

## LES ROCHES ENCAISSANTES DE GISEMENTS SULFURÉS DE NICKEL: PÉTROCHIMIE DES SÉRIES MAGMATIQUES HÔTES

MAURICE BESSON

*Ecole Nationale Supérieure des Mines, 60 boulevard Saint-Michel,  
75272 Paris Cedex 06, France*

### SOMMAIRE

Les roches magasins des gisements sulfurés de nickel consistent, le plus souvent, en roches cumulatives ou picritiques liées au magmatisme ou au volcanisme; elles constituent des appareils à morphologie en lopolites, plugs, sills, lentilles ou dykes. Les lopolites et certains sills et plugs sont constitués de roches surtout cumulatives de filiation basaltique. Les roches magasins des gîtes liés aux komatiites subeffusives peuvent être constituées de métapicrites basaltiques d'affinité tholéitique. C'est le cas des lentilles surmontant le sill de Dundonald, dans l'Abitibi, et de coulées de la région de Kambalda, en Australie occidentale. Le chimisme des roches totales indique que pour des gîtes en lentilles, tel celui du lac Werner, et pour des gîtes en dykes, tel celui de Dumont, des roches qui, à l'origine, peuvent avoir été constituées de picrites tholéitiques sont abondantes parmi les roches magasins. Les matrices tholéitiques favorables sont caractérisées par un taux de fusion mantellique élevé et par l'absence de toute différenciation.

### ABSTRACT

The host rocks for nickel-sulfide orebodies are commonly cumulates or picritic rocks derived from volcanic series; these rocks build up lopoliths, plugs, sills, lenses or dykes. Lopoliths and some of the sills and plugs consist of essentially cumulate rocks of basaltic origin. The host rocks of orebodies that are linked to subeffusive komatiites may consist of tholeiitic metapicrites, as is the case for the Alexo mine lenses and of some flows of the Kambalda dome. Among the host rocks of lens-shaped orebodies with no obvious extrusive morphology, e.g., in the Werner Lake area, many may, according to their whole-rock chemistry, originally have been tholeiitic metapicrites. The same holds for rocks of dyke-shaped low-grade orebodies like the Dumont deposit. Favorable tholeiitic host rocks are characterized by a high degree of mantle anatexis and by lack of differentiation.

### INTRODUCTION

Les gisements sulfurés de nickel se présentent sous des aspects variés, tant du point de vue de la morphologie des appareils que constituent leurs roches encaissantes (lopolites, plugs, sills ou dykes) que de la pétrographie des séries magmatiques qui constituent les roches de ces appareils. Toutefois ces différents aspects des phénomènes apparaissent intimement liés et la présente note tente de préciser la nature des séries magmatiques associées à quelques gisements.

Les lopolites semblent constitués de roches essentiellement cumulatives, même lorsqu'une phase intercumulus importante a subsisté dans ces roches et même si des phénomènes métasomatiques en ont perturbé le chimisme initial. Les auteurs récents admettent souvent la filiation de ces ensembles à partir de basaltes tholéitiques ou de basaltes à tendance très alumineuse; de même la genèse de nombreuses intrusions en sills ou plugs est attribuées à des basaltes tholéitiques. Des exemples connus en sont le "Nickel Irruptive" de Sudbury (Naldrett *et al.* 1970), l'intrusion Empress en Rhodésie (Eales 1964) ou le sill avec minéralisations en pegmatoïdes de Carr Boyd rocks en Australie occidentale (Purvis *et al.* 1972). Cependant les complexes de ce type contenant près de leur base d'importantes minéralisations en sulfures de nickel et de cuivre semblent se distinguer des séries cumulatives d'affinité tholéitique habituelles par des particularités dans le processus de différenciation; nous avons souligné par ailleurs l'absence d'enrichissement en fer dans les liquides successifs d'où dérivent les cumulats des ensembles minéralisés et l'analogie de la minéralogie des roches de ces ensembles avec celle de cumulats d'affinité calco-alcaline (Besson 1977).

Les séries magmatiques d'où peuvent provenir les gîtes dont les roches hôtes sont surtout

ultrabasiques posent des problèmes de nature différente. Dans la suite de cet article, et suivant la terminologie actuelle (Wyllie 1967), nous désignons par picrite ou picrite tholéitique des picrites basaltiques ou des picrites à mésostase tholéitique, c'est-à-dire des roches ayant été initialement constituées d'accumulations d'olivine dans un liquide basaltique, sans d'ailleurs préjuger du mode de concentration de l'olivine, et même si dans certains échantillons on note des minéraux cumulatifs formés à partir de la mésostase basaltique. Cette terminologie pose d'emblée la question de la nature exacte du liquide dans les roches picritiques; le terme *liquide picritique* est souvent employé en effet dans le sens de liquide plus basique, plus riche en MgO ou CaO par exemple, que ne le sont les liquides basaltiques ordinaires. L'existence de tels liquides à tendance ultrabasique, contestée par Bowen (1928), a été proposée sur la base d'études ultérieures, e.g., par Drever & Johnston (1967) ou Anderson (1974).

Les olivines des ensembles cumulatifs que l'on sait, par leurs bordures figées, dérivés de liquides basaltiques, ont souvent une teneur molaire en forstérite de l'ordre de 85 à 88%. Les olivines de certaines intrusions picritiques sont nettement plus magnésiennes, leur teneur molaire en forstérite pouvant être de l'ordre de 88 à 90%. Ces teneurs sont donc comparables à celles des xénocristaux d'olivine dans des laves de la ride médio-Atlantique (Drever & Johnston 1967). La teneur molaire en forstérite des olivines des laves d'affinité tholéitique de composition globale ultrabasique du massif du Troodos (Chypre) atteint même 92% (Gass 1958).

Plusieurs hypothèses sont possibles pour interpréter ces constatations: (a) Les olivines dérivent de magmas plus riches en MgO que les basaltes ordinaires dont la teneur maximale en olivine normative est de l'ordre de 10% (Bowen 1928). C'est à de tels liquides picritiques que Ross & Hopkins (1975) se réfèrent pour interpréter le chimisme des roches du Lunnon Shoot à Kambalda, comme nous le verrons ci-dessous. (b) Ces olivines n'ont pas cristallisé à partir d'un liquide basaltique dans les conditions subeffusives, mais sont d'origine tellurique (MacDonald & Katsura 1964). (c) Ces olivines, bien qu'étant situées dans une mésostase basaltique, sont xénolithiques.

Les données actuelles sur le coefficient de partage de FeO et MgO entre olivine et liquide et les variations de ce coefficient en fonction de la température et de la pression sont encore trop fragmentaires pour permettre de choisir

entre ces hypothèses (Bickle *et al.* 1977, Green *et al.* 1975, Mysen 1975, Roeder & Emslie 1970).

Les données sur les pyroxènes dans les komatiites ne sont pas encore très nombreuses; si l'on considère les analyses de clinopyroxènes fournis par Arndt *et al.* (1977) pour les roches du canton de Munro, Ontario ou par Nisbet *et al.* (1977) pour les roches de Belingwe, Rhodésie, on est frappé par leurs analogies avec des pyroxènes basaltiques.

L'examen des données minéralogiques sur les komatiites conduit donc au dilemme suivant: ou bien les olivines de ces roches ont cristallisé à partir de liquides ultrabasiques et les pyroxènes ne sont pas en équilibre chimique avec de tels liquides (Arndt *et al.* 1977), ou bien les pyroxènes ont cristallisé à partir de liquides basaltiques et les olivines les plus magnésiennes de ces roches ne proviennent pas de tels liquides dans les mêmes conditions de cristallisation.

Nous pensons que ces roches sont constituées soit de cumulats, soit de picrites tholéitiques et que l'olivine, qui en est un constituant important, comprend au moins d'une part une olivine xénolithique ou tellurique (olivine 1 de composition molaire voisine de Fa 7-9), et d'autre part une olivine de cristallisation basaltique (olivine 2 de composition molaire voisine de Fa 12-15). Les relations entre ces deux types d'olivine sont difficiles à préciser par suite de la serpentinisation commune de ces roches mais il est possible que souvent l'olivine 2 gaine l'olivine 1 en assemblages zonés. Toutefois nous ne discutons pas dans le présent article la question des structures spinifex.

Il paraît difficile de résoudre ces problèmes sur la base de données chimiques ou géochimiques; dans ces roches, seules des analyses de verres inaltérés (*i.e.*, non chloritisés, qui ne sont pas actuellement disponibles) permettraient une réponse. Aussi les quelques exemples étudiés ci-dessous n'ont-ils d'autre objet que de montrer: (a) la filiation tholéitique des roches de tels ensembles, et (b) le fait que l'interprétation de leur chimisme par un modèle de mélange olivine-basalte permet de soupçonner des différences fines dans la composition des mésostases tholéitiques entre les roches d'ensembles minéralisés et celles d'ensembles stériles.

Fréquemment, dans la suite de cette note, nous nous référerons à la série évolutive tholéitique de roches volcaniques cénotypes du Japon, désignée TT, étudiée d'abord par Aramaki (1963) et Kuno (1968) et utilisée comme série de référence par Fonteilles (1968, 1976) et dont les compositions chimiques des termes successifs

sont rappelés ailleurs (Besson & Capitant 1976). Nous pensons en effet que même pour des roches modifiées par altérations, appartenant par exemple à des séries magmatiques du Précambrien, certains paramètres chimiques correspondant aux éléments les plus inertes (tels MgO, Fe total,  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  pour les éléments majeurs) conservent malgré ces modifications des valeurs relatives souvent peu modifiées et analogues à celles qui caractérisent les séries cénotypes. Il peut ne pas en être de même pour des éléments plus mobiles, les alcalins, CaO et à un moindre degré,  $SiO_2$ . Aussi les comparaisons présentées ci-dessous portent-elles essentiellement sur les éléments réputés inertes.

#### GISEMENTS ASSOCIÉS AUX KOMATIITES

Nous développerons les considérations exposées ci-dessus en prenant comme exemples les sills et lentilles de Dundonald dans l'Abitibi d'une part, les roches basiques et ultrabasiques du dôme de Kambalda en Australie occidentale d'autre part.

##### *Sills et lentilles du canton Dundonald, gisement Alexo*

Les formations de la région du canton Dundonald ont fait l'objet d'une excellente description de Naldrett & Mason (1968). Elles

comprennent des lentilles ultrabasiques surmontant un sill, mis en place dans des tufs, brèches et coulées d'âge keewatin. Seules les lentilles contiennent des minéralisations, tel le gisement de la mine Alexo.

Naldrett & Mason (1968) pensent que les lentilles ont été intrusives et mises en place sous forme d'une boue de cristaux d'olivine équante dans un liquide silicaté et que les olivines équantes d'une part, harristiques (squelettales) d'autre part, ont cristallisé dans deux environnements complètement différents: "à Dundonald, le magma des lentilles est monté dans le niveau supérieur de la croûte portant en suspension des cristaux d'olivine équante qui avaient cristallisé en profondeur...; quand l'intrusion est montée dans la série de roches volcaniques dans laquelle elle se trouve, le taux de refroidissement a augmenté et le liquide marginal devient sursaturé en olivine et de l'olivine et du spinelle chromifère "en squelette" se formèrent."

La Figure 1 présente le diagramme  $Al_2O_3$ - $FeO+Fe_2O_3$ -MgO (pourcentages pondéraux) pour les roches de la région: sills, lentilles de Dundonald et lentilles au voisinage de la mine Alexo, d'après les données de Naldrett & Mason. Ce diagramme montre que les roches du sill peuvent être constituées essentiellement de cumulats tholéitiques à cause de la situation de la plupart d'entre elles à l'extérieur de la courbe d'évolution des liquides de la série tholéitique

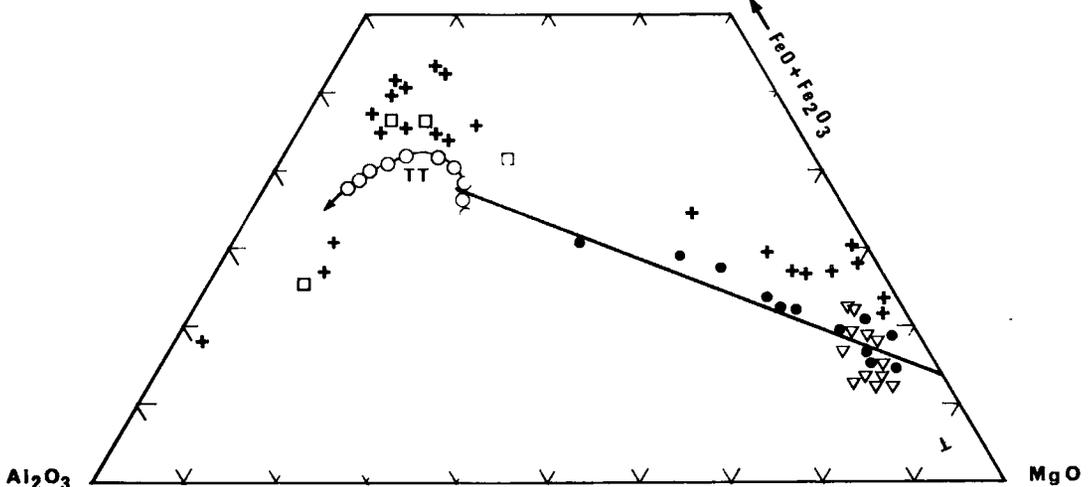


FIG. 1. Diagramme  $Al_2O_3$ - $FeO+Fe_2O_3$ -MgO en pourcentages pondéraux des roches du complexe Dundonald et des roches des lentilles de la mine Alexo, d'après les analyses chimiques de roches fournies par Naldrett & Mason (1968). Les croix désignent les roches du sill, les ronds pleins, les roches des lentilles sus-jacentes, les carrés les liquides possibles d'après Naldrett & Mason, les triangles les roches des lentilles de la mine Alexo; les ronds vides concernent les liquides successifs d'une série tholéitique de référence, TT.

de référence. Les cumulats suivent remarquablement la séquence de cristallisation des cumulats tholéitiques avec cristallisation d'olivine puis d'orthopyroxènes (actuellement sans doute serpentinisés), puis de clinopyroxènes et enfin de plagioclases avec cristallisation cotectique. On note cependant un hiatus entre les termes ultramafiques et les termes dérivant de liquides plus évolués. Les compositions de liquides possibles définies par Naldrett & Mason peuvent correspondre en réalité à des liquides tholéitiques chargés en minéraux cumulatifs. Les roches des lentilles peuvent être constituées de métapicrites, ces roches ayant été initialement des mélanges en proportions variables d'olivines de composition molaire voisine de Fa 8 et de basaltes tholéitiques très peu évolués.

Le diagramme présenté par la Figure 1 permet en effet de définir la composition moyenne de l'olivine des métapicrites; le diagramme  $Al_2O_3$ -MgO pour la composition sur base anhydre des roches totales permet d'apprécier pour chaque échantillon la proportion d'origine d'olivine et de matrice basaltique et ainsi de calculer la composition moyenne de la matrice basaltique de ces picrites basaltiques (Besson & Capitant 1976). Les compositions moyennes ainsi trouvées sont indiquées dans le Tableau 1.

Une comparaison peut être ainsi esquissée entre les compositions des matrices basaltiques des picrites pour la lentille minéralisée d'Alexo d'une part et pour les autres lentilles, stériles, du canton de Dundonald d'autre part. La matrice basaltique des picrites basaltiques des lentilles de la mine Alexo se distingue par des teneurs basses en  $Cr_2O_3$  et Fe total. Toutefois les analyses chimiques indiquent dans les roches des lentilles de la mine Alexo une accumulation de spinelles chromifères ou de sulfures. Dans le cas présent, les données disponibles ne sont pas encore suffisamment précises pour conduire à des conclusions définitives sur les différences éventuelles de compositions chimiques, d'ailleurs vraisemblablement très fines, entre la mésostase des métapicrites basaltiques des lentilles de la mine Alexo et celle des picrites basaltiques des autres lentilles.

#### *Kambalda, Australie occidentale*

Les formations entourant le dôme de Kambalda ont été décrites par Woodall & Travis (1969). Des descriptions très précises des minéralisations et de leur environnement ont été fournies par Ross & Hopkins (1975). Les corps minéralisés, essentiellement en minéralisations de contact, sont situés à la base de séquences

TABLEAU 1. COMPOSITIONS DE MATRICES BASALTIQUES ET D'OLIVINES, LENTILLES DE DUNDONALD ET D'ALEXO

Lentilles de Dundonald twp		lentilles d'Alexo
composition des matrices basaltiques		
SiO <sub>2</sub>	50.1	
TiO <sub>2</sub>	0.6	0.65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.0	12.5
FeO+Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.0	9.0
MgO	7.0	7.0
CaO	9.9	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(?) 0.6	(?) 0.3
Ni (ppm)	80	
V	270	
Co	85	85
compositions moyennes des olivines		
SiO <sub>2</sub>	41.4	41.3
FeO	7.9	8.0
MgO	50.7	50.6
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.3	(?) 0.4
Ni (ppm)	3 400	3 500
Co	110	110
teneur molaire en forstérite		
	92	92

de coulées ultrabasiques au contact avec les basaltes du mur sous-jacent. Onze zones au moins minéralisées en sulfures souvent massifs sont ainsi réparties autour du coeur du dôme constitué de roches intrusives acides et intermédiaires.

Ross & Hopkins (1975, Tableau 7) fournissent les analyses chimiques de quatre pseudo-roches (1, 2, 3, 4) de l'environnement immédiat de l'un des principaux corps minéralisés, Lunnon Shoot. Ces analyses de pseudo-roches sont en réalité des moyennes d'analyses chimiques de groupes de roches rassemblées en fonction de leur teneur en MgO en classes serrées, allant de roches à trémolite-chlorite à des roches à talc-magnésite-chlorite puis antigorite, de métapicrites à des roches très riches en MgO. Ross & Hopkins retiennent pour l'interprétation du chimisme de ces roches une hypothèse de mélange entre une olivine (Fo 92) et un liquide de composition picritique correspondant à l'analyse 1, soit MgO 23.44%, ce qui rend compte de la corrélation linéaire de la plupart des éléments avec MgO.

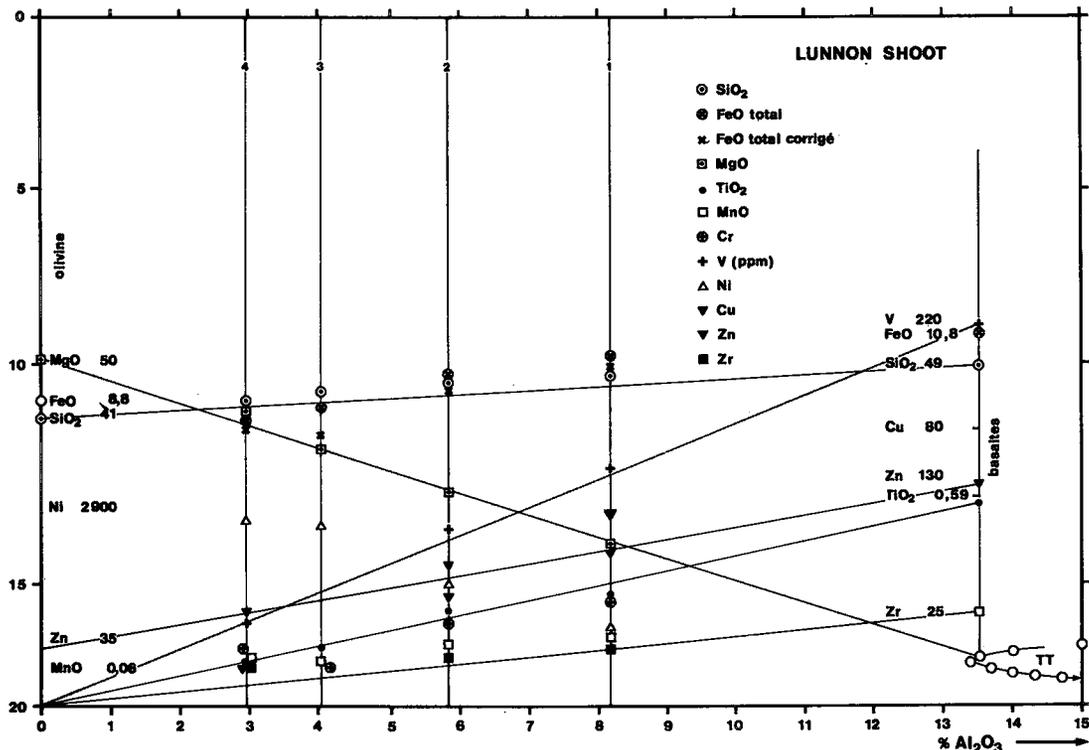


FIG. 2. Diagramme de variation des teneurs pondérales en plusieurs éléments en fonction de la teneur pondérale en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de quatre pseudo-roches du Lunnon Shoot (données analytiques de Ross & Hopkins 1975). L'échelle des ordonnées est variable suivant les éléments. TT désigne la position de liquides successifs d'une série tholéitique de référence.

La Figure 2 présente pour ces quatre pseudo-roches le diagramme de variation de  $\text{SiO}_2$ , FeO total non corrigé ou corrigé des sulfures sous forme de pyrrotine, MgO, MnO,  $\text{TiO}_2$ , Cr, V, Ni, Cu, Zn et Zr en fonction de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , les analyses étant calculées sur une base sèche. Nous pensons en effet que ces roches sont des métapicrites basaltiques constituées à l'origine d'un mélange en proportions variables d'olivine et de basalte tholéitique; par conséquent, la teneur en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dans une roche fournit une mesure du pourcentage à l'origine de basalte dans cette roche, puisque les olivines ne contiennent pas d'alumine et que la teneur en alumine de basaltes tholéitiques non différenciés est peu variable entre 13,5 et 14,5%. Cela ne serait plus exact pour les échantillons où une accumulation xénolithique de minéraux riches en alumine, plagioclases ou éventuellement pyroxènes, se serait produite mais l'existence de ces échantillons anormaux est révélée par les graphes  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -MgO ou  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{TiO}_2$  en pourcentages pondéraux.

De fait, sur la Figure 2, la variation de plusieurs éléments est en accord remarquable avec un modèle picritique, la variation irrégulière du chrome étant attribuable à la distribution irrégulière des spinelles. La composition moyenne de l'olivine des picrites basaltiques (Fo 91,1, peu différente de Fo 92) peut être déterminée par les échantillons 1, 2, 3, la pseudo-roche 4 étant anormale tant en FeO qu'en MgO sans doute à cause de l'abondance de l'olivine équantée (Fo 93-95) dont Ross & Hopkins mentionnent la fréquence dans les roches les plus magnésiennes. Ce même diagramme permet d'apprécier la composition de la matrice basaltique de ces picrites basaltiques, composition qui est indiquée dans le Tableau 3. A noter que dans cette série, la teneur minimale des roches en chrome coïncide avec la teneur maximale en soufre et en nickel.

Par ailleurs grâce à la courtoisie de la Compagnie Western Mining Corporation Limited, nous avons obtenu en provenance de la région de Kambalda: (a) des échantillons des différents

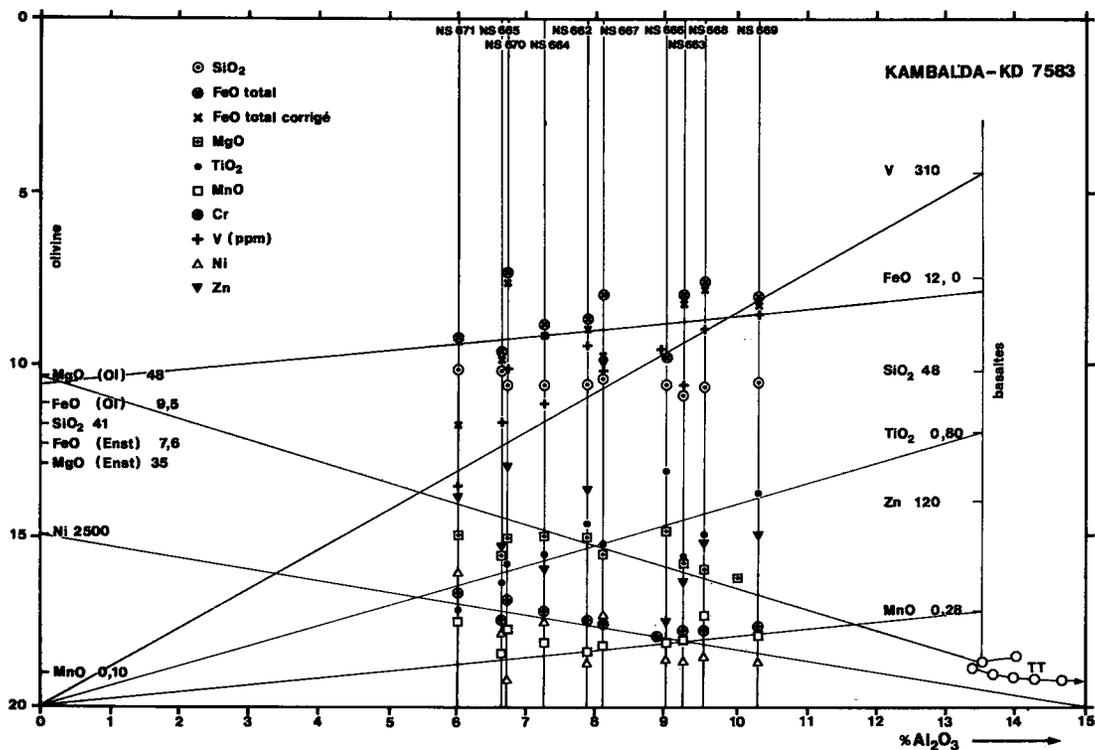


FIG. 3. Diagramme de variation des teneurs pondérales en plusieurs éléments en fonction de la teneur pondérale en  $Al_2O_3$  de dix métapicroites basaltiques du sondage KD7583 à Kambalda (données analytiques du Tableau 2). L'échelle des ordonnées est variable suivant les éléments. TT désigne la position de liquides successifs d'une série tholéitique de référence.

TABLAU 2. ANALYSES CHIMIQUES DE METAPICRITES DU SONDAJE DE KAMBALDA KD7583

	NS662	NS663	NS664	NS665	NS666	NS667	NS668	NS669	NS670	NS6671
SiO <sub>2</sub>	43.15	43.59	43.33	46.56	42.75	44.49	44.00	44.35	43.25	45.41
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.26	8.85	6.68	6.33	8.19	7.52	8.92	9.69	6.15	5.50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.25	5.08	4.35	4.50	1.48	2.96	1.44	1.34	4.75	1.71
FeO	6.67	7.03	6.39	5.82	7.88	8.55	10.42	10.05	7.50	8.40
MgO	22.83	20.21	22.82	20.87	23.22	20.92	18.89	17.89	22.82	22.85
MnO	0.15	0.18	0.18	0.15	0.17	0.17	0.25	0.19	0.21	0.23
CaO	6.81	4.56	7.09	6.12	6.73	7.93	8.84	8.16	7.63	8.16
Na <sub>2</sub> O	0.44	0.45	0.44	0.57	0.16	0.39	0.72	1.05	0.07	0.07
K <sub>2</sub> O	0.54	6.06	1.28	4.30	0.05	0.09	0.10	0.96	0.04	0.04
TiO <sub>2</sub>	0.49	0.42	0.41	0.34	0.63	0.42	0.47	0.58	0.39	0.26
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.33	0.31	0.37	0.35	0.27	0.32	0.31	0.33	0.42	0.31
NiO	0.08	0.08	0.15	0.13	0.08	0.16	0.09	0.08	0.05	0.23
PF	5.65	2.67	5.17	3.01	6.39	5.52	4.43	3.83	5.24	5.59
total	98.65	99.49	98.66	99.05	98.00	99.44	98.88	98.60	98.52	98.76
CO <sub>2</sub>	0.15	0.05	0.16	0.09	0.06	0.07	0.05	0.05	0.04	0.04
H <sub>2</sub> O	5.61	2.42	5.15	3.07	6.50	5.41	5.03	4.53	5.59	5.06
S	0.02	0.02	0.09	0.08	0.05	1.05	0.03	0.03	0.06	1.42
Ba (ppm)	27	303	75	174	14	11	14	243	11	10
Co	84	46	80	55	71	106	93	82	100	96
Cu	<10	30	61	94	19	150	<10	<10	83	119
Sr	18	12	<10	15	13	<10	<10	32	<10	<10
V	195	180	164	158	190	184	205	217	183	119
Rb	19	253	42	194	<10	<10	<10	26	<10	<10

types de basaltes: basaltes du mur de la séquence de coulées ultrabasiques (footwall basalts), basaltes du toit inférieur de cette séquence (lower hanging-wall basalts) et basaltes de toit supérieur (upper hanging-wall basalts) en provenance des sondages LD2004, KD2239 et KD2367 répartis sur le flanc sud-ouest du dôme de Kambalda; (b) des échantillons de métapicrites en provenance du sondage KD7583 situé sur le flanc nord du dôme. Ce sondage montre un magnifique développement de coulées à spinifex superposées. Les dix échantillons de métapicrites répartis dans le sondage de 23 à 1098 m appartiennent tous à des coulées différentes; ils ont été sélectionnés pour des teneurs en MgO moyennes qui s'étalent de 18 à 24%. Dans cette série se trouvent plusieurs intrusions de roches acides et, à 1015 m, une mince intercalation sédimentaire. Il n'y a pas de minéralisations notables en sulfures massifs dans cet ensemble; seules quelques passées sulfurées subéconomiques se trouvent à la base de l'une des coulées inférieures.

La Tableau 2 présente les analyses chimiques de dix échantillons de métapicrites du sondage KD7583. Les analyses chimiques des basaltes de cette région, comparables à celles présentées par Ross & Hopkins (1975), ne sont pas reproduites ici.

La Figure 3 présente, de la même manière que la Figure 2 pour les roches du Lunnon Shoot, le diagramme de variation des éléments des roches du sondage KD 7583 en fonction de leur teneur en  $Al_2O_3$ , le tout calculé sur une base sèche. Ce diagramme montre que quatre des échantillons (NS662, 663, 668, 669) sont en ligne avec le modèle picritique, l'olivine de ces métapicrites basaltiques étant moins magnésienne que celle des métapicrites basaltiques du Lunnon Shoot, soit en proportions molaires Fa 10. Les quatre échantillons NS664, 665, 667, 671, riches en  $SiO_2$  et pauvres en MgO par rapport au modèle picritique, contiennent très vraisemblablement de l'orthopyroxène cumulatif proche de l'enstatite; dans l'ensemble, le graphe est plus dispersé que pour les roches du Lunnon Shoot.

La meilleure estimation de la composition de la matrice basaltique de ces picrites, la série de coulées étant considérée comme un tout homogène, est fournie par le Tableau 3 qui compare ces éléments aux éléments homologues pour les mésostases des picrites du Lunnon Shoot.

Les deux matrices basaltiques dont la composition appréciée est ainsi comparée sont distinctes. La matrice basaltique des picrites du

Lunnon Shoot est plus pauvre en Fe total,  $TiO_2$  et V que la matrice des picrites du sondage KD7583. Cette dernière est sans doute constituée par des tholéites déjà plus différenciées dans une série tholéitique et par conséquent plus riches en  $TiO_2$ , V et Fe total; de manière corrélative, l'olivine des picrites de KD7583 est plus riche en FeO sans doute par accumulation d'un peu d'olivine basaltique et ces picrites montrent fréquemment de l'enstatite cumulative; les légères différences en chrome de ces deux séries de roches, interprétées comme conséquence de la présence de chromite en proportion variable, ne rendent pas compte en effet, à elles seules, des différences constatées sur les teneurs en fer. Les matrices basaltiques des picrites minéralisées évoluent donc en cristallisant, pour les termes précoces, olivine et orthopyroxène.

La Figure 4 présente le diagramme  $Al_2O_3$ -FeO+ $Fe_2O_3$ -MgO, les oxydes étant exprimés en poids, pour ces deux séries de métapicrites et pour les basaltes de la région de Kambalda. La différence sur les teneurs en fer tant des olivines que des matrices basaltiques des métapicrites du Lunnon Shoot et du sondage KD7583 y apparaît nettement. Les basaltes du toit inférieur apparaissent, d'après la Figure 4, légèrement

TABLEAU 3. COMPOSITIONS DE MATRICES BASALTIQUES ET D'OLIVINES, LUNNON SHOOT ET SONDRAGE DE KAMBALDA KD7583

matrices basaltiques		
	47-49	46-48
$SiO_2$ (%)	47-49	46-48
$TiO_2$	0.60	0.80-0.85
$Al_2O_3$	13.5	13.3-13.5
FeO total	10.4-11.0	12.0-12.5
MgO	7.4	7.7
MnO	0.28	0.28
$Na_2O$		1.35
Ni (ppm)	100	100
V	220	310
Zn	130	120
Cu	90	
Zr	25	
olivines		
$SiO_2$	41.2	41.0
FeO	8.8	9-10
MgO	50	48-49
MnO	0.06	0.10
$Cr_2O_3$	0.07	
Ni (ppm)	3 000	2 500
Zn	35	
Po (mol.%)	91.2	90

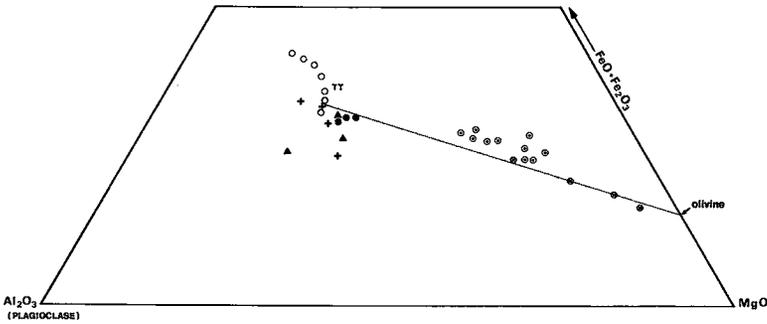


FIG. 4. Diagramme  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ , en pourcentages pondéraux, des pseudo-roches du Lunnon Shoot en ronds croisillonés et des métapicrosites basaltiques du sondage KD7583 en ronds centrés. A noter le léger décrochement de la pseudo-roche 4 du Lunnon Shoot dû à la présence d'olivine équante très riche en forstérite. Sont également reportées les positions des basaltes du mur de la série des coulées ultrabasiqques, désignés par des croix, des basaltes du toit inférieur désignés par des triangles pleins et du toit supérieur désignés par des ronds pleins, ainsi que les positions des liquides successifs de la série de référence tholéitique TT, désignés par des ronds blancs.

cumulatifs en plagioclases, les basaltes du toit supérieur légèrement picritiques, sans doute par accumulation d'olivine.

Mentionnons par ailleurs que l'examen détaillé des éléments traces et des terres rares dans ces roches confirme ces indications et indique que le degré de fusion mantellique décroît des mésostases tholéitiques des picrites basaltiques aux basaltes du mur puis aux basaltes du toit inférieur puis du toit supérieur (Besson *et al.* 1979 et en préparation).

#### GISEMENTS EN LENTILLES

##### *Exemple du lac Werner, Ontario*

La description du gisement du lac Werner, situé en Ontario au NNW de Kenora, a été rappelée par Henry (1973), essentiellement d'après les données de Rose (1958), Scoates (1971) et Cameron *et al.* (1970). Ce gisement est constitué par un alignement, s'étendant sur plusieurs kilomètres, de nombreuses lentilles de péridotites, de dimensions petites à moyennes, gainées d'amphibolites en formations boudinées, le tout étant redressé et en contact par failles avec des gneiss migmatitiques au nord et des granites au sud. Le degré de métamorphisme de la formation est élevé: les gneiss sont migmatitiques; les amphibolites sont migmatisées lit-par-lit par des pegmatites roses et des pegmatites recoupent les lentilles de péridotites.

Les zones minéralisées sont groupées autour de lentilles de péridotite et comprennent deux types de minéral, d'une part du minéral disséminé dans les péridotites, d'autres part du minéral massif, en veines, d'allure bréchique. Ces veines soit recoupent les péridotites, soit se situent dans la foliation des amphibolites à proximité des lentilles de péridotites. Le rapport moyen Ni/Cu des sulfures du gisement a été de l'ordre de 2, mais ce rapport n'est pas représentatif des teneurs du minéral en lentilles. De la magnétite et de la chromite riche en fer forment des disséminations ou des veines dans les péridotites ou se présentent en enclaves dans les sulfures principaux. Une interprétation vraisemblable de ces formations est celle d'un sill ou plutôt d'un dyke replissé avec les formations encaissantes.

L'étude géochimique résumée ci-dessous résulte de 32 analyses chimiques de roches et de 43 analyses chimiques de minéraux à la microsonde effectuées respectivement au CRPG et au Service Géologique National. Les analyses de minéraux ne sont pas présentées ici. Les 32 analyses chimiques de roches se répartissent en échantillons provenant de sondages miniers de la zone exploitée, en échantillons provenant de carottes de sondages d'une zone située à 1 km à l'ouest de la zone d'exploitation et en échantillons provenant d'affleurements de la région (Henry 1973).

Pour ces 32 échantillons analysés ont été établis les diagrammes  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3\text{-MgO}$

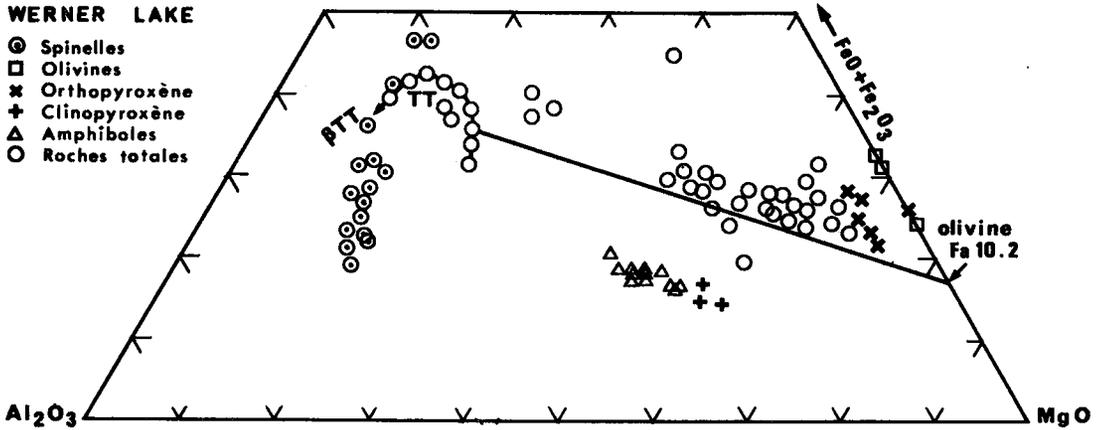


Fig. 5. Diagramme  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ , en pourcentages pondéraux, de roches magasins du gisement du lac Werner et de minéraux de ces roches. Les échantillons qui s'écartent de la ligne picritique sont riches en spinelles chromifères.

(Fig. 5),  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ ,  $\text{SiO}_2\text{-MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-V}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Ni}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$ , les oxydes étant exprimés en pourcentages pondéraux, les teneurs en métaux en g/t. La Figure 5 présente, pour les minéraux, le diagramme  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-MgO}$  en pourcentages pondéraux superposé au diagramme correspondant pour les roches.

Cette étude géochimique indique que les amphibolites sont vraisemblablement d'anciens basaltes et les péridotites des métapicroites basaltiques. Les roches ne sont pas à proprement parler différenciées ou, d'après leur minéralogie, ne témoignent que d'une différenciation fruste.

Le Tableau 4 présente les analyses chimiques de quatre amphibolites (les deux dernières pro-

TABLEAU 4. ANALYSES CHIMIQUES DE ROCHES REPRESENTATIVES DU GISEMENT DU LAC WERNER

	métabasaltes				métapicroites					
	NS167	NS175	NS164	NS165	NS152	NS150	NS151	NS158	NS174	NS155
$\text{SiO}_2$	45.90	50.40	43.70	44.78	38.43	36.75	40.08	43.09	41.11	42.59
$\text{Al}_2\text{O}_3$	12.87	13.70	17.58	12.71	6.39	7.08	6.69	7.61	9.48	9.95
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	3.74	1.55	1.76	6.03	6.49	6.55	5.86	5.02	4.97	0.43
FeO	10.50	10.55	13.91	9.32	5.22	5.87	5.63	6.48	7.44	11.86
MgO	10.69	6.35	7.82	11.91	29.22	28.90	26.48	23.92	22.02	19.32
MnO	0.14	0.16	0.05	0.17	0.10	0.17	0.13	0.11	0.13	0.19
CaO	8.10	10.08	2.61	8.14	3.88	4.11	5.06	5.14	6.78	7.24
$\text{Na}_2\text{O}$	1.81	2.48	1.93	1.36	0.27	0.12	0.24	0.57	0.65	0.51
$\text{K}_2\text{O}$	1.27	0.79	5.04	0.45	0.04	-	0.01	0.15	0.17	0.26
$\text{TiO}_2$	0.56	1.33	0.48	0.86	0.22	0.39	0.27	0.29	0.35	0.30
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	1.22	0.03	0.06	0.31	1.32	0.21	0.88	0.39	0.42	0.43
NiO	0.06	0.01	0.03	0.42	0.22	0.43	0.45	0.26	0.31	0.15
PF	1.70	0.58	2.00	2.42	6.93	6.72	6.79	5.50	4.17	4.71
total	98.51	98.01	96.97	98.88	98.70	97.30	98.57	98.53	98.60	97.94
$\text{CO}_2$	0.28	0.13	0.15	0.78	0.60	0.18	0.13	0.32	0.16	0.15
$\text{H}_2\text{O}_t$	2.12	1.18	2.92	2.18	7.71	7.21	7.41	5.89	4.96	4.23
ppm Ba	64	56	225	12	10	42	10	10	10	10
Co	92	27	43	90	96	184	104	80	76	64
Cu	122	112	10	1 000	113	290	389	623	544	12
Sr	45	95	67	57	<10	<10	<10	<10	<10	<10
V	273	334	156	321	117	188	109	167	143	149

viennent des travaux souterrains) et de six métapicrites choisies parmi les moins riches en chromite. Les amphibolites peuvent être d'anciens basaltes tholéitiques à composition peu modifiée qui montrent des teneurs en  $\text{SiO}_2$  apparemment normales; NS167 et NS165 sont légèrement picritiques comme le montrent les teneurs en MgO et Ni, sans doute par accumulation d'olivine, et contiennent des spinelles chromifères; les deux autres échantillons montrent des teneurs normales en nickel et en chrome.

Tous les échantillons de métapicrites sont enrichis en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  par accumulation de spinelles chromifères; le rapport  $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{Cr}_2\text{O}_3$  dans les spinelles est souvent égal ou supérieur à 2 et la présence de ces spinelles entraîne des teneurs en Fe total élevées pour de nombreux échantillons. Sur la Figure 5 les échantillons les plus riches en spinelles et de ce fait anormalement riches en fer s'écartent un peu de la ligne picritique; les échantillons riches en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  sont également riches en vanadium et montrent également une tendance à un léger enrichissement en  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Il est difficile par suite de ces perturbations introduites par la présence de spinelles et de magnétites d'arriver à une bonne appréciation de la composition dans les picrites basaltiques de la mésostase tholéitique et des olivines. La meilleure appréciation de la composition de la mésostase est sans doute celle de l'échantillon NS167; la composition des olivines peut être appréciée à partir des échantillons dont l'analyse est fournie par le Tableau 4. Ces éléments sont indiqués dans le Tableau 5. La mésostase est une tholéite précoce, mais sans doute déjà évoluée par rapport aux mésostases des picrites basaltiques dans les complexes effusifs minéralisés, tel Lunnon Shoot à Kambalda.

Les olivines des picrites basaltiques à teneur molaire en fayalite Fa 10, sont un peu moins magnésiennes que les olivines habituellement rencontrées dans les picrites basaltiques des lentilles effusives minéralisées, ce qui suggère une accumulation d'olivine basaltique; de fait, les rares olivines analysées à la microsonde ont une composition molaire de Fa 15 à 21.

Toutes les amphiboles sont groupées sur la Figure 5 dans une zone proche de celle des pyroxènes, ce qui suggère pour ces minéraux une origine métamorphique; les clinopyroxènes se signalent par leur forte teneur en  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 8 à 9% sans que leur teneur en  $\text{TiO}_2$  ne soit franchement élevée; il n'apparaît pas certain que ces teneurs en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  soient d'origine magmatique.

TABLEAU 5. COMPOSITIONS DE MÉSOSTASE THOLÉITIQUE ET D'OLIVINE, GISEMENT DU LAC WERNER

	Mésostase tholéitique	olivine (Fa 10)
$\text{SiO}_2$	47.4	41
$\text{Al}_2\text{O}_3$	13.3	
$\text{TiO}_2$	0.6	
$\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$	11.7	10
MgO	11.0	49
V (ppm)	280	
Cr	400	2 700
Ni	150	2 700

Comme cela est signalé ci-dessus, les compositions de tous les échantillons de métapicrites sont perturbées par la présence de spinelles chromifères, même dans les échantillons riches en sulfures de nickel, fait qui a déjà été noté pour les complexes rhodésiens de Shangani et de Filabusi. Les teneurs en chrome de métabasaltites du lac Werner étant normales, il est possible que l'on se trouve dans ce gisement dans des conditions de fin de cristallisation des sulfures et de début de cristallisation des spinelles. Dans les picrites basaltiques minéralisées, la proportion de basaltes par rapport aux olivines est d'ailleurs importante, de l'ordre de 30 à 60%, nettement supérieure à la proportion habituellement observée dans les picrites basaltiques effusives minéralisées, ce qui explique sans doute le rapport Cu/Ni relativement élevé dans les sulfures. Le gisement du lac Werner apparaît donc en relation avec des picrites de tholéites précoces, mais ses caractères font penser à un mode de mise en place primaire intrusif plutôt qu'effusif; les caractéristiques initiales du gisement ont été oblitérées par un métamorphisme intense.

## GISEMENTS EN DYKES PUISSANTS

### *Exemple de Dumont, Abitibi*

Les gisements à faibles teneurs mais de dimensions étendues de Dumont dans l'Abitibi et du mont Keith en Australie occidentale présentent de grandes analogies tant en mode de gisement que du point de vue du chimisme des roches magasins.

Le gisement nickelifère de Dumont a été décrit par Eckstrand (1975). Ce corps ultramafique est constitué par une lentille en forme de sill ou de dyke de 7 km de longueur et dont la largeur peut atteindre 0.8 km, encaissé dans des roches volcaniques métamorphisées en faciès

TABLEAU 6. ANALYSES CHIMIQUES DE ROCHES REPRESENTATIVES DU GISEMENT DUMONT

	dunites					métapicrites				
	NS294	NS304	NS305	NS307	NS310	NS295	NS296	NS298	NS300	NS302
SiO <sub>2</sub>	33.13	33.30	33.35	34.22	34.56	36.58	36.25	24.40	34.61	31.19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.13	-	-	-	-	1.89	1.77	1.29	1.63	1.93
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.82	3.97	4.41	4.55	3.86	7.61	6.94	7.16	7.32	1.52
FeO	2.61	2.00	1.62	1.78	1.66	4.12	4.04	3.28	2.53	6.80
MgO	43.68	41.83	42.39	42.13	41.96	36.07	36.34	36.97	36.53	39.93
MnO	0.09	0.10	0.08	0.11	0.08	0.18	0.17	0.19	0.15	0.14
CaO	0.11	-	0.18	-	-	0.53	0.43	0.46	1.57	4.58
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.01	-	-	-	0.04	0.02	0.03	0.03	0.01
K <sub>2</sub> O	0.01	-	-	-	-	0.01	0.01	-	0.03	0.01
TiO <sub>2</sub>	0.02	0.08	0.12	0.12	0.05	0.16	0.16	0.11	0.13	0.18
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.12	0.19	0.18	0.20	0.18	0.67	0.81	1.02	1.07	0.77
NiO	0.07	0.76	0.37	0.56	0.99	0.19	0.19	0.24	0.28	0.25
PF	14.22	16.37	16.50	15.51	16.72	10.59	11.17	12.43	12.23	21.27
total	97.98	98.61	99.20	99.18	100.06	98.64	98.30	97.58	98.11	98.58
CO <sub>2</sub>	0.41	0.40	0.61	0.47	0.54	0.13	0.61	0.27	0.61	17.99
H <sub>2</sub> O <sub>t</sub>	13.86	15.13	15.32	15.11	15.68	11.10	11.54	12.46	12.17	4.12
ppmBa	10	13	17	16	10	17	13	13	16	22
Co	51	87	104	91	94	102	117	111	110	101
Cu	10	12	<10	14	27	12	<10	<10	<10	32
Sr	22	10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	260
V	10	18	27	32	24	60	64	56	64	70

schistes verts. Ce corps est constitué de dunites serpentinisées et de serpentinites passant sur leurs bordures à des roches riches en olivine, mais contenant en plus des clinopyroxènes. Des concentrations de sulfures sous forme d'anciennes gouttelettes intercumulus sont réparties en plusieurs zones subparallèles dans la dunite serpentinisée.

Nous nous référons ci-dessous à la discussion du chimisme des roches effectuée à l'aide de 20 analyses chimiques d'échantillons provenant de carottes de sondages réparties d'ouest en est de la lentille, mais avec une plus forte densité dans la zone minéralisée principale du centre-est (Henry 1973, Besson & Capitant 1976). Ces échantillons se répartissent en: (1) des dunites serpentinisées, constituées à l'origine essentiellement d'olivine. La teneur en Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dans les dunites peut correspondre à une teneur pondérale de 0.25% dans les olivines dont la composition est légèrement variable. Ces roches se trouvent au coeur du dyke; (2) des métapicrites basaltiques, interprétées comme des mélanges en proportion variable d'olivine et de basalte tholéitique, la proportion d'olivine y étant très

importante. Ces roches se trouvent sur les bordures du dyke.

Le Tableau 6 présente 10 analyses chimiques de ces roches, 5 analyses de dunites et 5 analyses de métapicrites. Une interprétation basée sur le chimisme des roches totales indique que la composition de l'olivine des dunites varie entre celle d'une olivine 1 de teneur molaire en fayalite Fa 7 et celle d'une olivine 2 de teneur molaire Fa 11. Il est possible que l'olivine 2 soit une olivine de cristallisation basaltique du stade de début de la cristallisation cotectique et en équilibre chimique avec le basalte qui constituait la matrice des picrites basaltiques. L'olivine 1 peut être une olivine tellurique zonée et gainée en proportion variable d'olivine 2. Une estimation de la composition des olivines et de la matrice basaltique des picrites, d'ailleurs imprécise, est rappelée par le Tableau 7 (Besson & Capitant 1976). On remarque que, d'après ses teneurs en TiO<sub>2</sub>, Fe total et V, la matrice des picrites de Dumont correspond à une tholéite déjà évoluée.

Les Figures 6 et 7 montrent pour les échantillons de dunites serpentinisées et de métapi-

TABLEAU 7. COMPOSITIONS DE MATRICE BASALTIQUE ET D'OLIVINES, GISEMENT DUMONT

	matrice basaltique	olivine 1	olivine 2
		Fo-93	Fo-89
SiO <sub>2</sub>	50.1	41.6	40.8
TiO <sub>2</sub>	1.1		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.5		
FeO+Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.5	6.7	10.9
MgO	7.0	51.7	48.3
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0.25	0.20
Ni (ppm)	50	3 500	(?) 2 700
V	300		

crités basaltiques les diagrammes Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: MgO/MgO+FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et NiO: MgO/MgO+FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, les teneurs en oxydes étant des teneurs pondérales. Une différence très nette apparaît entre dunites serpentinisées et métapicrites basaltiques au point de vue des teneurs en chrome: la teneur en chrome est stable dans les dunites, de 0.20 à 0.25% en poids, ce qui reflète vraisemblablement la teneur originelle des olivines; les teneurs en Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dans les métapicrites sont nette-

ment plus élevées, mais décroissent lorsque la proportion de basalte dans ces roches augmente. La Figure 7 montre que les roches minéralisées en sulfures de nickel sont exclusivement les dunites serpentinisées; la teneur en nickel dans les métapicrites décroît lorsque la proportion de basalte dans ces roches augmente.

Il semble donc que les sulfures de nickel cristallisent un peu avant l'olivine basaltique; ils cessent de cristalliser lorsque commence la cristallisation des spinelles chromifères. La cristallisation des spinelles chromifères est nette dans les roches situées à la charnière dunites-picrites basaltiques et dans les picrites pauvres en basalte puis diminue lorsque ces picrites s'enrichissent en basalte. Le dépôt des sulfures de nickel dans ce type de gisement apparaît ainsi antérieur à la cristallisation de spinelles chromifères à partir de basaltes.

#### CONCLUSIONS

Les quatre types de gisements sulfurés de nickel brièvement examinés ci-dessus semblent

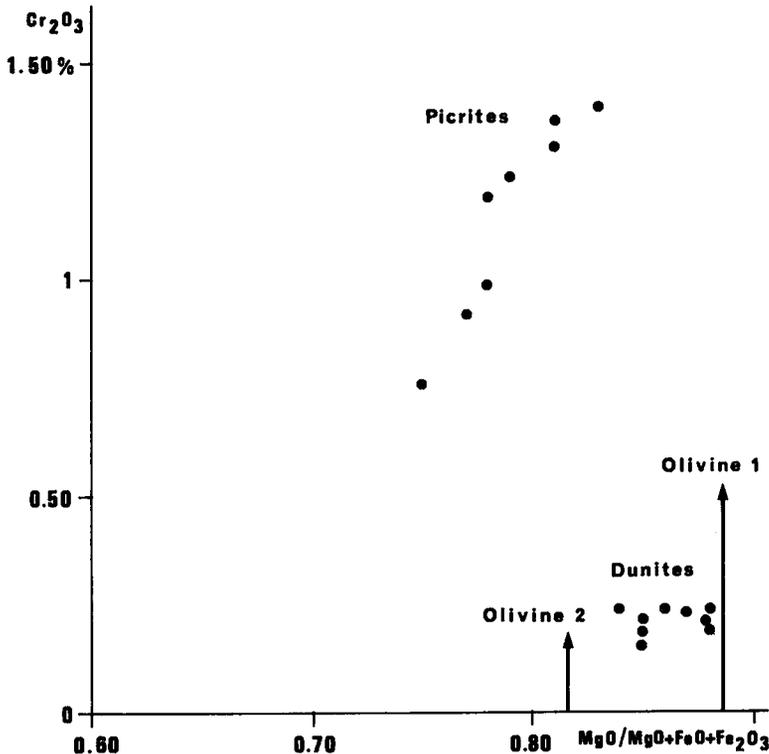


FIG. 6. Gisement nickelifère Dumont: diagramme Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: MgO/MgO+FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pour les dunites serpentinisées et les métapicrites basaltiques riches en olivine.

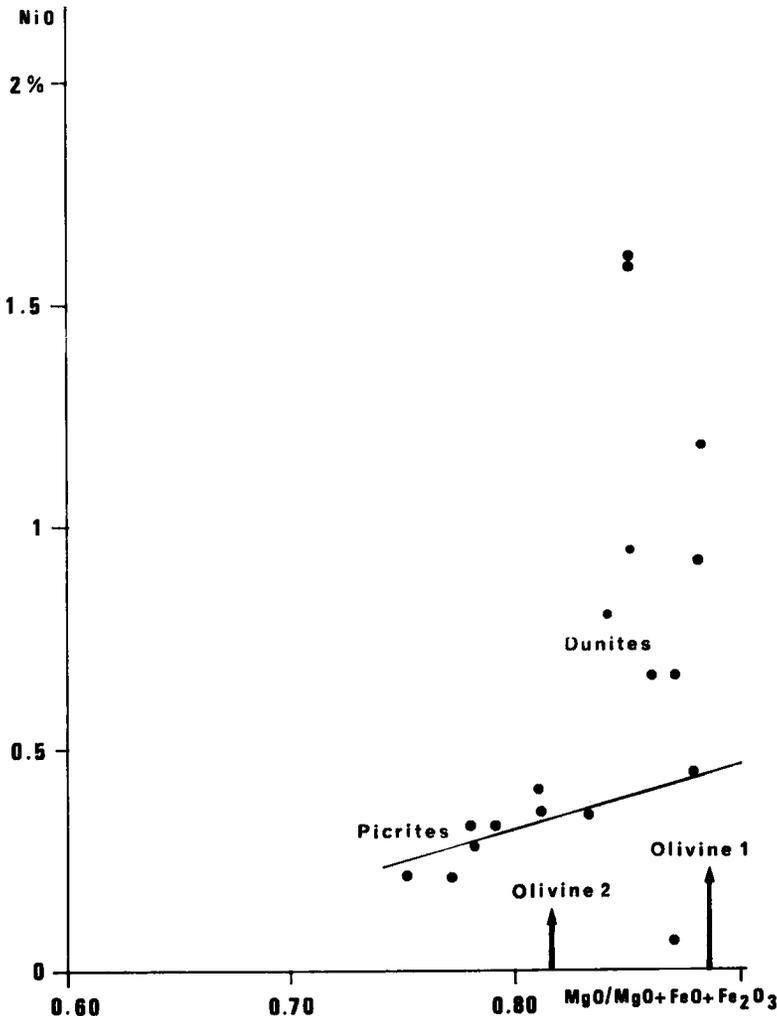


FIG. 7. Gisement nickelifère Dumont: diagramme NiO(total):  $\text{MgO}/\text{MgO}+\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$  pour les dunites serpentinisées et les métapicrites basaltiques riches en olivine.

être en liaison génétique avec des basaltes. Les roches magasins de ces gisements peuvent être interprétées, à l'origine, avant transformations par altérations ou métamorphisme, comme des picrites basaltiques d'affinité tholéitique riches en olivine. De l'olivine très magnésienne, sans doute tellurique, est abondante dans les picrites des dykes et des lentilles subeffusives, et moins abondante voire absente dans les picrites des sills ou des lentilles intrusives. Il est possible que le rapport Ni-Cu des gîtes soit corrélable à la proportion moyenne réelle d'olivine et de basalte dans les picrites encaissant ces gîtes.

La mésostase de ces roches semble corres-

pondre à des liquides tholéitiques précoces, non évolués par différenciation, caractérisés par des teneurs relativement faibles en  $\text{TiO}_2$ , V, Fe total. Ce chimisme caractérise des séries volcaniques de zones orogéniques. Dans de tels liquides, l'activité de FeO a été faible, ce qui a favorisé l'individualisation de mattes sulfurées; mais cela n'a sans doute pas été suffisant: dans ces liquides, les sulfures semblent s'individualiser avant les spinelles chromifères. Une élévation des teneurs en alcalins, ou de manière plus précise, en  $\text{K}_2\text{O}$ , dans des liquides basiques, favorise la précipitation des chromites (Irvine 1974). Une tendance même légère à l'alcalinité

des matrices basaltiques se traduit par une légère élévation des teneurs en alcalins et en alumine dans ces liquides, ce qui peut, à teneur en soufre équivalente, constituer un élément défavorable à la précipitation de sulfures. Les matrices tholéitiques favorables semblent donc caractérisées à la fois par un taux de fusion mantellique élevé et par l'absence de toute différenciation.

#### REMERCIEMENTS

Nous remercions les compagnies Consolidated Canadian Faraday et Dumont Nickel Corporation d'avoir bien voulu autoriser des échantillonnages sur les gisements du lac Werner et Dumont. Nous remercions la société Western Mining Corporation de nous avoir adressé les échantillons décrits ici et de nous avoir autorisé à publier les données analytiques relatives à ces échantillons. Nous remercions Z. Johan de nous avoir communiqué de nombreuses analyses de minéraux à la microsonde, en particulier les analyses de minéraux du lac Werner sur lesquelles est fondée la Figure 5. Les analyses chimiques présentées dans les Tableaux 2, 4 et 6 ont été réalisées au CRPG de Nancy. Cette étude a été réalisée au cours d'une action concertée de la DGRST dans le cadre des décisions d'aide à la recherche no. 73-7-1514 du 1er juin 1973 et no. 75-7-0068 du 20 mars 1975.

#### RÉFÉRENCES

- ANDERSON, A.T., JR. (1974): Evidence for a picritic, volatile-rich magma beneath Mt. Shasta, California. *J. Petrology* 15, 243-267.
- ARAMAKI, S. (1963): Geology of Asama volcano. *J. Fac. Sci. Univ. Tokyo, sect. 2*, 14, 229-443.
- ARNDT, N.T., NALDRETT, A.J. & PYKE, D.R. (1977): Komatiitic and iron-rich tholeiitic lavas of Munro Township, Northeast Ontario. *J. Petrology* 18, 319-369.
- BESSON, M. (1977): Le volcanisme associé aux gisements sulfurés de nickel. *Bull. Bur. Rech. Géol. Minières Fr. (2)*, sect. II, 3, 183-207.
- & CAPITANT, B. (1976): Note sur le chimisme de roches ultrabasiques minéralisées en sulfures de nickel dans l'Abitibi (Province Supérieure archéenne, Canada). *Bull. Bur. Rech. Géol. Minières Fr. (2)*, sect. II, 4, 349-378.
- , MEYER, G. & TREUIL, M. (1979): Eléments traces et terres rares dans quelques métapicrites d'Australie Occidentale. In *Facteurs Contrôlant les Minéralisations Sulfurées de Nickel. Bur. Rech. Geol. Minières Mem.* 97 (sous presse).
- BICKLE, M.J., FORD, C.E. & NISBET, E.G. (1977): The petrogenesis of peridotitic komatiites: evidence from high-pressure melting experiments. *Earth Planet. Sci. Lett.* 37, 97-106.
- BOWEN, N.L. (1928): *The Evolution of the Igneous Rocks*. Princeton Univ. Press, Princeton, N.J.
- CAMERON, E.M., SIDDELEY, G. & DURHAM, C.C. (1970): Distribution of ore elements in rocks for evaluating ore potential: nickel, copper, cobalt and sulphur in ultramafic rocks of the Canadian Shield. In *Proc. 3rd Int. Geochem. Expl. Symp.* (R.W. Boyle, ed.), *Can. Inst. Mining Met. Spec. Vol.* 11, 298-313.
- DREVER, H. I. & JOHNSTON, R. (1967): Picritic minor intrusions. In *Ultramafic and Related Rocks* (P.J. Wyllie, ed.) John Wiley & Sons, New York.
- EALLES, H. V. (1964): Mineralogy and petrology of the Empress nickel-copper deposit, Southern Rhodesia. *Geol. Soc. S. Afr. Trans.* 67, 173-201.
- ECKSTRAND, O.R. (1975): The Dumont serpentinite: a model for control of nickeliferous opaque mineral assemblages by alteration reactions in ultramafic rocks. *Econ. Geol.* 70, 183-201.
- FONTEILLES, M. (1968): Contribution à l'analyse du processus de spilitisation. *Bull. Bur. Géol. Minières Fr. (2)*, 3, 1-54.
- (1976): *Essai d'Interprétation des Compositions Chimiques des Roches d'Origine Métamorphique et Magmatique du Massif Hercynien de l'Agly*. Thèse doc. Etat, Univ. Paris.
- GASS, I.G. (1958): Ultrabasic pillow lavas from Cyprus. *Geol. Mag.* 95, 241-251.
- GREEN, D.H., NICHOLLS, I.A., VILJOEN, M. & VILJOEN, R. (1975): Experimental demonstration of the existence of peridotitic liquids in earliest Archaean magmatism. *Geol.* 3, 11-14.
- HENRY, B. (1973): Action concertée "minerais sulfurés de nickel". Echantillonnage de roches du Canada. *Rap. Serv. Géol. Nat.* (inédit).
- IRVINE, T.N. (1974): Chromitite layers in stratiform intrusions. *Carnegie Inst. Wash. Yearbook* 73, 301-314.
- KUNO, H. (1968): Differentiation of basalt magmas. In *Poldervaart Treatise on Rocks of Basaltic Composition 2* (H. H. Hess & A. Poldervaart, eds.) John Wiley and Sons, New York.
- MACDONALD, G.A. & KATSURA, T. (1964): Chemical composition of Hawaiian lavas. *J. Petrology* 5, 82-133.
- MYSEN, B. (1975): Partition of iron and magnesium between crystals and partial melts in peridotite upper mantle. *Contr. Mineral. Petrology* 52, 69-76.
- NALDRETT, A.J., GUY-BRAY, J., GASPARRINI, E.L., PODOLSKY, T. & RUCKLIDGE, J.C. (1970): Cryptic variation in the petrology of the Sudbury nickel irruptive. *Econ. Geol.* 65, 122-155.
- & MASON, G.D. (1968): Contrasting Archaean ultramafic igneous bodies in Dundonald and Clergue Townships, Ontario. *Can. J. Earth Sci.* 5, 111-143.

- NISBET, E.G., BICKLE, M.J. & MARTIN, A. (1977): The mafic and ultramafic lavas of the Belingwe greenstone belt, Rhodesia. *J. Petrology* 18, 521-566.
- PURVIS, A.C., NESBITT, R.W. & HALLBERG, J.A. (1972): The geology of part of the Carr Boyd rocks complex and its associated nickel mineralization, Western Australia. *Econ. Geol.* 67, 1093-1113.
- ROEDER, P. & EMSLIE, R.F. (1970): Olivine-liquid equilibrium. *Contr. Mineral. Petrology* 29, 275-289.
- ROSE, E.R. (1958): Gordon Lake nickel deposit, Ontario. *Geol. Surv. Can. Pap.* 58-6.
- ROSS, J.R. & HOPKINS, G.M.F. (1975): Kambalda nickel sulphide deposits. In *Economic Geology of Australia and Papua New Guinea. 1. Metals* (C.L. Knight, ed.), *Austral. Inst. Mining Met. Mon.* 5, 100-121.
- SCOATES, R.F.J. (1971): A description and classification of Manitoba ultramafic rocks. In *Geoscience Studies in Manitoba* (A.C. Turnock, ed.), *Geol. Assoc. Can. Spec. Pap.* 9, 89-96.
- WOODALL, R. & TRAVIS, G.A. (1969) The Kambalda nickel deposits, Western Australia. *Ninth Commonwealth Mining Met. Congr.*, Pap. 26.
- WYLLIE, P.J., ed. (1967): *Ultramafic and Related Rocks*. John Wiley & Sons, New York.

Reçu août 1978; révision acceptée décembre 1978.