MB 88-17

LE GISEMENT AURIFERE DE SIGMA-2 - REGION DE VAL-D'OR -

Documents complémentaires

Additional Files





Licence



License

Cette première page a été ajoutée
au document et ne fait pas partie du
rapport tel que soumis par les auteurs.

Énergie et Ressources naturelles
Québec

Gouvernement du Québec
Ministère de l'Énergie et des Ressources
Service géologique du Nord – Ouest

SÉRIE DES MANUSCRITS BRUTS

Le gisement aurifère de Sigma – 2 – Région de Val-d'Or –

R. Hébert, R. Gaudreau, B. Perrier
C. Giguère, M. Rocheleau, P. Lacoste

Université Laval – Département de Géologie

Ce document est une reproduction fidèle du manuscrit tel que soumis par l'auteur sauf pour une mise en page sommaire destinée à assurer une qualité convenable de reproduction.

Le présent projet est financé par le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources du Canada et le ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec dans le cadre de l'entente auxiliaire Canada – Québec sur le développement minéral.

1988

MB 88 – 17

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	2
Localisation	2
Historique	2
Travaux géologiques antérieurs	3
CADRE GÉOLOGIQUE	3
Lithostratigraphie des roches encaissantes	3
Pétrographie du filon-couche de Vicour	4
Structure	5
Métamorphisme	7
Géochimie	8
GÉOLOGIE ÉCONOMIQUE	11
Introduction	11
Structures des veines stériles et minéralisées	11
Minéralogie de la minéralisation	12
Métallographie	14
a) Lentilles subhorizontales	14
b) Cisaillement E.W et NE	15
c) Altération superficielle	15
d) Séquence de cristallisation	15
GÉOCHIMIE AURIFÈRE	17
Modèle métallogénique	17
1) Contrôle faciologique	17
2) Contrôle structural	17
3) Contrôle minéralogique	18
4) Contrôle géochimique	18
CONCLUSION	18
RÉFÉRENCES	20
REMERCIEMENTS	22
LÉGENDES DES FIGURES	23
FIGURES	25
LÉGENDES DES PLANCHES	36
TABLEAUX	40

INTRODUCTION

Localisation

Le gisement de Sigma-2 est situé à 27 km (par la route) à l'est de Val d'Or dans la partie centre-ouest du rang V du canton de Louvicourt, comté d'Abitibi-Est (figure A). Il est situé dans le filon-couche de Vicour de direction E-W qui traverse toute la partie centrale du canton de Louvicourt dans les rangs V et V1. Il s'étend sur plus de 7 km avec une puissance apparente variant de 200 à 700 m d'épaisseur au contact entre les Formations de Val d'Or et de Héva.

Historique

Le gîte a été découvert en 1933 par la Vicour Gold Mines. Il portait alors le nom de "Quebec Gold Belt". Cette compagnie a fait des travaux d'exploration jusqu'en 1946. Au total, 40 trous de forage, un puits de 145 m et 2 389 m de galeries d'exploration sur trois niveaux ont été effectués. Ces travaux ont permis de tracer une zone aurifère s'étendant sur 600 m de longueur pour un tonnage estimé à 500 000 tonnes avec une teneur moyenne de 4,3 g/t Au, (probablement sur-évaluée; Audet, 1984).

La propriété fut achetée en 1980 par la compagnie minière Sigma Ltd. Les travaux d'exploration ont débuté en septembre 1980 pour se poursuivre jusqu'à la fin de 1984. Les 121 trous de forage totalisant 10600 m ont mis à jour une zone minéralisée aurifère tabulaire de direction E-W. Son tonnage estimé est de 444 000 tonnes de minerais titrant à 2,89 g/t Au. Plus de 102 000 tonnes avec une teneur de 3,54 g/t Au est exploitable à ciel ouvert. La production a débuté à l'été 1984 et ne se poursuit que de façon périodique à la saison estivale. La compagnie envisage

la possibilité d'exploiter le gisement durant 4 années. Des réserves de 500,000 t de minerai à 3.1 g/t Au sont estimées en date de décembre 1985.

Travaux géologiques antérieurs

La région du gisement de Sigma-2 a été cartographiée d'abord par Bell et Bell (1932) et Sharpe (1968). Ce dernier reconnaît la nature du filon-couche auquel il attribue une composition gabbro-dioritique. De plus Sharpe (1968) souligne l'association étroite des veines de quartz aurifère à la diorite quartzitique. Récemment Lacoste et Laurin (1982) et Gaudreau et al. (1987) ont défini le contexte stratigraphique de l'intrusion de Vicour. La région est caractérisée par un assemblage de roches volcaniques et volcanoclastiques des formations de Val d'Or et de Héva appartenant au flanc sud du sillon de La Motte-Vassan dont la nomenclature a été proposée par Imreh (1984). Le filon-couche de Vicour s'est injecté au contact des deux formations (figure B).

CADRE GEOLOGIQUE

Lithostratigraphie des roches encaissantes

La Formation de Val d'Or (au nord de l'intrusion de Vicour) est constituée de bandes de pyroclastites de composition andésitique et d'affinité calco-alcaline intercalées dans des roches volcaniques de composition basaltique à andésitique d'affinité tholéiitique à calco-alcaline (figure E). Les faciès pyroclastiques dominants de la formation de Val d'Or sont des tufs à lapilli polymictes et des tufs à cristaux de plagioclase. Les laves, composées d'une alternance cyclique d'unités massives ou parfois vésiculaires, comprennent des coulées coussinées et des brèches de coulées.

La Formation de Héva (au sud de l'intrusion de Vicour) est caractérisée par un volcanisme effusif varié, de composition intermédiaire à felsique (andésitique et dacitique) passant à des faciès massifs et coussinés de composition basaltique (basalte andésitique) d'affinité tholéiitique ferrifère (Figure E). On note aussi la présence d'un horizon repère de lave variolitique qui peut être être suivi sur plus de 50 km.

Pétrographie du filon-couche de Vicour

Une étude pétrographique de 15 échantillons prélevés sur une coupe N-S longue d'environ 200 m à la hauteur de la mine Sigma 2, nous a permis de mettre en évidence la présence de quatre faciès lithologiques, soit de la base au sommet (du nord vers le sud): le gabbro, le gabbro à hornblende, la diorite quartzifère et le granophyre tonalitique (Perrier 1986; Hébert et al. 1986; figure C). Cette séquence indique une polarité vers le sud, en conformité avec les polarités mesurées dans les laves et les pyroclastites en-dessous (formation de Val d'Or) et au-dessus du filon-couche (formation de Héva).

Le faciès gabbroïque présente, sur une épaisseur apparente de 45 m, une texture primaire orthocumulat bien conservée (Planche 1, photo 1). La phase cumulus représente 45% de la roche et est composée de plagioclase (An 42-33) saussuritisé tandis que la phase intercumulus est constituée de clinopyroxène entièrement pseudomorphisé en chlorite. Les phases accessoires sont la magnétite-titanifère et l'ilménite en intercroissance ainsi que des quantités mineures de sphène et de leucoxène. Ces minéraux sont inclus dans la phase intercumulus.

Le faciès de gabbro à hornblende d'environ 100 m d'épaisseur est caractérisé par le plagioclase (An 28-25) comme phase cumulus et rappelle le faciès gabbroïque commun. Par contre la phase intercumulus est constituée de clinopyroxène chloritisé dont la

proportion diminue rapidement en montant dans la stratigraphie au profit de l'amphibole de type hornblende verte. La hornblende verte présente une texture de coronite issue d'un remplacement périphérique partiel par de l'actinote bleu vert (Planche 1, photo 2). Les phases accessoires sont la biotite, le sphène, la magnétite titanifère et l'ilménite. Cette dernière phase semble se concentrer au sommet du gabbro à hornblende.

Le faciès de diorite quartzitique, à épaisseur apparente de 35 m, est le témoin de la sursaturation en silice du filon-couche de Vicour. Il est composé à 60% de plagioclase (An 28) séricitisé et épidotisé, de 20 à 25% de quartz allotriomorphe et d'une quantité mineure d'actinote, de magnétite, d'apatite, de chlorite, de muscovite et de zircon. Dans ce faciès la texture est de type hypidiormorhique mais l'on discerne un début de texture granophyrique se manifestant par l'intercroissance de quartz et de plagioclase (Planche 1, photo 3).

Le faciès granophyrique sommital de composition tonalitique possède une épaisseur approximative de 45 m. Ce faciès riche en quartz (25-30%) est caractérisé par une intercroissance de grandes plages de quartz et de plagioclase présentant une texture granophyrique typique ou sphérolitique et bien préservée (Planche 1, photo 4). Cette unité est recoupée d'un grand nombre de veines de quartz concordantes avec la lithologie ou discordantes en la recoupant dans une direction NE prédominante. L'origine de ce faciès granophyrique réside probablement d'une cristallisation rapide d'un liquide à activité de la silice élevée entraînant un faible taux de diffusion ionique (Walker, 1975; Byerly, 1980).

Structure

La région immédiate du gisement semble homoclinale. Cette structure des Formations de Val d'Or et de Héva est localisée

dans l'extension orientale du flanc sud de l'anticlinal de La Motte-Vassan.

La stratification S_0 relativement bien préservée présente une direction de 080° avec un pendage d'environ 80° vers le sud. Les directions de la schistosité régionale S_2 (la schistosité régionale S_1 n'a pas été observée) sont préférentiellement E-W et les pendages varient de 75° vers le nord à sub-vertical. Les plis mésoscopiques P_2 sont pratiquement absents dans ce secteur. La troisième déformation développe communément des kinks qui affectent principalement les niveaux de pyroclastites mais aussi les volcanites. Ces kinks ont une direction de 055° et un pendage de 45°.

Des linéations d'étirement d'objets géologiques ont été mesurées sur des fragments dans les tufs grossiers aussi sur les amygdales dans les laves. En général ces objets géologiques sont étirés dans le plan de la schistosité régionale S_2 de direction E-W et ont une plongée vers l'est ou vers l'ouest variant de 25° à 80°.

Deux familles de cisaillement ont été identifiées. La première famille, la plus importante, est de direction E-W avec un pendage de 70° vers le nord à sub-vertical. Ces cisaillements se développent de façon sporadique et sont sub-parallèles à la foliation régionale S_2. Les déplacements évalués selon les relations de fabrique "S-C" semblent dextres. La seconde famille de cisaillement recoupe la première et est constituée de cisaillements conjugés de direction NE, sub-verticaux et à déplacement apparent senestre et de cisaillements de direction NW, sub-verticaux, à déplacement apparent principalement dextre.

Les diaclases sont nombreuses et présentent une grande variation de directions avec des plans préférentiels orientés à 050° et 130°. Le pendage de ces diaclases varie le plus souvent de 70° à 90°.

Au moins deux générations de veines de quartz ont été notées. La première semble contemporaine à la déformation D_2. Ces veines de quartz, parfois minéralisées, sont injectées dans des zones de cisaillement à 105° sub-parallèles à la foliation régionale S_2. La seconde génération de veines de quartz, d'orientations (moyenne 210°) et de pendages variés (verticales à sub-horizontales) recoupe la première génération dans une direction NE. Ces veines sont injectées principalement dans des fractures de tension et parfois dans de petites zones cisaillées. Ces veines ne sont minéralisées que très localement. Plus de détails concernant ces veines sont présentés à la section géologie économique.

Métamorphisme

L'assemblage minéralogique caractéristique des lithologies rencontrées dans l'environnement du gisement de Sigma-2 comprend principalement l'assemblage: albite-quartz-chlorite-épidote (zoïcite et clinozoïcite) - calcite et accessoirement biotite-muscovite-sphène. Ces minéraux sont caractéristiques d'un métamorphisme du faciès schiste vert, zones à chlorite et biotite, et correspondant au faciès faible de Winkler (1979).

Dans le filon-couche les paragenèses métamorphiques varient selon la nature protolitique de chacune de ses unités constitutantes.

Dans la partie gabbroïque basale on note des assemblages microgranoblastiques de carbonate-épidote-albite-quartz dérivant du remplacement pseudomorphique du plagioclase. La chlorite se retrouve en veinules recoupant cet assemblage et peut être issue d'une phase ultérieure de métamorphisme. Le pyroxène primaire (diopside?) est entièrement remplacé par un assemblage chlorite-carbonate. L'ilménite primaire est partiellement transformée en magnétite de même que le sphène en leucoxène. De

la biotite d'origine hydrothermale (métasomatique) est observée dans les zones les plus déformées.

Dans l'unité de gabbro à hornblende le plagioclase présente le même type de remplacement pseudomorphique avec cependant en plus la biotite qui devient plus abondante (2-10%). L'intercumulat mafique (diopside, hornblende verte) est maintenent constitué de chlorite remplaçant le clinopyroxène et d'actinote bleu vert se développant en couronne au pourtour de la hornblende verte encore fraiche au coeur des phénocristaux. La magnétite dérivée de l'ilménite est ici mieux cristallisée et plus grossière (jusqu'à 1 mm).

Dans la zone felsique le quartz apparaît comme phase primaire. Le quartz subit une légère recristallisation en petits granoblastes surtout près des zones déformées. Le plagioclase est largement albitisé et séricitisé et on observe de la muscovite en feuillet. L'amphibole, devenue accessoire, est de composition actinolitique. La magnétite octaédrique est étroitement associée à l'actinote.

Le métamorphisme semble être responsable de la circulation de fluides riches en Cl et Na (Lao et Perrault, 1987). L'étude des inclusions fluides suggère des températures conformes avec les assemblages métamorphisques décrits dans le filon-couche. Ces températures sont de l'ordre de 320°C selon Lao et al. (1986) pour Sigma-2 en particulier et selon McNeil et Kerrich (1986) pour des inclusions fluides de composition analogue.

Géochimie

Les roches plutoniques du filon-couche de Vicour ont été soumises pour l'analyse chimique des éléments majeurs, mineurs et en traces (tableaux 1 et 2). Neuf échantillons ont été sélectionnés à partir de critères pétrographiques notamment le

degré de préservation textural et l'absence de métasomatisme. De plus trois échantillons représentatifs des unités principales du filon-couche ont été analysés pour les terres rares par la méthode d'activation neutronique (Laboratoire Chimitec Ltée, tableau 3).

Le diagramme AFM (figure D) montre que l'évolution magmatique est de type tholéiitique avec un enrichissement en fer prononcé ("Fenner trend"). Cette évolution est comparable au complexe de Skaegaard (Wager et Deer, 1939; Wager et Brown, 1967). Ce trait de la différenciation magmatique rapproche géochimiquement les roches du filon-couche de Vicour à celles de la formation de Héva à son contact sud plutôt qu'à la formation de Val d'Or au nord (figure E).

Dans les figures F et G ont été reportées les valeurs des éléments majeurs, mineurs et en traces en fonction de la stratigraphie. Les profils obtenus sont dans la plupart des cas continus et illustrent le contrôle important de la cristallisation fractionnée dans la différenciation géochimique du filon-couche. Les profils des oxydes CaO, Na_2O et K_2O et des éléments en traces Rb, Sr et Zn semblent perturbés par des processus de remobilisation secondaire. L'accroissement soudain du TiO_2 et du P_2O_5 peut être expliqué par le fractionnement important d'ilménite et d'apatite respectivement (figure F) alors que celui de Zr et d'Y peut l'être par le fractionnement de zircon et d'apatite respectivement (figure G). La variation des éléments d'intérêt économique sera examinée à la section traitant de la géologie économique.

Dans le but de lever le doute sur la consanguinité des unités composant le filon-couche de Vicour la figure H montre l'évolution de deux éléments fortement hygromagmaphiles. Une covariation linéaire lie le Zr à l'Y dont le rapport Zr/Y est compris entre 1.2 et 3.1. Cette covariation linéaire avec les teneurs absolues en Zr démontrent d'une part que les faciès

pétrographiques définis antérieurement dérivent d'un même liquide et d'autre part confirme l'affinité tholéiitique de dorsale océanique ou d'arrière-arc de la séquence (Pearce et Norry, 1979). Il est intéressant de noter une fois de plus la similitude observée entre la covariation Zr-Y des roches de la formation sus-jacente de Héva et celle des plutonites du filon-couche de Vicour par oppositon à la formation de Val d'Or (rapports Zr/Y: 1.2-5.5). Il faut noter la complémentarité de ces distributions qui suggère qu'une partie du moins des laves de la formation de Héva a pu être générée à partir du fractionnement d'un liquide donnant d'une part des cumulats retenus dans la chambre magmatique pour former la séquence différenciée de Vicour et d'autre part nourrissant des émissions de laves regroupées à l'intérieur de la formation de Héva. Cette hypothèse a de plus l'avantage d'expliquer le caractère plus différencié de la formation de Héva. Le fractionnement de l'olivine et du plagioclase explique en bonne partie la différenciation du magma car ces deux phases modifient peu le rapport Zr/Y durant ce processus. Ce magma pourrait avoir été généré par environ 25% de fusion partielle d'une source quasi-chondritique (Schmitt et al., 1963; Pearce et Norry, 1979).

Les résultats de l'analyse des terres rares dans les unités gabbroïque (GP-9), dioritique (GP-3) et granophyrique (GP-18) sont présentés dans le diagramme Coryell-Masuda de la figure I. On note tout d'abord un enrichissement absolu en terres rares correspondant au degré de différenciation qui augmente de la base (GP-9) au sommet (GP-18) du filon-couche. Cet enrichissement s'explique par le caractère hygromagmaphile des terres rares et en particulier des terres légères (La à Sm; facteur d'enrichissement sommet/base de 16.2 à 2.8). Malgré cet enrichissement observé également par rapport aux teneurs chondritiques (le rapport chondritique du Ce de 20 à la base pour 60 au sommet) les rapports La/Yb (1-2.5) et La/Sm (1.2-2.5) varient très peu. Ces rapports traduisent un léger fractionnement des terres lourdes par rapport aux terres légères et démontre une fois de plus le caractère tholéiitique de dorsale ou d'arrière-arc du filon-couche de Vicour

de même que l'origine de la séquence à partir d'un même magma. A ce titre la formation de Héva présente un profil de terres rares et des rapports chondritiques semblables au filon-couche de Vicour. Le rapport La/Yb est quasi chondritique (1.2-1.4) alors que les rapports des éléments normés aux chondrites varient de 60 à 80 traduisant leur caractère plus différencié. Les rapports La/Yb de la formation de Val d'Or varient de 1-8.8 et sont plus caractéristiques des arcs insulaires.

GEOLOGIE ECONOMIQUE

Introduction

Du point de vue de la géologie économique, la base du filon-couche (facies gabbroïque et gabbro à amphibole) ne présente pas de concentration anomale en or. Par contre, les analyses faites sur la zone mafique du filon-couche pour évaluer la teneur de fond de l'or ont donné 12 ppb à la base, 4 ppb et 42 ppb au sommet (Figure K). La moitié supérieure de ce filon-couche est composée de diorite quarzitique, légèrement minéralisée et au sommet d'un granophyre de composition tonalitique contenant trois regroupements de veines aurifères. C'est sur la partie sommitale du filon-couche que nous allons porter notre attention. Ce lien entre les veines aurifères et la zone granophyrique du filon-couche n'est pas sans nous rappeler l'association identique décrite par Latulippe (1985) et Sauvé (1985) pour le gîte de Louvicourt Goldfield.

Structures des veines stériles et minéralisées

Deux réseaux de cisaillements et deux principaux systèmes de fractures sont observés dans la partie granophyrique du filon-couche de Vicour.

Le premier réseau de cisaillements, à pendages sub-verticaux et d'orientation moyenne 105°, sont reliés à la schistosité régionale et ont un mouvement dextre sub-horizontal. Ils se répètent à une fréquence de un événement par distance de un à cinq mètres et peuvent atteindre une largeur de plus d'un mètre. Les cisaillements majeurs peuvent devenir de simples fractures sur une distance de quelques mètres. Ils se poursuivent, parfois de façon répétitive, sur toute la longueur de la zone exploitée (>500 m).

Le second réseau de cisaillements semble contemporain du précédent et est orienté à environ 210° avec un pendage sub-vertical. Le mouvement cisaillant est senestre et à pendage sub-horizontal. Cependant certains cisaillements ne présentent aucun mouvement. Ils s'agit alors de fractures ou bien encore de structures résultant à la fois d'un effet cisaillant et d'ouverture. Ces structures sont remplies de quartz. Leur fréquence est de un aux 3 à 5 mètres avec une extension cependant moins importante (i.e. 5 à 25 m de longueur).

Le système de fracture le plus intéressant correspond aux lentilles de quartz sub-horizontales dont le pendage est le plus souvent orienté vers le quadrant SE. Le grand axe des lentilles de quartz a une direction E-W i.e. concordant avec le filon-couche lui-même.

Finalement, quelques diaclases d'orientation N-NW, s'associent à ces structures et semblent plutôt tardives comparativement aux autres.

Minéralogie de la minéralisation

Cette section est un résumé d'une étude de 15 sections polies et lames minces des zones minéralisées et métasomatisées. Le faciès granophyrique stérile ne contient environ que 5% de phases opaques sous forme de magnétite.

La plus grande proportion de la minéralisation aurifère est observée dans les lentilles et les veines de quartz sub-horizontales, dans lesquelles se concentrent les sulfures. Les cisaillements NE sont également aurifères qu'ils soient injectés ou non de veines de quartz. L'intersection de ces deux structures crée un enrichissement local. Les cisaillements E-W agissent comme limites nord et sud de la zone minéralisée.

Les veines sub-horizontales sont constituées de quartz - tourmaline ± carbonates et de pyrite - pyrrhotite ± chalcopyrite (Planche 2, photo 1). Rarement y retrouve-t-on de l'arsénopyrite. L'or peut parfois se voir à l'oeil nu. Sa granulométrie ne dépasse pas 0.5 mm de diamètre. La roche encaissante bordant les veines subit un métasomatisme qui crée une décoloration (blanchiment) de celle-ci (séricitisation, formation de hornblende verte, silicification, ± carbonatisation). Des cristaux d'arsénopyrite s'y forment, de même que de la pyrite et de la pyrrhotite en grains fins. De la pyrite grossière (0,5 à 3 cm de diamètre) est également observée dans les épontes des lentilles, et ce, dans la partie ouest du gisement.

Les cisaillements NE contiennent aussi de la minéralisation en pyrite et arsénopyrite aurifères. Des petites veines de quartz, d'au plus 5 cm, peuvent s'y déposer tardivement. En effet elles recoupent et déplacent les lentilles sub-horizontales. Une chloritisation importante se développe aux bordures de ce type de cisaillement affectant la roche sur une largeur de 2 à 6 cm.

Les cisaillements E-W déplacent les lentilles sub-horizontales de façon régulière. De plus, ce sont de ces structures qui délimitent l'étendue de la zone minéralisée car les lentilles viennent buter contre celles-ci. La zone cisaillée chloritisée peut contenir de la pyrite et des cristaux

d'arsénopyrite ainsi que des veinules de quartz. Par contre la teneur en or associée semble beaucoup plus faible.

Métallographie

a) Lentilles sub-horizontales.

Dans les veines de quartz, les sulfures se divisent en pyrite, pyrrhotite, chalcopyrite. On y observe de l'ilménite recristallisée et de l'or en traces. La pyrite et la pyrrhotite se déposent en amas granulaires avec parfois un peu de chalcopyrite. Dans la pyrite les pores sont remplis par les autres phases énumérées. On peut donc supposer qu'il existe deux générations de pyrrhotite et de chalcopyrite: en concentrations granulaires et en remplissages microscopiques dans la pyrite.

Certaines textures témoignent clairement des relations existant entre les minéraux. Ainsi la pyrrhotite et la chalcopyrite peuvent partager le même pore dans la pyrite comme la chalcopyrite et l'or. Jamais cependant l'or et la pyrrhotite n'ont été observés ensembles. L'ilménite recristallisée proviendrait de la décomposition de l'ilménite du gabbro.

La bordure immédiate de la lentille se tourmalinise fortement, montrant un assemblage métallifère de pyrite - pyrrhotite 1 - chalcopyrite 1 - ilménite recristallisée et or. Parfois l'arsénopyrite les accompagne mais celle-ci cristallise principalement dans la roche décolorée adjacente.

Les relations texturales relevées consistent surtout en des remplacements: la chalcopyrite remplace la pyrrhotite qui à son tour remplace partiellement la gangue. La pyrite s'infiltre également dans la gangue. L'or est toujours associée à la pyrite.

Les cristaux poéciloblastiques d'arsénopyrite sont remplis

par tous les minéraux déjà cités, sauf la pyrite. Les fissures et fractures de l'arsénopyrite contiennent soit pyrrhotite/chalcopyrite, soit chalcopyrite/or (Planche 2, photo 2), soit une des trois phases (Planche 2, photo 3). La pyrrhotite et la chalcopyrite tendent également à remplacer l'arsénopyrite. Ces deux phases seraient de la même génération que celles qui remplissent les pores de la pyrite. Les contacts entre la pyrite et l'arsénopyrite sont francs indiquant ainsi une déposition synchrone.

b) Cisaillements E-W et N-E

La minéralogie et les textures des cisaillements E-W et N-E restent à approfondir. La minéralogie métallifère ressemble beaucoup à celle des épontes des lentilles. Dans l'état actuel des connaissances aucune particularité ne peut être mentionnée pour ce type de minéralisation.

c) Altération superficielle

Pour terminer une altération superficielle tardive vient affecter la minéralogie primaire. Cette altération de surface se présente sous forme de remplacement de la pyrrhotite par la marcasite ou de la pyrite colloforme (Planche 2, photo 4). De plus les sulfures sont partiellement hydroxydés localement.

d) Séquence de cristallisation

Une suite chronologique d'événements peut être avancée, suite aux observations faites et sur le terrain et en laboratoire (Figure J).

D'abord il convient de souligner que les cisaillements E-W et N-E ont servis de canaux aux fluides minéralisateurs Leurs bordures ont donc été intensément métasomatisées. Cette métasomatisation se manifeste par: une chloritisation

(enrichissement en Fe et Mg, appauvrissement en SiO_2), laissant les fluides circuler dans les fractures ouvertes sub-horizontales; une silicification des épontes des structures qui entraîne la décoloration caractéristique de la roche. L'arsénopyrite et la pyrite grossière s'y déposent, de même que la pyrrhotite 1 et chalcopyrite 1. Puis, le fluide enrichi en silice cristallise, dans les fractures en même temps que: pyrite, pyrrhotite 2-3, chalcopyrite 2-3 et or. L'ilménite recristallise également à ce moment. Ces événements se produisent de façon quasi-simultanée.

Les étapes de la mise en place de la minéralisation peuvent donc être résumées ainsi:

1) métasomatisme des bordures des lentilles (chloritisation, silicification séritifisation, croissance d'amphibole),

2) déposition de: arsénopyrite, pyrite grossière, pyrrhotite 1 et chalcopyrite 1,

3) précipitation de silice,

4) déposition de: pyrite granulaire 2, pyrrhotite massive 2 et chalcopyrite 2 en même temps qu'un remplacement partiel de la silice (étape 3),

5) recristallisation de l'ilménite,

6) remplissage des pores de l'arsénopyrite et de la pyrite par les phases pyrrhotite 3 et chalcopyrite 3,

7) arrivée terminale de l'or accompagné localement de la chalcopyrite.

Une altération de surface vient changer légèrement l'allure du gisement. Un remplacement abondant de la pyrrhotite par la

marcasite, pyrite colloforme et oxydes de fer représente les principales modifications minéralogiques. De plus on observe un remplacement partiel par les oxydes de fer de tous les minéraux métallifères déjà cités.

GEOCHIMIE AURIFERE

L'or est nettement concentré dans la zone felsique (Figures G et K) et est associé à des concentrations croissantes en Zr et Y. La quantité d'or semble augmenter avec les teneurs d'arsenic, d'argent, de tellure et de soufre IFigure L). Nous observons par contre, une corrélation négative entre l'or et le zinc et entre l'or et le manganèse (Figure M). De plus des analyses géochimiques de cinq concentrés de sulfures ont démontré que l'or est dissou dans l'arsénopyrite et la pyrite et non dans la pyrrhotite Giguère, 1986).

Modèle métallogénique

A partir des données de terrain et de laboratoire il est permis de présenter un modèle métallogénique pour ce gisement. Il est possible de mettre en évidence certains contrôles qui ont affecté la mise en place de la minéralisation. Les contrôles de la mise en place de l'or semblent d'ordres faciologique, structural, minéralogique et géochimique.

1) *Contrôle faciologique*: - Le faciès minéralisé est le faciès felsique à texture granophyrique très grossière représentant le sommet du filon-couche différencié synvolcanique de Vicour. Ce faciès felsique est le produit de différenciation d'un magma tholéiitique riche en fer. Le faciès granophyrique est en contact avec un faciès mafique riche en fer (au sud) comagmatique et d'affinité tholéiitique: la Formation de Héva.

2) *Contrôle structural*: - La minéralisation principale est située dans des veines de quartz injectées dans les zones de

cisaillement E-W et N-E subhorizontales. Une minéralisation secondaire est localisée dans des fractures de tension subverticales injectées de quartz. Les épontes métasomatisées en bordure des veines de quartz sont fortement minéralisées. Les fluides hydrothermaux ont emprunté les structures en compression et en tension surtout développées dans la zone granophyrique du filon-couche. Cette zone compétente possédait les caractéristiques rhéologiques adéquates à sa déformation cassante et à la canalisation des fluides minéralisateurs.

3) *Contrôle minéralogique*: - Il existe une relation positive avec la présence de séricite, de tourmaline et aussi de minéraux sulfurés riches en fer tels l'arsénopyrite et la pyrite qui ont favorisé la précipitation de l'or. Il faut de plus noter la très faible proportion de carbonate dans les zones métasomatisées et minéralisées. Ceci suggère que la teneur en $CaCO_3$ des fluides minéralisateurs devaient être très faible.

4) *Contrôle géochimique*: - Nous pouvons noter une corrélation positive entre l'Au et les éléments Te, As, S, Fe, Zr et Y ce qui correspond à l'association minéralogique de l'or avec l'arsénopyrite, la pyrite dans le faciès pétrologique le plus différencié. L'étude des inclusions fluides de Lao et Perrault (1987) montre que les fluides minéralisateurs étaient riches en Cl et Na. Les températures évaluées sont de 320°C et reflètent la contemporanéité du gisement avec l'orogenèse kénoréenne. Comme nous l'avons mentionné au début de la section "Géologie économique" des teneurs significatives en or ont été détectées dans la roche non déformée et non minéralisée. Il n'est donc pas impossible qu'une partie de l'or retrouvé actuellement dans le granophyre n'aie été contribuée par le filon-couche lui-même.

CONCLUSION

Le gisement de Sigma-2 est localisé dans la zone

différenciée d'un filon-couche stratiforme syn-volcanique. Ce filon-couche d'affinité géochimique tholéiitique ferrifère se rapproche compositionnellement de la formation de Héva au sud. Nous avons démontré hors de tout doute que les parties mafique et felsique sont consanguines. L'essentiel de la minéralisation aurifère se retrouve dans la zone felsique granophyrique presqu'au toit de l'intrusion. La déformation cassante de ce faciès cassant a permis la circulation de fluides hydrothermaux pauvres en $CaCO_3$ et riches, en Na et Cl provoquant la métasomatisation des épontes (chloritisation, silicification, séritifisation) et le remplissage des fractures par des sulfures, de l'or et de la silice. L'arsénopyrite et la pyrite s'avèrent être les phases qui ont provoqué la précipitation de l'or. La température des fluides hydrothermaux est probablement comparable à celle ayant généré les assemblages métamorphiques caractéristiques de l'orogenèse kénoréenne. Ce gisement est donc probablement synorogénétique. La recherche d'autres filons-couches différenciés riches en fer dans la région de Louvicourt est susceptible d'amener la découverte de gisements aurifères qui pourraient être intéressants dans le contexte économique actuel.

REFERENCES

Audet, A.J. (1984) Rapport géologique sur la zone aurifère du Projet Sigma No. 2. Ministère de l'Energie et des Ressources, Québec, GM-41290, 7 p.

Bell, L.V. et Bell, A.M. (1932) Région des sources de la rivière Bell avec détails des gîtes aurifères de Pascalis et de Louvicourt. Service des Mines du Québec, Québec, rapport annuel, partie B, pp. 69-144.

Byerly, G.R. (1980) The nature of differentiation trends in some volcanic rocks from the Galapagos Spreading Center. J. Geophys. Res., 85, p. 3797-3810.

Gaudreau, R., Lacoste, P. et Rocheleau, M. (1987) Géologie et gîtologie de secteur de Louvicourt-Vauquelin. Rapport d'étape, Phase 1, Ministère de l'Energie et des Ressources, Québec, MB 86-67.

Giguère, C. (1986) Distribution de l'or en fonction des paramètres faciologique, minéralogique, géochimique et structural, mine Sigma-2, Abitibi. Projet de fin d'études, Université Laval, 30 p.

Hébert, R., Perrier, B., Giguère, C., Rocheleau, M., Gaudreau, R. et Lacoste, P. (1986) Gold mineralisation related to a differentiated sill in the Abitibi Greenstone Belt: The case of Sigma-2 project. Réunion Annuelle conjointe, AGC-AMC Programme et Résumés, 11, p. 79.

Imreh, L. (1984) Sillon de La Motte-Vassan et son avant pays méridional: Synthèse volcanologique, lithostratigraphique et gîtologique. Ministère de l'Energie et des Ressources, Québec. MM 82-04, 72 p.

Irvine, T.N. et Baragar, W.R.A. (1971) A guide to the chemical classifi-

cation of the common volcanic rocks. Can. J. Earth Sci., 8, pp. 523-548.

Lao, K. et Perrault, G. (1987) Cl-rich and S-rich fluids related to the Archean gold deposits in the Val d'Or region, NW Quebec. Réunion Annuelle conjointe. Programme et Résumés, 12, p. 61.

Lao, K., Perrault, G. et Audet, A. (1986) Composition chimique et propriétés thermochimiques du fluide minéralisateur, gîte d'or Sigma-2, Louvicourt, Québec, manuscrit, 47 p.

Lacoste, P. et Laurin, J. (1982) Etude lithostratigraphique, volcanologique et gîtologique prévisionnelle des volcanites de l'Abitibi-Est. Ministère de l'Energie et des Ressources, Québec, Travaux sur le terrain, DP-786, pp. 41-42.

Latulippe, M. (1985) Val d'Or-Matagami. In: "Rapports des représentants régionaux - 1984", Ministère de l'Energie et des Ressources, Québec, DV85-02, pp. 43-70.

McNeil, A.M. et Kerrich, R. (1986) Archean lamprophyre dykes and gold mineralization, Matheson, Ontario: The conjunction of LILE-enriched mafic magmas, deep crustal structures and Au concentration. Can. J. Earth Sci., 23, pp. 324-343.

Pearce, J.A. et Norry, M.J. (1979) Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y, and Nb variations in volcanic rocks. Contrib. Mineral. Petrol., 69, pp. 33-47.

Perrier, B. (1986) Pétrographie et géochimie du filon-couche de Vicour à la mine Sigma-2, Abitibi. Projet de fin d'études, Université Laval, 68 p.

Sauvé, P. (1985) Géologie de la mine d'or Louvicourt Goldfield, région de Val d'Or. Ministère de l'Energie et des Ressources, Québec, MB 85-43, 28 p.

Schmitt, R.A., Smith, R.H., Lasch, J.E., Mason, A.W., Olehy, D.A. et Vasileoski, J. (1963) Abundances of fourteen rare-earth elements, scandium and yttrium in meteoritic and terrestrial matter. Geochim. Cosmochim. Acta, 27, pp. 577-622.

Sharpe, J.I. (1968) Canton de Louvicourt, comté d'Abitibi-Est. Ministère des Richesses Naturelles, Québec, RG 135, 59 p.

Wager, L.R. et Brown, G.N. (1967) Layered Igneous Rocks, Freeman, W.H. Co., San Francisco, 588 p.

Wager, L.R. et Deer, W.A. (1939) Geological investigations in East Greenland: part III, the petrology of the Skaergaard Intrusion, Kangerdla, Kangardlugssuaq, East Greenland. Medd. Gronland, 105, no. 4, 352 p.

Walker, D. (1975) The origin of quartz-feldspar graphic intergrowths. Ph.D. thesis, Michigan State University, East Lansing, 65 p.

Winkler, H.G.F. (1979) Petrogenesis of metamorphic rocks. Springer-Verlag, 5ième éd., New York, 348 p.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier le Ministère de l'Energie et des Ressources qui a contribué la très grande partie du financement obtenu par M. Rocheleau dans le cadre du contrat de recherche "Cantons de Louvicourt et Vauquelin, Abitibi-est": Synthèse stratigraphique, paléogéographique et gîtologique. C. Giguère souhaite remercier les Drs. G. Perreault et J. Béland de l'Université de Montréal pour leurs aides scientifiques et matérielles. Les auteurs sont reconnaissants envers Mme Pineau qui a dactylographié le manuscri t.

LEGENDES DES FIGURES

Figure A - Carte de localisation du filon-couche de Vicour.

Figure B - Carte géologique du secteur du filon-couche de Vicour. D'après Gaudreau et al. (1987).

Figure C - Colonne stratigraphique du filon-couche de Vicour d'après la coupe NS levée dans le secteur du gisement Sigma-2. D'après Perrier (1986). Noter la localisation des échantillons étudiés.

Figure D - Diagramme AFM pour les faciès pétrographiques du filon-couche de Vicour. Noter la tendance de différenciation de type Fenner très prononcée. D'après Perrier (1986).

Figure E - Diagrammes AFM comparatifs pour les formations de Val d'Or, de Héva et pour le filon-couche de Vicour. D'après Gaudreau et al., (1987).

Figure F - Diagramme de variation des éléments majeurs en fonction de la stratigraphie du filon-couche de Vicour. D'après Perrier (1986).

Figure G - Diagramme de variation des éléments en traces en fonction de la stratigraphie du filon-couche de Vicour. D'après Perrier (1986).

Figure H - Diagramme de covariation des éléments hygromagmaphiles Zr et Y pour le filon-couche de Vicour (Δ), la formation de Héva (Δ) et la formation de Val d'Or (O). D'après Perrier (1986).

Figure I - Diagramme Coryell-Masuda des terres rares normalisées aux

chondrites pour trois échantillons (voir figure C) du filon-couche de Vicour la formation de Héva (moyenne) et la formation de Val d'Or (moyenne). Les valeurs de normalisation sont de Schmitt et al., (1963). D'après Perrier (1986). H : Formation de Héva; LVD : laves de la Formation de Val d'Or; PVD : pyroclastites de la Formation de Val d'Or.

Figure J - Ordre de cristallisation des phases sulfurées ou liées à la minéralisation dans le filon-couche de Vicour (zone granophyrique). D'après Giguère (1986).

Figure K - Distribution de l'or en fonction de la stratigraphie dans le filon-couche de Vicour. La limite entre les faciès mafiques et felsiques est indiquée par une flèche. D'après Giguère (1986).

Figure L - Géochimie de l'or: a) Distribution de l'or en fonction de As; b) Distribution de l'or en fonction de S; c) Distribution de l'or en fonction de Ag; d) Distribution de l'or en fonction de Te. D'après Giguère (1986).

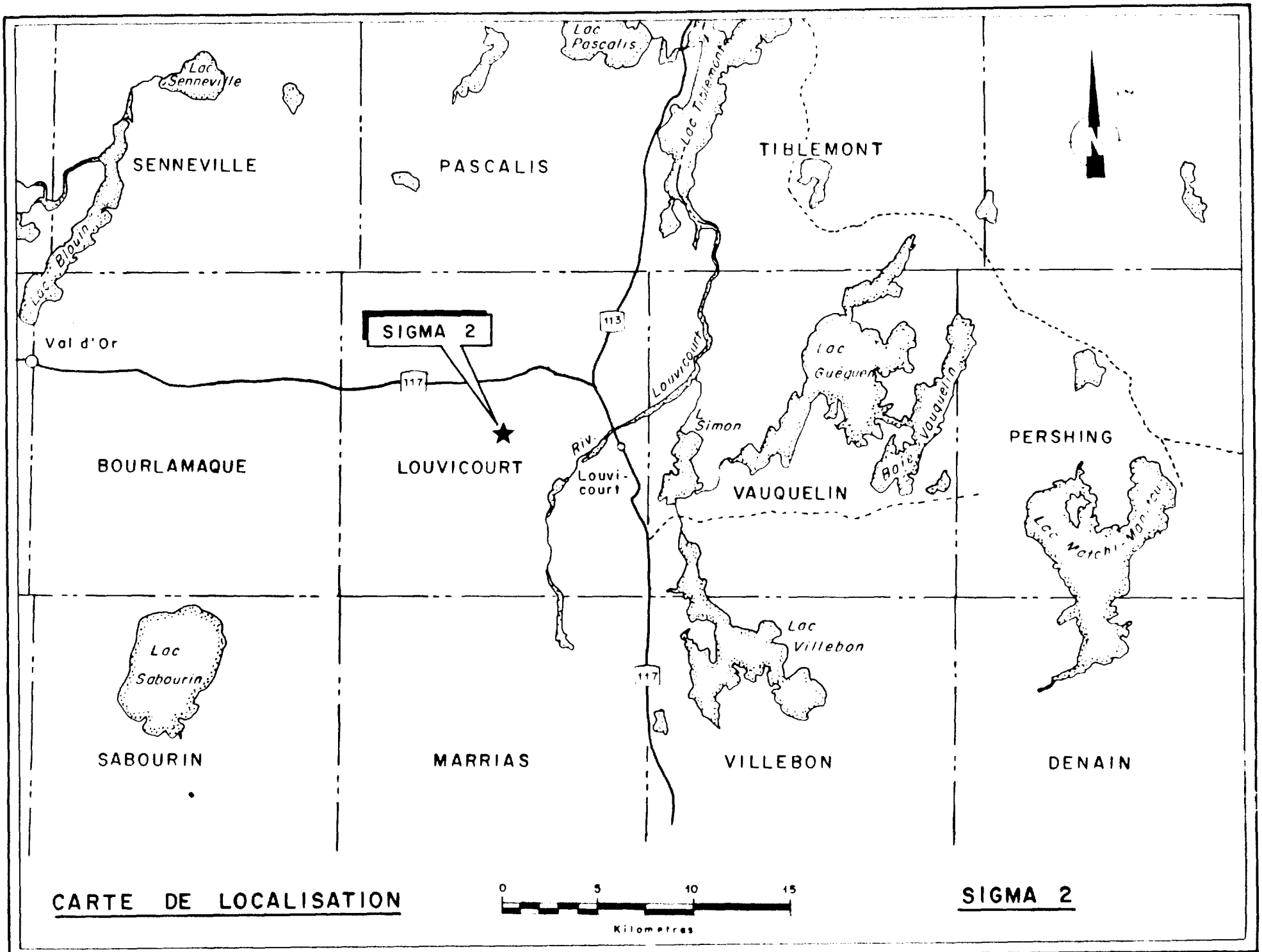

Lac Senneville
Lac Pascalis
Lac Tiblemont
SENNEVILLE
PASCALIS
TIBLEMONT
Lac Biguin
SIGMA 2
113
Val d'Or
117
Louvicourt
Lac Guéguen
Lac Simon
Vauquelin
Riv. Louvicourt
PERSHING
BOURLAMAQUE
LOUVICOURT
VAUQUELIN
Lac Villebon
Lac Sabourin
117
SABOURIN
MARRIAS
VILLEBON
DENAIN
CARTE DE LOCALISATION
0 5 10 15
Kilometres
SIGMA 2

FIGURE - A

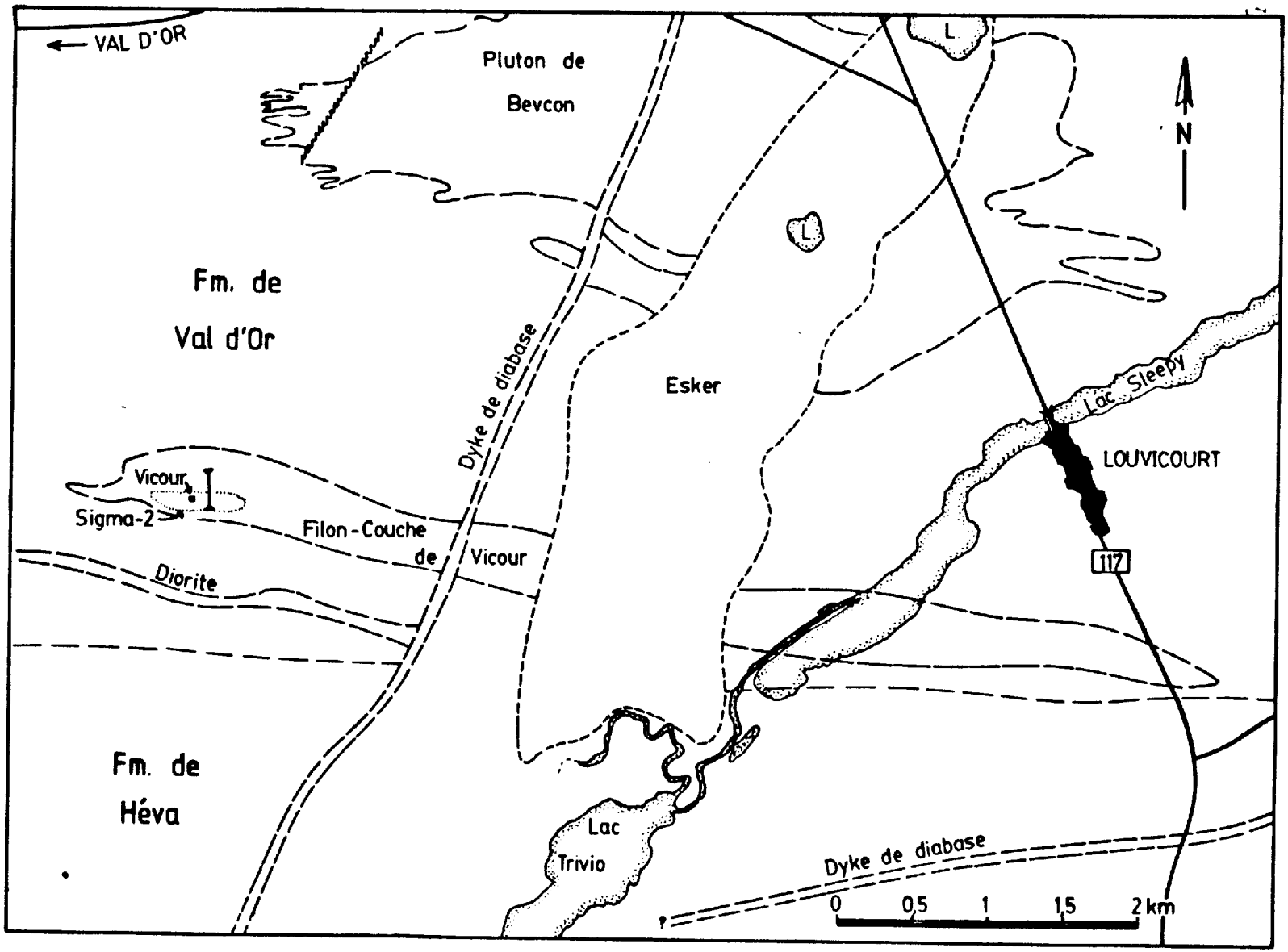

VAL D'OR
Pluton de
Bevcon
L
N
L
Fm. de
Val d'Or
Dyke de diabase
Esker
Lac Sleepy
LOUVICOURT
Vicour
Sigma-2
Filon-Couche
de Vicour
117
Diorite
Fm. de
Héva
Lac
Trivio
Dyke de diabase
0 0,5 1 1,5 2 km

FIGURE - B

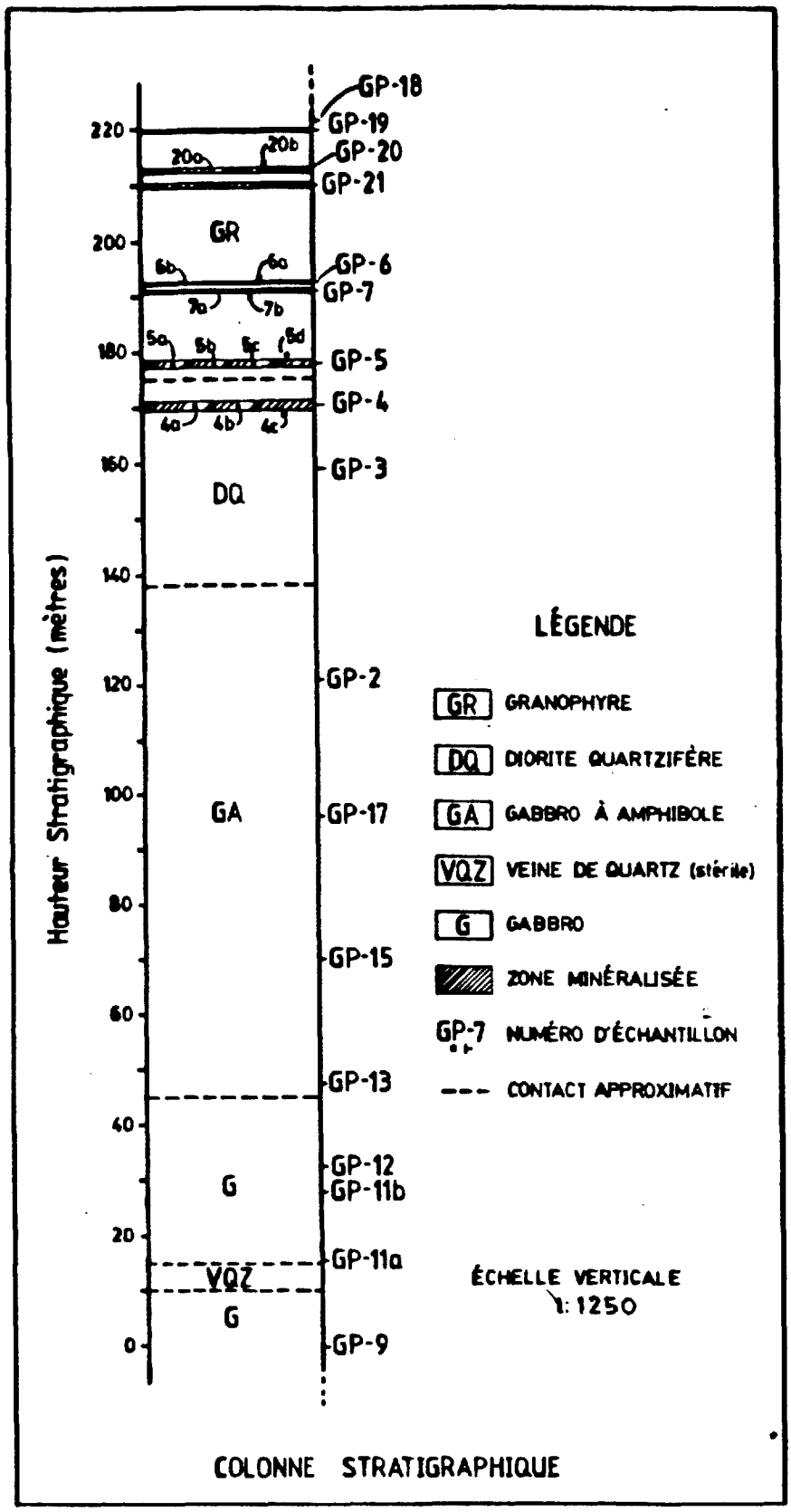

GP-18
GP-19
GP-20
GP-21
GP-6
GP-7
GP-5
GP-4
GP-3
GP-2
GP-17
GP-15
GP-13
GP-12
GP-11b
GP-11a
GP-9
GR
DQ
GA
G
VQZ
G
220
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
Hauteur Stratigraphique (mètres)
LÉGENDE
GR GRANOPHYRE
DQ DIORITE QUARTZIFÈRE
GA GABBRO À AMPHIBOLE
VQZ VEINE DE QUARTZ (stérile)
G GABBRO
ZONE MINÉRALISÉE
GP-7 NUMÉRO D'ÉCHANTILLON
CONTACT APPROXIMATIF
ÉCHELLE VERTICALE
1:1250
COLONNE STRATIGRAPHIQUE

FIGURE - C

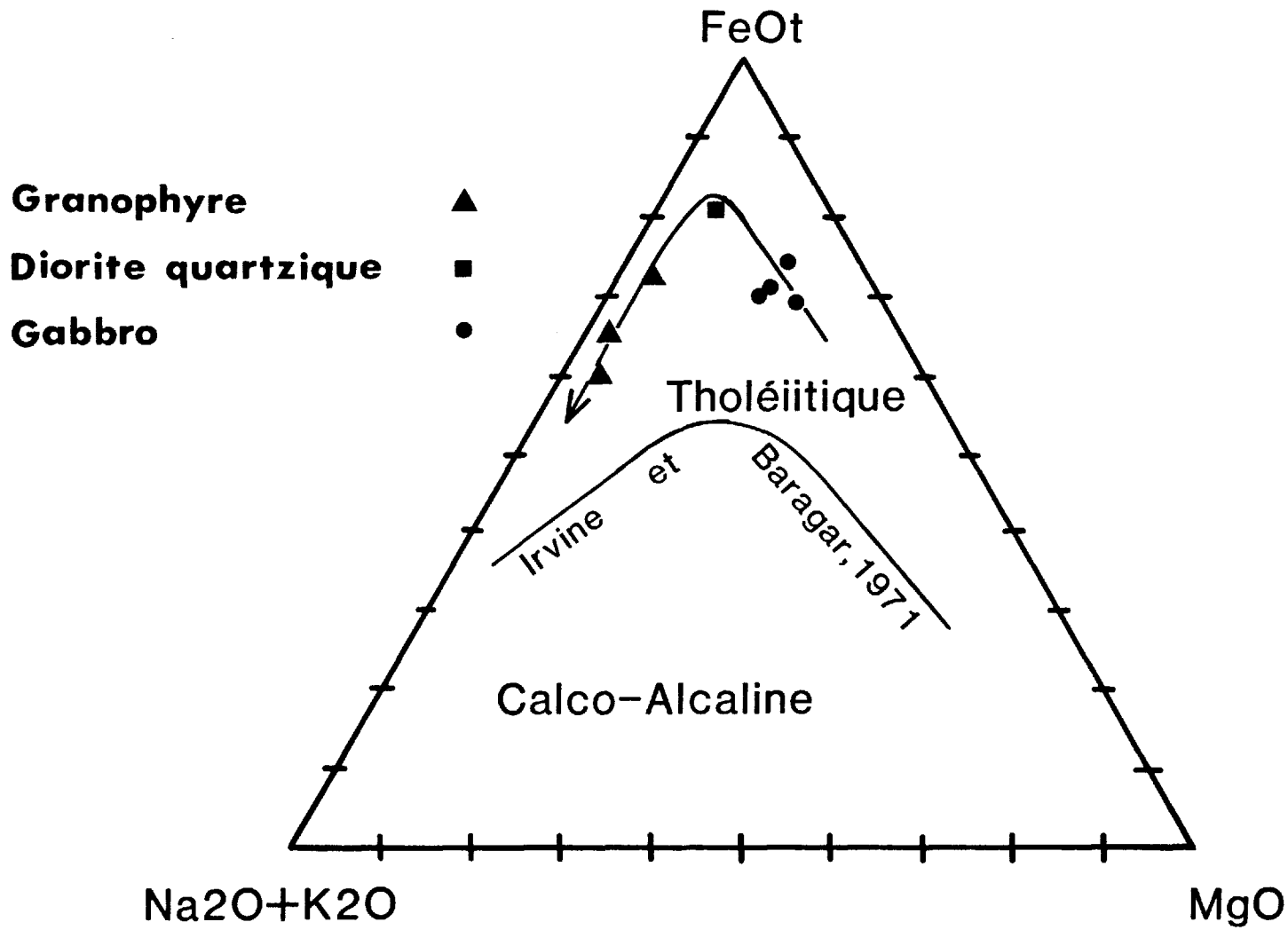
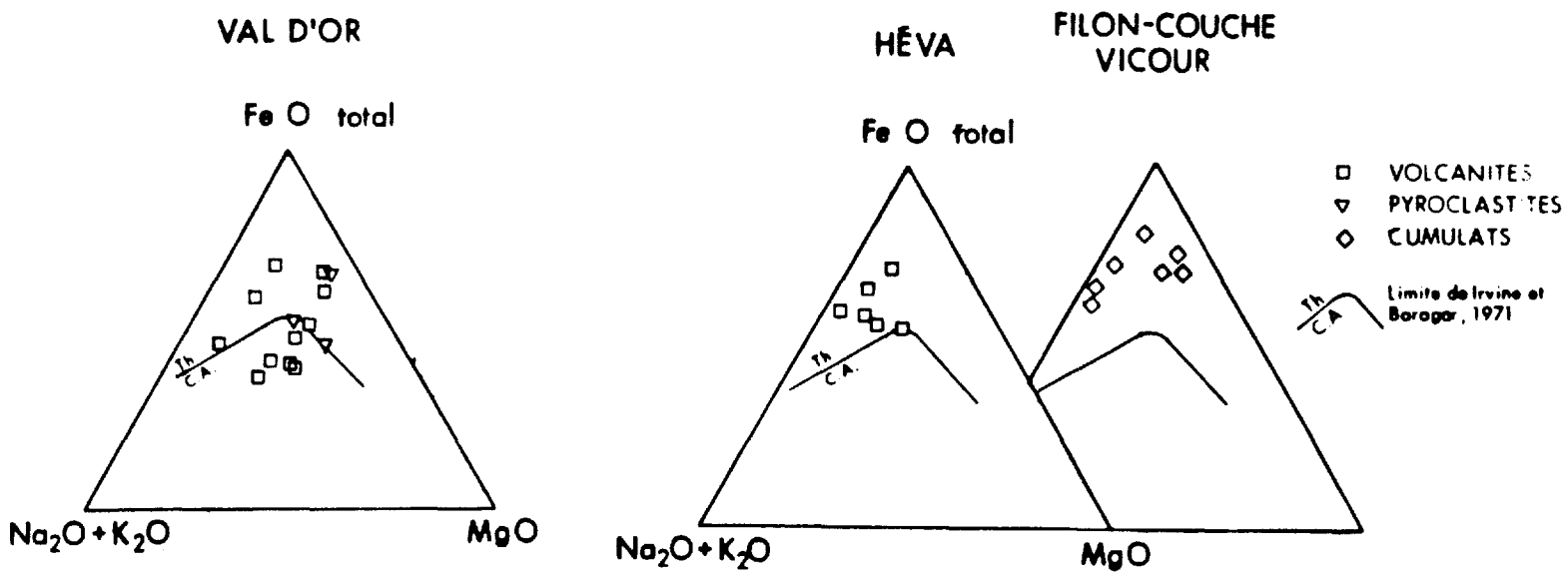


Diagramme AFM

FIGURE - D


VAL D'OR
Fe O total
Th
C A
Na2O + K2O
MgO
HÉVA
FILON-COUCHE
VICOUR
Fe O total
Th
C A
Na2O + K2O
MgO
VOLCANITES
PYROCLASTITES
CUMULATS
Th
C A
Limite de Irvine et Baragar, 1971

• FIGURE E

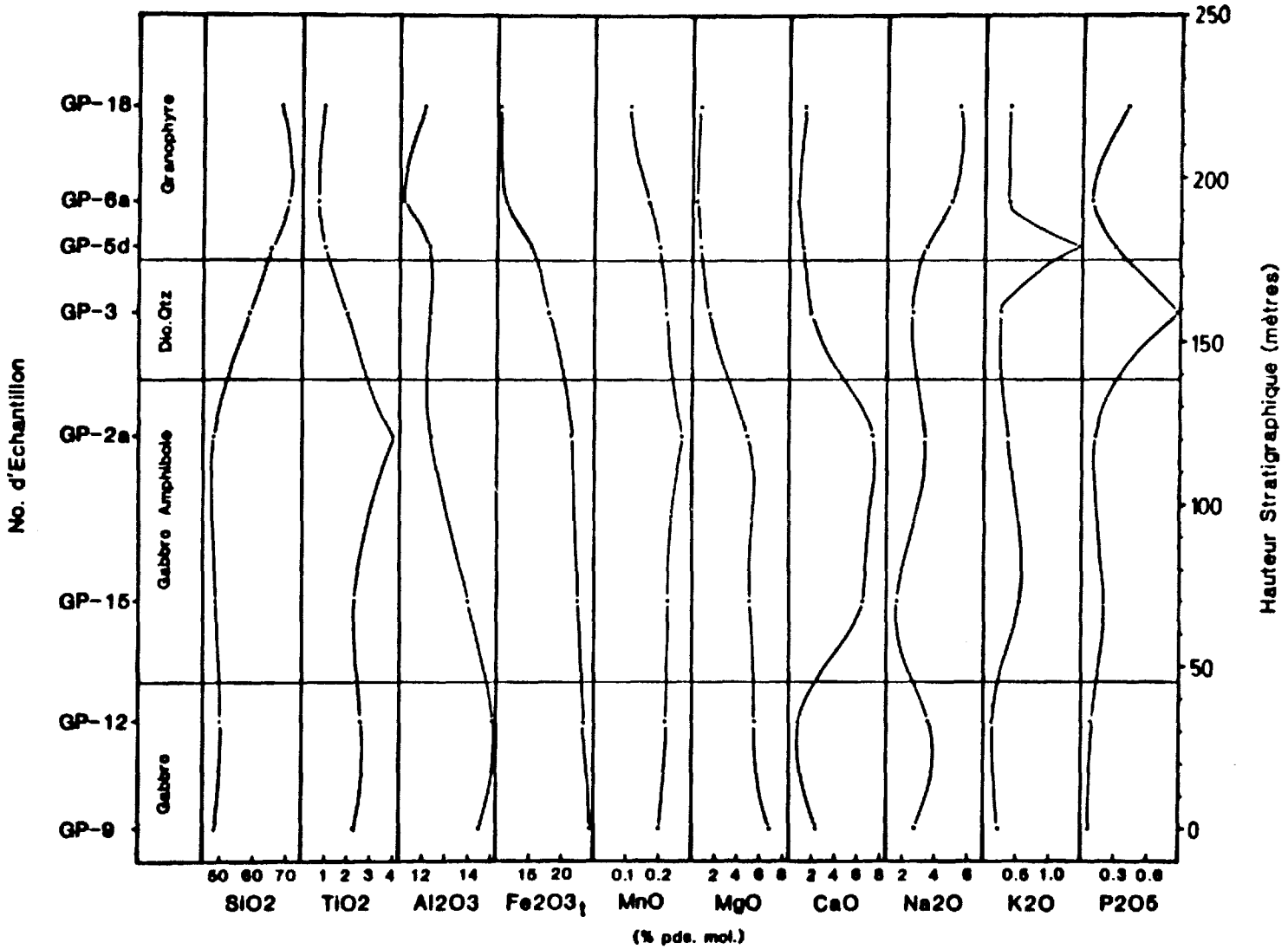


Figure F - Diagramme de variation des éléments majeurs du filon couche de Vicour en fonction de la stratigraphie (tirée de Perrier 1986).

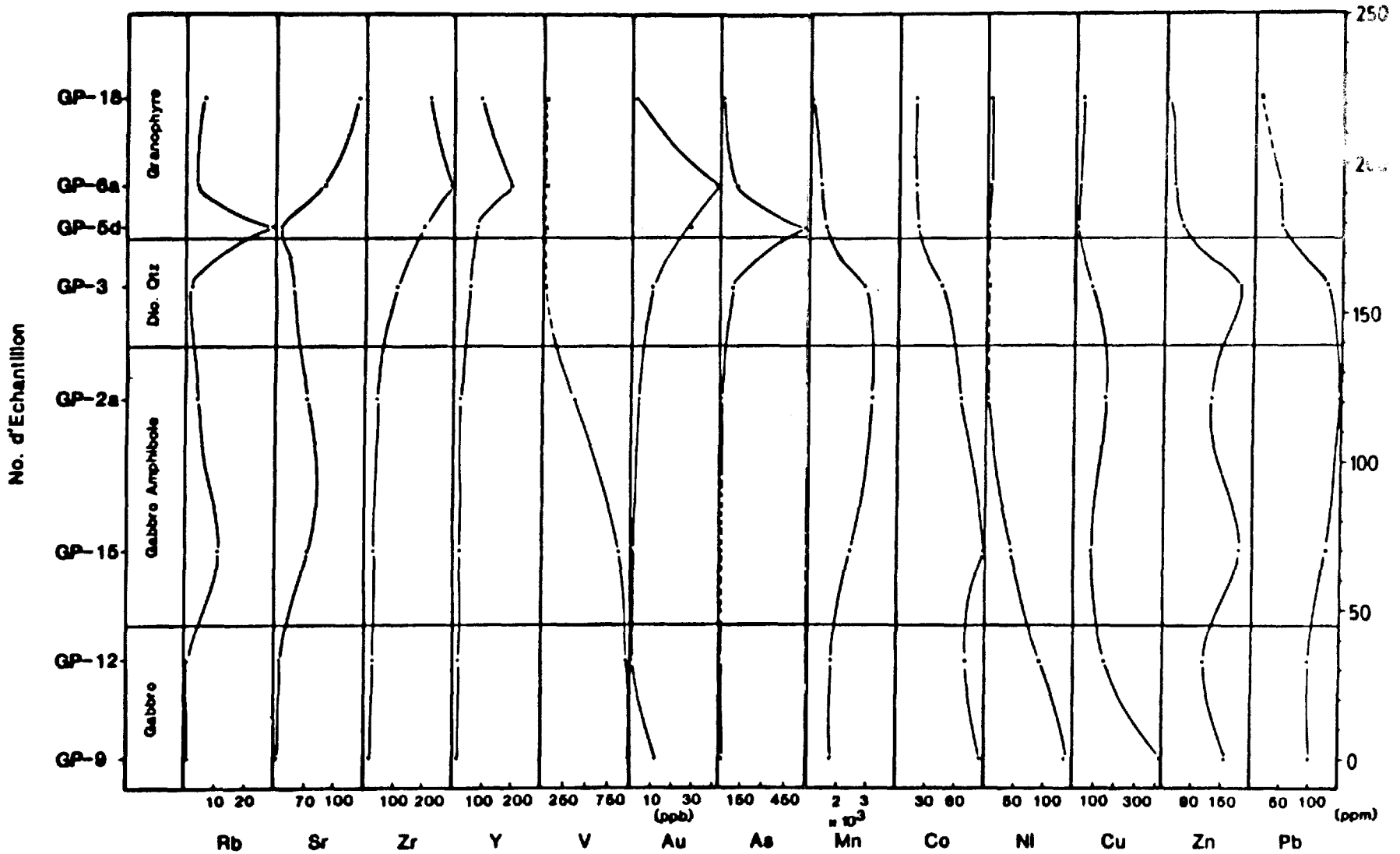
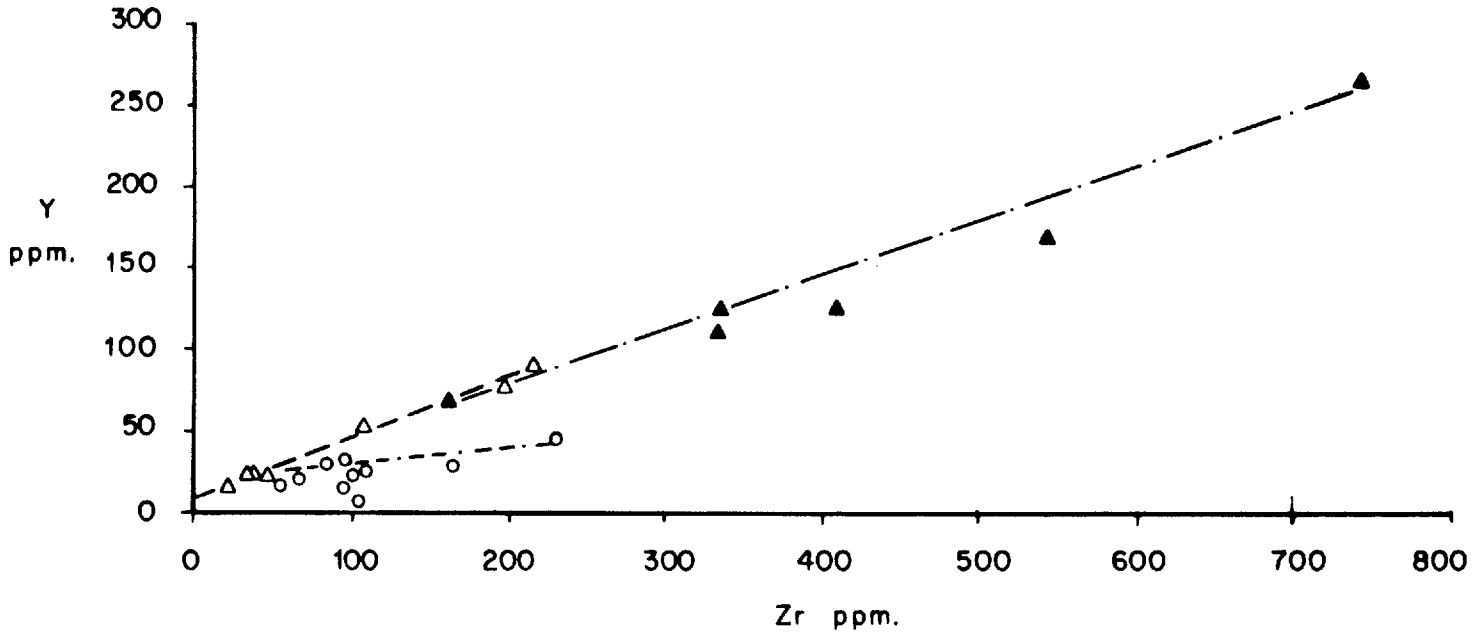


Figure G - Diagramme de variation des éléments traces du filon couche de Vicour en fonction de la stratigraphie (tirée de Perrier 1986).



---·---○ Volcanites de la Formation de Val d'Or.

- - - -△ Intrusion de Vicour.

·—·—▲ Volcanites de la Formation de Héva.

FIGURE - H

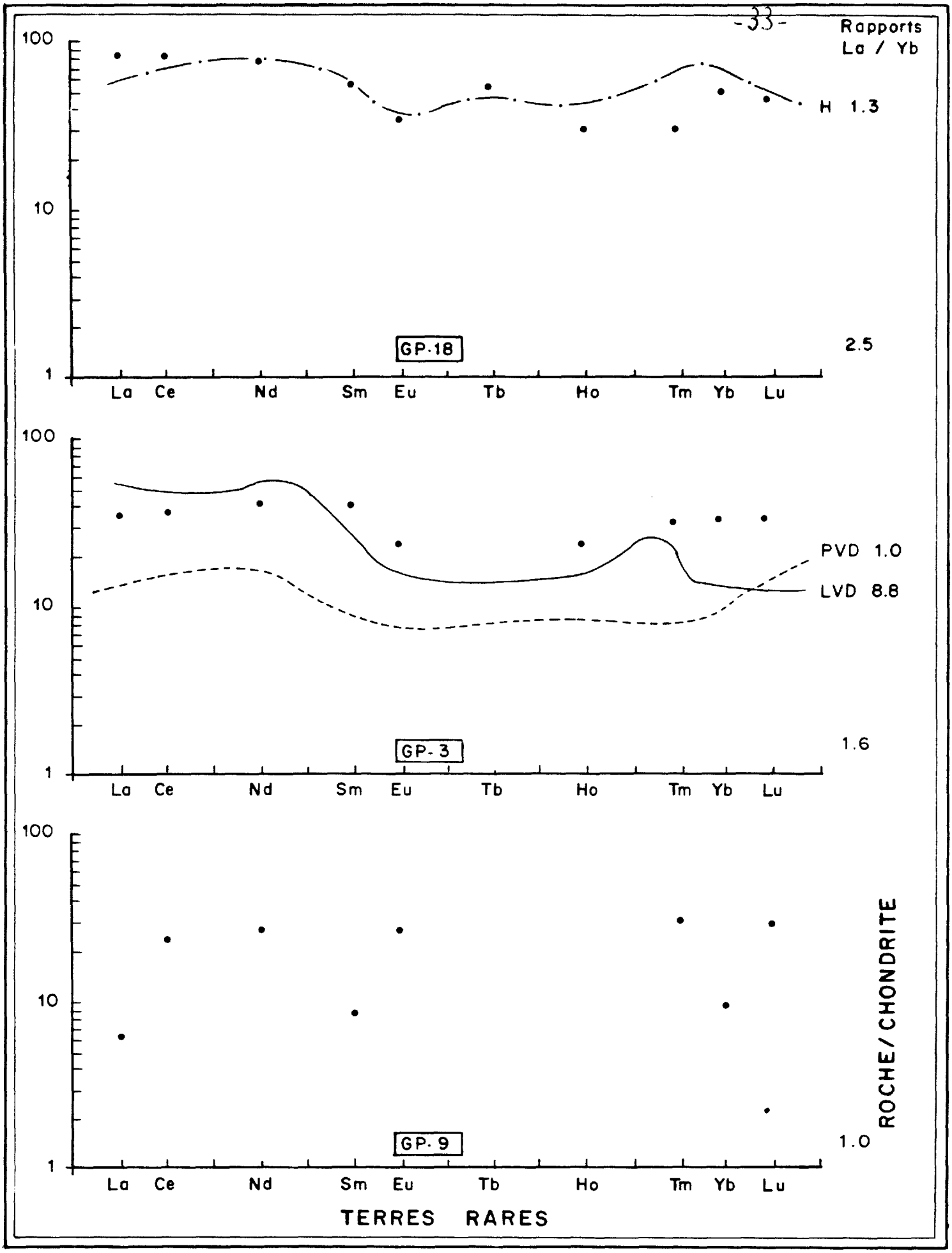

Rapports
La / Yb
100
10
1
H 1.3
2.5
GP-18
La Ce Nd Sm Eu Tb Ho Tm Yb Lu
100
10
1
PVD 1.0
LVD 8.8
1.6
GP-3
La Ce Nd Sm Eu Tb Ho Tm Yb Lu
100
10
1
1.0
GP-9
La Ce Nd Sm Eu Tb Ho Tm Yb Lu
TERRES RARES
ROCHE/CHONDRITE

FIGURE - 1

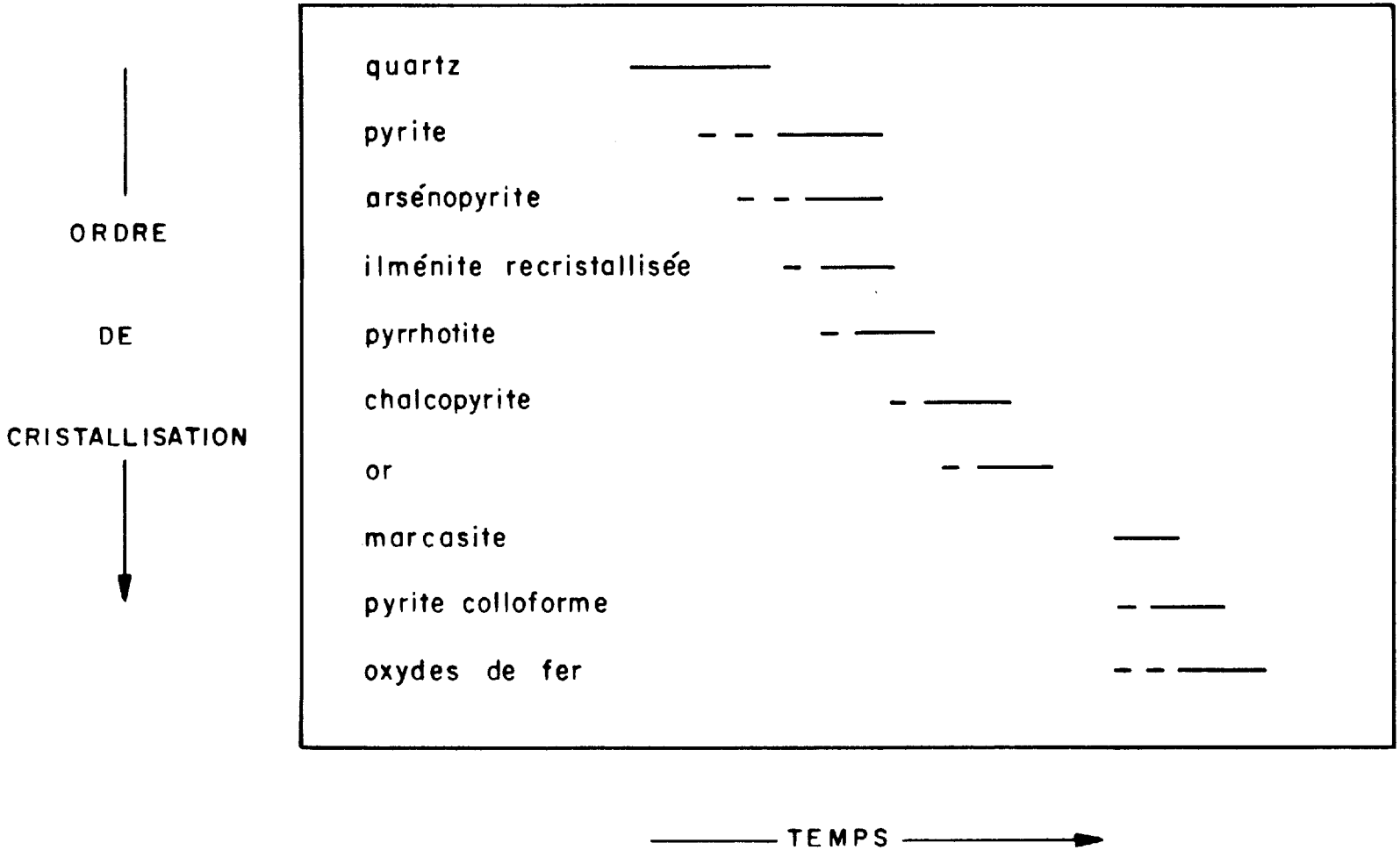

ORDRE
DE
CRISTALLISATION
quartz
pyrite
arsénopyrite
ilménite recristallisée
pyrrhotite
chalcopyrite
or
marcasite
pyrite colloforme
oxydes de fer
TEMPS

FIGURE - j

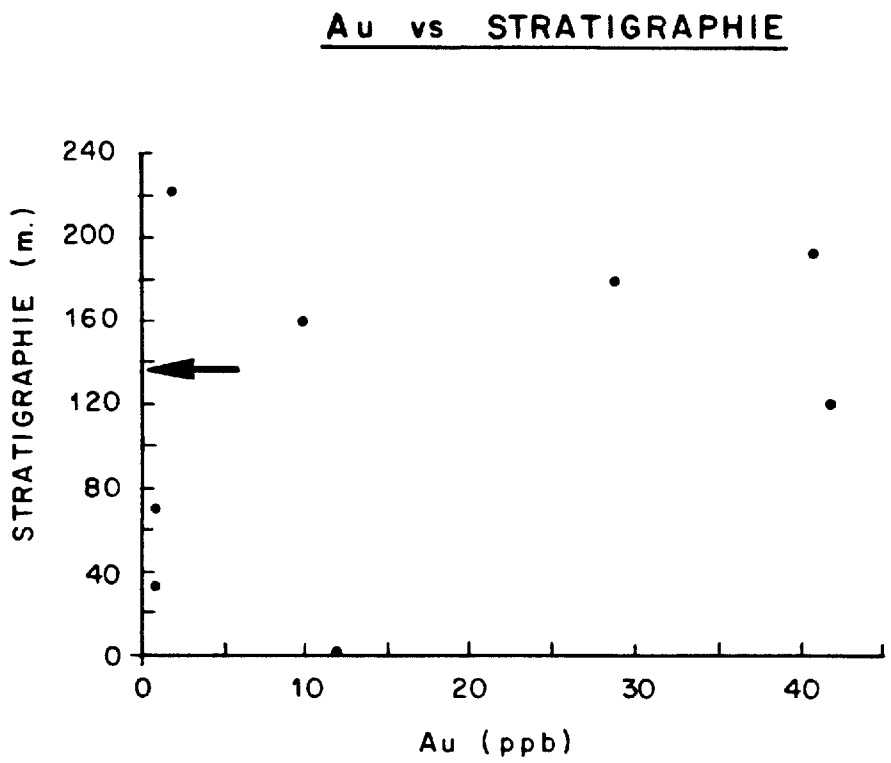

Au vs STRATIGRAPHIE
STRATIGRAPHIE (m.)
240
200
160
120
80
40
0
0
10
20
30
40
Au (ppb)

FIGURE - K

PLANCHE 1

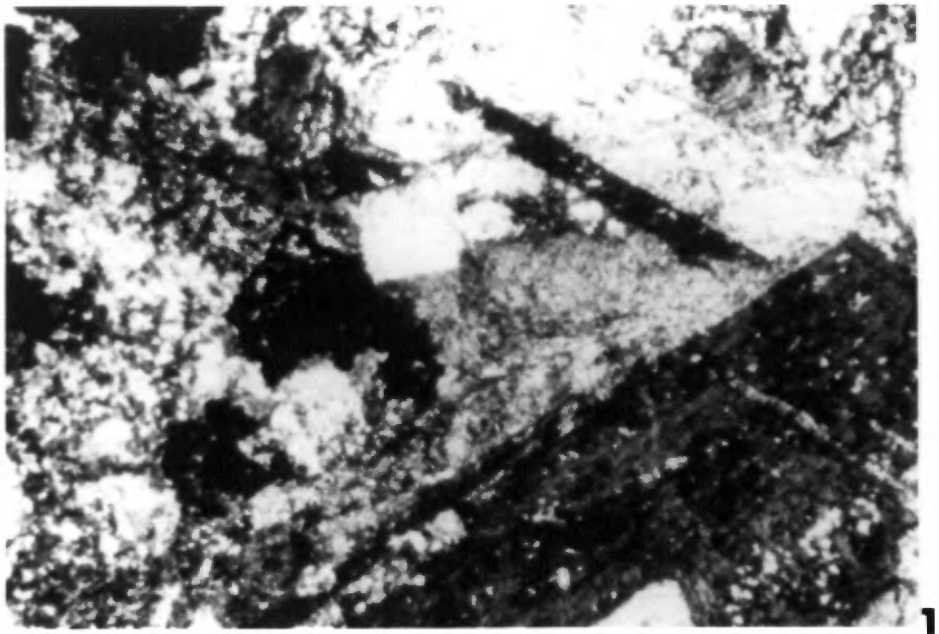
Photo 1 : Texture d'accumulation dans le gabbro basal, échantillon GP-12 (figure C). La plagioclase (phase cumulus) est entouré de clinopyroxène (?) chloritisé (gris) et d'ilménite (noir). Largeur du champ 1.7 mm.

Photo 2 : Hornblende intercumulus dans le gabbro à hornblende, échantillon GP-2 (figure C). La hornblende cristallise dans les interstices de plagioclase partiellement épidotisé et chloritisé. Largeur du champ 1.7 mm.

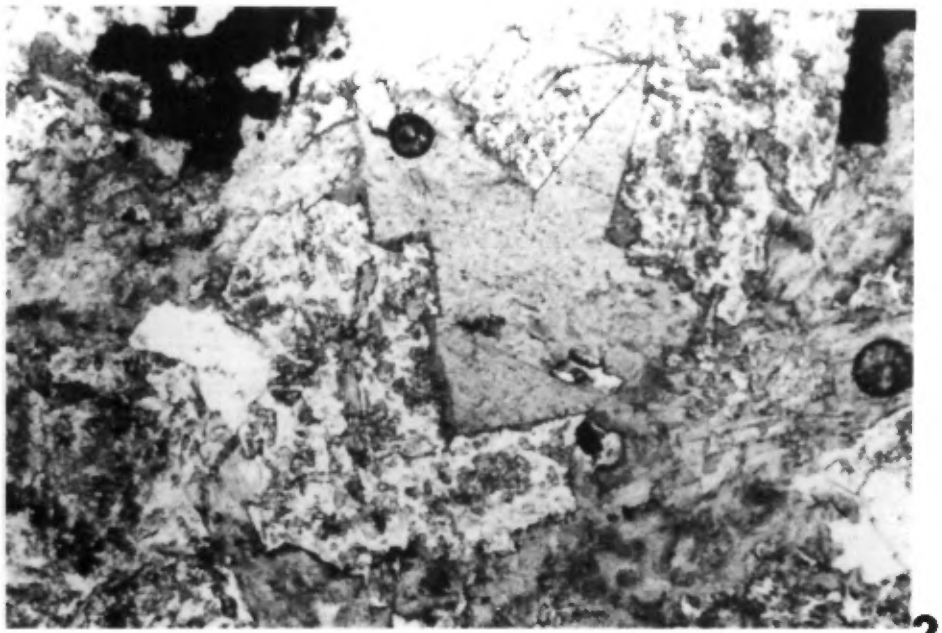
Photo 3 : Texture granophyrique dans la diorite quartzitique, échantillon GP-5D (figure C). La texture résulte de l'intercroissance de quartz et de plagioclase. Largeur du champ 4.2 mm.

Photo 4 : Sphérolite dans la zone granophyrique, échantillon GP-20B (figure C). Arrangement radié de plagioclase avec de fines intercroissances de quartz. Largeur de champ 11 mm.

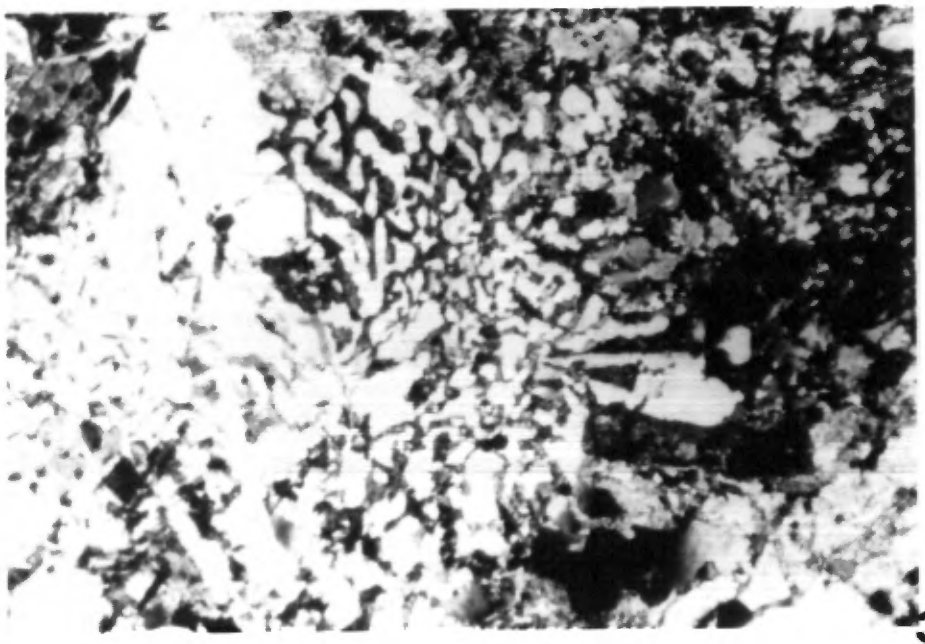
PL 1



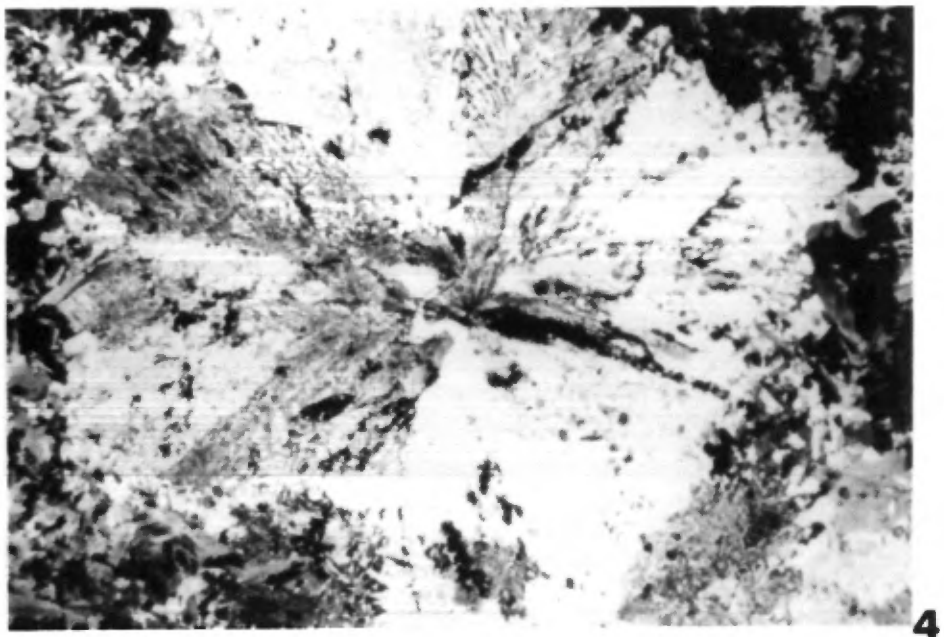
1



2



3



4

PLANCHE 2

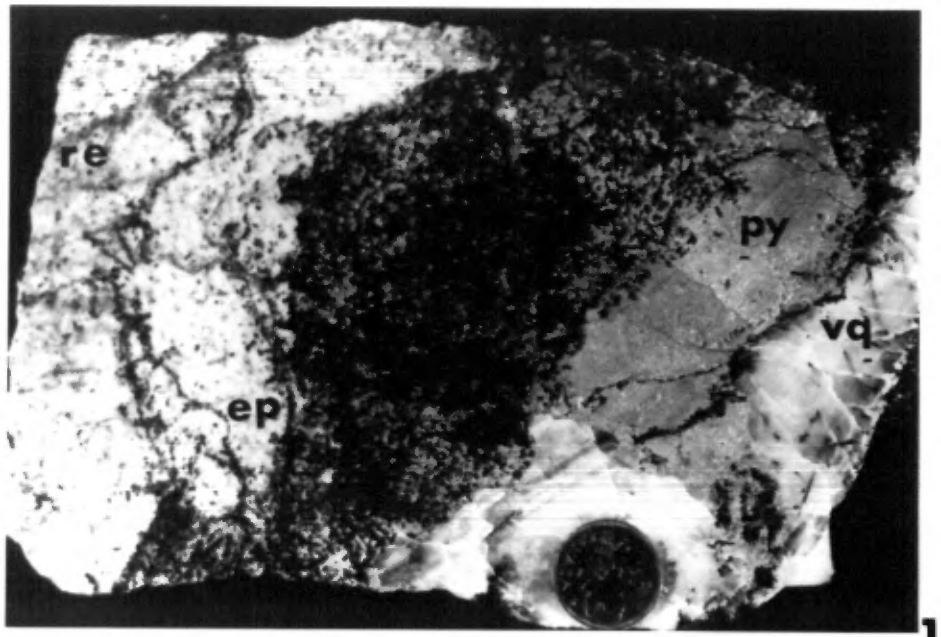
Photo 1 : Echantillon illustrant une veine de quartz (v.q.), une zone riche en pyrite (py) et l'éponte de la veine fortement tourmalinisée (é.p.) près de la roche encaissante (r.e.). La pièce de monnaie donne l'échelle.

Photo 2 : Or (Au) dans une veinule de chalcopyrite (cp) recoupant un cristal d'arsénopyrite (as). Largeur du champ 0.7 mm.

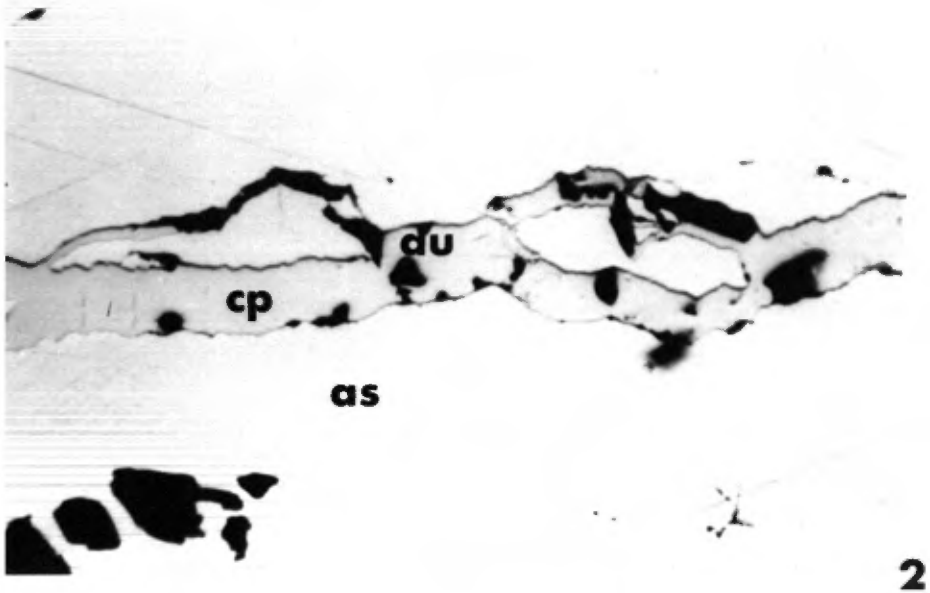
Photo 3 : Cristal d'arsénopyrite (as) contenant de l'or (Au) dans les fissures ou en inclusion dans celui-ci. Largeur du champ 0.7 mm.

Photo 4 : Pyrrhotite (po) largement remplacée par de la pyrite colloforme (col) et des oxydes de fer (ox). Largeur du champ 0.7 mm.

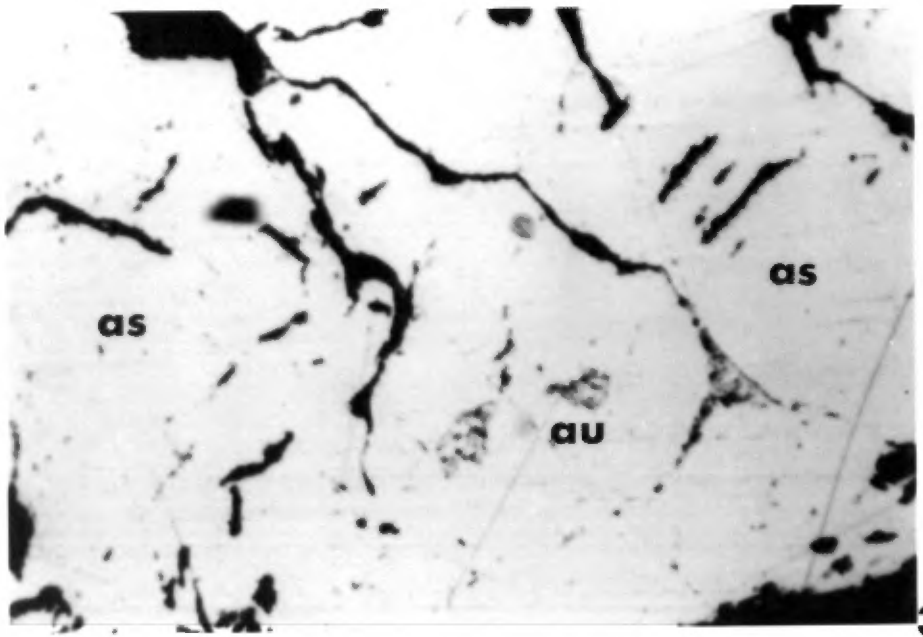
PL 2



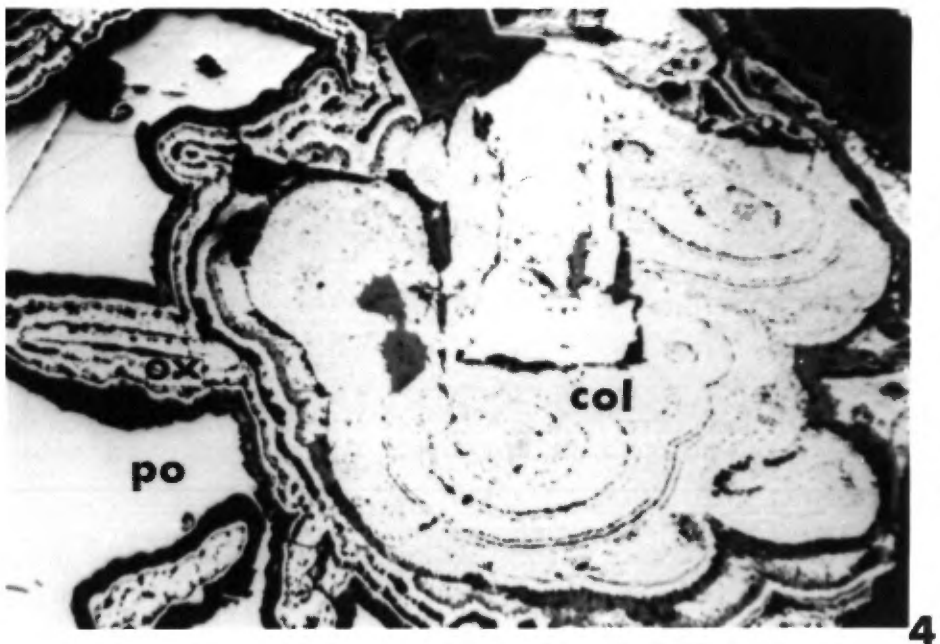
1



2



3



4

TABLEAU 1

Ech.	GP 2	GP2A	GP3	GP5D	GP6A	GP9	GP12	GP15	GP18
SiO2	47.94	46.69	58.31	65.16	70.32	47.49	49.12	47.68	68.09
TiO2	3.81	3.92	1.98	1.01	0.71	2.23	2.53	2.23	0.90
Al2O3	12.46	12.21	12.14	12.20	11.03	14.29	14.99	13.79	12.02
Fe2O3t	20.25	20.74	20.08	14.57	11.21	23.28	23.00	21.88	10.50
MnO	0.25	0.27	0.22	0.20	0.16	0.19	0.22	0.22	0.11
MgO	4.59	4.83	1.61	0.74	0.44	7.01	5.55	5.08	0.71
CaO	6.89	7.47	1.83	1.06	0.75	2.45	0.84	6.73	1.33
Na2O	3.34	3.38	2.71	3.28	4.91	2.76	3.53	1.64	5.54
K2O	0.36	0.37	0.25	1.47	0.38	0.24	0.14	0.55	0.38
P2O5	0.12	0.13	0.86	0.29	0.09	0.06	0.09	0.20	0.41
CO2	0.43	0.12	2.10	1.59	2.17	1.36	3.59	1.05	2.03
P.A.F.	0.35	0.45	3.20	2.85	2.80	4.20	6.55	3.70	2.75

TABLEAU 2

Ech. (ppm)	V	Cr	Co	Mo	Te	Rb	Sr	Ni	Cu	Zn	Pb	As	Ag	Au (ppb)	Zr	Y	Zr/Y
GP 2	368	116	75	L1	L10	3	70	5	398	110	152	820	1	42	39	25	1.56
GP2A	362	19	67	L1	L10	4	72	4	152	128	148	19	L0.5	4	46	25	1.84
GP3	3	129	46	2	L10	2	58	2	83	183	126	88	L0.5	10	107	55	1.95
GP5B	6	147	231	2	127	6	33	17	46	15	96	3000	7	37611	129	60	2.15
GP5D	2	102	20	2	L10	29	47	3	10	68	49	589	1	29	198	78	2.54
GP6A	3	235	18	L1	L10	4	90	6	25	49	44	107	L0.5	41	295	194	1.52
GP9	1027	70	86	2	18	1	43	137	442	160	104	27	L0.5	12	21	17	1.24
GP12	960	57	71	3	L10	1	46	94	153	113	97	10	L0.5	L1	35	20	1.75
GP15	866	58	89	2	13	11	73	45	86	183	126	3	L0.5	L1	33	24	1.38
GP18	7	120	18	2	L10	6	124	6	31	30	51	19	L0.5	2	217	92	2.36

TABLEAU 3

#Ech. (ppm)	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Ho	Tm	Yb	Lu	La/Yb	La/Lu
GP-18	25.3	65.0	44.0	10.3	2.6	2.6	2.3	1.0	10.2	1.5	2.5	16.9
GP-3	10.7	29.0	23.0	7.4	1.7	<1.2	1.7	1.0	6.6	1.1	1.6	9.7
GP-9	2.0	19.0	16.0	1.7	2.0	<1.3	<1	1.0	2.0	1.0	1.0	2.0

T A B L E A U 4

#Ech. (ppm)	V	Cr	Mn	(%)	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Sb	Te	W	Pb	Bi	Au (ppb)	S (%)
GP 4A	3	176	97	16.2	668	54	315	14	U 3000	16	2	8.3	30	L 10	L 10	113	17	9484	18.1
GP 4A DU	2	229	110	16.7	758	58	372	18	U 3000	21	L1	11	16	L 10	L 10	147	10	9048	17.9
GP 6B	3	486	92	33.1	4850	40	260	17	U 3000	10	L1	14	L 5	L 10	L 10	224	L 2	33835	66.7
GP 21	3	436	44	27.4	169	37	326	18	U 3000	11	L1	2.1	L 5	72	24	144	81	8220	65.3
GP 22	2	194	114	38.1	64	39	180	52	U 3000	24	2	L 0.5	L 5	56	L 10	330	40	49	48.9
GP23	3	248	176	29.2	99	40	431	50	598	22	L1	L 0.5	10	24	L 10	176	40	35	48.5