



Application des propriétés géochimiques des coulées serpentinitiques à la recherche prévisionnelle des gisements de la géophase ultrabasique-ultramafique: étude du sillon de La Motte-Vassan*.

| | |
|--|---------------|
| Ministère des Richesses Naturelles, Québec | |
| SERVICE DE LA DOCUMENTATION TECHNIQUE | |
| Date: | |
| No | <u>DP-297</u> |

Etude préliminaire

L. Imreh

(manuscrit déposé le 19 mars 1975)

*Version française de la conférence présentée le 17 février 1975 à la séance du comité géochimique de l'Académie des Sciences de la Hongrie à Budapest.

TABLE DES MATIÈRES

| <u>TITRE:</u> | <u>PAGE:</u> |
|---|--------------|
| ANNEXES | |
| I. CADRE DU TRAVAIL | 1 |
| a) Rappel historique très sommaire | 1 |
| b) But général du travail et rétrospective sommaire | 1 |
| II. RAPPEL GÉOLOGIQUE SOMMAIRE | 2 |
| III. ÉTUDE DU COMPORTEMENT DES ÉLÉMENTS DE LA GEOPHASE SERPENTINITIQUE | 3 |
| A. GÉNÉRALITÉS | 3 |
| 1) But de la présente étude | 3 |
| 2) Méthode proposée | 4 |
| B. PARTIE DESCRIPTIVE | 5 |
| 1) Les types fondamentaux des coulées serpentinitiques | 5 |
| a) Coulées massives | 5 |
| b) Coulées à deux zones | 6 |
| c) Coulées en mégacoussins | 8 |
| d) Type de serpentinite "craquelée" | 8 |
| 2. GÉOCHIMIE | 10 |
| a) Approche dynamique | 11 |
| a.a) Sans titre | 13 |
| a.b) " | 14 |
| a.c) " | 14 |
| a.d) " | 15 |
| a.e) " | 15 |
| a.f) " | 16 |

| | |
|---|----|
| a.g) Sans titre | 17 |
| b. APPROCHE STATIQUE | 18 |
| b.a. Remarques générales | 18 |
| b.b. Composition chimique des serpentinites | 18 |
| b.c. Etude sommaire des corrélations | 19 |
| b.c.1. Toutes les serpentinites | 19 |
| b.c.2. Secteur de la mine Marbridge | 21 |
| IV. CONCLUSIONS FINALES | 22 |
| A. La minéralisation Ni-fère | 22 |
| B. Réflexions géologiques générales | 24 |
| Références | 26 |
| TABLEAU I | 27 |
| TABLEAU II | 28 |
| " | 29 |
| " | 30 |
| " | 31 |
| " | 32 |
| Liste des ANNEXES | 33 |

"La base essentielle est l'étude du cadre géologique... afin que les études minutieuses et approfondies ne risquent pas d'aboutir à la situation paradoxale où «les arbres cachent la forêt». Il est indispensable de considérer les ensembles et de les replacer dans leur histoire géologique".

RAGUIN¹⁾

I CADRE DU TRAVAIL

a) Rappel historique très sommaire.

La dualité de formation des roches ultrabasiques - ultramafiques et, par conséquent, l'existence des laves ultrabasiques, démontrée pourtant par les géologues italiens il y a presque un siècle, a été méconnue quasiment jusqu'à nos jours. Par conséquent, tous les gisements nickélifères sulfurés associés aux roches ultrabasiques furent considérés comme des concentrations métalifères liés exclusivement au magmatisme intrusif.

b) But général du travail et rétrospective sommaire.

Dès l'été 1972 nous étions chargés de mission de mettre en valeur, en raison de la minéralisation Ni-fère sulfurée y associé, les masses ultramafiques de l'Abitibi. (fg.1) Les premiers contacts avec le terrain ont cependant révélé, au niveau des formations ultrabasiques, un écart substantiel entre la réalité de terrain et les cartes géologiques déjà existantes à l'échelle de 1/12,000. En effet, en utilisant les critères texturaux propres aux épanchements ultrabasiques sous-marins, nous avons formellement reconnu la nature effusive des serpentinites dans le tronçon principal du sillon métavolcanique de Val d'Or à l'intérieur de la Province Supérieure Canadienne carto-

1) in Petrographie des roches plutoniques dans leur cadre géologique, 1970 p. 239 (citation: p.3.)

graphiées jusqu'alors comme des péridotites intrusives.

L'objectif de l'ensemble du travail fut ainsi considérablement élargi puisque la révision cartographique s'imposait à l'échelle régionale, condition sine qua non d'un travail de vocation géologique prévisionnelle.

Depuis nous y avons défini la lithostratigraphie et l'image structurale jusqu'alors inconnues du tronçon médian du sillon composé principalement de serpentinites. Par ce fait nous avons remis dans son vrai contexte volcanique la minéralisation nickélicifère sulfurée de la mine Marbridge qui, à la lumière de nos travaux, se situe à un horizon lithostratigraphique et dans un environnement tectonique définis reflétant un stade particulier de l'évolution pétrochimique du volcanisme initial du sillon. (Imreh, 1974 a,b,c)

II. RAPPEL GÉOLOGIQUE SOMMAIRE.

En raison de la définition formelle du contexte et de la minéralisation de la MIDRIM (Imreh, R.G. sous édition) et du gisement de l'ancienne mine Marbridge (Imreh 1974 a et c), ainsi qu'en fonction des données de compilation géologique de J. Dugas, il nous paraissait opportun de définir les types de gisements québécois Cu-Ni-fères en fonction de leur cadre géotectonique.

La classification étant marquée sur la carte géologique (fg.2) établie à cet effet ensemble avec J. Dugas, nous ne l'y reproduisons pas.

Le lecteur avisé est, cependant, en mesure de se rendre compte immédiatement que ce ne sont pas les types de gisements cartogènes "géants", fournissant la majeure partie de la production mondiale (Sudbury en particulier) qui dominent au Québec, mais les types préorogéniques formant partie intégrante des sillons du volcanisme initial.

De plus, sauf rares exceptions, les gisements et, ou les minéralisations de ces deux types se cantonnent préférentiellement dans les provinces géologiques Supérieure et Churchill, ce qui paraît définir leur attitude envers les phases orogéniques superposées et, par voie de conséquence, vis-à-vis des faciès résultant du métamorphisme plus intense (faciès charnockitique).

III. ETUDE DU COMPORTEMENT DES ELEMENTS DE LA GEOPHASE SERPENTINITIQUE.

A. GENERALITES

1) But de la présente étude:

Après avoir défini le vrai contexte géologique de la minéralisation de la mine Marbridge et esquissé les particularités pétro- et géochimiques caractérisant les serpentinites du secteur immédiat de la mine par rapport aux autres types de serpentinites de la structure de La Motte-Vassan, nous nous proposons ci-dessous d'approfondir ce dernier aspect du problème.

Par la généralisation des analogies et des différences observées ou observables nous comptons dégager, sans intervention d'hypothèses génétiques le plus souvent gratuites, les lois géochimiques régissent l'enrichissement ou l'appauvrissement des éléments qui nous intéressent dans la géophase considérée. De ce fait, nous serons en mesure de définir le champ d'enrichissement le plus propice à la concentration nickélique.

2) Méthode proposée

Pour réaliser le but défini nous envisageons deux modes d'approches à savoir:

- L'étude de l'enrichissement des éléments dans les coulées individuelles à cristallisation "à deux temps" décrites particulièrement bien par Pyke et Al. (1973). Ce genre d'étude permettra de voir le comportement des éléments "en mouvement" en fonction de deux types de cristallisation réalisés avec un décalage dans le temps et matérialisés par deux macrostructures entièrement différentes, divisant chaque coulée de ce type en deux zones macroscopiques distincts.

- L'étude régionale et locale (secteur de la mine) des associations d'éléments dans les serpentinites.

Les deux modes d'approche sont complémentaires comme nous allons le voir ci-dessous.

Nous désirons encore remarquer que l'utilisation des méthodes statistiques n'est qu'à la mesure de nos possibilités actuelles dans ce domaine. En dépit de cette contrainte, nous pensons, cependant, que les faits saillants n'en souffriront point.

B. PARTIE DESCRIPTIVE

1) Les types fondamentaux des coulées serpentinitiques.

Afin de mieux comprendre la démarche de nos raisonnements, nous résumons ci-dessous les principaux traits distinctifs des quatre types de coulées fondamentaux, donnant le cadre de classification d'une dizaine de types de serpentinites distingué au cours de notre revision cartographique.

Les types fondamentaux sont:

- coulées massives
- coulées à deux zones de macrostructure (massive et spinifex)
- coulées en mégacoussins
- coulées "craquelées"

Leur distinction cartographique repose exclusivement sur les différences macroscopiques observables à l'échelle d'affleurements. Nous allons voir ci-dessous que ces différences sont en relation étroite avec la composition chimique des épanchements. Leur relation avec la minéralisation Ni-fère sulfurée sera évoquée au même titre.

a) Coulées massives. Les coulées de ce type sont caractérisées par l'homogénéité macrostructurale tout à fait remarquable à l'échelle d'affleurements. La solidification et, par extension, la cristallisation de chaque coulées s'étaient opérées progressivement et sans interruption ce qui leur permet d'attribuer la dénomination coulées "à un temps" par opposition à celles dont la cristallisation s'est opérée en deux étapes bien distinctes, donc à "deux temps". Elles sont les plus répandues à la base du sillon.

La puissance de ces coulées, d'apparence remarquablement massive, dépasse souvent une ou parfois plusieurs dizaines de mètres. Elle est supérieure à celle des autres types. Il est de même quant à leur continuité latérale mise en évidence en maints endroits au cours de la cartographie. La surface de refroidissement accompagnée de fissures de retrait, y est peu voyante à tel point que leur nature effusive ne devient évidente qu'au cours de l'examen plus approfondi des affleurements.

Sur le plan pétrochimique il reste à souligner qu'elles constituent les termes les plus riches en magnésie des séquences serpentinitiques. Par contrepartie, leur teneur en Ca, Al, Na est particulièrement basse, surtout dans les coulées massives de la séquence inférieure de la structure où leur composition correspond à celle d'une dunite serpentinisée.

Le contexte pétrologique de la seule minéralisation Ni-fère sulfurée exploitée de la structure de La Motte-Vassan à l'ancienne mine Marbridge est constitué précisément par ce type de serpentinite.

b) Coulées à deux zones. Ce type de coulées est caractérisé par la présence de deux zones horizontales, de bas en haut: celle à macrostructures massives et à spinifex. Particulièrement bien décrit en détail par Pyke et al. (1973); il se distingue des autres types par la cristallisation "à deux temps", où la zone inférieure massive s'est cristallisée, consolidée avant la partie supérieure à spinifex. La limite entre les deux zones à structures franchement différentes est nette, sans transition. Notons, en passant, que la séparation des deux zones s'était opérée à l'abri de la surface figée de chaque épanchement sous-marin. Aussi les phénomènes tels que différenciation

décantation, etc. se sont-ils produits dans un système naturel quasiment fermé, sans apport et sans départ notables. Par la nature du mécanisme de la séparation des deux zones, la composition de la zone massive se déplace, par rapport à celle de l'épanchement liquide et quasi-homogène, vers le pôle dunitique, tandis que la composition de la zone à spinifex se déplace symétriquement en sens inverse vers le pôle picritique sans que la composition totale de la coulée, en tant qu'entité, en soit affectée. Le degré d'enrichissement ou d'appauvrissement relatifs définit ainsi, à l'intérieur des limites du système pétrochimique, la différence pétrologique entre les deux zones.

Du fait de cette bipolarisation pétrochimique, la composition de la zone massive s'approche d'autant plus de celle du type massif que la zone à spinifex s'approche d'avantage de celle des types fondamentaux moins riches en magnésie, comme le type à mégacoussins ou le type "craquelée".

La composition chimique de ce type de coulée sera étudiée en détail plus loin, aussi nous dispensons-nous d'en donner un aperçu sommaire.

Quant à la géométrie des coulées à deux termes, il est à noter qu'elles se classent en continuité entre le type massif et le type à mégacoussins. De ce fait la longueur des coulées dépasse toujours une ou quelques dizaines de mètres et, en certaines séquences particulièrement propres au développement du spinifex, elle dépasse même une centaine de mètres. La puissance des coulées individuelles varie, en général, entre 0.5 et 6 mètres, ne dépassant pratiquement jamais une dizaine de mètres.

Jusqu'à maintenant, selon nos connaissances, aucune minéralisation exploitable associée à ce type ne fut encore signalée.

c) Coulées en mégacoussins. Ce type de coulées se présente sous forme d'énormes coussins d'un demi-mètre à quelques dizaines de mètres de longueur. Les coussins, dont la longueur varie entre 30cm et quelques mètres avec une moyenne autour de 1,5m, sont aplatis et allongés dans le sens de l'épanchement. Sur les beaux affleurements on se rend sans peine compte qu'il s'agit d'épanchements morcelés en énormes gouttes lors de leur mise en place qui, en se figeant, ont épousé la surface irrégulière formée des mégacoussins sousjacents. L'empilement ainsi réalisé permet, en certain cas, de définir sans équivoque le sens de l'écoulement.

Sur le plan pétrochimique les coulées en mégacoussins sont, en général, moins éloignées, selon les cas, du pôle dunitique que la zone à spinifex des coulées à deux zones. Leur proximité du pôle picritique est définie par leur teneur plus élevée en Ca, Al, Na.

d) Type de serpentinite "craquelée" Représenté le plus souvent par des coulées intercalées dans une mini-séquence de metabasalte picritique, metabasalte tholéiitique ou plus rarement par des termes de transitions vers le type à mégacoussins, les coulées de serpentinite "craquelée" ne font apparition qu'au niveau supérieur de la colonne stratigraphique. Caractérisée généralement par des fissures de retrait affectant la quasi-totalité de chaque coulée, leur composition est près de celle des metabasaltes picritiques particulièrement riches en Mg. Lorsque les fissures de retrait deviennent rares ou quasi-absentes, leur ressemblance avec le type massif pourrait jeter la confusion si leur position lithos-

stratigraphique et séquentielle mentionnée ci-dessus ne serait pas de nature à lever toute incertitude.

En résumé, il paraît que c'est la composition chimique de chaque coulée qui soit, en premier lieu, responsable de la présence ou l'absence des caractéristiques, telles que puissance, continuité latérale, nature de la surface de refroidissement, débit, macrostructure, mode de cristallisation, etc. dont l'ensemble définit les types principaux et les sous-types de coulées.

Par contre la répartition géographique actuelle de chaque type ainsi que les variations chimiques qui s'opèrent encore sans changement de type (seuil de tolérance et superposition partielle des champs chimiques respectifs) n'est que le reflet de l'évolution du sillon dans le temps et dans l'espace.

2. GEOCHIMIE

De tout ce qui précède on conçoit aisément que, sans intervention aucune d'hypothèses de travail génétiques, le comportement des éléments dans la géophase et dans le cadre géochimique définis peut être étudié à la fois par l'approche dynamique et l'approche statique. Expliquons-nous:

Nous avons constaté, d'une part, que le type de coulées serpentinitiques "à cristallisation à deux temps" (deuxième type défini) s'est vue, sur le plan pétrochimique, polarisée en deux zones distinctes dont le mode (macro-structure) et le moment de cristallisation respectifs ont été radicalement différents, ce qui permet de saisir la tendance d'enrichissement verticale d'une manière dynamique.

D'autre part, la connaissance de l'interdépendance des éléments et celle, surtout, de la relation entre groupes d'éléments bien définis apporte, à l'intérieur même d'une géophase définie de renseignements statiques sur l'évolution possible des tendances générales d'enrichissement latentes d'une suite pétrochimique compréhensive allant au-delà de la géophase considérée. Les tendances d'enrichissement peuvent devenir apparentes lorsque la géophase devient plus spécifique réunissant ainsi les conditions optima à l'enrichissement de ou des éléments métalliques. Ce phénomène évolutif définit ainsi l'appartenance des gisements syngénétiques à un et un seul pétrofaciès bien défini.

De plus, la polarisation* de la géophase, aboutissant à la formation de pétrofaciès plus spécifiques, se conçoit à n'importe quelle échelle lorsque le contexte géologique s'y prête. De ce fait les phénomènes de polarisation

*Le terme de différenciation désigne le mécanisme de l'évolution (Raquin 1970) à l'intérieur d'une entité géologique définie, mais non l'évolution elle-même. Par la polarisation géochimique nous entendons la tendance aboutissant à un des faciès caractéristique de la géophase.

pétrochimiques observés dans une coulée individuelle ou à l'intérieur d'un secteur géologiquement homogène, révèle, toute chose égale, sans que l'on se pose la question de la causalité particulièrement hypothétique au niveau des entités géologiques majeures, du même phénomène. C'est précisément ce passage entre enrichissement latents et apparents qui forme la liaison entre l'approche dynamique et statique, les deux devenant ainsi méthodologiquement complémentaires.

A part les facteurs d'ordre non pétrochimique nous touchons donc ici du doigt le problème de l'enrichissement des éléments métalliques susceptible de former des gisements à l'intérieur d'une géophase quelconque à condition que la polarisation aboutisse à la formation du pétrofaciès optimisé à l'enrichissement.

a) Approche dynamique

Conformément à ce que nous avons dit plus haut, nous allons d'abord étudier, en fonction de la macrostructure, les phénomènes d'enrichissement et d'appauvrissement dans les sections verticales de onze coulées serpentinitiques différentes. Les neuf premières paires d'échantillons viennent respectivement de la zone massive (B₂ de Pyke et al.) et de la zone à spinifex du type de coulées à deux zones. La dixième paire d'échantillons représente le centre et la "croute" épaisse d'un mégacoussin, tandis que la onzième triple d'échantillons correspond successivement aux sous-zones à cumulat, massive s.s. de la zone massive et la zone à spinifex du type de coulées à deux zones.

Afin de faciliter la comparaison des variations respectives enregistrées dans les diverses coulées, nous avons introduit la valeur E% qui est un coefficient

*Le terme de différenciation désigne le mécanisme de l'évolution (Raguin 1970) à l'intérieur d'une entité géologique définie, mais non l'évolution elle-même. Par la polarisation géochimique nous entendons la tendance aboutissant à un des faciès caractéristique de la géophase.

sans dimension* exprimant en % l'enrichissement ou l'appauvrissement vertical d'un élément quelconque en fonction du changement de macrostructure (tableau I). Afin de mieux visualiser les données du tableau I nous avons résumé graphiquement les valeurs de E% de chaque section de coulées étudiée. (fig.3)

Il ressort du tableau I et de la figure 3 que nous sommes en présence de trois groupes majeurs, à savoir:

- le groupe des éléments dont l'enrichissement se situe dans la zone massive;
- le groupe des éléments dont l'enrichissement se situe dans la zone à spinifex;
- le groupe des éléments dont la tendance d'enrichissement est moins définie.

La tendance d'enrichissement ou d'appauvrissement des éléments est loin d'être un phénomène aléatoire, mais caractérise d'une façon générale le comportement d'un élément ou d'un groupe d'éléments lorsqu'il y a polarisation pétrochimique. L'étude des valeurs de E% montre également (fig.3) que les variations relatives (E%) sont indépendantes de la valeur absolue de la teneur d'un élément considéré.

En résumant le comportement** général de trois groupes nous constatons que:

- le groupe de (MgO - Ni - H₂O +) s'enrichit dans la zone massive;
- le groupe de TiO₂ - V - Cr - Al₂O₃ - FeO - CaO et Na₂O tend vers l'enrichissement dans la zone à spinifex;

*E% se calcule dans une seule section verticale en comparant les valeurs des deux échantillons stratigraphiquement les plus rapprochés. La valeur de base (A) est celle de l'échantillon inférieur.

En cas d'appauvrissement $A > B$, $E\%(-) = \frac{(A-B)}{A} \cdot 100$

En cas d'enrichissement $A < B$, $E\%(+) = \frac{(B-A)}{A} \cdot 100$

**Le comportement de H₂O + , CaO, SiO₂, peut différer de la tendance générale lorsque la teneur particulièrement élevée en tremolite-actinote bouleverse l'image.

Le groupe dont la tendance d'enrichissement n'est pas régulière; nous mentionnons en particulier le Cu et le S. Leurs forts enrichissements s'opèrent ensemble dans la zone à spinifex; celui du Cu semble dépendant, en cas de fort enrichissement, de la tendance de Na. Le zinc suit, dans la majorité des cas, la même tendance.

La lecture des valeurs doit se faire en connaissance de cause; la valeur absolue des éléments ainsi que l'erreur analytique sont les deux facteurs essentiels à prendre en considération au cours des conclusions. Aussi, ce ne sont les variations minimales imputables à ces facteurs, mais la tendance générale du comportement des éléments auquel il faut s'attacher.

Ceci étant posé, nous sommes en droit d'interpréter les phénomènes observés comme suit:

a.a) Parmi les éléments majeurs ce n'est que le MgO (suivi de H_2O +, bien entendu à cause de la serpentinitisation), l'élément, par excellence, le plus caractéristique de la roche monominéralique à la fois la plus ultrabasique et ultramafique*, dont le champ d'enrichissement se situe sans exception dans la zone massive.

Par contre, les éléments majeurs devenant les constituants essentiels des roches situées hors du domaine ultrabasique, trouvent leur champ d'enrichissement dans la zone à spinifex.

Nous rappelons le fait qu'il n'y a aucune transition entre les deux zones.

*La restriction ultrabasique et à la fois ultramafique vient du fait que, par définition, il y a des roches ultrabasiques sans être ultramafiques et vice versa.

Les observations énoncées démontrent clairement la tendance de bipolarisation des éléments vers le pôle s.s. magnésien (ultrabasique et ultramafique) d'une part et vers le pôle basique s.l. d'autre part. Il est à souligner que dans la géophase serpentinitique, la gradation entre les deux pôles ne contient aucune lacune.

a.b.) L'enrichissement maximum des éléments métalliques susceptibles de former des gisements exploitables étant fonction de la géophase, il n'est pas surprenant de constater que ceux dont le maximum se situe dans le domaine neutre ou acide, dépassant même le pôle basique s.l., aient leur tendance d'enrichissement définie par les éléments majeurs constituant le pétrofaciès optimum à leur formation de gisements.

a.c.) Les rayons ioniques du Ni et du Mg étant quasiment identiques l'attachement très fort du Ni au Mg est donc explicable même de ce point de vue. Cependant, sur le plan géologique il est à retenir que les gisements de Ni sulfurés se situent, dans leur quasi-totalité, dans un contexte caractérisé par la prédominance du Mg. De plus, à l'intérieur de ce contexte ils occupent une position nettement basale (MacCall, 1971) et dans la section inférieure des séquences réputée de leur richesse relative et absolue en Mg comme nous l'avons démontré à la mine Marbridge (Imreh, 1974 a,c).

L'analogie entre ces constatations et le fait que le Ni des coulées à deux zones s'enrichit dans la zone inférieure massive (voir tableau I et fig.3) et, de plus, vers la base (voir le triade de prélèvements du tableau I), ne semble point fortuite.

Nous devons ajouter que les valeurs minima régionales en Na ont été enregistrées également dans les serpentinites de la mine Marbridge (Imreh 1974 b) ce qui correspond à la tendance d'enrichissement souvent spectaculaire de Na des coulées à deux zones dans leur zone à spinifex.

La zone massive des coulées à deux zones requièrent, par analogie, les mêmes conditions de formation ou, en d'autres termes, les mêmes facteurs de contrôle, que les coulées massives à zone unique auxquelles la minéralisation Ni-fère sulfurée est spatialement attachée.

a.d.) La tendance d'enrichissement verticale du chrome, systématiquement opposée à celle du Mg, est sujet à réflexion puisque tous les gisements chromifères se situent dans un contexte dunitique - serpentinitique. Nous y reviendrons au cours de l'interprétation des corrélations.

a.e.) La tendance d'enrichissement du Cu semble entièrement indépendante de celle du Ni. Ce phénomène, retrouvé ainsi à l'échelle des mini-séquences dans chaque coulée à deux zones, reflète, en réalité, la loi générale de la séparation de ces deux éléments à l'intérieur de la géophase ultrabasique magnésienne.

Cette loi, dont l'importance géologique est fondamentale, définit respectivement les champs optima des gisements Cu-Ni-, et Ni-fères sulfurés, le premier étant le domaine basique-ultrabasique s.l. et le second le domaine ultrabasique magnésien s.s.. Parmi les deux types il n'y a pas de transition comme le hiatus du rapport Ni/Cu entre env. 4 et 13 en témoigne (Imreh, R.G. sous édition)

Il n'est pas moins significatif que le comportement du soufre semble davantage associé à celui du cuivre qu'à celui du Ni; nous y reviendrons plus en détail en traitant les corrélations.

a.f.) Nous devons également souligner que les enrichissements relatifs respectifs des deux éléments dont le coefficient $E\%$ est de loin le plus élevé, notamment le Cu et le Ni, se présentent en de nombreux cas ensemble à l'intérieur de la même coulée. Ce phénomène semble le précurseur de l'association géologique Cu-Zn dont le domaine optimum (formation de gisements) est associé aux roches plus acides et plus riches en alcalis que les roches basiques. Cette interprétation est, par ailleurs, favorablement soutenue par la présence de l'association triple de Cu-Zn-S que nous allons voir au cours de l'examen des corrélations, et est en accord avec nos réflexions géochimiques générales évoquées plus haut.

De plus, sur le plan strictement évolutif du volcanisme initial de l'ensemble des sillons de l'Abitibi le fait observé et son interprétation exposée sont en concordance avec les données géologiques, puisqu'il serait artificiel de séparer dans le cadre abitibien les diverses manifestations volcaniques favorables respectivement à la probabilité de présence de divers types de gisements. (gisements Cu-Zn du district minier de Noranda).

Le même raisonnement s'applique, négativement, par analogie, au comportement inattendu du chrome vis-à-vis de la magnésite puisque le district minier abitibien est dépourvu de gisements chromifères.

a.g.) Les roches ultrabasiques (anorthosite) et ultramafique (wehrlite) pauvre en magnésie constituent respectivement le siège principal des gisements d'ilmenite et de titanomagnétite. Leurs éléments principaux respectifs, tels que Al_2O_3 , CaO , Na_2O , SiO_2^* d'une part et Ti , Fe , V d'autre part, trouvent leur champ d'enrichissement dans la zone à spinifex, considérablement plus pauvre en Mg que la zone massive.

En résumant ce sous-chapitre, il n'est pas douteux que les mégaphénomènes géologiques s'inscrivent en filigrane dans l'évolution à l'intérieur d'une coulée individuelle à deux zones et laisse à présumer dans le cadre d'une unité géologique même la tendance géologique du magma, hors de la géophase ultrabasique magnésienne.

*Sauf lorsque la présence excessive de la famille des tremolite-actinote estompe ou renverse localement la tendance générale.

b. APPROCHE STATIQUE.

b.a. Remarques générales.

Si dans le sous-chapitre précédent nous avons examiné la tendance d'enrichissement des éléments en fonction de la polarisation pétrochimique de leur milieu à l'intérieur de coulées individuelles, ici nous allons nous occuper de leur interdépendance sans égard à la polarisation qui s'opère au niveau d'une coulée particulière.

La méthode utilisée est celle des corrélations de base * paires par paires à l'intérieur de populations statistiques comprenant d'abord toutes les serpentinites et, ensuite, exclusivement celles du secteur de la mine Marbridge. Son extension sur les autres secteurs du sillon sera envisagée ailleurs.

b.b Composition chimique des serpentinites.

Avant d'examiner de près les corrélations, nous allons résumer au tableau II. la composition chimique respective des coulées en général et celles du secteur de la mine en particulier. En y marquant également l'erreur standard, tous et chacun est en mesure de définir le seuil de sécurité à sa discrétion.

Quoi qu'il en soit, il est à souligner que les Ti, V, Fe²⁺, Al, Ca, Na, K, Cu, ont des teneurs particulièrement faibles dans le secteur de la mine par rapport à l'ensemble de la population. Par contre, la teneur en Mg des serpentinites du secteur de la mine est considérablement plus

* Dans les tableaux de corrélations nous n'avons reproduit que les corrélations significativement différentes de zéro au seuil de P₉₅ et P₉₉.

élevée que celle de toutes les serpentinites du sillon. La valeur de Si dénote un changement plus faible. L'inertie du Co, en dépit de son caractère géochimique affilié au Ni, est surprenante et à ce titre mérite d'être soulignée.

La différence de composition entre les deux populations prises en considération ne manque pas de rappeler la nature de la bipolarisation observée dans les coulées à deux zones, à savoir: les serpentinites du secteur de la mine sont caractérisées précisément par la diminution quantitative de la teneur des éléments dont le champ d'enrichissement optimum se situe hors du domaine ultrabasique, tandis que la magnésie y trouve son enrichissement maximum.

b.c. Etude sommaire des corrélations.*

b.c.1. Toutes les serpentinites.

Comme il ressort du tableau III, nous sommes en présence de deux groupes géochimiques majeurs distincts à tendance d'enrichissement opposée.

Le premier comprend la paragenèse géochimique $Mg - Ni - H_2O^+$ Fe^{3+} (corrélation positive entre chaque éléments du groupe) auquel le soufre ne s'attache que par la corrélation positive Ni-S. Ce groupe représente la paragenèse géochimique et métallogénique fondamentale des entités ultrabasiques favorables à la présence de la minéralisation Ni-fère. La monotonie de la paragenèse géochimique reflète bien la composition monominéralique des dunites et la monotonie paragenetique des minéraux métallifères y associés.

* Dans les tableaux de corrélations nous n'avons reproduit que les corrélations significativement différentes de zéro au seuil de P_{95} et P_{99} .

Le deuxième groupe majeur comprend la paragenèse géochimique V - Fe²⁺ - Ti - Al - Ca - Si (corrélation positive entre chaque éléments du groupe) dont chaque éléments se corrèle négativement avec ceux du premier groupe (enrichissement opposés).

Ce groupe reflète fidèlement d'abord la paragenèse géochimique et métallogénique des gisements d'ilménite dans les anorthosites (milieu géotectonique généralement charnockitique) et, ensuite, celle des gisements d'ilménite-titanomagnétite d'importance plus réduite des petits complexes wehrilitiques (p.e. Szarvaskő, Hongrie) sans enrichissement aucun en magnésie. Ce dernier trait caractéristique est bien illustré par la corrélation négative Ti-Mg.

Le chrome se sépare entièrement de la magnésie (corrélation négative) en dépit du fait que les seuls gisements chromifères exploitables (chaîne alpine orientale, en particulier le Balkan et la Turquie) se situent exclusivement en des formations serpentinitiques. Par contre, son enrichissement (corrélation positive) coïncide avec celui du deuxième groupe. La corrélation Cr-Ni étant négative, l'enrichissement de l'un exclut celui de l'autre dans la même géophase. Cette constatation, d'ordre géochimique, est, par ailleurs, confirmé par le fait bien connu que les serpentinites, siège des principaux gisements chromifères de la chaîne alpine orientale (Balkan, Turquie, etc.), sont dépourvu de gisements Ni-fères sulfurés.

La séparation totale entre les Ni et Cu est parmi les traits caractéristiques de cette géophase dont nous avons déjà évoqué l'implication au sujet de la minéralisation du sillon de Baby (en voie d'édition).

Par contre, la corrélation positive entre le Cu et les Zn-Si-Fe²⁺ Ca, chacun corrélié négativement avec le Mg, reflète déjà l'association métallogénique Cu-Zn réalisée dans une géophase plus acide. (voir aussi réflexions géochimiques générales).

Le Na est positivement corrélié avec le Cr et le V, par contre, négativement avec le Ni, le Mg et le H₂O⁺. Ce fait, en dépit de la faible teneur absolue de Na mérite beaucoup d'attention en raison de sa grande mobilité, sa forte influence sur l'abaissement du point de fusion et de cristallisation dont l'importance géologique mérite à être souligné.

b.c.2. Secteur de la mine Marbridge:

Par rapport à l'ensemble de la structure on constate dans le secteur de la mine (tableau IV) que:

- le nombre des corrélations a considérablement diminué, en particulier parmi les corrélations entre éléments majeurs et mineurs et entre les éléments mineurs eux-mêmes;
- le soufre n'est plus corrélié positivement, parmi les éléments mineurs, qu'avec le Ni et, d'une manière plus forte; ceci paraît signifier que l'affinité entre ces deux éléments au détriment de l'affinité Zn-S, Cu-S, ait atteint le seuil nécessaire et indispensable à l'avènement de la minéralisation Ni-fère sulfurée; L'affaiblissement de la corrélation positive Ni-Mg corrobore cette opinion;
- les deux groupes de corrélations principaux, caractérisant la polarisation d'une part vers le champ d'enrichissement des gisements d'ilmenite et de titanomagnétite et, d'autre part, vers le pôle ultrabasique dunitique s.s. ont gardé leur caractère esquissé plus haut.

IV. CONCLUSIONS FINALES

Les principaux facteurs de contrôle de la minéralisation Ni-fère sulfurée furent reconnus dès 1972-73 et précisés davantage en 1973-74 (Imreh a,b,c). Dans cette étude nous avons eu l'occasion, dans leur cadre géologique naturel déjà défini auparavant, d'en préciser quelques-uns davantage surtout ceux de nature géochimique-gîtologique. Ils concernent en particulier les lois d'enrichissement et d'appauvrissement des éléments métallifères susceptibles de former des gisements dans la géophase ultrabasique-ultramafique et les traits caractéristiques d'ordre divers des serpentinites abitibiennes favorisant ou défavorisant la probabilité de présence de gisements Ni-fères sulfurés.

Parmi les phénomènes fondamentaux, il est à retenir, d'abord, la liaison étroite entre les types de coulées, leur répartition spatiotemporel, leur comportement géochimique, leur potentialité en minéralisation Ni-fère sulfurée allant, le cas échéant, jusqu'à la formation de gisements exploitables. Ensuite, c'est le phénomène de la bipolarisation géochimique qui mérite beaucoup d'attention dont la mise en évidence a permis de définir les principales lois géochimiques régissant l'enrichissement ou l'appauvrissement de divers éléments et dans une coulée particulière et dans l'ensemble de séquences lithologiques compréhensives.

A La minéralisation Ni-fère

Les principales observations et conclusions gîtologiques se résument comme suit:

-le trait géochimique le plus caractéristique des coulées serpentinitiques réside dans la présence de deux associations d'éléments fondamentales d'enrichissement opposé. L'une tend au pôle ultrabasique magnésien monominéra-

lique (dunitique), l'autre se dirige vers le pôle gabbroïdique-anorthositique avec toutes les conséquences que cette bipolarisation implique sur le plan géotologique.

-la différence géochimique entre les deux zones du type à deux zones réside précisément dans la séparation verticale quantitative (enrichissement ou appauvrissement) des deux associations définies.

-Il en résulte, en tenant compte de la composition chimique de chaque type principal que la composition de la zone massive tend vers celle du type massif, tandis que la composition de la zone à spinifex s'apparente à celle des autres types.

-Le type de coulée le plus favorable à la minéralisation Ni-fère est celui dont la teneur en éléments caractérisant la tendance d'enrichissement gabbroïdale-anorthositique est la plus faible et, symétriquement, sa teneur en éléments caractérisant la tendance dunitique est la plus forte; cette condition, à l'intérieur des séquences en tant qu'entité lithostratigraphiques se réalise dans le type massif;

-Les coulées à deux zones, surtout lorsque la zone à spinifex est particulièrement spectaculaire, ne remplissent pas les conditions suffisantes et nécessaires car d'une part, leur composition totale se situe plus loin du champ défini comme favorable que celle du type massif et, d'autre part, même leur zone massive ne contient qu'une fraction du Ni-total de la coulée primitive encore non consolidée puisque la zone à spinifex en a retenu une partie considérable. De ce fait, la possibilité d'une accumulation éventuelle de Ni sulfuré est déjà, à priori réduite;

-Les types à mégacoussins et les serpentinites "craquelées" sont, au même titre que la zone à spinifex, peu favorables à un enrichissement Ni-fère considérable.

Il est à ajouter que la teneur absolue en soufre, dès qu'elle ait atteint le seuil suffisant, semble jouer un rôle moindre que son indépendance envers le

Cu et le Zn et sa corrélation positive accrue avec le Ni dans le cas des formations serpentinitiques favorables.

Si, au niveau des coulées individuelles on constate que le Ni se concentre préférentiellement à la base, il n'est pas moins vrai qu'au niveau de la structure entière, c'est la séquence inférieure qui est la plus favorable à la minéralisation lorsque les autres facteurs de contrôle, tels que contrôle structural lithostratigraphique, etc. sont également favorablement réunis (Imreh a,b,c) Sur le plan pratique il est à ajouter que l'enrichissement des deux associations d'élément étant inversement proportionnel, les anomalies négatives de V, Ti, Ca, Al, Na, et en partie celles de Fe^{2+} et moindrement de Si paraissent constituer les meilleurs indications de la favorabilité lorsque les autres conditions suffisantes et nécessaires sont déjà réunies.

B. Réflexions géologiques générales

Nous avons également constaté que les champs géochimiques des gisements de Ni sulfuré, de Cr et de V-Ti-Fe sont, "demarkés" entre eux, ce qui se traduit par leur séparation et exclusion mutuelle spatio-temporelles. Ceci se traduit également par la différence du cadre géotectonique des principaux types de gisements, à savoir:

- les gisements Ni-fères (sulfurés) semblent se situer préférentiellement dans un cadre mono- ou bitectonique;
- les principaux gisements chromifères "indépendants" (liés aux serpentinites) se situent dans un cadre typiquement polytectonique (Schneiderhöhn, 1955) mobile;
- les principaux gisements d'ilmenite et, ou de titanomagnétite se situent, par contre, de préférence dans les terrains charnockitiques. (Routhier, 1963)

Le rapport entre le cadre géotectonique et le type de gisements est loin d'être aléatoire; son étude dépasse, cependant, l'objectif de ce rapport.

Pour terminer, nous attirons l'attention d'abord sur des traits fondamentaux de l'ensemble des phénomènes passés en revue, à savoir, leur interdépendance, avec toutes les conséquences et les contraintes méthodologiques qui en résultent.

Ensuite, nous tenons à mentionner l'importance fondamentale que nous accordons à la révision cartographique. Effectivement, le seul cadre solide de n'importe quel travail ultérieur dans un domaine plus spécialisé (pétrographie, géochimie, etc.) de la géologie est fourni par la carte géologique d'interprétation cohérente englobant une unité géologique compréhensive.

Finalement, nous ne pouvons pas passer sous silence notre inquiétude de voir la prolifération d'études de détail microscopiques, pétrochimiques, etc. sans que le contexte géologique régional et global soit minutieusement révisé. "Il est frappant de constater les lacunes et le vague de nos connaissances à cet égard, sauf en ce qui concerne des massifs plutoniques particulièrement bien étudiés, mais trop rares. En général, on a l'impression de disposer seulement de résultats d'une exploration sommaire, d'une reconnaissance préliminaire" (RAGUIN 1970) Cette remarque, venant de la plume d'un des plus éminents représentants de la science de la terre est plus que significative. C'est un avertissement.

REFERENCES

- IMREH, L. (1974 a) Le sillon serpentinitique de La Motte (Abitibi-Est) (M.R.N., D.P. 215)
- (1974 b) L'esquisse géologique du sillon serpentinitique archéen de La Motte-Vassan (M.R.N., D.P. 232)
- (1974 c) L'utilisation des coulées ultrabasiques dans la recherche minière: esquisse structurale et lithostratigraphique de La Motte (Abitibi-Est, Québec, Canada (Bull. Volcanologique. Vol. 38, fasc. 2., pp. 1-24)
- (en voie d'édition) Le sillon métavolcanique de Baby, comté de Témiscamingue (M.R.N., Rapp. Géol.)
- McCALL, G.J.H. (1972) The nickel-Sulphide-Bearing Ultramafic Rocks and their environment in the Archean of Western Australia (24th Intern. Geol. Congr., Section 1., pp. 354-361)
- PYKE, D.R., NALDRETT, A.J., ECKSTRAND, O.R. (1973) Archean Ultramafic Flows in Munro Township, Ontario (Geol. Soc. Am. Bull., V. 84, pp. 955-978)
- RAGUIN, E. (1970) Pétrographie des roches plutoniques dans leur cadre géologique (239 pages, Ed. Masson, Paris)
- ROUTHIER, P. (1963) Les gisements métallifères (T.I-II. 1282 pages, Ed. Masson, Paris)
- SCHNEIDERHÖHN, H. (1955) Erzlagerstätten (3 Aufl., 373 pages, Fischer Verlag, Jena)

ANNEXES

- Figure 1 Carte de situation
- " 2 Carte des gisements Cu-Ni-fères et Ni-fères du Québec.
(B-1221)
- " 3 Valeurs de E% (enrichissement) des coulées serpentinitiques choisies (B-1228)
- Tableau I Analyses chimiques et valeurs de E% des coulées serpentinitiques choisies (5 feuilles)
- Tableau II Valeurs majeures, erreur standard et coefficient de dispersion de toutes les serpentinites et de celles du secteur de la mine Marbridge.
- Tableau III Coefficient de corrélation entre les éléments analysés des serpentinites (B-1220)
- Tableau IV Coefficient de corrélation entre les éléments analysés des serpentinites du secteur de la mine Marbridge.
(B-1220)

TABLEAU I: (5 feuilles)

| | 1 | | E (%) | 2 | | E (%) | 3 | | E (%) |
|--------------------------------|---------|----------|---------|---------|----------|----------|---------|----------|----------|
| | massive | spinifex | | massive | spinifex | | massive | spinifex | |
| SiO ₂ | 42.17 | 42.92 | 2 (+) | 40.40 | 41.53 | 3 (+) | 39.27 | 42.93 | 10 (+) |
| TiO ₂ | 0.28 | 0.37 | 32 (+) | 0.16 | 0.29 | 8 (+) | 0.10 | 0.22 | 120 (+) |
| Al ₂ O ₃ | 5.83 | 7.63 | 31 (+) | 4.11 | 5.23 | 27 (+) | 2.95 | 4.17 | 41 (+) |
| Fe ₂ O ₃ | 4.45 | 3.26 | 27 (-) | 4.75 | 4.84 | 2 (+) | 4.16 | 1.06 | 75 (-) |
| FeO | 5.25 | 6.25 | 20 (+) | 3.32 | 4.06 | 22 (+) | 4.86 | 6.85 | 41 (+) |
| MgO | 29.05 | 24.59 | 15 (-) | 33.58 | 28.53 | 15 (-) | 34.03 | 24.96 | 27 (-) |
| CaO | 5.67 | 7.46 | 32 (+) | 3.14 | 5.37 | 71 (+) | 1.80 | 9.82 | 446 (+) |
| Na ₂ O | 0.22 | 0.55 | 150 (+) | 0.03 | 0.05 | 67 (+) | 0.01 | 0.05 | 400 (+) |
| K ₂ O | 0.04 | 0.05 | 25 (+) | 0.01 | 0.02 | 100 (+) | 0.01 | 0.01 | 0 |
| H ₂ O | 5.41 | 5.55 | 3 (+) | 10.00 | 8.18 | 18 (-) | 9.79 | 4.92 | 99 (-) |
| H ₂ O ⁻ | 0.35 | 0.11 | — | n.a. | n.a. | — | 0.37 | 0.20 | — |
| CO ₂ | 0.63 | 0.31 | 51 (+) | 0.14 | 0.46 | 229 (+) | 1.78 | 4.40 | 147 (+) |
| S | 0.06 | 0.04 | 33 (-) | 0.03 | 0.08 | 167 (+) | 0.01 | 0.30 | 2900 (+) |
| MnO | 0.17 | 0.13 | 24 (-) | 0.11 | 0.09 | 18 (-) | 0.10 | 0.15 | 50 (+) |
| Total | 99.58 | 99.22 | | 99.78 | 98.73 | | 99.24 | 99.93 | |
| Cu | 34 | 43 | 26 (+) | 6 | 90 | 1400 (+) | 4 | 124 | 3000 (+) |
| Ni | 1520 | 1040 | 31 (-) | 1980 | 1560 | 21 (-) | 1980 | 1160 | 41 (-) |
| Zn | 62 | 57 | 8 (-) | 136 | 262 | 93 (+) | 54 | 66 | 22 (+) |
| V | 100 | 130 | 30 (+) | 78 | 115 | 47 (+) | 70 | 120 | 71 (+) |
| Cr | 1768 | 2084 | 18 (+) | 800 | 1072 | 34 (+) | 1138 | 1736 | 53 (+) |
| Co | 88 | 80 | 9 (-) | 79 | 94 | 19 (-) | 85 | 84 | 1 (-) |

TABLEAU I (suite)

| | 4 | | | 5 | | | 6 | | |
|--------------------------------|---------|----------|---------|---------|----------|---------|---------|----------|---------|
| | massive | spinifex | E (%) | massive | spinifex | E (%) | massive | spinifex | E (%) |
| SiO ₂ | 40.28 | 39.25 | 3 (-) | 38.88 | 40.38 | 4 (+) | 38.83 | 45.04 | 16 (+) |
| TiO ₂ | 0.29 | 0.50 | 72 (+) | 0.25 | 0.41 | 52 (+) | 0.17 | 0.30 | 76 (+) |
| Al ₂ O ₃ | 4.31 | 8.59 | 99 (+) | 4.28 | 6.87 | 61 (+) | 3.94 | 6.11 | 55 (+) |
| Fe ₂ O ₃ | 2.13 | 3.43 | 61 (+) | 3.41 | 4.22 | 24 (+) | 3.78 | 4.08 | 8 (+) |
| FeO | 6.86 | 7.28 | 6 (+) | 6.88 | 7.11 | 3 (+) | 4.50 | 6.18 | 37 (+) |
| M ₃ O | 29.42 | 26.29 | 11 (-) | 29.74 | 25.73 | 13 (-) | 36.59 | 25.33 | 30 (-) |
| CaO | 4.04 | 5.35 | 32 (+) | 4.70 | 8.38 | 78 (+) | 1.16 | 7.12 | 514 (+) |
| Na ₂ O | 0.07 | 0.27 | 286 (+) | 0.08 | 0.79 | 888 (+) | 0.11 | 0.18 | 64 (+) |
| K ₂ O | 0.01 | n.d. | | 0.03 | 0.03 | 0 | 0.03 | 0.03 | 0 |
| H ₂ O | 8.24 | 7.52 | 9 (-) | 8.92 | 6.00 | 33 (-) | 9.42 | 5.57 | 41 (-) |
| H ₂ O- | n.a. | n.a. | — | n.a. | n.a. | — | 0.16 | 0.28 | — |
| CO ₂ | 4.67 | 0.48 | 90 (-) | 2.17 | 0.49 | 77 (-) | 0.33 | 0.01 | 97 (-) |
| S | 0.01 | 0.05 | 400 (+) | 0.07 | 0.01 | 86 (-) | 0.05 | 0.02 | 60 (-) |
| MnO | 0.17 | 0.16 | 6 (-) | 0.22 | 0.14 | 36 (-) | 0.13 | 0.12 | 8 (-) |
| Total | 100.50 | 99.17 | | 99.63 | 100.55 | | 99.20 | 100.37 | |
| Cu | 28 | 28 | 0 | 37 | 22 | 41 (-) | 32 | 90 | 181 (+) |
| Ni | 1520 | 920 | 39 (-) | 1575 | 1113 | 29 (-) | 1980 | 990 | 50 (-) |
| Zn | 54 | 70 | 30 (+) | 78 | 58 | 26 (-) | 54 | 52 | 4 (-) |
| V | 95 | 170 | 79 (+) | 96 | 174 | 81 (+) | 88 | 150 | 70 (+) |
| Cr | 1355 | 2400 | 77 (+) | 1700 | 2215 | 30 (+) | 1330 | 2000 | 50 (+) |
| Co | 85 | 85 | 0 | 98 | 95 | 3 (-) | 92 | 86 | 7 (-) |

TABLEAU I (suite)

| | 7 | | E (%) | 8 | | E (%) | 9 | | E (%) |
|--------------------------------|---------|----------|---------|---------|----------|--------|---------------------|----------|---------|
| | massive | spinifex | | massive | spinifex | | massive | spinifex | |
| SiO ₂ | 42.70 | 40.22 | 6 (-) | 42.80 | 41.09 | 4 (-) | 40.01 | 39.87 | <1 (-) |
| TiO ₂ | 0.28 | 0.38 | 36 (+) | 0.27 | 0.37 | 37 (+) | 0.13 | 0.27 | 108 (+) |
| Al ₂ O ₃ | 4.72 | 6.46 | 37 (+) | 5.47 | 6.48 | 18 (+) | 3.95 | 5.92 | 50 (+) |
| Fe ₂ O ₃ | 4.00 | 6.08 | 52 (+) | 5.05 | 5.93 | 17 (+) | 2.71 | 3.44 | 27 (+) |
| FeO | 5.15 | 5.33 | 3 (+) | 5.40 | 6.25 | 16 (+) | 4.73 | 6.34 | 34 (+) |
| MgO | 28.31 | 28.15 | 1 (-) | 27.27 | 26.88 | 1 (-) | 32.82 | 28.59 | 13 (-) |
| CaO | 5.91 | 4.63 | 22 (-) | 7.66 | 6.41 | 16 (-) | 3.32 | 5.49 | 65 (+) |
| Na ₂ O | 0.03 | 0.02 | 33 (-) | 0.09 | 0.11 | 22 (+) | 0.04 | 0.20 | 400 (+) |
| K ₂ O | 0.01 | 0.01 | 0 | 0.03 | 0.04 | 33 (+) | 0.02 | 0.02 | 0 |
| H ₂ O | 7.42 | 8.40 | 13 (+) | 4.98 | 5.70 | 14 (+) | 9.52 | 6.33 | 34 (-) |
| H ₂ O ⁻ | n.a. | n.a. | — | 0.18 | 0.23 | — | 0.20 | 0.15 | — |
| CO ₂ | 0.51 | 0.09 | 82 (-) | 0.27 | 0.14 | 48 (-) | 2.64 | 2.80 | 6 (+) |
| S | 0.40 | 0.19 | 53 (-) | 0.03 | 0.01 | 67 (-) | 0.01 ⁶ | 0.04 | 300 (+) |
| MnO | 0.18 | 0.12 | 33 (-) | 0.14 | 0.13 | 7 (-) | 0.11 | 0.15 | 36 (+) |
| Total | 99.62 | 100.08 | | 99.64 | 99.77 | | 100.21 ⁹ | 99.61 | |
| Cu | 76 | 36 | 53 (-) | 44 | 8 | 81 (-) | 6 | 38 | 533 (+) |
| Ni | 1680 | 1260 | 25 (-) | 1000 | 900 | 10 (-) | 1760 | 1360 | 23 (-) |
| Zn | 138 | 118 | 14 (-) | 56 | 64 | 14 (+) | 52 | 58 | 12 (+) |
| V | 93 | 218 | 134 (+) | 145 | 190 | 31 (+) | 73 | 115 | 58 (+) |
| Cr | 1128 | 1792 | 59 (+) | 1504 | 2352 | 56 (+) | 1148 | 1552 | 35 (+) |
| Co | 98 | 84 | 14 (-) | 82 | 85 | 4 (+) | 86 | 86 | 0 |

TABLEAU I: (suite)

| | 11 | | | E _{a,b} † | E _{b,c} ‡ | 10 | | | 12 | | |
|--------------------------------|----------------|----------------|-----------------|--------------------|--------------------|--------|------------------|---------|-------|-------|----------|
| | cumulat (a) | massive (b) | spinifex (c) | | | centre | bordure figée | E † | verte | grise | E † |
| SiO ₂ | 39.49 | 48.40 | 47.55 | 23 (+) | 2 (-) | 43.18 | 43.99 | 2 (+) | 39.68 | 39.47 | <1 (-) |
| TiO ₂ | 0.17 | 0.17 | 0.31 | 0 | 82 (+) | 0.31 | 0.30 | 3 (-) | 0.04 | 0.07 | 75 (+) |
| Al ₂ O ₃ | 3.49 | 3.24 | 6.52 | 7 (-) | 101 (+) | 6.17 | 5.89 | 5 (-) | 1.44 | 1.60 | 11 (+) |
| Fe ₂ O ₃ | 8.34 | 3.15 | 3.53 | 62 (-) | 12 (+) | 4.61 | 5.45 | 18 (+) | 5.92 | 6.47 | 9 (+) |
| FeO | 3.98 | 4.75 | 7.29 | 19 (+) | 53 (+) | 5.44 | 5.44 | 0 | 0.64 | 2.05 | 220 (+) |
| MgO | 33.35 | 28.22 | 21.29 | 15 (-) | 25 (-) | 26.02 | 24.21 | 7 (-) | 39.24 | 37.37 | 5 (-) |
| CaO | 2.74 | 6.97 | 8.53 | 154 (+) | 22 (+) | 5.05 | 6.26 | 24 (+) | 0.03 | 0.57 | 1800 (+) |
| Na ₂ O | 0.01 | 0.05 | 0.65 | 400 (+) | 1200 (+) | 0.25 | 0.26 | 4 (+) | 0.02 | 0.02 | 0 |
| K ₂ O | n.d. | 0.01 | 0.01 | — | 0 | 0.04 | 0.04 | 0 | 0.01 | 0.01 | 0 |
| H ₂ O | 7.95 | 4.20 | 3.82 | 47 (-) | 9 (-) | 7.76 | 6.56 | 15 (-) | 11.80 | 10.92 | 7 (-) |
| H ₂ O ⁻ | 0.15 | 0.09 | 0.10 | — | — | n.a. | n.a. | — | 0.29 | 0.16 | — |
| CO ₂ | 0.20 | 0.33 | 0.01 | 65 (+) | 97 (-) | 0.04 | 0.03 | 25 (-) | 0.13 | 0.61 | 369 (+) |
| S | 0.10 | 0.06 | 0.01 | 40 (-) | 83 (-) | 0.02 | 0.02 | 0 | 0.04 | 0.22 | 450 (+) |
| MnO | 0.17 | 0.17 | 0.18 | 0 | 6 (+) | 0.16 | 0.15 | 6 (-) | 0.07 | 0.12 | 71 (+) |
| Total | 100.14 | 99.81 | 99.80 | | | 99.05 | 98.60 | | 99.35 | 99.66 | |
| Cu | 300 | 60 | 84 | 80 (-) | 40 (+) | 48 | 130 | 171 (+) | 6 | 18 | 200 (+) |
| Ni | 2060 | 1530 | 774 | 23 (-) | 51 (-) | 1500 | 1150 | 23 (-) | 2620 | 2440 | 7 (-) |
| Zn | 384 | 64 | 86 | 83 (-) | 34 (+) | 64 | 56 | 13 (-) | 26 | 36 | 38 (+) |
| V | 60 | 68 | 170 | 13 (+) | 150 (+) | 130 | 130 | 0 | 35 | 25 | 29 (-) |
| Cr | 1472 | 1184 | 1944 | 20 (-) | 64 (+) | 1600 | 1300 | 19 (-) | 848 | 712 | 16 (-) |
| Co | 98 | 75 | 85 | 23 (-) | 13 (+) | 91 | 85 | 7 (-) | 106 | 112 | 6 (-) |

TABLEAU I (suite)

32-

| | | |
|----|---|--------------|
| 1 | serp. massive: 72-2123 serp. à spx : 72-2124 | secteur C-07 |
| 2 | serp. massive: 72-2006 serp. à spx : 72-2007 | secteur B-01 |
| 3 | serp. massive: 72-2269 serp. à spx : 72-2270 | secteur C-05 |
| 4 | serp. massive: 72-3108 serp. à spx : 72-3109 | secteur C-05 |
| 5 | serp. massive: 72-3063 serp. à spx : 72-3062 | secteur C-09 |
| 6 | serp. massive: 73-2958 serp. à spx : 73-2957 | secteur C-11 |
| 7 | serp. massive (riche en 72-2003 trémolite \$ à spx 72-2002 | secteur B-01 |
| 8 | serp. massive (riche 72-2907 en trémolite) serp. à spx 72-2906 | secteur A-01 |
| 9 | serp. massive (riche 72-2910 en tremolite) serp. à spx 72-2909 | secteur A-01 |
| 11 | serp. cumulat 72-2289 serp. massive 72-2288 serp. à spx 72-2290 | secteur B-02 |
| 10 | serp. en mégaconssinets (centre) 73-4152 serp. en mégaconssinets (bordure figée) 73-4151 | secteur C-11 |
| 12 | serp. massive verte 72-2265 serp. massive grise 72-2266 | secteur C-05 |

N.B. Éléments majeurs en %, oligoéléments en ppm.

TABLEAU II

33

| | ANALYSE | SERPENTINE |
|--------------------------------|---------------|--------------|
| | % | % |
| SiO ₂ | 41.31 ± 0.176 | 38.56 ± 0.22 |
| n | (255) | (29) |
| c.d. | 6.82 | 2.74 |
| TiO ₂ | 0.27 ± 0.008 | 0.09 ± 0.01 |
| n | (255) | (29) |
| c.d. | 48.11 | 35.18 |
| Al ₂ O ₃ | 4.52 ± 0.10 | 2.25 ± 0.17 |
| n | (255) | (29) |
| c.d. | 35.76 | 40.17 |
| Fe ₂ O ₃ | 4.30 ± 0.097 | 5.76 ± 0.29 |
| n | (255) | (29) |
| c.d. | 36.20 | 27.53 |
| FeO | 4.99 ± 0.116 | 2.38 ± 0.27 |
| n | (255) | (29) |
| c.d. | 37.19 | 60.48 |
| MgO | 29.64 ± 0.297 | 36.97 ± 0.49 |
| n | (255) | (29) |
| c.d. | 16.03 | 7.14 |
| CaO | 4.71 ± 0.146 | 1.22 ± 0.22 |
| n | (255) | (29) |
| c.d. | 49.48 | 97.34 |
| Na ₂ O | 0.17 ± 0.017 | 0.02 ± 0.004 |
| n | (244) | (23) |
| c.d. | 153.39 | 73.69 |
| K ₂ O | 0.03 ± 0.003 | 0.01 ± 0.001 |
| n | (247) | (29) |
| c.d. | 174.34 | 35.18 |
| P ₂ O ₅ | 0.04 ± 0.003 | 0.03 ± 0.003 |
| n | (126) | (16) |
| c.d. | 79.97 | 42.14 |
| H ₂ O [†] | 8.03 ± 0.148 | 10.51 ± 0.20 |
| n | (255) | (29) |
| c.d. | 29.43 | 10.18 |
| MnO | 0.14 ± 0.003 | 0.10 ± 0.01 |
| n | (255) | (29) |
| c.d. | 30.14 | 34.37 |
| S | 0.11 ± 0.011 | 0.19 ± 0.04 |
| n | (257) | (29) |
| c.d. | 155.47 | 113.50 |
| CO ₂ | 1.14 ± 0.108 | 1.70 ± 0.35 |
| n | (252) | (29) |
| c.d. | 150.04 | 111.29 |
| | ppm | ppm |
| Cu | 35 ± 2 | 14 ± 2 |
| n | (250) | (29) |
| c.d. | 100.29 | 86 |
| Ni | 1643 ± 36 | 2472 ± 179 |
| n | (255) | (29) |
| c.d. | 34.92 | 39 |
| Zn | 81 ± 4 | 44 ± 3 |
| n | (255) | (29) |
| c.d. | 82.54 | 37 |
| V | 100 ± 2 | 45 ± 4 |
| n | (255) | (29) |
| c.d. | 37.91 | 53 |
| Cr | 1436 ± 32 | 1189 ± 99 |
| n | (255) | (29) |
| c.d. | 35.29 | 45 |
| Co | 95 ± 8 | 88 ± 4 |
| n | (255) | (29) |
| c.d. | 129.11 | 26 |

n: nombre d'analyse

c.d.: coefficient de dispersion

Valeurs des éléments en %
Valeurs des oligoéléments en ppm.