as following :

1. Pb increases with albite ;
2. Mn depends on the pyroxene, in mafic and ultramafic rocks ;
3. Ga increases with alcalines ;
4. Cr is included in olivines (inclusions) and in diopside of the peridotites, but seems totally absent of the gabbroic clinopyroxene (augite) ;
5. V the abundance of wich is mainly dependant on the pyroxene percentage in the basic and ultrabasic rocks shows, on the other hand, an important concentration in dolerites and albitophyres ;
6. Cu is concentrated up to dolerite-albitophyre limit ;
7. Zn increases when the basicity of the ophiolitic suite decreases ;
8. Zr reaches a maximum value in the plagioclastic peridotites ;
9. Ni is concentrated in olivines, and shows more important values when they are serpentinised ;
10. Co has a comparable evolution to Ni ;
11. Sr has no remarquable evolution ;
12. Li behaves almost like Pb ;
13. Bi, Mo, Sn, Ba and Rb have inferior values to the method sensitivity limit.

РЕЗЮМЕ

Распределение некоторых микроэлементов (Pb, Mn, Ga, Cr, V, Cu, Zn, Zr, Ni, Co, Sr, Li) в офиолитовой свите альпийского типа. I. Цельные породы (перидотиты, габбро, долериты, альбитофиры). — Настоящее краткое геохимическое исследование касается некоторых микроэлементов офиолитовой свиты северного Пинда (Греция) ; был произведен анализ 19-ти характерных этому комплексу альпийского типа образцов :

- а) 5 перидотитов ;
- б) 4 перидотита содержащих плагиоклазы (петрографические типы свойственные слоистой переходной зоне от перидотитов к габбро в этой свите) ;
- в) 4 габбро с убывающей основностью ;
- г) 3 долерита ;
- д) 3 альбитофира.

QUELQUES ÉLÉMENTS EN TRACÉ DANS UN CORTÈGE OPHIOLITIQUE

Методом эмиссионной спектроскопии было произведено определение семнадцати микроэлементов из цельной породы; отмечены следующие пункты:

- 1) *Pb* возрастает вероятно в присутствии альбита;
- 2) *Mn* зависит от процента пироксена в основных и ультра-основных породах;
- 3) *Ga* возрастает вместе с содержанием щелочей;
- 4) *Cr* содержится, в виде включений, в оливинах и в диопсиде габбро, но повидимому совершенно отсутствует в габбровых клинопироксенах (авгит);
- 5) *V*, обилие которого в диафоритах зависит преимущественно от содержания пироксена, находится при этом, в высоких концентрациях, в долеритах и в альбитофирах;
- 6) *Si* накапливается на границе долерит-альбитофир;
- 7) *Zn* возрастает с повышением кислотности петрографических типов;
- 8) *Zr* находится в наибольшем процентном количестве в перидотитах содержащих плагиоклазы;
- 9) *Ni* концентрируется в оливинах и максимальные его количества наблюдаются в тех из них которые содержат змеевик;
- 10) *Co* имеет развитие подобное *Ni*;
- 11) *Sr* не представляет заметного развития;
- 12) *Li* проявляется в заметной степени подобно *Pb*;
- 13) *Bi*, *Mo*, *Sn*, *Va* и *Rb* имеют пониженные значения, на пределе чувствительности метода.

INTRODUCTION

Nous donnons, dans cette courte note, les premiers résultats de l'étude quantitative de quelques éléments en trace dans un cortège ophiolitique de type alpin. Les premières mesures ont été faites sur les roches totales.

Dans une prochaine note, nous envisagerons l'évolution des teneurs de ces mêmes éléments dans les minéraux constitutifs des roches de ce cortège.

DESCRIPTION DE L'ENSEMBLE OPHIOLITIQUE DE RÉFÉRENCE

Cet ensemble, étudié au point de vue pétrographique par l'un de nous (PARROT 1967) est situé en Grèce du nord, dans la chaîne du Pinde septentrional. Il comprend de bas en haut, les types pétrographiques suivants : péridotites diverses (dunites, harzburgites, lherzolites), pyroxénolites intercalées dans les niveaux péridotitiques supérieurs, gabbros à olivine (allivalites), gabbros sans olivine passant progressivement à des dolérites, albitophyres ; cette succession figure sur un schéma où sont portés les pourcentages des différents minéraux constitutifs des roches prélevées dans une coupe de référence.

L'existence de deux zones de passage bien individualisées :

— la première entre les lherzolites et les gabbros basiques leucocrates sans olivine, marqués par une alternance très fine de lits de péridotites à tendance dunitique fortement serpentinisées, et de lits d'allivalites à bytownite prehnitisée,

— la seconde entre les dolérites et les albitophyres, par l'existence d'une coupure nette entre des roches à labrador et des roches à albite-oligoclase et un peu de quartz,

a permis à l'auteur de définir trois grands groupes, à savoir : à la base, un ensemble péridotitique ; dans les niveaux moyens, un ensemble doléritogabbroïque ; au sommet, des albitophyres présentant des pillow-lavas dans les horizons supérieurs.

Un calcul volumétrique montre que l'on a approximativement, étant donné la disposition en enveloppe des gabbros, dolérites et albitophyres par rapport aux péridotites, 50 % pour le premier groupe, 25 % pour le second et 25 % pour le dernier.

Toutes ces roches se seraient formées à partir d'un magma commun (mélabasalte magnésien) qui aurait suivi le processus de différenciation suivant : une première différenciation dans une chambre magmatique semi-profonde par décantation des péridots formant, à la base, un ensemble péridotitique, au sommet un magma doléritogabbroïque sans olivine ; une différenciation ultérieure, responsable de la formation des albitophyres par migration des éléments volatils alcalins dans les niveaux supérieurs de l'ensemble doléritogabbroïque.

MÉTHODE ANALYTIQUE

La détermination des éléments en trace a été effectuée par les méthodes spectrographiques d'émission dans l'arc. On a utilisé ici deux méthodes analytiques complémentaires :

- l'une semi-quantitative qui a donné, dans un premier temps, une vue d'ensemble qualitative d'un nombre maximum d'éléments et une approximation de leur teneur ;
- l'autre quantitative, qui a permis d'approfondir la précision du dosage pour certains éléments dont l'intérêt géochimique semblait plus évident a priori.

DESCRIPTION DE LA MÉTHODE

Préparation du produit à « spectrographier »

L'échantillon finement broyé (120 meshes), calciné à 750 °C est dilué dans les proportions de 1/3 dans un mélange tampon contenant :

- du graphite à 600 ppm de Pd (jouant le rôle d'étalon interne) ;
- un pourcentage variable d'oxydes des éléments majeurs (essentiellement MgO et Fe₂O₃) suivant la composition en majeurs des roches analysées.

On est ainsi amené à tracer deux familles de courbes d'étalonnage correspondant, d'une part, aux péridotites (MgO = 30 %), d'autre part, aux gabbros, dolérites, albitophyres (MgO = 6 %).

Chaque élément se trouve dans la gamme de concentrations : 3,16 - 10 - 31,6 - 100 - 316 - 1000 - 3160 ppm. D'une façon générale, les teneurs recherchées se situent dans cette gamme de concentrations.

Technique spectrographique

Le produit à spectrographier (25 mg d'échantillon + 75 mg du mélange tampon) est introduit dans une électrode en graphite qui tient lieu d'anode dans l'arc électrique. La cathode est constituée par une autre baguette de graphite placée vis-à-vis.

Les conditions d'excitation sont les suivantes :

- temps de pose : 30 s.
- intensité de l'arc continu : 15 A.
- fente d'entrée du spectrographe : 10 μ (masquée par un secteur logarithmique à 7 échelons).

QUELQUES ÉLÉMENTS EN TRACÉ DANS UN CORTÈGE OPHIOLITIQUE

Les spectres sont enregistrés simultanément sur plaque photographique par :

- un spectrographe Hilger de type Littrow à prisme de Quartz, pour l'ultraviolet (2000 - 4000 Å) ;
- un spectrographe Huet A2 pour le visible et le proche infrarouge (4000 - 8000 Å).

Les longueurs d'onde des raies utilisées ont été choisies en fonction de leur sensibilité, à savoir :

Pb 2 833,07	Zn 3 345,02
Bi 2 897,97	Zr 3 399,97
Mn 2 933,10	Ni 3 414,77
Ga 2 943,64	Co 3 453,51
Cr 3 014,80	Ba 4 554,04
Mo 3 170,34	Sr 4 607,33
Sn 3 175,02	Li 6 707,84
V 3 185,40	Rb 7 800,23
Cu 3 273,96	(Pd 3 114,00)

RÉSULTATS

Plomb

La plupart des teneurs en Pb dans les roches ophiolitiques sont voisines de la limite de sensibilité de la méthode (3 ppm), ce qui correspond aux moyennes fournies par TUREKIAN et WEDEPOHL, 1961 (1 ppm pour les ultrabasites, 6 ppm pour les gabbros), et VINOGRADOV, 1962 (8 ppm pour les gabbros).

On observe des teneurs de 10 ppm au niveau des gabbros basiques leucocrates, de 6 dans les gabbros à structure doléritique, ainsi qu'un maximum de 15 ppm dans les albitophyres. Il est actuellement difficile d'établir un lien avec un élément ou un minéral quelconque, car parallèlement à ces valeurs relativement élevées, on observe dans des types pétrographiques comparables des valeurs inférieures à 3 ppm.

Manganèse

La teneur moyenne en Mn dans le cortège ophiolitique serait de 1 700 ppm, si l'on tient compte du calcul volumétrique proposé dans l'introduction.

Les péridotites contiennent entre 1 350 et 2 000 ppm de Mn, chiffres plus élevés que la moyenne de 1060 ppm proposée par RANKAMA et SAHAMA (1950), ou celle de 1 050 ppm proposée par STUEBER et GOLES (1966); signalons que ces deux moyennes s'accordent avec leurs teneurs trouvées par ROSS, FOSTER et MYERS (1954) dans des olivines, enstatites et diopsides dunitiques. Cependant, les valeurs rencontrées dans le Pinde sont en accord avec les 1 300 ppm indiqués par VINOGRADOV (1962) et les 1 600 ppm indiqués par TUREKIAN et WEDEPOHL (1961).

Dans l'ensemble doléritogabbroïque, les teneurs en Mn évoluent entre 1 150 ppm dans les gabbros basiques leucocrates, et 2 000 ppm dans les dolérites ; rappelons que, pour les gabbros, GOLDSCHMIDT (1958) indique 1 150 ppm, RANKAMA et SAHAMA 1 230 ppm, TUREKIAN et WEDEPOHL 1 500 ppm.

L'évolution des teneurs en Mn dans la série se présente de la façon suivante : d'un palier situé entre 1 600 et 2 000 ppm dans les péridotites, la proportion en Mn passe à 600 ppm dans la zone de passage des péridotites aux gabbros ; cette zone litée est caractérisée par la disparition totale des pyroxènes et la présence de « lits » de péridotites plagifères à tendance dunitique (le pourcentage moyen des olivines dans cette zone étant de 60 à 70 %). Il semble donc que la teneur en Mn décroît, en fonction de la diminution du pourcentage en pyroxènes.

Après cette zone, la teneur en Mn croît régulièrement atteignant 2 000 ppm dans les dolérites ; cette augmentation peut être mise en relation avec celle du pourcentage en pyroxène qui passe progressivement de 15 % dans les gabbros basiques leucocrates de la base de l'ensemble doléritogabbroïque, à 50 % dans les gabbros sommitaux à labrador et les dolérites ; on constate par ailleurs que la teneur en Mn augmente lorsque l'on passe des gabbros sommitaux aux dolérites, alors que le pourcentage en pyroxène reste identique. On peut alors penser que, compte non tenu de la quantité de manganèse susceptible d'accompagner la magnétite et l'ilménite dont les pourcentages augmentent sensiblement dans les dolérites, la proportion de manganèse entrant dans les pyroxènes doit être plus importante dans les niveaux supérieurs de la série doléritogabbroïques ; cette observation correspondrait à celle faite par WAGER et MITCHELL (1951) à Skaergaard.

Il est difficile, au stade actuel de cette étude, de dire où se situent les 1 800 ppm de manganèse présents dans les albitophyres.

Gallium

Dans les péridotites, la teneur en Ga est inférieure ou égale à la limite de sensibilité de la méthode (10 ppm) ; ceci est à mettre en rapport avec les moyennes suivantes : 1,5 (TUREKIAN et WEDEPOHL), 4 (VINOGRADOV), 5 (BORISENKO, 1963).

On constate ensuite une augmentation irrégulière de la teneur en gallium, de la base vers le sommet de l'ensemble doléritogabbroïque ; cette augmentation saccadée correspond à celle, tout aussi irrégulière du pourcentage en Al_2O_3 et par voie de conséquence en plagioclases ; mais il ne faut pas exclure l'influence des alcalins car, en effet, la teneur maximum en gallium se place à la base des albitophyres qui contiennent 40 % d'albite An 6 ; la teneur plus faible en gallium dans les termes albitophyriques supérieurs est peut-être à mettre au compte de l'hypothèse proposée pour l'élément Cu, qui diminue de façon comparable dans les mêmes termes (cf. plus loin).

Chrome

Les teneurs en chrome sont assez élevées dans les roches ultrabasiques ; notons que des concentrations plus fortes que 3 000 ppm sont difficilement appréciables par la méthode spectrographique utilisée et que la marge d'erreur y est plus grande ; aussi, avons-nous mis en pointillé l'évolution des teneurs en chrome dans les péridotites ; une teneur moyenne de 4 000 à 4 500 ppm (tout d'abord observée en analyse semi-quantitative) nous semble le mieux correspondre à la réalité.

Le chrome se situe principalement dans les pyroxènes ; 3 000 et 2 000 ppm de chrome ont été respectivement signalés par TUREKIAN (1963) dans les orthopyroxènes et clinopyroxènes des roches du complexe de Stillwater ; nous avons, pour notre part, trouvé en analyse semi-quantitative 2 000 ppm de chrome, aussi bien dans le diopside que dans l'enstatite des péridotites. Le chrome doit également se placer dans le spinelle, jamais intersticiel dans les niveaux supérieurs de l'ensemble péridotitique mais contenu dans les olivines en inclusion sous forme de petits cristaux soit subautomorphes, soit aciculaires ; les olivines indiquent, en analyse semi-quantitative, une teneur comprise entre 1 500 et 2 000 ppm. Cette vraisemblable présence de chrome dans les inclusions que renferment les olivines, est confirmée par des teneurs élevées (2 000 à 3 000 ppm) dans la zone de passage des péridotites aux gabbros qui, comme nous l'avons signalé plus haut, ne contient que de l'olivine et de la bytownite prehnitisée.

Une teneur en chrome (de 300 à 1 000 ppm) s'observe dans l'ensemble doléritogabbroïque ; elle doit correspondre à la présence d'augite dans les types pétrographiques de cet ensemble, les augmentations de teneurs en chrome correspondant à des augmentations du pourcentage en pyroxène ; enfin la teneur en chrome est très faible (20 ppm) dans les albitophyres.

Vanadium

Le vanadium est un constituant des pyroxènes et minéraux opaques et non de l'olivine ; l'évolution des teneurs dans la série ophiolitique rend compte, en partie de ce phénomène ; nous constatons en effet que, si les teneurs en vanadium oscillent autour de 300 ppm dans les péridotites (*), elles tombent à 20 ppm dans la zone de passage des péridotites aux gabbros dont les pyroxènes sont absents.

La teneur en vanadium tend à remonter dans les gabbros, puis passe brusquement à 500 ppm en moyenne dans les dolérites et albitophyres ; l'apparition de la structure doléritique est accompagnée d'une augmentation des minéraux opaques ; nous pensons que c'est essentiellement à ce phénomène que sont dues les fortes concentrations en V^{3+} .

Notons pour terminer que des valeurs semblables sont indiquées par WATKINSON et IRVINE (1964) dans la série de Shebandowan (Ontario), où la teneur moyenne en V est de 150 ppm dans les péridotites et de 500 ppm dans les gabbros, situés au sommet de la série, celle-ci ne renfermant pas de termes plus acides ; il serait intéressant de chercher à savoir si les complexes de type alpin présentent tous un enrichissement de V dans leurs niveaux supérieurs.

	* Pb	* Bi	Mn	Ga	Cr	* Mo	* Sn	V	Cu	* Zn	* Zr	Ni	Co	* Ba	* Sr	* Li	Rb		
Albitophyres	67	15	<10	1 900	36	20	<3	<10	420	80	2 000	80	10	44	<300	300	20	<100	67
	62	<3	—	1 800	40	20	—	—	570	48	1 500	60	10	55	—	500	***	—	62
	56	<3	—	1 280	70	160	—	—	530	450	2 000	80	85	30	—	300	40	—	56
Dolérites	54	<3	—	1 680	50	30	—	—	570	180	800	40	10	70	—	200	20	—	54
	52	<3	—	1 900	48	650	—	—	480	60	1 000	60	130	65	—	200	10	—	52
Gabbros	47	<3	—	2 200	65	360	—	—	600	45	1 000	60	155	50	—	10	10	—	47
	44	6	—	1 300	50	310	—	—	65	30	1 500	80	530	60	—	***	20	—	44
	39	3	—	1 600	20	1 000	—	—	48	6	1 000	50	180	100	—	10	<10	—	39
	34	<3	—	1 200	32	30	—	—	45	105	***	***	388	65	—	10	<10	—	34
Péridotites plagifères	30	10	—	1 150	45	900	—	—	220	100	800	60	1 800	38	—	70	<10	—	30
	27	3	—	910	18	1 700	—	—	165	115	***	***	1 400	85	—	250	15	—	27
	26	3	—	650	30	1 300	—	—	125	45	800	80	2 200	80	—	350	10	—	26
	23	<3	—	620	34	2 400	—	—	40	70	800	100	2 200	105	—	400	10	—	23
	21	3	—	760	28	2 600	—	—	125	95	300	100	1 750	95	—	350	20	—	21
Péridotites	15	<3	—	730	15	2 200	—	—	60	15	100	100	1 750	95	—	350	<10	—	15
	13	3	—	1 850	***	2 800	—	—	28	8	***	***	1 750	110	—	280	<10	—	13
	10	3	—	1 350	≤10	4 800	—	—	320	14	***	***	420	57	—	150	10	—	10
	7	3	—	2 000	≤10	***	—	—	***	10	***	***	***	***	—	150	10	—	7
4	3	—	1 950	≤10	6 000	—	—	348	10	10	50	380	60	—	150	10	—	4	

* chiffres obtenus par analyse semi-quantitative.

** chiffres inférieurs à la limite de sensibilité de la méthode.

*** échantillon non étudié.

Cuivre

La teneur en Cu dans les péridotites est en moyenne de 10 ppm, ce qui correspond à la moyenne de TUREKIAN et WEDEPOHL, mais est plus basse que les moyennes de VINOGRADOV et de GOLES (1967).

* Les teneurs, un peu fortes en V dans les péridotites, comparées aux moyennes de 40 ppm et de 140 ppm avancées par TUREKIAN, WEDEPOHL et VINOGRADOV sont à mettre en relation avec les proportions un peu faibles en Ni et Co dans ces mêmes roches ; ceci nous donne à penser que les échantillons analysés sont plus riches en pyroxènes que ne l'indiquent les analyses modales ; en effet, dans le secteur étudié, les péridotites sont traversées par des lits et parfois des filons de pyroxénolites souvent ténus ; dans notre prochaine note, où figureront les teneurs obtenues dans les minéraux séparés, nous envisagerons également l'étude d'échantillons prélevés cette année, dans un secteur plus central du Pinde septentrional, où les péridotites sont mieux représentées.

Une accumulation en Cu se rencontre, d'une part dans la zone de passage des péridotites aux gabbros (80 ppm) et d'autre part dans les gabbros basiques leucocrates (100 ppm).

On note ensuite une augmentation régulière comprise entre 10 et 50 ppm, puis une brusque et importante accumulation à la limite dolérite albitophyre (450 ppm). Cette dernière accumulation est suivie d'une nette diminution dans les termes albitophyriques supérieurs. S'agit-il d'une accumulation préférentielle à ce niveau de la série (à ce sujet, WAGER et MITCHELL indiquent une forte concentration en Cu à proximité de la limite supérieure de la série de Skaergaard, cette forte teneur étant immédiatement suivie par une diminution importante) ou bien doit-on penser qu'il y aurait eu, au cours de la première différenciation (cf. introduction) une accumulation de Cu dans l'ensemble des niveaux supérieurs du cortège ophiolitique, suivie d'une dilution dans les derniers termes de la série, consécutive au « gazeous transfer » qui aurait affecté les albitophyres, dans un deuxième temps ?

Notons enfin que l'on peut invoquer un processus semblable pour expliquer le comportement du gallium qui est comparable à celui du cuivre dans les niveaux supérieurs du cortège ophiolitique.

Zinc

Les teneurs en Zn, notamment la teneur moyenne de 725 ppm obtenue pour l'ensemble du cortège ophiolitique, sont certainement trop élevées ; cependant, elles nous renseignent sur l'évolution de la distribution du Zn dans la série.

De 50 à 100 ppm dans les péridotites et les premiers termes de la zone de passage des péridotites aux gabbros (ce qui correspond aux teneurs moyennes de 50 ppm données d'une part par TUREKIAN et WEDEPOHL, d'autre part par VINOGRADOV), la quantité de Zn dans les gabbros et les dolérites est de 1 000 ppm en moyenne : elle passe brusquement à 1 500-2 000 ppm dans les albitophyres.

Zn se concentre donc dans les produits les plus acides ; LUNDERGÅRDH (1948) parle d'une concentration de Zn dans les derniers stades de la différenciation. Il ne faut sans doute pas exclure non plus l'influence de l'augmentation en minéraux opaques (magnétite et ilménite), et peut-être de la présence de chlorite dans les niveaux supérieurs du cortège.

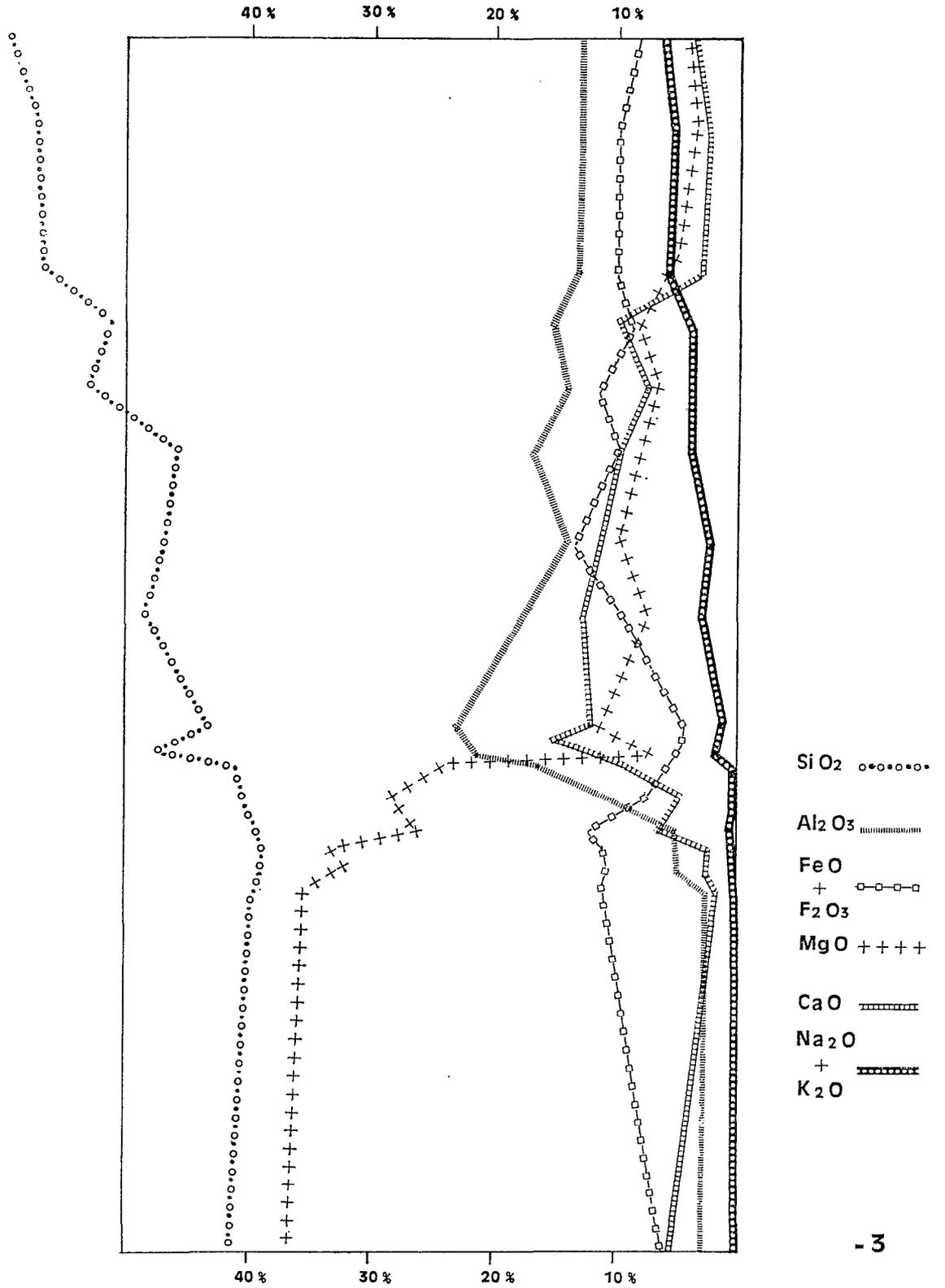
Zirconium

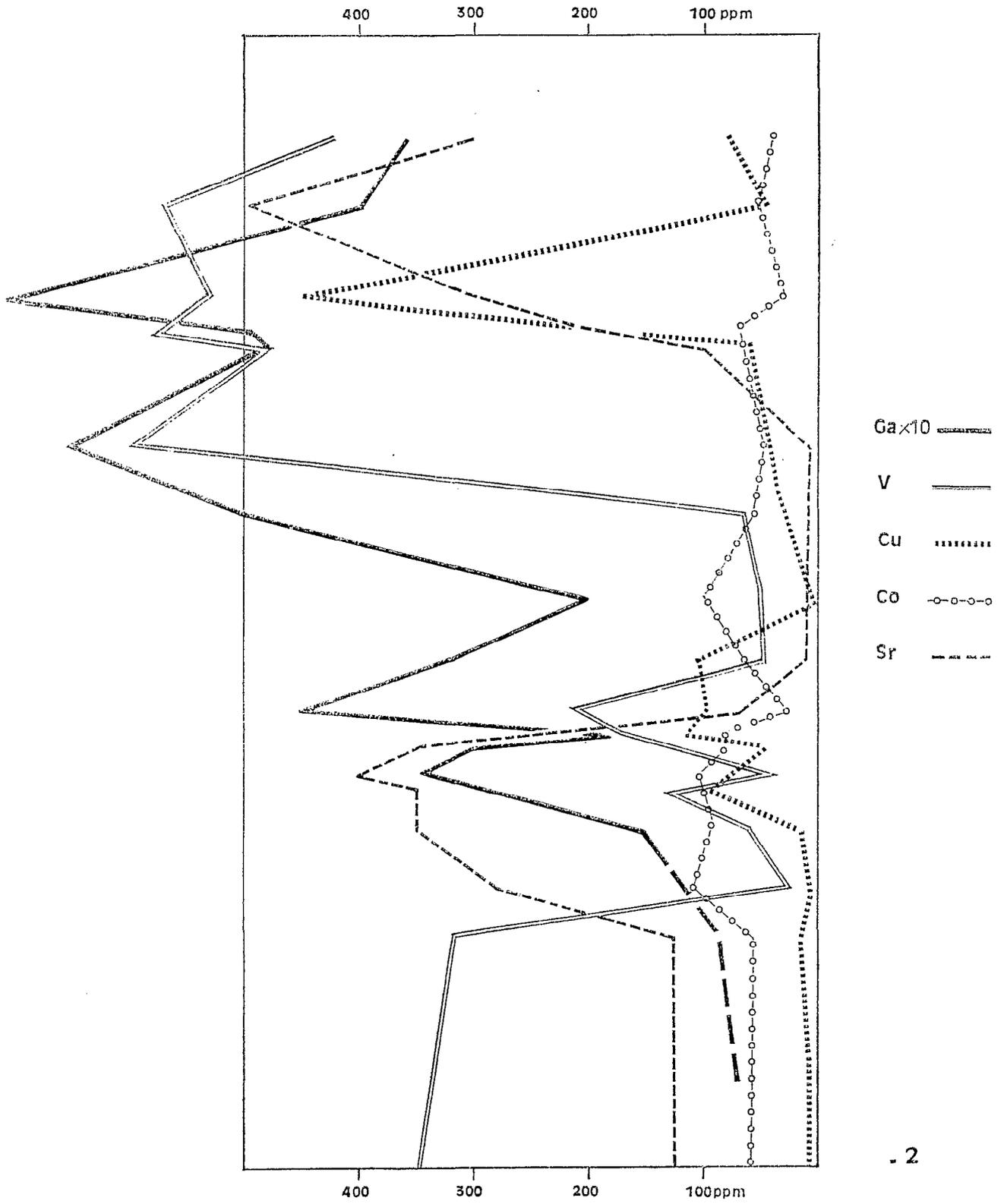
Zr indique un maximum (100 ppm) dans la zone de passage des péridotites aux gabbros, soulignant le caractère particulier de cette zone. Cet enrichissement est peut-être dû à un remaniement de cette zone (peut-être par recristallisation).

Nickel

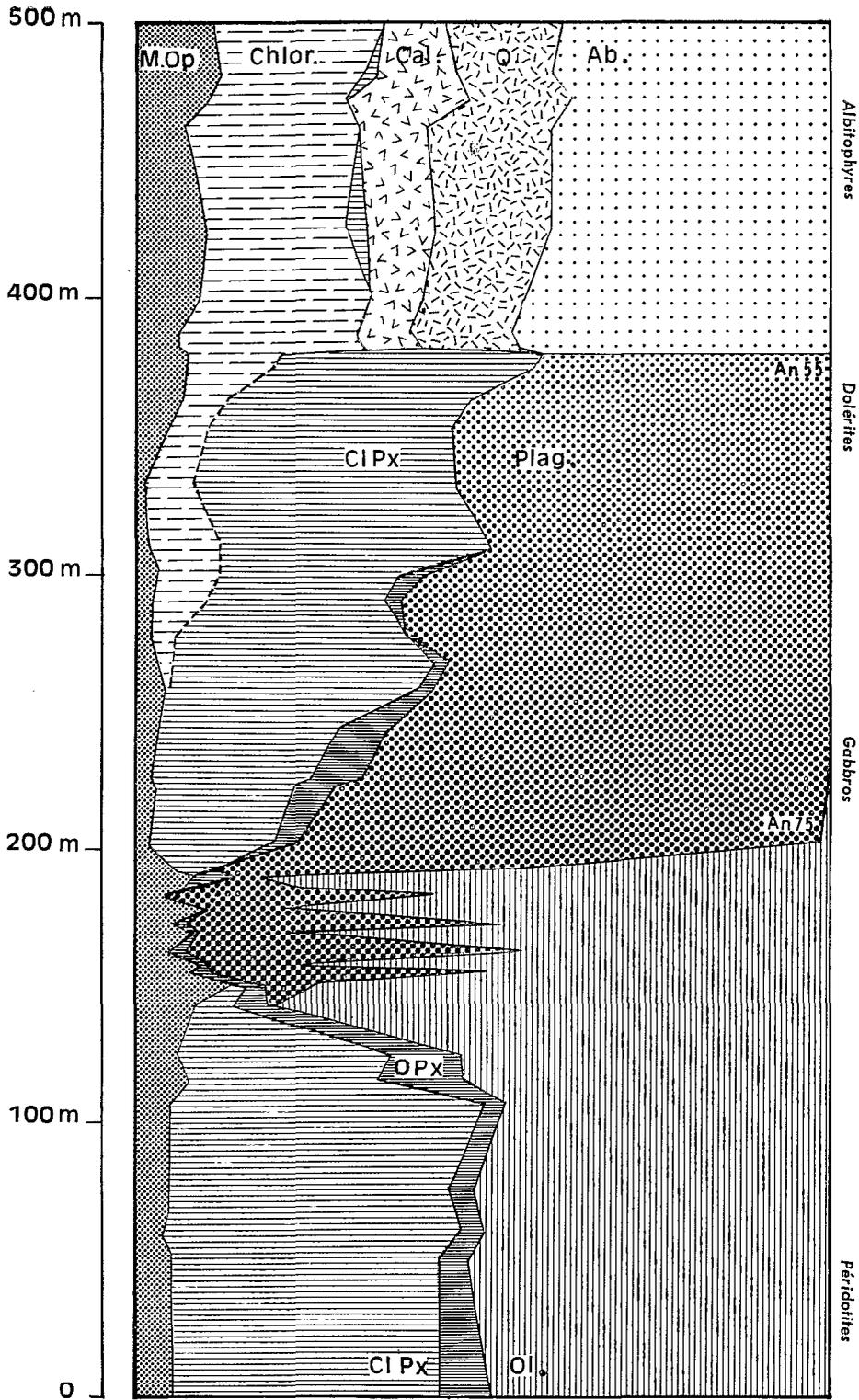
D'après VOGT (1923), Ni se situe dans les silicates magnésiens, croît lorsque Mg augmente, décroît lorsque Fe augmente ; enfin pour un rapport Mg/Fe identique, l'olivine contient plus de Ni que l'orthopyroxène, ce minéral étant lui-même plus riche en Ni que le clinopyroxène. D'autre part, si STUEBER et GOLES estiment que la serpentinitisation est sans effet sur la concentration en Ni dans les olivines, ABDULLAYEV, SHCHERBINA et EFENDIYEV (1967) ont conclu dans leur étude d'un cortège ophiolitique du Caucase (Azerbaïdjan) à l'augmentation de la teneur en Ni (et Co) sous l'influence de la serpentinitisation.

Dans le cortège ophiolitique étudié, si, comme nous le faisons remarquer dans une note infrapaginale concernant le vanadium, les teneurs en Ni sont un peu faibles dans les péridotites, on constate, en tout cas, une nette augmentation dans la zone des péridotites plagifères ; cette forte teneur est liée à l'augmentation du pourcentage en olivine dans cette zone, mais peut-être aussi à l'influence de la serpentinitisation (les olivines étant beaucoup plus serpentinisées dans la zone de passage des péridotites aux gabbros, qu'elles ne le sont dans l'ensemble péridotitique sous-jacent).









Q. Quartz - Ab. Albite - Pl. Plagioclases - Cal. Calcite - Chlor. Chlorite
 CIPx. Clinopyroxène - OPx. Orthopyroxène - Ol. Olivine - M.Op. Minéraux opaques.

Les teneurs en Ni dans les gabbros et les dolérites sont comprises entre 150 et 200 ppm, ce qui correspond dans ce terme à une présence notable de pyroxènes.

Enfin, la quantité de Ni dans les albitophyres sommitales est de 10 ppm.



Cobalt

La courbe figurant l'évolution des teneurs en Co est comparable à celle du nickel. On remarque cependant que Co augmente moins dans la zone de passage des péridotites aux gabbros, ainsi le rapport Co/Ni qui est de 0,15 dans les péridotites, est seulement de 0,05 dans cette zone.

Dans les gabbros et dolérites ce rapport est de 0,5 (cf. SAHAMA, 1947, in RANKAMA et SAHAMA rapport Co/Ni = 0,51) ; dans les albitophyres, il est de 5.

On constate donc un enrichissement relatif en Co, dans les deux ensembles supérieurs du cortège ophiolitique.

Strontium

La teneur moyenne en Sr pour l'ensemble ophiolitique serait de 175 à 200 ppm, ce qui est un peu faible comparé aux 465 ppm indiqués par TUREKIAN et KULP (1956), et TAYLOR (1964), comme moyenne pour les basaltes.

Par contre, les teneurs en Sr dans les péridotites (100 ppm) semblent fortes par rapport à la moyenne proposée par GOLES. On constate également un curieux enrichissement dans la zone de passage des péridotites aux gabbros, rappelant celui que l'on avait observé avec le Zr.

Dans l'ensemble doléritogabbroïque et les albitophyres, la progression des teneurs en Sr de 10 à 300 ppm, correspond à une diminution parallèle du pourcentage en CaO ; ainsi, le rapport Cr/Sa est de 57 et 63.10⁻⁶ dans les gabbros, de 900.10⁻⁶ dans les dolérites, et de 6 900 et 7 600.10⁻⁶ dans les albitophyres ; cette augmentation du rapport Sr/Ca qui se fait parallèlement à la diminution du pourcentage en anorthite dans les plagioclases de la série (An 75-70 dans les gabbros ; An 55 dans les dolérites ; An 10 dans les albitophyres), est comparable à l'augmentation de ce rapport dans les plagioclases des anorthosites et gabbros du complexe de Stillwater (HESS, 1960) ; un phénomène semblable se retrouve à Skaergaard (WAGER et MITCHELL).

Lithium

La majeure partie des teneurs en Li est inférieure ou égale à la limite de sensibilité de la méthode (10 ppm) ; on note 15 et 20 ppm de Li dans la zone de passage des péridotites aux gabbros, 20 ppm dans un gabbro mésocrate et une dolérite, 20 et 40 ppm dans les albitophyres. Au stade actuel de cette étude, il nous est impossible d'envisager une évolution quelconque des teneurs en Li.

Bismuth

Molybdène

Etain

Baryum

Rubidium

Les teneurs de ces cinq éléments sont inférieures à la limite de sensibilité de la méthode, soit respectivement 10, 3, 10, 300, et 100 ppm.

BIBLIOGRAPHIE

- ABDULLAYEV (Z.B.), SHCHERBINA (V.V.), EFENDIYEV (G.-Kh.), 1967. — Geochemistry of nickel and cobalt in the ultramafic rocks of the ophiolite formation of the lesser Caucasus (Azerbaijan). *Geochem. int.*, 4, n° 2, p. 375.
- BORISENKO (L.F.), 1963. — Some characteristics of the distribution of gallium in ultramafic rocks. *Geokhimiya*, pp. 746-753.
- GOLDSCHMIDT (V.M.), 1958. — Geochemistry, University press Oxford, 730 p.
- GOLES (G.G.), 1967. — Trace elements in ultramafic rocks in : *Ultramafic and related rocks*. ed. by P.J. Wyllie. Wiley and sons, New York, pp. 352-362.
- HESS (H.H.), 1960. — Stillwater Igneous complex, Montana. A quantitative mineralogical study. *Geol. Soc. Amer.*, Mem., 80, pp. 1-90 et 221-230.
- PARROT (J.-F.), 1967. — Le cortège ophiolitique du Pinde septentrional (Grèce). ORSTOM, Paris, 114 p., *multigr.*
- RANKAMA (K.), SAHAMA (K.H.), 1961. — Geochemistry, University Chicago Press, Chicago, 912 p.
- ROSS (C.S.), FOSTER (M.D.), MYERS (A.T.), 1954. — Origin of dunite and olivine-rich inclusions in basaltic rocks. *Amer. Mineralogist*, 39, n° 9-10, pp. 693-737.
- STUEBER (A.M.), GOLES (G.G.), 1966. — Abundances of Na, Mn, Cr, Sc and Co in ultramafic rocks. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 31, pp. 75-93.
- TAYLOR (S.R.), 1964. — Abundance of chemical elements in the continental crust : a new table. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 28, pp. 1273-1285.
- TUREKIAN (K.K.), 1963. — The chromium and nickel distribution in basaltic rocks and eclogites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 27, pp. 835-846.
- TUREKIAN (K.K.), KULP (J.L.), 1956. — The geochemistry of strontium. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 10, pp. 285-296.
- TUREKIAN (K.K.), WEDEPOHL (K.H.), 1961. — Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. *Geol. Soc. Amer., Bull.*, 72, pp. 175-192.
- VINOGRADOV (A.P.), 1962. — Average contents of chemical elements in the principal types of igneous rocks of the Earth's crust. *Geochemistry*, pp. 641-664.
- VOGT (J.H.L.), 1923. — Nickel in igneous rocks. *Economic Geol.*, 18, n° 4, pp. 307-353.
- WAGER (L.R.), MITCHELL (R.L.), 1951. — The distribution of trace elements during strong fractionation of basic magma—a further study of the Skaergaard intrusion, East Greenland, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1, pp. 129-208.
- WATKINSON (D.H.), IRVINE (T.N.), 1964. — Peridotitic intrusions near Quetico and Shebandowan, NW Ontario : a contribution to the petrology and geochemistry of ultramafic rocks. *J. Earth Sci.* 1, n° 1, pp. 63-98.