

DV 85-11

LA GEOCHIMIE D'EXPLORATION AU QUEBEC - SEMINAIRE D'INFORMATION 1985 -

Documents complémentaires

Additional Files



Licence



Licence

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

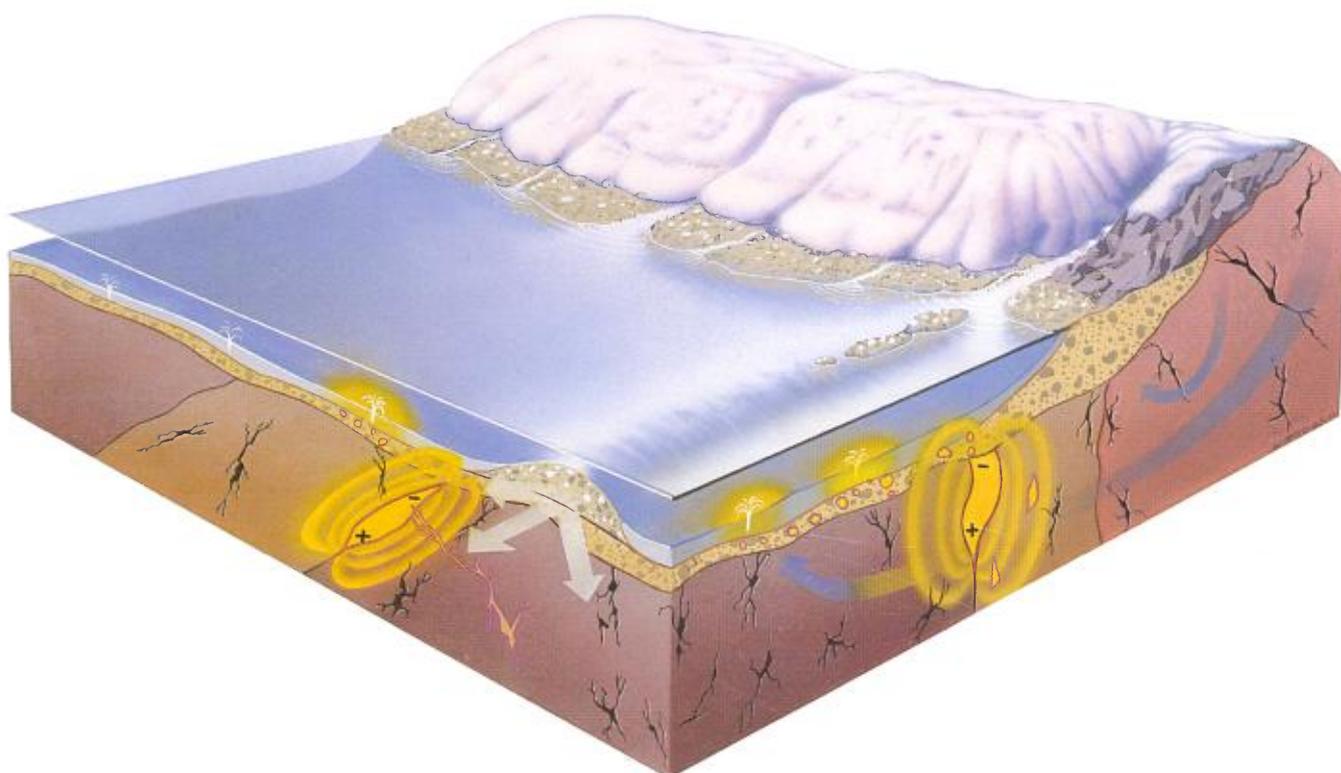
Québec 



Gouvernement du Québec
Ministère de l'Énergie et des Ressources
Direction générale de l'Exploration géologique et minérale

La Géochimie d'exploration au Québec

Séminaire d'information 1985





Gouvernement du Québec
Ministère de l'Énergie et des Ressources
Direction générale de l'Exploration géologique et minérale

La Géochimie d'exploration au Québec

Séminaire d'information 1985

Éditeurs scientifiques

M. Beaumier

J. Choinière

F. Dompierre

Préparé par la Division de l'Édition (Service de la Géoinformation)

AVANT-PROPOS

Les explorateurs miniers utilisent la géochimie de plus en plus dans leurs travaux courants et il devient de plus en plus important qu'ils puissent évaluer avec une certaine finesse l'information géochimique qui leur est transmise sous différentes formes. C'est la raison principale qui a motivé le choix du thème "La géochimie d'exploration au Québec" pour les conférences dans le cadre du séminaire d'information 1985 sur les activités de la Direction générale de l'exploration géologique et minérale.

Vous trouverez dans ce volume résumés et articles d'auteurs provenant de l'industrie minière, des universités et des gouvernements fédéral et provincial. On observe un lien commun qui unit tous les conférenciers, à savoir leur profonde implication dans des travaux concrets reliés à l'exploration géochimique et la passion que tous partagent pour la connaissance et la découverte.

En raison surtout de contraintes de temps, le processus d'édition a consisté en une lecture critique et une mise en forme.

Je remercie ici publiquement tous les auteurs qui ont contribué à la production de ce volume qui deviendra sans doute, au cours des prochaines années, une source majeure de références et d'information.

François Dompierre

Chef du service de la
Géochimie et de la Géophysique



Table des matières

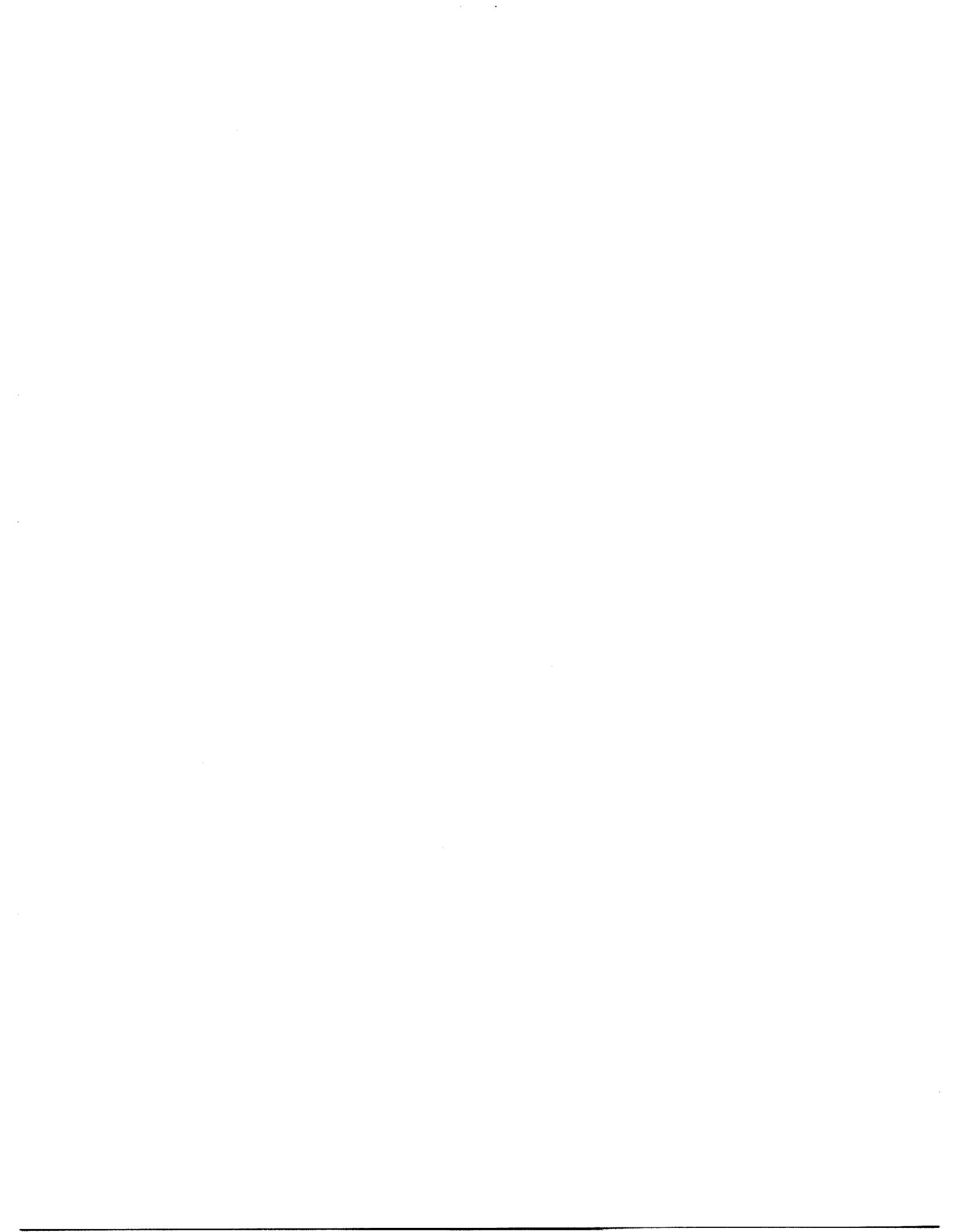
	Pages
AVANT-PROPOS	iii
 PARTIE A – INVENTAIRE GÉOCHIMIQUE DE L'ENVIRONNEMENT SECONDAIRE	
La géochimie en milieu glaciaire – mythes et réalités J.-P. Lalonde, MER	3
L'analyse de l'humus comme méthode d'évaluation du potentiel minéral des grands axes con- ducteurs INPUT dans la région de Chibougamau P. Trudel et M.A. Cloutier, Ecole Polytechnique	13
Apport de l'étude du sol et de la matière organique à la géochimie d'exploration P. LaSalle, MER et C.R. de Kimpe, Agriculture Canada	25
Technique de forage dans les sédiments meubles et applications à l'exploration Y. Harvey, P. Giroux, Groupe Conseil Roche Limitée	45
Geochemical Studies of Appalachian Tills of Southeastern Quebec W.W. Shilts, CGC	47
 PARTIE B – EXPLORATION LITHOGÉOCHIMIQUE	
Prospection pour l'or par la mesure des distributions or, région de Noranda – Val-d'Or, Québec G. Perrault, Ecole Polytechnique	51
Stratigraphie et géochimie des roches volcaniques du groupe de Blake River à l'ouest de Rouyn- Noranda P. Verpaelst, UQAT – A. Simard, MER – P. Gagné, R. Gaulin et J.-P. Lebel, CRAT ..	67
Soil surveys for Quebec ? Learning from others S.J. Hoffman, BP Selco	73
 PARTIE C – UTILISATION DE LA GÉOCHIMIE EN EXPLORATION MINIÈRE	
Traitement de données géochimiques de sols du MER G. Fréchette, Université Laval	85
Carte de compilation et d'interprétation en géochimie d'exploration M. Pelletier, Geokemex Enr	105
Till sampling in the Casa-Berardi Area, Quebec : A case History in Orientation and Discovery J.A. Sauerbrei, E.F. Pattison et S.A. Averill, Compagnie de Nickel du Canada	115
Lithogéochimie du sill de Bourbeau au voisinage de la mine d'or Cooke, Chapais, Québec M. Boisvert et M. Drouin, Corporation Falconbridge Copper	117
Cas types de découvertes par erratiques minéralisés E. Gaucher, E. Gaucher & Ass.	125

PARTIE D – AIDE TECHNIQUE À LA RECHERCHE GÉOCHIMIQUE

Informatique en analyse géochimique	
J. Guimont, CRM	137
Interprétation sommaire des résultats d'un levé géochimique de minéraux lourds en Estrie, Québec	
Y.T. Maurice, CGC	141
Procédure d'échantillonnage des minéraux lourds alluvionnaires au moyen de concentrateurs mécaniques	
Y.T. Maurice, CGC – M. Mercier, Georex	151
L'analyse de l'or en prospection géochimique : problèmes, solutions et exemples	
C. Massie et J.P. Saheur, Chimitec	159

PARTIE A

**INVENTAIRE GÉOCHIMIQUE DE
L'ENVIRONNEMENT SECONDAIRE**



La géochimie en milieu glaciaire - mythes et réalités

J.-P. Lalonde⁽¹⁾

1. Ministère de l'Énergie et des Ressources.

Résumé

Depuis 15 ans, le ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec a accumulé une base importante de données géochimiques dans le milieu glaciaire du Nord-Ouest québécois. L'étude comparative de ces données a permis de prendre conscience que plusieurs des idées véhiculées sur la géochimie d'exploration en milieu dépaïs recouvrement ne reflètent pas les faits ou sont trop limitatives.

Nos modèles et concepts doivent donc être réajustés pour englober les nouvelles observations. Ces modèles et concepts touchent différents aspects de la géochimie tels que : le but, les éléments dosés, la phase analysée, les environnements, la relativité des données, le traitement des données et l'interprétation. Ils permettront de faciliter l'utilisation de la dimension géochimique dans la prospection en surface pour des gîtes cachés et recouverts en milieu d'épais recouvrement glaciaire.

Introduction

De nombreux mythes, c'est-à-dire, des concepts déformés ou partiels circulent sur la géochimie d'exploration et particulièrement en milieu glaciaire. Ces mythes qui touchent différents niveaux ont eu pour effet global de restreindre l'intégration de la dimension géochimique à l'exploration de milieux recouverts de sédiments glaciaires.

Depuis 15 ans, le ministère de l'Énergie et des Ressources a fait plusieurs essais géochimiques en milieu d'épais recouvrement glaciaire. L'étude comparative des données de ces levés a permis de prendre conscience que plusieurs idées du milieu sur la géochimie ne coïncidaient pas avec les observations découlant de nos travaux.

Le but de ce papier est donc de favoriser un réajustement des idées en :

1. identifiant certains mythes
2. et suggérant d'autres modèles ou concepts

Ce papier n'a pas la prétention d'être exhaustif car il existe, selon l'auteur, plusieurs autres mythes qui mériteraient d'être clarifiés. Il est espéré cependant que l'explorateur à l'aide des quelques classifications ci-incluses pourra faire un meilleur usage de l'approche géochimique en milieu d'épais recouvrement glaciaire.

Aperçu général

Les premiers levés géochimiques effectués au Québec datent du début des années 1950. A cette époque, Riddell (1952a et b) effectua quelques essais surtout en Gaspésie. Par contre, on a oublié que des essais géochimiques très prometteurs furent aussi effectués en Abitibi vers la même période. C'est ainsi que Bischoff (1954), après plusieurs essais sur des zones minéralisées connues (Joliet, West McDonald, Lyndhurst, Orchan, Opémiska)⁽²⁾, conclut que la géochimie des sols peut donner des résultats favorables même lorsque l'épaisseur de l'argile atteint 15 m. Selon lui, il semblait aussi y avoir une relation entre la granulométrie du mort terrain sur lequel se développe un sol et les contrastes observés. Plus le matériel était fin (silt et argile), meilleure semblait la réponse. A la même époque, Ermengen (1957a et b) travaillait sur les sols de Chibougamau. Il observa que l'approche géochimique se prêtait à cet environnement glaciaire et que le meilleur horizon pédologique à échantillonner était l'humus.

Malgré ces départs encourageants, il s'est développé une attitude négative face à la géochimie en milieu Archéen. Quelques-unes des idées qui ont contribué à alimenter cet esprit négatif sont présentées ci-contre :

- a) Une réponse géochimique différente : les résultats obtenus en milieu précambrien ont été comparés aux données provenant de la région des Appalaches. Vu que les teneurs géochimiques anormales sont généralement moins intenses dans le Nord-Ouest québécois et que les patrons de distribution sont moins accentués, on a l'impression que les résultats sont moins significatifs.
- b) Le déplacement des zones anormales : l'idée véhiculée est que le glacier continental a déplacé les anomalies géochimiques. Celles-ci sont maintenant éloignées de leur source et nous n'avons pas les moyens d'en retracer économiquement l'origine.
- c) L'imperméabilité des sédiments glacio-lacustres : les milieux recouverts de sédiments glacio-lacustres sont totalement impropres à une approche géochimique de surface peu coûteuse car le mort terrain est trop épais et l'argile est une barrière imperméable pour la migration de l'eau et la diffusion des éléments.
- d) L'analyse du minimum de variables : vu que la géochimie est complexe et coûteuse, il faut garder le nombre d'éléments analysés au minimum. Donc, on

2. Localisations obtenues de l'auteur en 1984.

analyse surtout pour l'élément que l'on cherche et parfois on en ajoute quelques autres par curiosité.

- e) L'absence de mines attribuables à des succès géochimiques : la géochimie n'a pas encore donné de mines au Québec. Ceci est la preuve de l'inefficacité de l'approche.
- f) Un outil de rétrospective : Il ne faut pas miser sur une anomalie qui n'est pas appuyée par soit une anomalie géophysique ou une minéralisation connue car les données géochimiques ont une valeur douteuse. En fait, la géochimie n'est bonne que pour retrouver des gîtes connus.

Pour faire une utilisation efficace de la géochimie d'exploration, il faut être conscient des différents niveaux inhérents à la méthode. En fait, ces différents niveaux qui sont tous aussi importants les uns que les autres peuvent être comparés aux chaînons d'une chaîne ou encore à un système organique dont le fonctionnement de chacun des organes est interrelié. Quelques-uns de ces chaînons sont : la définition du but et de l'objectif, le choix du matériel à prélever, la densité de l'échantillonnage, la préparation des échantillons, le choix des paramètres à mesurer, la phase à analyser, la vérification des données, le traitement des données, leur présentation, leur interprétation et finalement la définition d'objectifs de poursuite des travaux.

Pour faciliter la compréhension, on pourrait aussi comparer le système géochimique à un microscope minéralogique. Chacune des fonctions de ce microscope a son équivalence dans la chaîne ou le système géochimique (figure 1) et des mythes touchent chacune des fonctions.

Dans les pages qui suivent, quelques-uns de ces mythes seront examinés. Il est cependant important de noter encore une fois que notre but n'est pas d'être exhaustif et de faire de longues démonstrations scientifiques. Il est plutôt de fournir quelques éléments qui permettent au lecteur d'amorcer un processus de réflexion. Donc, dans cette perspective, nous nous bornerons à un ou deux mythes par chaînon ou fonction et nous essayerons en quelques lignes de brosser une image qui soit une meilleure approximation des faits.

La base – le concept qui oriente les percepts

“La géochimie est une méthode marginale ou secondaire car elle n'a pas donné de mines au Québec”.

Combien de fois a-t-on entendu cette idée ? Bien qu'il soit vrai qu'il n'existe pas encore de mines québécoises dont la découverte est attribuable principalement à la géochimie de l'environnement secondaire, il y a eu cependant de nombreux succès techniques. Malheureusement, quelques-uns seulement ont été documentés et publiés. La propagation du mythe de l'insuccès découle

donc surtout d'un manque d'information sur la nature et les buts de la géochimie d'exploration.

Le but premier de l'explorateur est de trouver un gisement ; son second sera de le cerner et d'en faire une mine rentable. Il est évident que l'atteinte de son 2^o but requière une étude géochimique tridimensionnelle de son gisement. Cependant, la géochimie d'exploration comprend aussi une gamme d'outils qui peuvent l'aider à atteindre d'abord son premier but. Le premier grand objectif visé dans le cadre de ce premier but est de déceler une ou des zones à teneurs élevées en certains éléments. Ces zones communément appelées anomalies peuvent, lorsqu'elles sont significatives, indiquer localement la présence de concentrations d'éléments et de minéraux économiques. Le deuxième grand objectif est de localiser et définir la source à l'aide d'études géochimiques plus détaillées ou d'autres méthodes. Ces études dites tactiques (follow-up) doivent être élaborées en fonction d'objectifs secondaires clairement définis. Donc, le but premier de la géochimie d'exploration n'est pas de “faire une mine” mais plutôt de déceler des concentrations de certains éléments et minéraux. Vue de cet optique, la géochimie d'exploration a eu de nombreux succès techniques.

Il existe un troisième but qui est souvent oublié ou confondu avec le premier. Cet autre but est d'obtenir des données qui permettent d'augmenter la connaissance sur des contextes géologiques et métallogéniques. Pour y arriver, il faut souvent focaliser le microscope sur des variations plus subtiles dans l'environnement géochimique.

Si l'on considère les probabilités, il est compréhensible qu'aucune mine québécoise ne soit encore attribuable à une découverte géochimique. Les probabilités de découverte avec une technique dépendent à la fois du taux et de l'efficacité de son utilisation. Au début des années 70, les travaux d'exploration de nature géochimique représentaient moins de 2% des travaux statutaires soumis à Québec. En 1980, ce pourcentage était passé à 3,5% et en 1984 à environ 10%. Avec un taux d'utilisation de 2% et un rythme moyen d'ouverture de deux mines par année, les chances sont que l'on peut obtenir au mieux une mine à tous les 25 ans. Par contre, cette prédiction est conditionnelle à ce que l'on accorde à la géochimie, le crédit qui lui serait dû.

Dans les 5 dernières années, il y a eu au moins 5 succès techniques sur lesquels nous avons un peu d'information. Ces succès sont reliés aux travaux de l'I.O.C. aux lac Brisson (Zajac et al, 1984), de Inco dans Casa Berardi (Sauerbrei, J.A. et al, 1985) et ceux du ministère sur les cibles de Fabiola (Leduc, M., 1981) et de Palmarolle (Beaumier, M., en préparation) en Abitibi et de la cible de Reboul en Gaspésie (Goyer, M., en préparation). Considérant que le taux d'utilisation des techniques géochimiques s'est accru ces dernières années, la première mine attribuable à un indice géochimique ne devrait pas tarder.

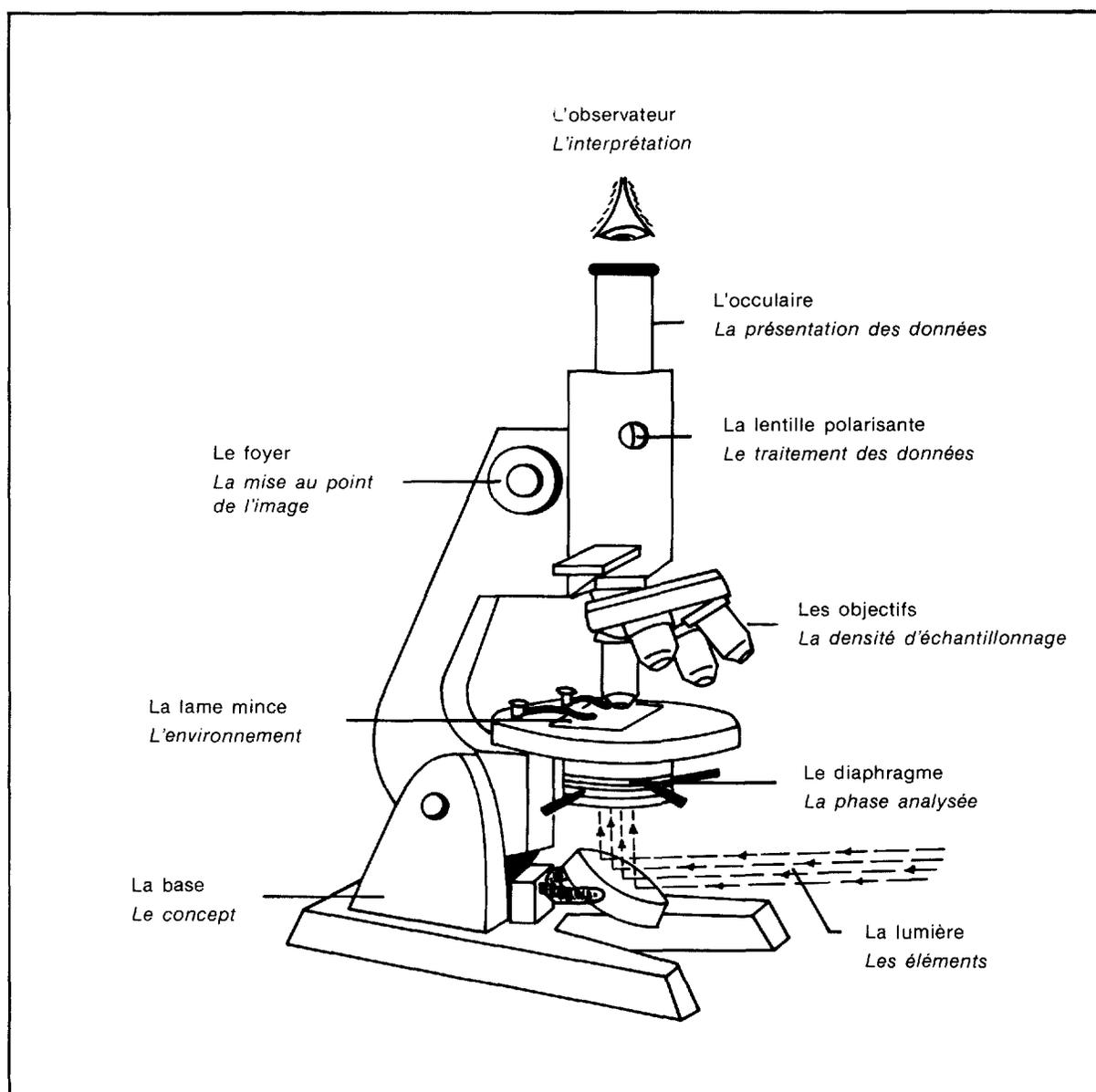


FIGURE 1 - Comparaison entre certaines parties d'un microscope minéralogique et certains chaînons importants de la géochimie d'exploration.

La lumière – les éléments

“Il suffit d’analyser les échantillons pour l’élément recherché ; tout autre élément qui augmente les coûts est du superflu”.

Un gisement contient des teneurs d’intérêt économique en un ou plusieurs éléments. Par contre, la littérature géologique et géochimique abonde d’exemples indiquant qu’avec le ou les élément(s) d’intérêt il y a presque toujours une gamme d’autres éléments qui ont été mobilisés dans l’environnement métallogénique. A titre d’exemple, citons l’étude de Pirie et Nichol (1981) sur le gisement de Norbec (figure 2). Ces autres éléments ont été soit concentrés ou lessivés par rapport aux roches hôtes ou environnantes. L’interaction de l’ensemble des patrons de distribution pour ces éléments définit dans l’environnement primaire des zones d’activité géochimique de nature propre à chaque gisement.

Il est évident que la caractérisation des zones d’activité dépend de la série d’éléments indicateurs que l’on analyse, car on ne peut voir ce que l’on n’éclaire pas. Ainsi, lorsqu’on analyse 1 ou 2 éléments, on limite sérieusement le cadre d’interprétation. A titre d’exemple, imaginons le handicap de celui qui étudierait les roches d’une grande région à partir d’analyses exclusivement pour le sodium. Il est évident que son interprétation serait beaucoup plus riche et nuancée s’il avait des recoupements de données lui permettant d’émettre et de vérifier ses hypothèses d’interprétation.

Les éléments ont différentes mobilités dans l’environnement primaire ; ceux qui sont immobiles sont considérés comme proximaux, ceux qui sont mobiles peuvent être distaux. En s’approchant d’une zone d’activité géochimique, les premiers signaux seront, selon les probabilités, en des éléments mobiles (distaux). A mesure que l’on s’approche du centre d’activité, des éléments de moins en moins mobiles (proximaux) apparaissent. Près du centre, on observe le maximum de teneurs élevées en éléments à la fois proximaux et distaux, mais pas nécessairement en tous les éléments qui ont des teneurs élevées car il peut y avoir des zonations.

Dans l’environnement secondaire, on observe le même phénomène. Donc, pour augmenter la fiabilité et la précision de l’interprétation, il faut d’abord faire de la lumière sur l’environnement, c’est-à-dire, obtenir des données. En mettant plus de lumière, certaines zones demeurent sombres et d’autres s’illuminent d’une activité intense. On peut alors étudier l’intensité, la forme, la texture, la symétrie et la variabilité de ces zones de lumière tout en tenant compte de leur environnement. Ainsi, on soutire les informations permettant de formuler et vérifier les hypothèses qui serviront de base pour la prochaine phase de travaux.

Le diaphragme – la phase analysée

“Une analyse c’est une analyse ; il suffit d’envoyer les échantillons non préparés au laboratoire avec la commande d’éléments et de travailler ensuite avec les chiffres fournis”.

Les laboratoires commerciaux peuvent vous confirmer que cet énoncé reflète trop souvent la réalité. On veut une teneur sans se demander ce qu’elle représente. De là découlent plusieurs difficultés d’interprétation.

Le diaphragme du microscope permet de contrôler l’intensité de la lumière incidente. En variant l’intensité, on accentue ou adoucit certains traits. En utilisant certaines méthodes de préparation, d’attaque et d’analyse, il est possible de faire le point sur certaines composantes physiques ou chimiques des patrons de distribution ou de faire des compromis. A titre d’exemple, l’analyse de la fraction fine du till augmente la probabilité d’observer des patrons d’origine hydrogéochimique ; l’analyse de la fraction grossière, par contre, permet d’évaluer la composante détritique. Une attaque faible ou partielle, permet d’observer davantage des patrons hydrogéochimiques ; une attaque forte définit des patrons résultant des deux. Dernièrement, une analyse de nature destructive (ex. : par absorption atomique ou émission au plasma) permet d’avoir une attaque partielle, tandis qu’une analyse de nature non destructive (ex. : la fluorescence X ou l’activation neutronique) donne une analyse totale.

Deux laboratoires peuvent avoir des méthodes très similaires. Par contre, si la force de l’acide, le temps de digestion, la température de réaction, etc. ne sont pas exactement les mêmes, il va y avoir des écarts entre leurs résultats. Ces écarts peuvent être soit généralisés, soit spécifiques à certains types d’échantillons.

La préparation de l’échantillon, l’attaque, la méthode de dosage et le laboratoire sont donc des paramètres très importants. Il aurait été difficile au ministère de faire des observations nouvelles et générales sur l’environnement du Nord-Ouest québécois, s’il n’y avait pas eu de constance dans nos données. Les méthodes de préparation, d’attaque et de dosage étaient les mêmes d’une année à l’autre car nous utilisons le même laboratoire. Ainsi, les données pour certains éléments dans les tills, sols et sédiments étaient comparables d’une année à l’autre et d’une région à l’autre.

La lame mince – l’environnement étudié

“La géochimie fonctionne bien dans les Appalaches mais dans le Nord-Ouest québécois elle est peu utile”.

L’idée que la géochimie est inappropriée à l’environnement du Nord-Ouest québécois découle de trois concepts qui furent popularisés et généralement acceptés. Ces trois concepts sont :

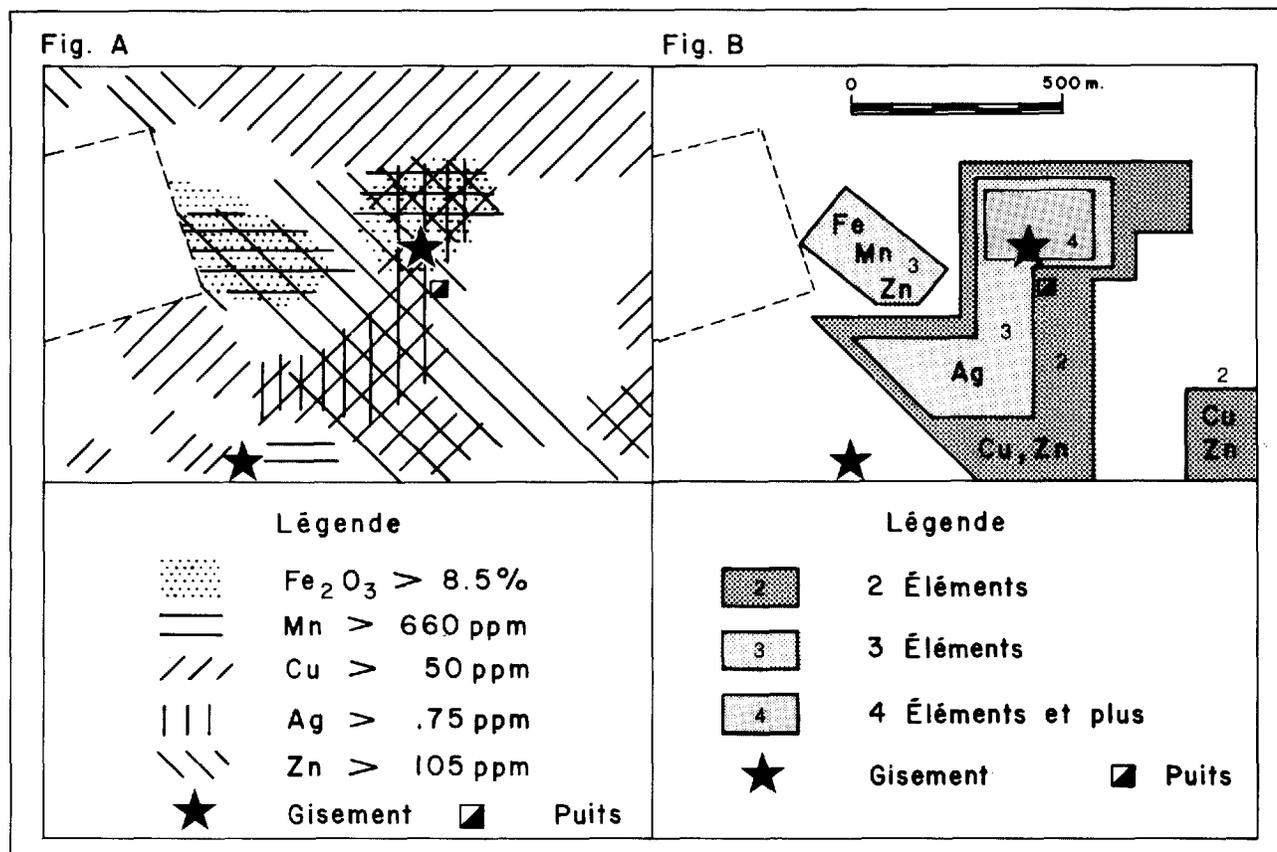


FIGURE 2 - Zone d'activité géochimique en Cu, Zn, Ag, Fe et Mn décelée dans les brèches rhyolitiques contenant le gisement Norbec.

A - Superposition des patrons de teneurs élevées.

B - Zone d'activité définie par la superposition de teneurs élevées en au moins deux éléments.

(Modifié à partir de Pirie et Nichol, 1981).

- a) l'importance du déplacement glaciaire
- b) l'imperméabilité des argiles glacio-lacustres.
- c) l'épaisseur des sédiments glaciaires

De ces trois concepts, les deux premiers requièrent d'importantes mises au point.

Bien que les glaciers ont transporté du matériel sur de grandes distances, il faut comprendre que la géochimie d'exploration travaille avec des distances apparentes de transport et non les distances réelles. Ainsi, la distance apparente de transport est celle qui est décelable géochimiquement. Dans le till de base, cette distance en général serait de l'ordre de 1 à 1,5 km pour un gisement de quelques millions de tonnes (Lalonde et LaSalle, 1982 ; Dila-bio, 1981, Dreimanis, 1960). Bien que nous croyons que cette distance est une bonne approximation de la moyenne, il peut y avoir des exceptions pour plusieurs raisons qui favoriseraient ou atténueraient l'importance de la dispersion.

Dans les eaux souterraines, cette distance apparente de transport excède rarement 1 à 1,5 km (Lalonde, 1983). Conséquemment, les patrons géochimiques multi-éléments de nature détritique ou chimique ont peu de chances de persister en tant que dispersion individuelle bien contrastée dans le till, l'eau souterraine ou les sols à de grandes distances de sources ponctuelles. Cependant, à l'échelle régionale, il est possible de déceler des contextes favorables. Ces constatations ont aussi d'importantes implications pour les levés détaillés.

Les résultats des travaux effectués durant les 15 dernières années par le ministère de l'Énergie et des Ressources en Abitibi confirment que les méthodes basées sur un échantillonnage en profondeur (till et eaux souterraines) fonctionnent bien pour déceler des contextes favorables pour l'exploration en milieu d'épais recouvrement (Lalonde et LaSalle, 1982 ; Lalonde et al, 1980 et 1983). L'étude comparative des résultats de levés de sols (humus) avec ceux des tills et des eaux fait ressortir que l'humus qui s'accumule au-dessus des sédiments glacio-lacustres permet de déceler les patrons régionaux comparables dans 70% à 90% des cas (Lalonde et Beaumier, 1984). Cette découverte s'accompagne de l'observation que l'argile glacio-lacustre contient elle aussi des variations géochimiques significatives.

Ces constatations nous amènent à remettre en question le modèle d'imperméabilité des argiles et à chercher certains mécanismes qui permettraient d'expliquer les faits observés. Ainsi, il serait peut-être nécessaire de considérer l'argile comme semi-perméable plutôt qu'imperméable. En plus, il faudrait évaluer l'importance de mécanismes syn-dépositionnels de nature chimique car l'environnement naturel est un milieu dynamique et les ions n'ont certainement pas attendu la fin de la sédimentation pour commencer à se disperser.

Le foyer – mise au point selon l'objectif visé

“Les données géochimiques sont moins intéressantes ou significatives dans le Nord-Ouest car les teneurs sont généralement moins élevées que dans les Appalaches”.

Pour des raisons pratiques, l'image qu'on se fait de la géochimie d'un élément tend à être statique. On se fait une idée de ce qu'est une teneur intéressante en un certain élément et on utilise ce barème dans différentes régions sans le remettre en question. Bien que cette approche permette d'évaluer rapidement un bloc de données, elle peut aussi nous induire facilement en erreur.

L'étude des différentes données géochimiques du Nord-Ouest a permis de prendre conscience qu'il faut une approche dynamique et non statique. L'intensité des données géochimiques significatives varie d'une région à l'autre ainsi qu'à l'intérieur d'une même région. Il est donc important “d'ajuster le foyer” lorsqu'on change de région et de sous-région ou encore lorsqu'on veut déceler des phénomènes géologiques plutôt que des cibles d'exploration. Ainsi dans certaines régions, un contraste géochimique (anomalie vs fond) de 500% est peut-être requis pour que l'on considère un patron comme significatif. Dans d'autres régions, un contraste de 50% peut être encore plus significatif.

Le seuil géochimique, peu importe son mode de définition, varie d'une région à l'autre selon l'étendue de la région couverte, sa géologie, son relief, etc. De la même façon, les critères qui permettent de déceler les zones d'activité vont aussi varier selon l'objectif visé. Donc, toute carte géochimique, sauf celle des données réelles, doit être considérée comme une “présentation” parmi toute une “gamme” de présentations possibles.

A titre d'exemple, prenons les courbes de distribution des métaux traces dans l'argile glacio-lacustre. Habituellement, les courbes de distribution sont normales ou log-normales. Dans l'argile, les courbes ont une forme “anti-log-normale” (figure 3), c'est-à-dire que leur assymétrie est négative (Lalonde et LaSalle, 1982). Les méthodes conventionnelles de définition du seuil (moyenne plus 2 ou 3 écarts-types, 3 fois la moyenne, etc.) sont donc inappropriées et on a l'impression qu'il y a très peu ou pas de teneurs anormales. Bien que le contraste entre le bruit de fond et les teneurs des derniers percentiles soit atténué, ces dernières teneurs se regroupent en zones d'activité significatives pour l'exploration. C'est alors que la notion d'ajuster le foyer prend toute son importance.

Le polariseur – le traitement de l'information

“La définition des anomalies géochimiques requiert au préalable des traitements statistiques élaborés qui vont permettre de mieux définir les associations et de corriger les données”.

Le but premier de la géochimie d'exploration n'est pas de définir les liens entre différents paramètres physico-chimiques. Le but premier est de définir des environnements et sous-environnements où il y a des liens ou comportements différents d'éléments. Ces environnements se définissent en tenant compte des trois dimensions suivantes : les variations dans l'intensité des teneurs, le regroupement des teneurs dans des patrons d'intérêt et le regroupement des patrons dans des zones d'activité géochimique locales et régionales.

Les résultats des travaux effectués depuis plusieurs années ont permis aussi de réaliser que le terme anomalie qui est employé couramment est imprécis. Il confond des concepts touchant les trois niveaux précités et conséquemment il tend à embrouiller les idées.

Le premier niveau, celui qui est le mieux connu et le plus utilisé, est l'intensité. Une teneur qui excède un certain seuil subjectif ou objectif peut être qualifiée de teneur anormale. Les termes de zone de teneurs anormales ou zone anormale peuvent aussi servir à décrire des regroupements de teneurs élevées ou faibles le long de coupes.

Dès que des teneurs anormales sont regroupées dans l'espace, on définit alors un ou des patrons géochimiques. Il est alors important d'étudier et de décrire ces patrons en fonction de leurs dimensions X, Y et Z, de leur symétrie, de leur texture, etc.

Le troisième niveau comprend le regroupement des patrons de teneurs anormales de plusieurs éléments dans des zones d'activité géochimique (figure 4). Ces zones sont l'extension des zones d'activité de l'environnement primaire (figure 2) dans l'environnement secondaire. Des informations très importantes peuvent aussi être obtenues de l'étude et de la description de ce qui est perçu à ce niveau.

Les informations recueillies sur les trois dimensions permettront alors d'émettre et vérifier la probabilité de certaines hypothèses concernant la nature de la source, son contexte, son importance, sa localisation, les possibilités de contamination, l'importance des différents modes de transport géochimique, etc. Cette dernière étape, pour être efficace, requiert une approche rigoureuse et méthodique tel que proposé par certaines méthodes d'analyse de problème. Une telle approche est la méthode Kepner-Tregoe (1978) qui fut élaborée au début des années 1960. Cette méthode, avec quelques modifications pour l'adapter aux problèmes d'exploration, peut être d'une grande utilité à l'explorateur qui cherche à soutirer un maximum d'informations de ses données.

L'oculaire – l'observateur

“Considérant les nombreuses variables en jeu, il est presque impossible pour un observateur sans expérience d'utiliser la géochimie avec confiance et succès”.

La complexité de la géochimie d'exploration en milieu glaciaire a souvent été amplifiée et plusieurs n'osent pas se servir de cette approche de peur de ne pouvoir interpréter les données. D'autres, qui l'utilisent, s'en servent uniquement pour appuyer leurs données géophysiques ou géologiques. Un troisième groupe s'en sert mais avec un ou deux éléments et éprouve alors de la difficulté à discriminer les patrons significatifs des non-significatifs.

Bien qu'il soit vrai que le domaine de la géochimie de l'environnement soit un domaine très complexe dans lequel les progrès sont lents et pénibles, la géochimie d'exploration par contre peut être beaucoup plus simple. L'objectif de cette dernière n'est pas de définir et d'étudier les mécanismes chimiques qui relient les différents paramètres. Il est, comme décrit précédemment, de définir des environnements et sous-environnements pouvant contenir des gîtes minéraux.

Dans cette optique, il faut donc avoir une approche à la fois “globaliste” et scientifique. L'approche ‘globaliste’ signifie que l'on regarde l'environnement non pas avec une approche déterministe unidirectionnelle mais plutôt tel qu'il est c'est-à-dire un système multidimensionnel dans lequel toutes les variables sont interdépendantes. Ainsi, on le décrit d'abord dans ses différentes dimensions physiques et chimiques, on cherche à en soutirer le maximum d'information pour répondre aux questions : quoi, où, combien, comment ... L'approche scientifique signifie qu'à partir des faits observés, on émet des hypothèses que l'on classe par ordre de probabilité et de simplicité. A titre d'exemple, considérons l'hypothèse que le centre d'une zone d'activité soit déplacé par rapport à sa source. S'il n'y a pas d'information indiquant que ceci peut être le cas, on doit alors, selon la méthode scientifique, prendre l'hypothèse de travail la plus simple, c'est-à-dire, présumer au départ qu'il n'y a pas ou peu de déplacement.

Donc, pour utiliser la géochimie avec succès en exploration, il faut d'abord une approche globaliste, méthodique et logique. Il faut aussi que l'utilisateur sache d'abord ce que ses données représentent et qu'il leur accorde ensuite sa confiance. Mais avant tout, il faut qu'il soit convaincu que la majorité des patrons et zones d'activité qu'il observe dans l'environnement secondaire sont, à moins de preuve contraire, le reflet d'une réalité dans l'environnement géologique.

Conclusion

Il existe de nombreux mythes à propos de la géochimie d'exploration en milieu glaciaire. Les résultats de travaux divers effectués par le ministère de l'Energie et des Ressources dans les 15 dernières années, ont permis de déceler certains de ces mythes et de proposer de nouvelles façons de voir qui faciliteraient l'utilisation des techniques géochimiques.

Quelques-unes de ces façons de voir sont les suivantes :

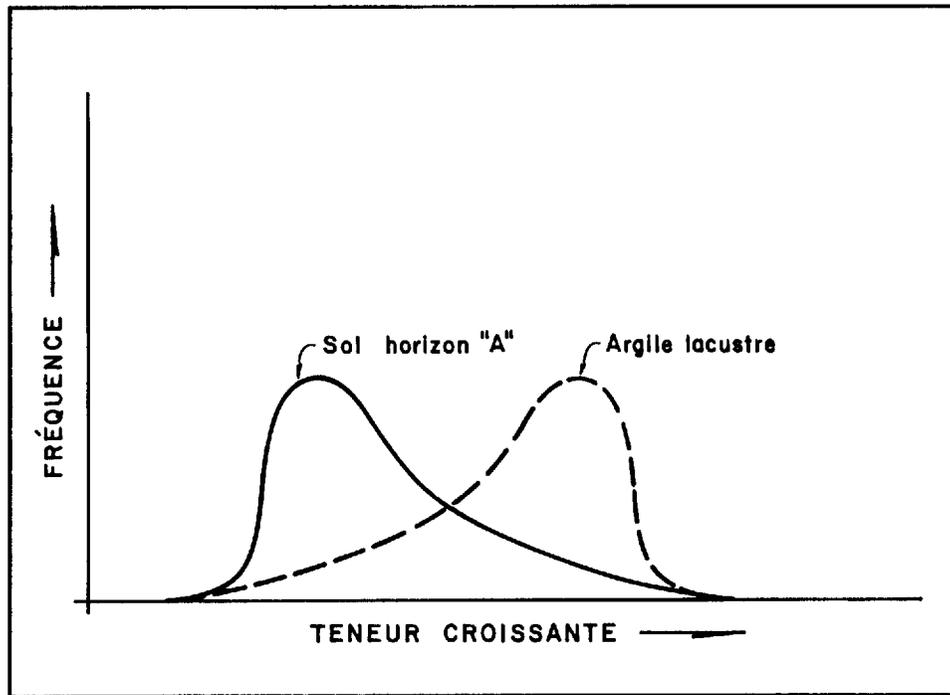


FIGURE 3 - Histogramme-type des teneurs des métaux traces dans l'argile glacio-lacustre et l'horizon organique des sols (humus).

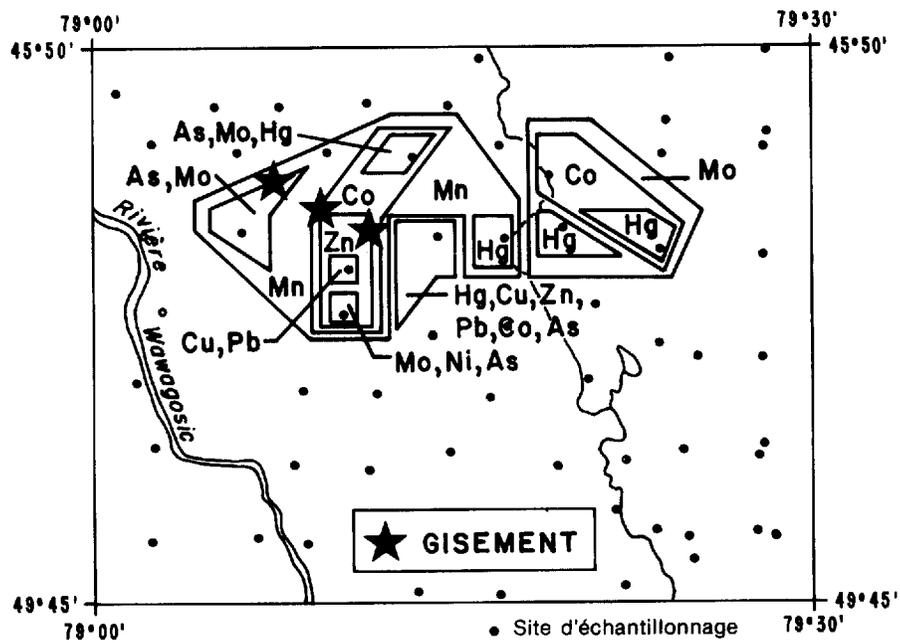


FIGURE 4 - Zone d'activité géochimique décelée dans l'humus à proximité des gisements de Selbaie dans le canton de Brouillon (tiré de Beaumier, M., 1983).

1. Bien que la géochimie n'a pas encore donné de nouvelles mines au Québec, il y a eu plusieurs succès techniques. Le fait qu'aucune mine ne soit présentement attribuable aux techniques géochimiques dans une première approche est relié davantage à un faible niveau de confiance et d'utilisation qu'à leur efficacité.
2. Pour faire une interprétation fiable et précise, il faut des données. Il est donc essentiel d'avoir plusieurs éléments indicateurs pour déceler les zones d'activité géochimique reliées aux environnements métallogéniques.
3. Pour faire une interprétation fiable, il faut aussi connaître ce qui a été échantillonné, et ce qui a été analysé.
4. L'environnement abitibien qui est recouvert de sédiments glaciaires et glacio-lacustres se prête à plusieurs techniques géochimiques. Le problème de transport est beaucoup moins important qu'on ne le croyait car on ne mesure pas des distances réelles de transport mais plutôt des distances apparentes qui sont beaucoup plus courtes.
5. Bien qu'une approche statique soit plus simple, et fait appel à moins de connaissance et d'expérience, l'interprétation des données géochimiques requiert une approche dynamique qui permet à l'utilisateur de tenir compte de la relativité des données d'un environnement à l'autre et d'un objectif à l'autre.
6. Le terme anomalie est une source de confusion en géochimie. Il ne permet pas de différencier les trois niveaux importants qui sont l'intensité des teneurs, l'étendue et la forme des patrons et l'activité géochimique. Le but de la géochimie d'exploration n'est pas d'étudier les liens entre différents paramètres mais il est d'abord de définir et de décrire des environnements et sous-environnements pour arriver à choisir les plus prometteurs pour l'exploration.
7. L'utilisation efficace de la géochimie requiert une approche "globaliste" et rationnelle. L'étude détaillée des liens chimiques entre les différents paramètres fait beaucoup plus partie du domaine de la géochimie de l'environnement que de la géochimie d'exploration. Pour être efficace, l'observateur doit savoir ce que ses données représentent. Ainsi il pourra se convaincre, à moins d'indications contraires, qu'il mesure généralement une réalité géologique.

Références

- BEAUMIER, M., 1983 – Levé pédogéochimique – région de Brouillan. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec ; DP 83-10.
- (en préparation) – Application de techniques géochimiques en milieu d'épais recouvrement. Une étude comparative. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec.
- BISCHOFF, C.T., 1954 – Testing for Copper and Zinc in Canadian Glacial Soil Mining Engineering. Transaction AIME, January 1954, pp. 57-61.
- DILABIO, R.N.W., 1981 – Glacial Dispersion of Rocks and minerals at the southwest end of Lac Mistassini, Québec, with special reference to the Icon dispersion train. Geological Survey of Canada : Bulletin 323, 46 pages.
- DREIMANIS, A., 1960 – Geochemical Prospecting for Cu, Pb and Zn in glaciated areas, Eastern Canada. 21th International Geological Congress, report no 2, pages 7-19.
- ERMENGEN, S.V., 1957a – Glacial Geology and Geochemical Dispersion - Chibougamau area. Ministère des Mines du Québec ; DP-26.
- 1957b – Geochemical Prospecting in Chibougamau. Canadian Mining Journal ; v. 78, no 4, pp. 99-104.
- GOYER, M. (en préparation) – Evaluation du potentiel économique de la faille de Grand Pabos. Tome 2. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec.
- KEPNER, C.H. – TREGOE, B.D., 1978 – Le manager rationnel. Les éditions d'organisations, Paris ; 216 pages.
- LALONDE, J.-P., 1983 – Ground-water geochemistry in the Abitibi volcanic belt of Quebec. Journal of Geochemical Exploration ; v. 19, pages 207-223.
- LALONDE, J.-P. – BEAUMIER, M., 1984 – Prospection pédogéochimique en milieu d'argiles lacustres. Canadian Institute of Mining Bulletin ; v. 77, no 862, pages 56-70.
- LALONDE, J.-P. – CHOUINARD, N. – BERGERON, R., 1980 – Atlas géochimique des eaux souterraines de la région de l'Abitibi. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec ; DPV-725.
- LALONDE, J.-P. – LASALLE, P., 1982 – Atlas géochimique de l'argile et du till de base de l'Abitibi. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec ; DPV-830.
- LASALLE, P. – WARREN, B., 1975 – Analyses géochimiques du till de l'Abitibi. Ministère des Richesses naturelles du Québec ; DP-308.
- LEDUC, M., 1981 – Levés géochimiques géologiques et géophysiques sur la propriété du Lac Fabiola. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec ; DP-827.
- PIRIE, I.D. – NICHOL, I., 1981 – Geochemical dispersion in wallrocks associated with the Norbec deposit Noranda, Québec. Dans Geochemical Exploration 1980 ; pp. 154-180, publication spéciale no 9 de l'Association des géochimistes d'exploration publiée par Elsevier.

RIDDEL, J.E., 1952a – Analyses hydrochimiques des ruisseaux et des rivières. Péninsule de Gaspé. Ministère des Mines du Québec ; RP-268.

——— 1952b – Teneurs anormales en Zn et Cu dans les arbres du canton de Holland. Ministère des Mines du Québec ; RP-269.

SAUERBREI, J.A. – PATTISON, E.F. – AVERILL, S.A. – 1985 – Till sampling in the Casa Berardi, Québec : A case History in Orientation and Discovery, ce rapport.

L'analyse de l'humus comme méthode d'évaluation du potentiel minéral des grands axes conducteurs INPUT dans la région de Chibougamau

Pierre Trudel et Marc-André Cloutier⁽¹⁾

1. Département de Génie minéral, École Polytechnique, Case Postale 6079, Succursale "A", Montréal (Québec) H3C 3A7

Introduction

Le projet "Waconichi" a débuté au cours de l'été 1983, et se terminera en mars 1986, avec la remise d'un rapport final faisant état des résultats obtenus. Ce projet visait une meilleure utilisation des cartes de levés INPUT publiées par le MERQ, en incitant les compagnies minières à prêter plus d'intérêt aux grands axes conducteurs qu'on attribue généralement à des structures régionales sans intérêt économique.

Dans le but d'atteindre cet objectif, le projet consistait à développer une procédure efficace et économique permettant d'évaluer le potentiel minéral de ces grands axes. Pour ce faire, nous avons testé un certain nombre de méthodes géophysiques (EMH, magnétisme au sol, gravimétrie, UTEM, polarisation provoquée, méthode magnétotellurique et EMV) et géochimiques (lithogéochimie et pédogéochimie). Cette communication délaisse les aspects géophysiques et lithogéochimiques pour ne considérer que l'utilité des analyses pédogéochimiques comme méthode d'évaluation du potentiel minéral des grands axes conducteurs INPUT.

Le grand axe conducteur sur lequel porte cette étude est situé dans le canton de Richardson, à environ 30 kilomètres au nord-est de la ville de Chibougamau (figure 1). Cet axe a été choisi de préférence à plusieurs autres parce qu'il est le site d'indices connus de sulfures massifs (pyrite et pyrrhotine) et parce qu'au point de vue géologique, il correspond à la phase terminale, de composition felsique, d'un cycle de volcanisme, soit une situation favorable à la découverte de gisements de sulfures massifs de type volcanogène.

Il existe dans la littérature plusieurs exemples de campagnes d'exploration réussies utilisant l'humus comme milieu à échantillonner dans des régions affectées par la glaciation (entre autres, aux États-Unis, en Ontario, en Finlande, en Norvège et en Écosse). Au Québec, dans le camp minier de Chibougamau, une campagne d'échantillonnage systématique de l'humus permet de reconnaître des anomalies très nettes au-dessus de plusieurs zones minéralisées connues (Ermengen, 1957).

Plus récemment, Lalonde et Beaumier (1984) ont démontré que même à travers une épaisse couche d'argile

glacio-lacustre, en Abitibi-Témiscamingue, l'échantillonnage de l'humus pouvait être employé avec succès. Ces auteurs estiment que 70 à 90% des cibles géochimiques qui ont été reconnues par des échantillonnages en profondeur (till de base) auraient pu être identifiées par un levé régional de l'humus. Ces auteurs favorisent l'humus comme milieu à échantillonner lors de levés pédogéochimiques parce qu'il constitue un matériel homogène, disponible presque partout, facile à échantillonner et dans lequel les métaux sont concentrés.

Ces raisons, combinées à la faible épaisseur du mort-terrain dans la région étudiée (les levés géophysiques indiquent moins de 7 mètres en général), sa perméabilité (sable et gravier d'origine glaciaire) et l'homogénéité de la végétation (forêt d'épinette noire dans la majorité des cas) ont justifié le choix de l'humus comme milieu à échantillonner dans le canton Richardson.

Le but des analyses d'humus était donc de définir le bruit de fond et le seuil d'anomalie pour chaque élément analysé et, s'il y a lieu, de circonscrire des concentrations anormales de certains éléments qui pourraient servir de cible pour la prospection minière.

Méthodologie

Afin de faciliter les levés géophysiques et géochimiques, 77 lignes, espacées de 100 à 125 mètres, ont été coupées sur le terrain du canton de Richardson. Ce réseau de lignes, ainsi que la localisation des échantillons d'humus prélevés pour analyse chimique sont montrés à la figure 2.

Un total de 539 échantillons d'humus ont été prélevés (7 sur chacune des 77 lignes); cependant, 11 de ces échantillons n'ont pas été analysés parce qu'ils contenaient une trop faible quantité d'humus; cette étude se base donc sur un total de 528 échantillons. Chacun de ces échantillons a été analysé au Centre de recherches minérales de Québec, à l'aide d'un spectromètre d'émission atomique à plasma, pour 31 éléments, soit : Ag, Al, B, Ba, Be, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Eu, Fe, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sc, Sm, Sr, Th, Ti, V, Y et Zn. De plus, As, Hg et Sn ont été dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique et l'uranium par fluorimétrie.

Sur le terrain, le choix des sites d'échantillonnage de sols a été effectué en fonction des résultats du levé au cadre horizontal EM-17. Généralement, un échantillon

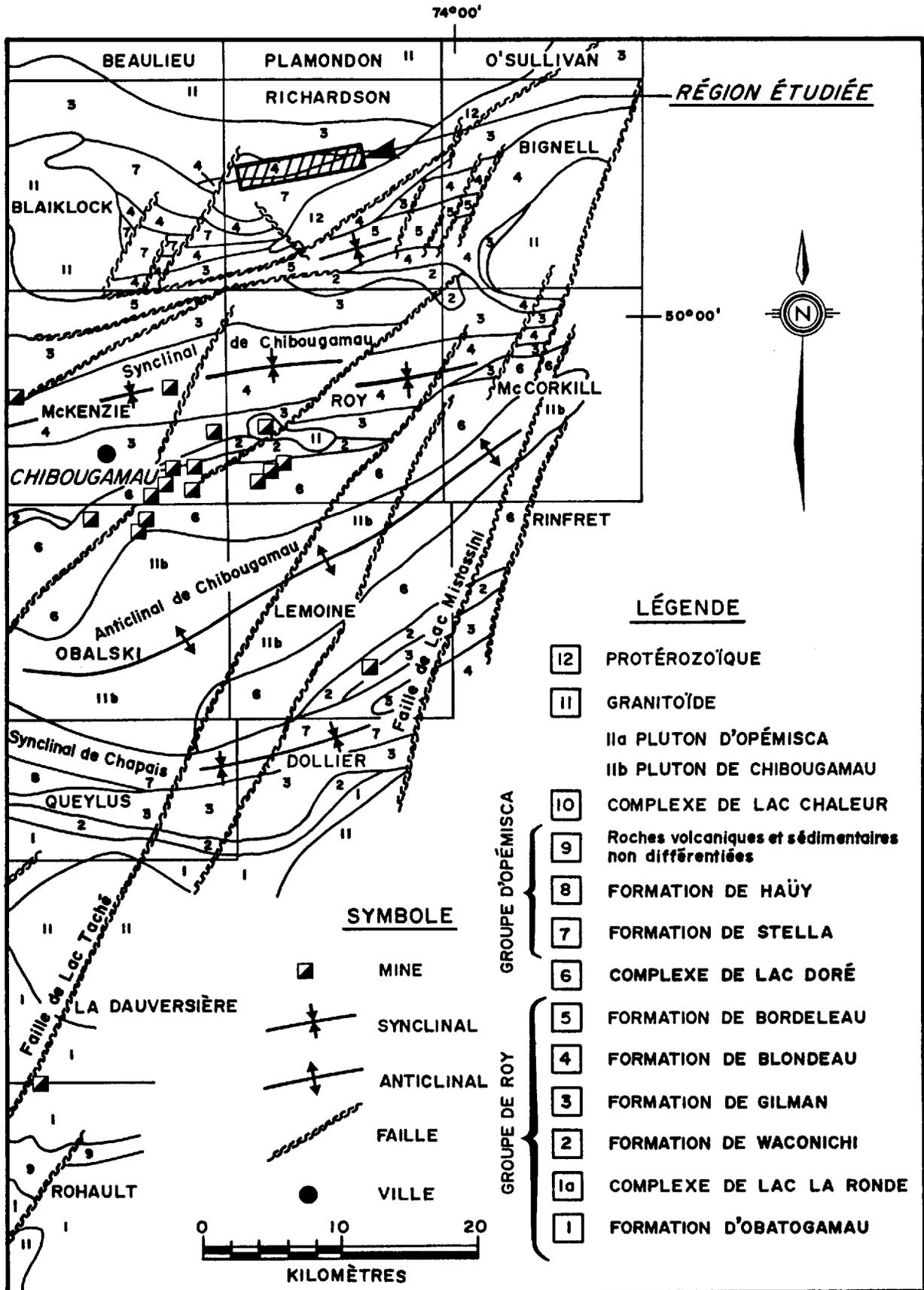


FIGURE 1 - Carte de localisation de la région étudiée, d'après Gobeil et Racicot (1983).

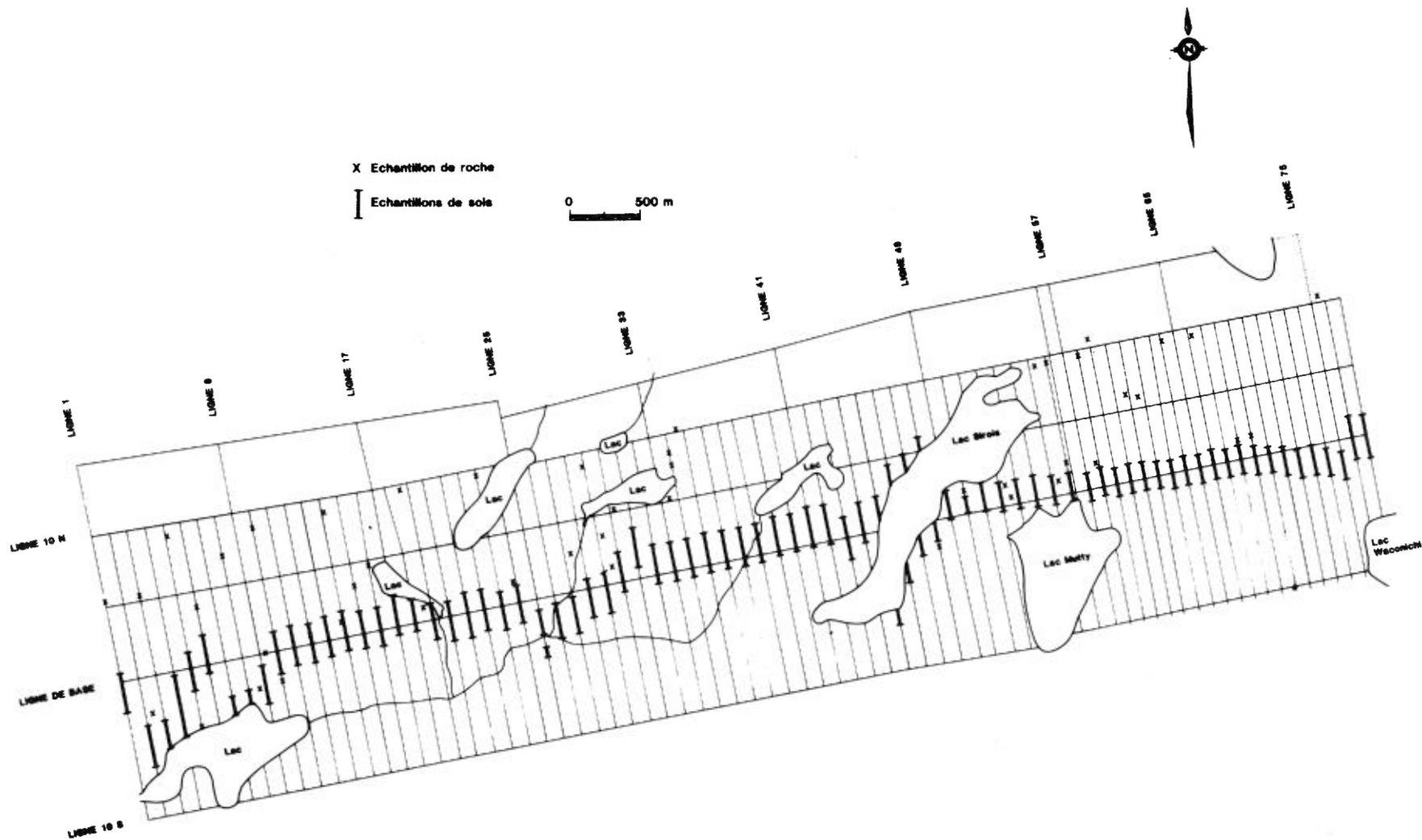


FIGURE 2 - Localisation des échantillons de roches et de sols prélevés pour analyse chimique.

était prélevé directement au-dessus du conducteur identifié, puis à des intervalles de plus en plus grands selon une échelle à peu près logarithmique, soit 10, 30 et 100 mètres, pour une distance totale d'échantillonnage de 140 mètres de part et d'autre du conducteur. Le but d'un tel espacement était évidemment de reserrer l'échantillonnage au-dessus de la cible visée, soit le conducteur INPUT.

La détermination de la perte au feu (figure 3) permet d'apprécier la qualité des échantillons d'humus prélevés. En effet, plus l'échantillon est riche en humus, plus la perte au feu sera élevée, le contraire étant vrai pour un échantillon dont la fraction minérale est importante. L'examen de la figure 3 révèle que dans l'ensemble les échantillons d'humus prélevés sur le terrain du canton Richardson sont de bonne qualité. En effet, un bon échantillon d'humus devrait montrer une perte au feu supérieure à 30% (M. Beaumier, communication personnelle), et plus de 99% des échantillons prélevés répondent à cette condition. De plus, 88% des échantillons montrent une perte au feu supérieure à 80%, ce qui démontre l'homogénéité du matériel prélevé pour analyse.

Interprétation des résultats

INTERPRÉTATION BASÉE SUR LES COURBES GAUSSO-LOGARITHMIQUES

Une première interprétation des résultats des analyses d'humus, basée sur l'utilisation des courbes gaussiennes logarithmiques a été présentée par Trudel et al. (1985). Il est généralement reconnu que les éléments traces possèdent une distribution naturelle lognormale. Sur un papier à échelle gaussienne logarithmique, une telle distribution sera représentée par une droite. Dans le cas le plus général, la courbe de distribution pour l'ensemble des analyses d'un élément sera une ligne brisée formée de trois segments de droite; celui correspondant aux valeurs les plus faibles représente la population principale (ou bruit de fond), celui correspondant aux valeurs les plus élevées représente la population anormale, tandis que le segment de droite situé entre ces deux extrêmes représente un mélange des deux populations précédentes, soit une population intermédiaire constituée en partie d'échantillons appartenant à la population principale et à la population anormale. Un exemple de ce type de distribution est représenté sur la figure 4 pour Cu; les éléments Al, B, Ba, Ca, Ce, Cr, Eu, Fe, Mg, Ni, Pb, Th, U, V et Zn montrent également le même type de distribution.

Un peu plus rarement, la courbe de distribution gaussienne logarithmique n'est constituée que de deux segments de droite; dans ce cas, celui correspondant aux valeurs les plus faibles représente le bruit de fond, tandis que celui correspondant aux valeurs les plus élevées représente la population anormale. Un exemple de ce type

de distribution est représenté sur la figure 5 pour As; les éléments Ag, Cd, Co, K, La, Li, Mn, P, Sc, Sm, Sr, Ti et Y montrent également le même type de distribution.

Dans un seul cas (pour Na, figure 6), la courbe de distribution gaussienne logarithmique est une droite unique, ce qui signifie qu'une seule population est présente, et qu'aucune anomalie ne peut être définie pour cet élément.

Sauf pour les éléments Be, Mo et Sn dont toutes les valeurs d'analyses se situent en-dessous de la limite de détection et Na dont la courbe gaussienne logarithmique est une droite, tous les autres éléments montrent localement des teneurs anormales. Le tableau 1 donne, pour chacun des 35 éléments analysés, les teneurs limites (minimum et maximum), le seuil d'anomalie tel que défini à l'aide des courbes gaussiennes logarithmiques, la teneur moyenne et l'écart-type.

L'approche multiéléments permet d'augmenter le degré de confiance dans le fait que les anomalies présentes dans l'humus correspondent bien à des anomalies existant dans le socle, tandis qu'une anomalie pour un seul élément laisse toujours place à l'incertitude (contamination locale, erreur d'analyse, etc.). Dans un premier temps, nous avons donc localisé les anomalies pour chaque élément sur une carte distincte, et par la suite, nous avons superposé ces cartes de façon à faire ressortir les zones présentant des anomalies en plusieurs éléments. Ce faisant, nous n'avons cependant pas voulu accorder la même importance à tous les éléments, étant donné que certains sont des indicateurs plus importants que d'autres. Nous avons donc converti les signaux géochimiques en scores et accordé aux différents éléments une valeur de 5, 3, 2 ou 1 point, dépendant de leur importance.

L'or est certainement la substance minérale pour laquelle il se fait présentement le plus important effort de prospection au Québec. Cependant, en l'absence d'analyses d'or dans l'humus, seul l'argent, qui est un bon indicateur pour l'or, s'est vu accorder la cote de 5 points. La deuxième classe la plus importante (3 points) est représentée par les éléments que l'on recherche directement, soit le Cu et le Zn, dans un contexte de gisements volcanogènes de sulfures massifs. La troisième classe (2 points) regroupe les éléments qui accompagnent généralement les minéralisations de type hydrothermal, soit As, B, Cd, Co, Cr, Li, Ni, Pb, Sc, Th, U, Y et les éléments des terres rares (Ce, Eu, La et Sm). La quatrième classe (1 point), regroupe surtout les éléments majeurs ou moyennement abondants, dont la concentration dans l'humus peut être affectée grandement par l'importance de la fraction minérale ou la nature de la roche sous-jacente. Dans cette classe, nous avons regroupé les éléments Al, Ba, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Sr, Ti et V.

Nous avons ensuite affecté la cote attribuée à chaque élément d'un facteur de 0.0 si l'analyse se situe dans le bruit de fond, de 0,5 si elle appartient à la population in-

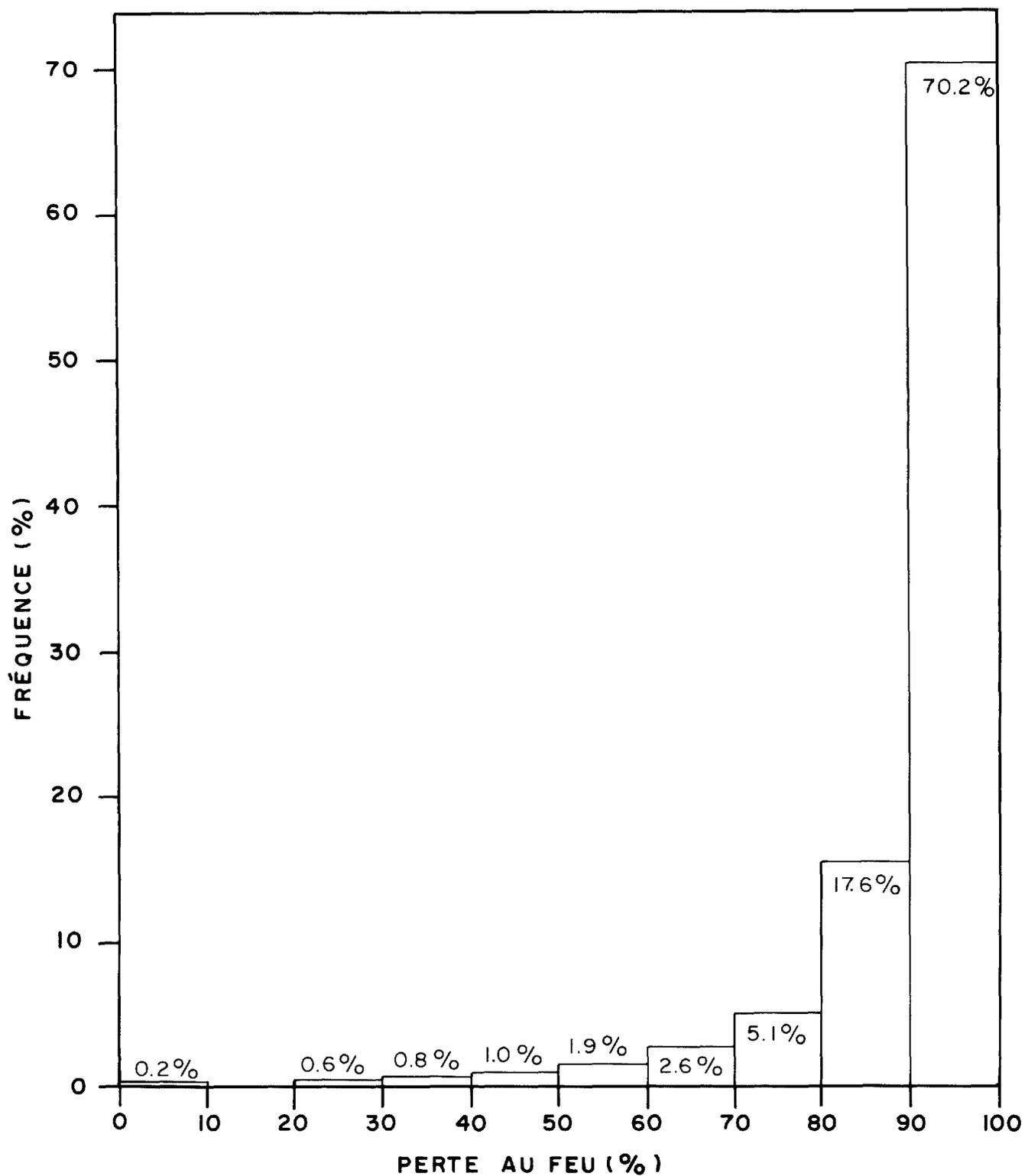


FIGURE 3 - Histogramme du pourcentage de perte au feu pour les 528 échantillons d'humus analysés.

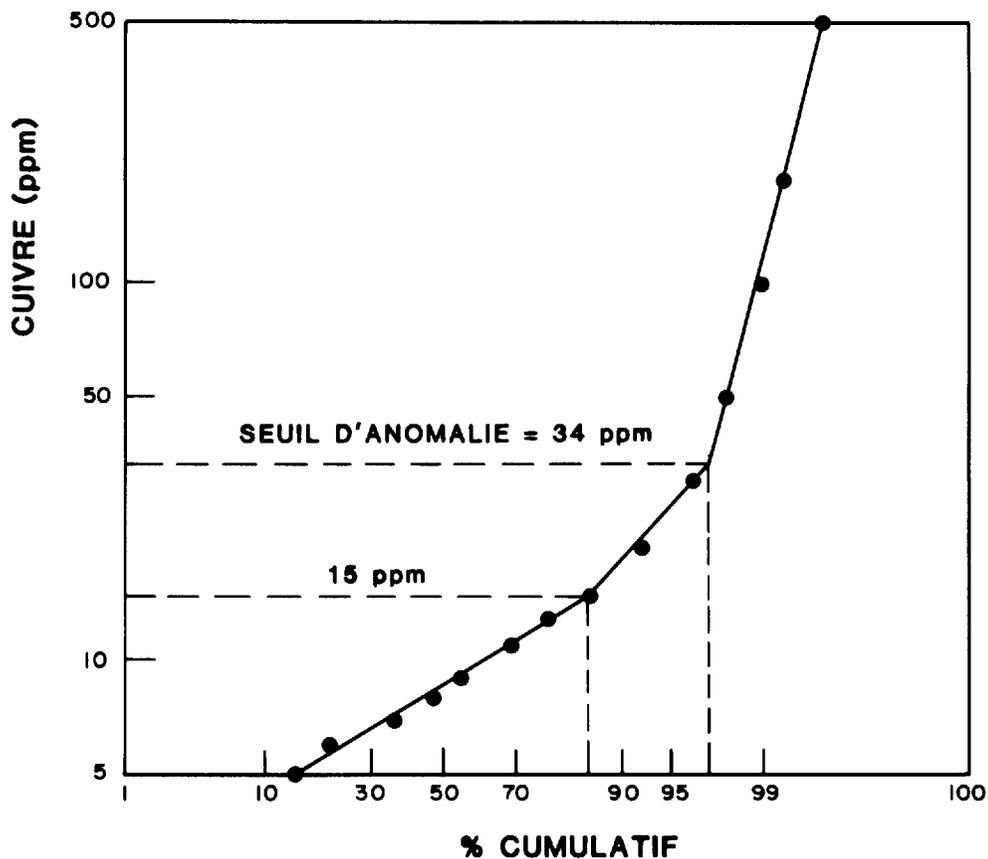


FIGURE 4 - Courbe de distribution gaussio-logarithmique pour la teneur en cuivre dans l'humus.

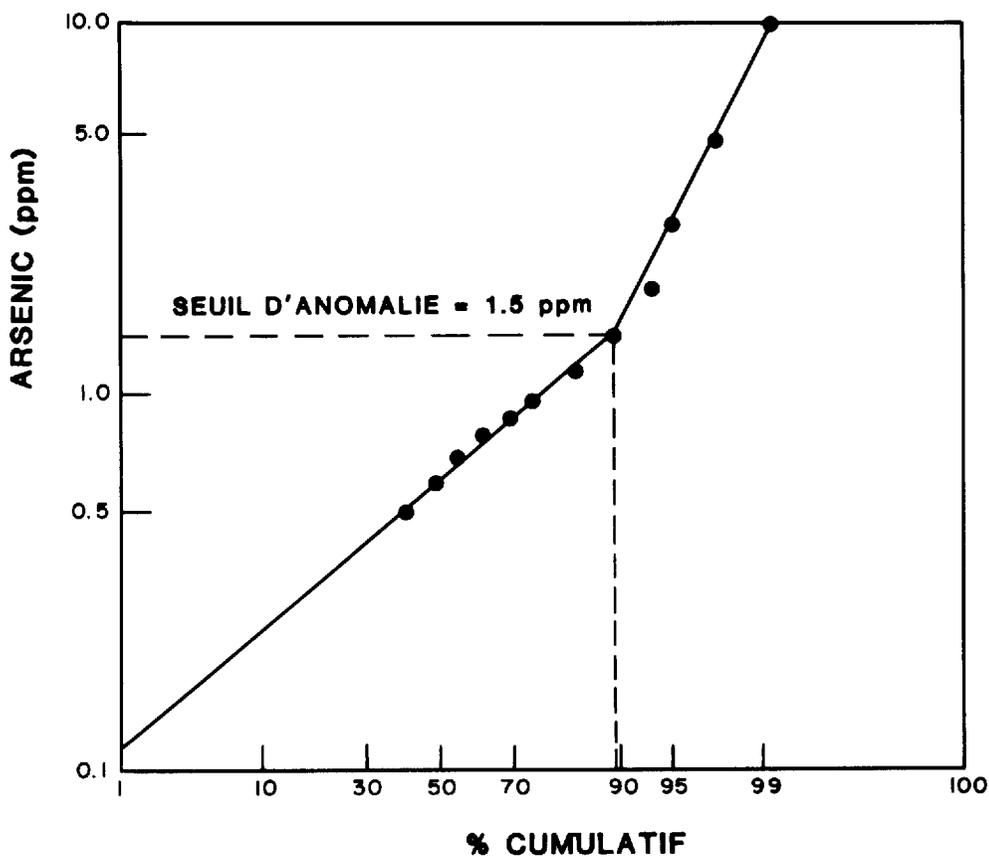


FIGURE 5 - Courbe de distribution gaussio-logarithmique pour la teneur en arsenic dans l'humus.

TABEAU 1 – Teneur minimum et maximum, seuil d'anomalie, teneur moyenne et écart-type pour les 35 éléments analysés dans l'humus sur le terrain du canton Richardson.

Élément	Teneur minimum	Teneur maximum	Seuil d'anomalie	Moyenne	Écart-type
Ag (ppm)	0.4	3.9	2.6	0.49	0.33
Al (%)	0.02	3.02	1.50	2.55	2.67
As (ppm)	0.4	25.8	1.5	1.19	2.12
B (ppm)	4	22	19	7.7	3.8
Ba (ppm)	5	581	140	91.5	66.1
Be (ppm)	2	2	N.D	2	nil
Ca (%)	0.11	4.09	2.40	1.05	0.93
Cd (ppm)	0.2	6.3	1.6	1.04	0.69
Ce (ppm)	2	165	100	8.9	14.5
Co (ppm)	2	157	100	4.5	12.3
Cr (ppm)	2	85	9	3.5	5.6
Cu (ppm)	1	1978	25	18.7	97.3
Eu (ppm)	0.1	9.0	2	3.1	6.5
Fe (%)	0.01	4.01	1.00	0.28	0.47
Hg (ppm)	75	500	400	232.4	70.2
K (%)	0.02	0.23	0.10	0.053	0.02
La (ppm)	3	256	11	6.2	15.2
Li (ppm)	1	12	7	1.2	1.2
Mg (%)	0.03	0.67	0.30	0.16	0.14
Mn (ppm)	1	12010	3000	502	1023
Mo (ppm)	3	3	N.D.	3	nil
Na (ppm)	1	8	N.D.	2.4	0.74
Ni (ppm)	1	116	20	7.1	10.0
P (ppm)	3	2933	1000	670	286
Pb (ppm)	2	185	60	32.6	22.8
Sc (ppm)	1	18	5	1.2	1.0
Sm (ppm)	1	33	3	1.5	2.1
Sn (ppm)	2	2	N.D.	2	nil
Sr (ppm)	1	75	50	18.1	10.7
Th (ppm)	2	20	7	2.7	1.7
Ti (%)	0.01	0.05	0.04	0.01	0.00
U (ppm)	0.1	3.5	0.9	0.29	0.41
V (ppm)	2	34	20	4.2	3.5
Y (ppm)	1	103	9	2.2	6.1
Zn (ppm)	3	405	150	66.2	40.6

termédiaire et de 1,0 si elle appartient à la population anormale. Pour chaque échantillon analysé, nous avons finalement additionné tous les produits (cote x facteur) de chaque élément pour en arriver à une valeur totale (en points). La valeur ainsi calculée pour chaque échantillon a été mise en carte, et les valeurs ont été contournées pour en arriver à une carte-synthèse.

Cette carte (présentée dans Trudel et al., 1985) locali-

sée à la figure 7, révèle la présence de deux zones d'intérêt. La zone 1 est située sur les lignes 5 et 6, à environ 500 mètres au nord du ruisseau se déversant dans le lac Chebistuan. Elle est définie par trois échantillons pour lesquels on observe des teneurs très élevées en Cu (jusqu'à 1978 ppm) accompagnées d'anomalies en As, Cd, Co, La, Ni, P, Sc, Sm, Th, U et Y. La zone 2 contient deux échantillons situés à environ 200 mètres au nord du

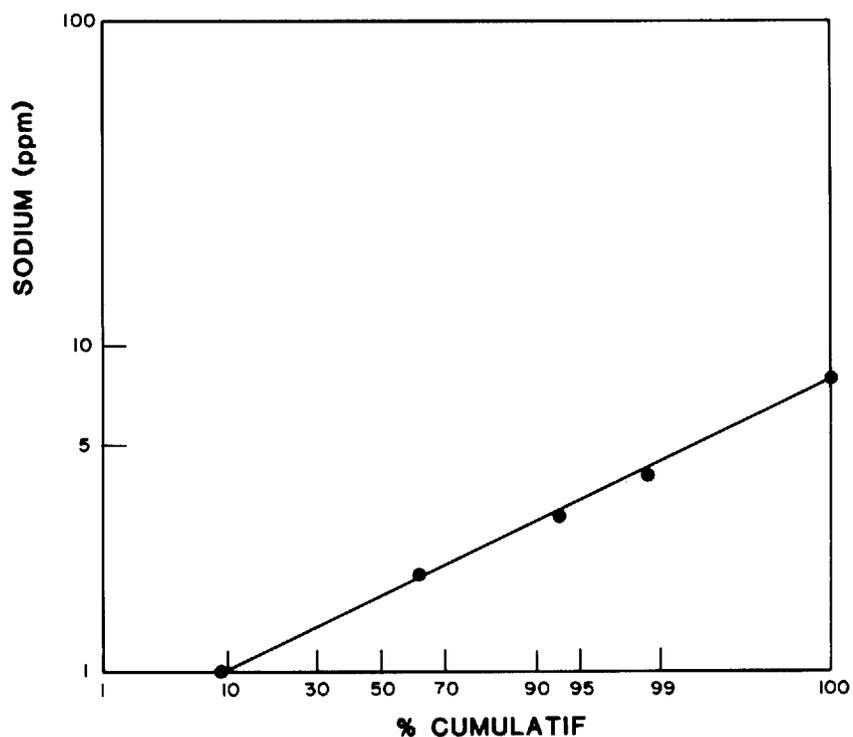


FIGURE 6 - Courbe de distribution gaussio-logarithmique pour la teneur en sodium dans l'humus.

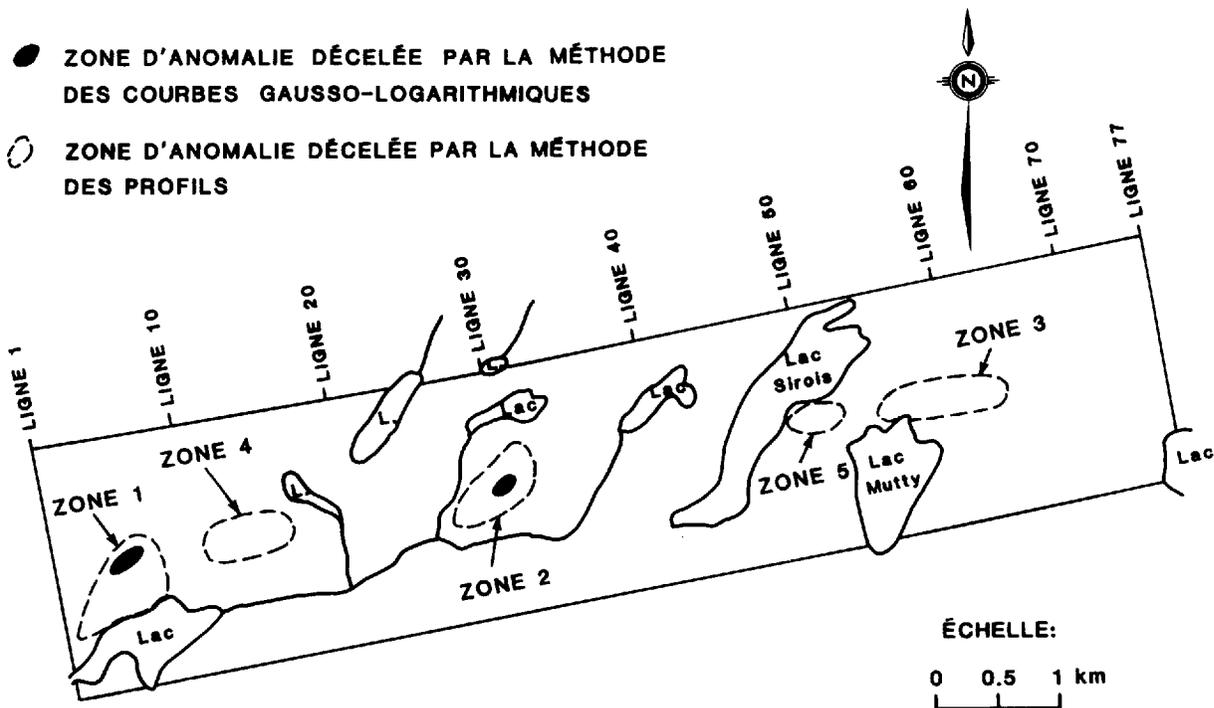


FIGURE 7 - Localisation des zones d'anomalie décelées par les deux méthodes d'interprétation.

ruisseau se déversant dans le lac Chebistuan. Pour ces échantillons, une forte teneur en Zn (289 ppm) et une autre plus faible en Cu (25 ppm) sont corrélées avec des anomalies en Cd, Co, La, Ni, P, Sc, Sm, Th et Y comme dans le premier cas, ainsi qu'avec de nouveaux éléments qui sont Al, Ce, Cr, Fe, K, Li, Ti et V.

INTERPRÉTATION BASÉE SUR LES PROFILS

Comme l'échantillonnage de l'humus a été effectué le long d'un grand conducteur linéaire, une façon efficace de représenter la variation des éléments analysés consiste à utiliser des profils longitudinaux. Dans ces profils, les analyses sont projetées sur un plan vertical passant par la ligne de base, qui suit d'assez près l'axe du conducteur. On peut ainsi visualiser facilement la variation dans la teneur de chaque élément le long de l'axe conducteur et identifier les segments où la teneur est anormalement élevée. Deux exemples de ces profils (pour Ag et Al) sont donnés à la figure 8.

Sur chacun de ces profils, le seuil d'anomalie a été fixé de façon arbitraire, d'après l'allure du profil. Les zones d'anomalie identifiées pour chaque élément sont reportées sur le diagramme de compilation de la figure 9. Sur ce diagramme, la localisation de chaque segment à teneur anormale est indiquée, de même que la localisation des teneurs maximum pour chaque élément. De cette façon, il devient possible d'identifier les zones contenant des teneurs anormales en plusieurs éléments, ou en certains éléments plus intéressants que les autres.

L'examen de la figure 9 permet de reconnaître cinq zones particulièrement intéressantes en ce qui concerne la composition chimique de l'humus sur le terrain échantillonné dans le canton Richardson. Ces zones sont les suivantes, dans l'ordre de priorité que nous leur conférons :

- Zone 1 : Située entre les lignes 2 et 8, concentrations élevées en 21 éléments : Ag, Al, Ba, Ce, Cd, Cr, Cu, Eu, Fe, La, Ni, P, Pb, Sc, Sm, Sr, Th, U, V, Y et Zn.
- Zone 2 : Située entre les lignes 27 et 32, concentrations élevées en 21 éléments : Al, B, Ba, Ca, Ce, Cr, Cu, Eu, Fe, K, La, Li, P, Pb, Sc, Sm, Th, U, V, Y et Zn.
- Zone 3 : Située entre les lignes 55 et 64, concentrations élevées en 8 éléments : Ag, Ba, Ca, Hg, K, Mg, Pb et Sr.
- Zone 4 : Située entre les lignes 11 et 16, concentrations élevées en 12 éléments : Ag, B, Ba, Ca, Cu, Eu, Ni, P, Pb, Sr, Y et Zn.
- Zone 5 : Située entre les lignes 49 et 52, concentrations élevées en 21 éléments : Co, Cr, Fe, Hg, Ni et V.

Les zones 1 et 2, à cause du grand nombre d'éléments impliqués, correspondent assez bien aux deux zones d'intérêt identifiées par Trudel et al. (1985) (voir figure 7). Par contre les zones d'anomalie 3 à 5, à cause du plus fai-

ble nombre d'éléments impliqués, n'étaient pas ressorties de façon nette lors de la première interprétation, qui était fondée sur une approche multiéléments.

Parmi les trois nouvelles zones d'intérêt identifiées, la zone 3 (figure 7) est particulièrement prometteuse puisqu'elle renferme les teneurs en Ag et en Hg les plus élevées de tout le terrain d'étude. Comme ces deux éléments sont souvent associés aux minéralisations d'or, cette zone prend une importance toute particulière du point de vue de l'exploration minérale.

Conclusion et discussion

L'analyse de l'humus dans le canton de Richardson a mis en évidence des teneurs localement anormales en Cu, Zn, Pb, Ag, Hg et autres éléments associés qui peuvent être significatives en exploration minière. On peut donc affirmer que l'analyse de l'humus a permis d'atteindre l'un des objectifs du projet, soit de reconnaître des différences de composition chimique le long d'un grand axe conducteur. Cependant, la signification des anomalies qui ont été reconnues reste à être établie. On sait, du point de vue géologique, que le conducteur correspond à la base de la Formation de Blondeau, qui est composée de lentilles de sulfures massifs intercalées dans des tufs felsiques et dans des argilites noires graphiteuses et pyriteuses. Aux rares endroits où le conducteur affleure, les sulfures sont essentiellement de la pyrite et de la pyrrhotine, mais rien ne prouve que sur une longueur de 9 kilomètres, la Formation Blondeau ne contienne pas de lentilles riches en cuivre et en zinc comme la zone 8-5 de la mine Opemiska (secteur Cooke) à Chapais (Bélanger, 1979).

D'autre part, les facteurs contrôlant l'intensité et l'étendue d'une anomalie géochimique dans l'humus sont nombreux et incluent : la taille et la teneur des minéralisations, l'épaisseur et la granulométrie du mort-terrain, la topographie, le drainage, le climat, le type de sol, la nature et le degré de fracturation du socle et le type de végétation (Levinson, 1980).

Une anomalie géochimique dans l'humus résulte donc d'une combinaison de tous ces facteurs. Dans ce travail, nous avons utilisé une approche globale, sans tenter de départager l'influence de chacun de ces facteurs, sur lesquels nous n'avions souvent pas tous les contrôles nécessaires. Dans un projet de fin d'études effectué à l'École Polytechnique, Sabourin (1985) a cependant considéré de façon indépendante l'influence de la nature du socle et du type de végétation sur la concentration des éléments dans l'humus, pour le terrain du canton de Richardson. Les résultats détaillés sont donnés dans Sabourin (1985), mais on peut résumer ses conclusions comme suit :

- 1) le type de roche sous-jacent ne semble pas affecter de façon significative la concentration des éléments dans l'humus ;

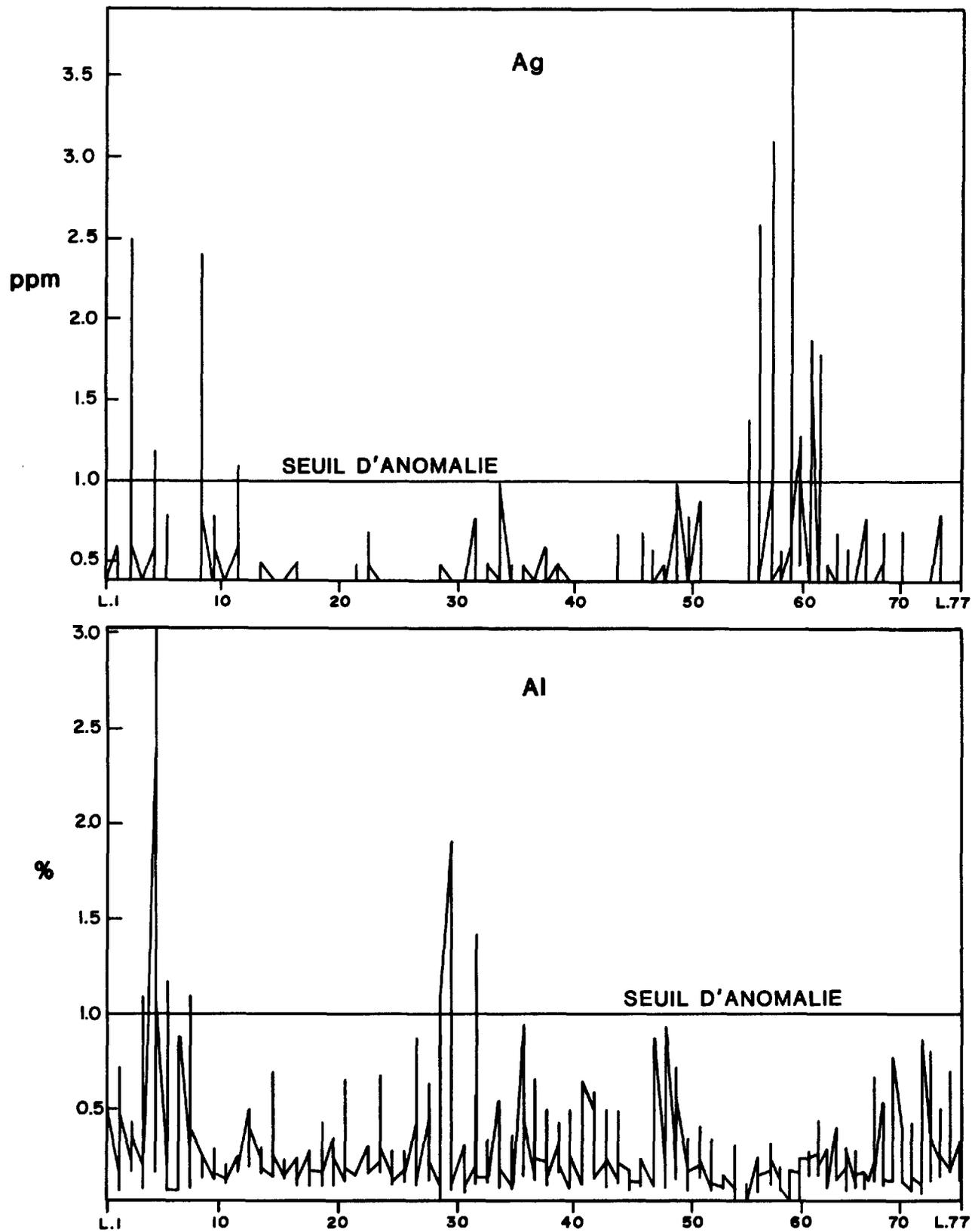


FIGURE 8 - Profil des teneurs en Ag et en Al dans l'humus le long de l'axe conducteur du canton Richardson.

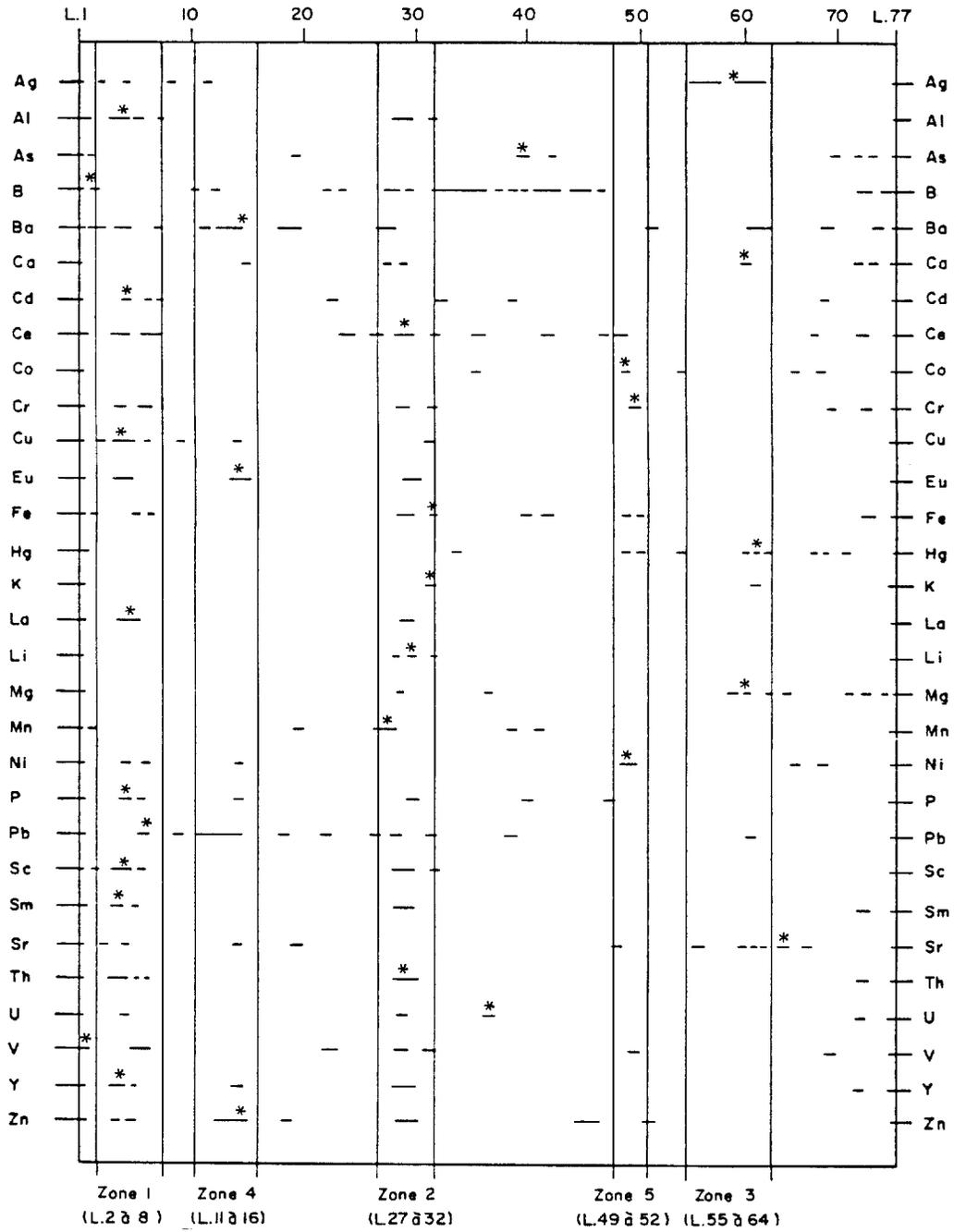


FIGURE 9 - Localisation des anomalies et des valeurs maximum pour chaque élément avec les limites des cinq zones d'anomalie reconnues (—: valeurs anormales; *: valeur maximum).

2) le type de végétation est cependant important, et les métaux ont tendance à être un peu plus concentrés dans les marécages et dans les brûlés que dans les forêts intactes.

Cette étude constitue l'une des premières applications de la géochimie de l'humus à l'évaluation du potentiel minéral d'un grand axe conducteur, et nous sommes conscients du manque de données comparatives. Par exemple, le fait de concentrer l'échantillonnage près de l'axe conducteur est intéressant pour reconnaître des anomalies le long de cet axe, mais offre peu de renseignements sur le bruit de fond régional. En effet, les conducteurs naturels (sulfures et graphite) créent une polarisation des cations vers la partie du conducteur située près de la surface. Cette polarisation est susceptible de créer des anomalies géochimiques dans les sols qui recouvrent le conducteur (Govett et al., 1984). D'après cette théorie, tous les conducteurs, quelle que soit leur nature, pourraient donc créer des anomalies.

Dans le but de vérifier cet état de choses et de replacer nos données dans un contexte plus global, nous nous proposons d'échantillonner les cibles complémentaires suivantes : a) un grand axe conducteur contenant un gisement de sulfures massifs ; b) un grand axe conducteur ne contenant que des sulfures disséminés, sub-économiques ; c) un grand axe conducteur graphiteux ne contenant aucune minéralisation métallique et d) un terrain où il n'y a pas de conducteurs électriques.

Des terrains correspondant à ces quatre cas-types ont été définis après consultation avec A. Gobeil, représentant régional du MERQ à Chibougamau, et ont été échantillonnés au cours de l'été 1985. Les analyses de ces prélèvements ne sont pas encore disponibles, mais elles permettront de répondre aux questions suivantes :

- 1) tous les grands axes conducteurs représentent-ils des anomalies par rapport au bruit de fond régional ?
- 2) l'analyse de l'humus permet-elle de distinguer entre un axe conducteur contenant un gisement de sulfures massifs, un autre ne contenant que des sulfures disséminés sub-économiques, et un dernier ne renfermant aucune minéralisation métallique ?
- 3) auquel de ces trois cas-types idéaux correspond le mieux le grand axe conducteur échantillonné dans le canton de Richardson ?

Les résultats de cette étude seront présentés dans un rapport final qui doit être remis au MERQ en mars 1986. Ils permettront de vérifier si la composition chimique de l'humus constitue une méthode efficace d'évaluation du potentiel minéral d'un grand axe conducteur.

Références

BÉLANGER, J., 1979 – Caractérisation pétrographique et géochimique de la zone cupro-zincifère "8-5" et de ses roches encaissantes, secteur Cooke, mine Ope-

miska, Chapais. Mémoire de maîtrise ès sciences, Université du Québec à Chicoutimi.

ERMINGEN, S.V., 1957 - Geochemical prospecting in Chibougamau. Canadian Mining Journal, volume 78, pages 99 à 104.

GOBEIL, A. – RACICOT, D., 1983 - Carte lithostratigraphique de la région de Chibougamau. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, mémoire 83-02, 14 pages.

GOVETT, G.J.S. – DUNLOP, A.C. – ATHERDEN, P.R., 1984 - Electrogeochemical techniques in deeply weathered terrain in Australia. Journal of Geochemical Exploration, volume 21, pages 311 à 331.

LALONDE, J.P. – BEAUMIER, M., 1984 - Prospection pédogéochimique en milieu d'argiles lacustres. Canadian Institute of Mining and Metallurgy Bulletin, volume 77, numéro 862, pages 56 à 70.

LEVINSON, A.A., 1980 – Introduction to exploration geochemistry. Applied Publishing Limited (éditeur), 2^e édition, 924 pages.

SABOURIN, J., 1985 - Analyse discriminante et analyse des correspondances sur des données géochimiques d'humus provenant du canton de Richardson, région de Chibougamau. Projet de fin d'études, département de génie minéral, École Polytechnique, 171 pages.

TRUDEL, P. – BAZINET, R. – CLOUTIER, M.A. – BOIVIN, M. – LABRECQUE, P. – BÉRUBÉ, P. – CHOUTEAU, M., 1985 - Évaluation du potentiel minéral d'un grand axe conducteur identifié par les relevés INPUT dans le canton de Richardson, région de Chibougamau. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, MB 85-10, 207 pages et 10 plans.

Apport de l'étude du sol et de la matière organique à la géochimie d'exploration

P. LaSalle et C.R. de Kimpe⁽¹⁾

1. C.R. De Kimpe, Agriculture Canada, Station de Recherche, 2560, Boul. Hochelaga, Ste-Foy G1V 2J3

Résumé

Ce travail se veut une revue sommaire de quelques faits simples démontrés et connus des scientifiques du sol et des métallogénistes. Il existe en effet une littérature abondante, surtout dans les revues de science du sol, sur les relations entre l'humus et les éléments métalliques. Ces derniers forment généralement des complexes organiques avec différentes substances organiques qui constituent l'humus. On peut citer en exemple le cas de l'or. Déjà, au début des années 30, on faisait des hypothèses sur le transport de l'or sous forme de complexes organiques. Aujourd'hui, il ne semble pas faire de doute que non seulement l'or, mais plusieurs éléments métalliques peuvent être transportés en solution sous forme de complexes organiques et que la matière organique (sous diverses formes) peut avoir joué un rôle dans l'accumulation de certains gîtes métallifères. De plus, des micro-organismes, comme les bactéries peuvent servir d'agents accumulateurs et concentrateurs. Ceci a été démontré pour l'uranium et certains métaux. Dans le cas de l'or, les bactéries peuvent aussi servir de noyaux pour son accumulation sous forme de pépites. Il est donc possible d'utiliser l'accumulation d'éléments métalliques par l'humus comme outil d'exploration.

Introduction

Dans la partie de la couche terrestre accessible à l'exploration, le sol présente des caractéristiques uniques qui le distinguent des matériaux en profondeur : il est le support de la vie terrestre, végétale et animale, il fournit aux êtres vivants des éléments essentiels et en retour, il accumule leurs produits de décomposition.

La matière organique, ou humus, présente surtout dans l'horizon de surface du sol, joue un rôle prépondérant dans les processus d'altération. Il est donc important de définir certaines propriétés et actions de l'humus vis-à-vis de la lithosphère. Considérant que près de 70% des terres émergées sont couvertes de forêts et de prairies (Draeger et Lauer 1967), la masse végétale produite annuellement est énorme et une quantité importante entre sans doute dans le cycle de l'humification.

Le présent article comportera deux volets. Dans une première partie, quelques propriétés des sols ainsi que les

mécanismes qui régissent leur genèse et leur développement seront considérés. Dans la seconde partie, des associations spécifiques pouvant exister entre la matière organique, incluant l'humus et les organismes du sol, et divers métaux seront mises en évidence dans quelques exemples pertinents pour la géochimie de l'exploration.

Le sol et son contexte

Dans les débuts de la pédologie, le sol a été considéré comme un matériau géologique de surface et à ce titre, la texture, soit le changement de granulométrie par rapport à la roche en place, en était la caractéristique principale. Cette notion a fort évolué et actuellement, le sol est défini par les pédologues comme un matériau minéral, ou organique, ou un ensemble des deux, non consolidé, qui existe de façon naturelle à la surface de la terre (Commission Canadienne de Pédologie 1978). Les propriétés du sol varient avec la profondeur. Elles sont déterminées par les facteurs climatiques et les organismes, ces facteurs étant eux-mêmes conditionnés par le relief et le régime de l'eau, agissant au cours du temps pour produire des horizons génétiques qui diffèrent du matériau parental meuble. Il en résulte un profil de sol.

Une étape essentielle et nécessaire qui précède la formation du sol est l'ameublissement du socle rocheux. Les pellicules d'altération que l'on observe fréquemment à la surface des roches du bouclier canadien (Bouchard et Godard 1984) et qui peuvent même supporter de la végétation, ne sont pas considérées comme des sols. L'ameublissement du socle rocheux ou arénisation se fait par la désagrégation physique combinée à l'altération chimique. Les principaux mécanismes en jeu dans l'altération des roches sont : 1) la fissuration causée par les variations de température ; 2) l'éclatement de la roche sous l'action du gel ; 3) l'usure par les agents d'érosion, l'eau, le vent et les glaciers. L'altération chimique qui accompagne la désagrégation physique est surtout déterminée par l'eau et la température. Nous reviendrons ultérieurement sur les facteurs de l'altération chimique, car ils agissent de façon encore plus marquée sur le développement des profils de sol.

Il est certes intéressant de pouvoir établir une relation étroite entre la roche en place et le sol qu'il supporte. Cependant, alors que certains mécanismes de l'arénisation, comme l'éclatement et la fissuration des roches, laissent les produits en place, d'autres les transportent à des distances variables de la source. La plupart des sols du Qué-

bec sont en fait développés sur des matériaux transportés soit par l'action glaciaire, soit par l'action fluviale (Lajoie, 1975). Le transport glaciaire est sans doute le mécanisme de comminution des roches qui a été le plus actif à l'échelle du Québec. Il faut rappeler aussi que la glace sous forme de glacier continental a constitué le médium de transport le plus efficace et le plus compétent pendant la période glaciaire, bien qu'on ne s'entende pas toujours sur les distances de transport (Drake, 1983 ; Shilts, 1984 ; Peltoniemi, 1985). La glace peut en effet transporter des matériaux allant des blocs jusqu'aux particules d'argile. Lorsque l'eau intervient, il y a triage et lavage, l'eau étant moins efficace comme médium de transport à cause d'une viscosité plus faible. On peut comparer la série de dépôts résultant du transport par la glace et l'eau à un système binaire. A un bout de la série, on a des dépôts mis en place par la glace seulement, ils n'ont pas été remaniés et on peut les considérer comme les plus proches de leur point d'origine. A l'autre extrémité, on a les dépôts mis en place par l'eau, ce sont des dépôts de matériaux fins, triés et qui montrent une certaine stratification. Ils peuvent être transportés sur de grandes distances. Entre les deux, on retrouve des dépôts transportés par la glace et l'eau, comme les eskers, ou des dépôts de contact de glace. Il a été montré que les eskers reflètent dans une certaine mesure le socle rocheux sous-jacent (Lee, 1968 ; Shreve, 1985).

Drake (1983) a fait une revue sommaire de la littérature sur le transport des matériaux par le glacier. Il démontre de façon assez convaincante que le transport des matériaux et le résultat final, i.e. le diamicton glaciaire qui résulte de la déposition de ces matériaux, donne une distribution tridimensionnelle pour les clastes distinctifs d'un affleurement minéralisé. Dans les exemples cités, le maximum de concentration des erratiques et des anomalies chimiques apparaît à une distance de 1 à 10 km environ en aval de la source minéralisée, selon l'épaisseur de la couche de till.

En toute logique, selon Drake (1983), cette distance est la distance "K" de Lee (1965). Lee référait surtout à la distance entre la source et le point où le maximum de concentration de l'erratique traceur apparaît dans les eskers. Cette distance est celle nécessaire pour que le minerai apparaisse à la surface du till à partir d'une source enfouie. Ceci est une situation idéale. Si on poursuit dans la même veine, et qu'on a une anomalie dans un sol développé directement sur du till, on peut supposer qu'on sera à une distance modérée de la source sous-jacente. Si le till est très mince, situation qui peut se concevoir dans le cas d'un affleurement rocheux minéralisé qui fait relief, la distance pourrait être fort courte.

Il faut aussi envisager le cas où il y aurait eu au moins deux avancées glaciaires. On peut réaliser par le schéma de la figure 1, qu'il est très important de connaître la stratigraphie glaciaire pour interpréter des anomalies (Nenonen, 1984 ; Nawrocki et Romer, 1979). Shilts (1984) a

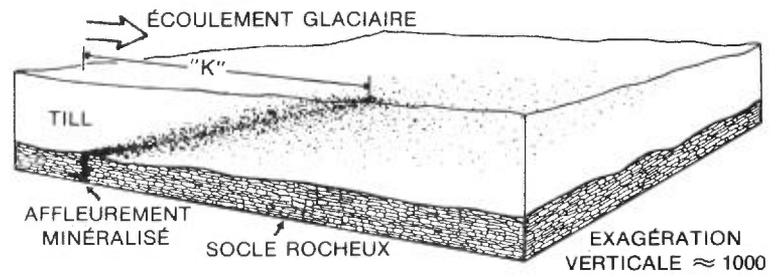
discuté du transport d'erratiques et de dispersion géochimique et il distingue 4 types de dispersion allant de l'échelle continentale à l'échelle locale. Hirvas (1977) a discuté du transport glaciaire en Finlande et il observe une relation intéressante entre la distance de transport et la hauteur d'échantillonnage au-dessus de l'interface socle/till. En Gaspésie, LaSalle et al (1985) ont montré que le transport par les glaciers pouvait dépasser 50 km (Figure 2).

Depuis la fin de la glaciation wisconsinienne, il y a 10,000 - 12,000 ans, le Québec est passé d'un environnement d'accumulation à un environnement d'érosion. Ce changement de contexte entraîne un remaniement du relief, puisque les dépôts glaciaires sont maintenant soumis à un transport gravitationnel et fluvial, accentué par le relèvement isostatique du continent. On trouve donc actuellement des matériaux, tels les alluvions de rivière ou des sédiments lacustres, qui ont subi au moins deux épisodes de transport. De tels dépôts peuvent être éloignés de leur source originale et les modèles conçus pour en déterminer la provenance doivent nécessairement avoir une composante régionale. Dans de tels cas, il sera difficile d'établir une filiation simple entre la roche sous-jacente et le sol (Lee 1971). Toutefois, on trouve dans la littérature des exemples qui indiquent de bonnes relations entre des alluvions de ruisseaux ou des argiles varvées et les roches dans un contexte géologique glaciaire (Curtin et al, 1968, 1971 ; Rice 1970). Il apparaît donc que certains assemblages de minéraux persistent dans le transport glaciaire et fluvial et qu'on peut les rattacher à leur source dans le socle rocheux par des méthodes chimiques et minéralogiques.

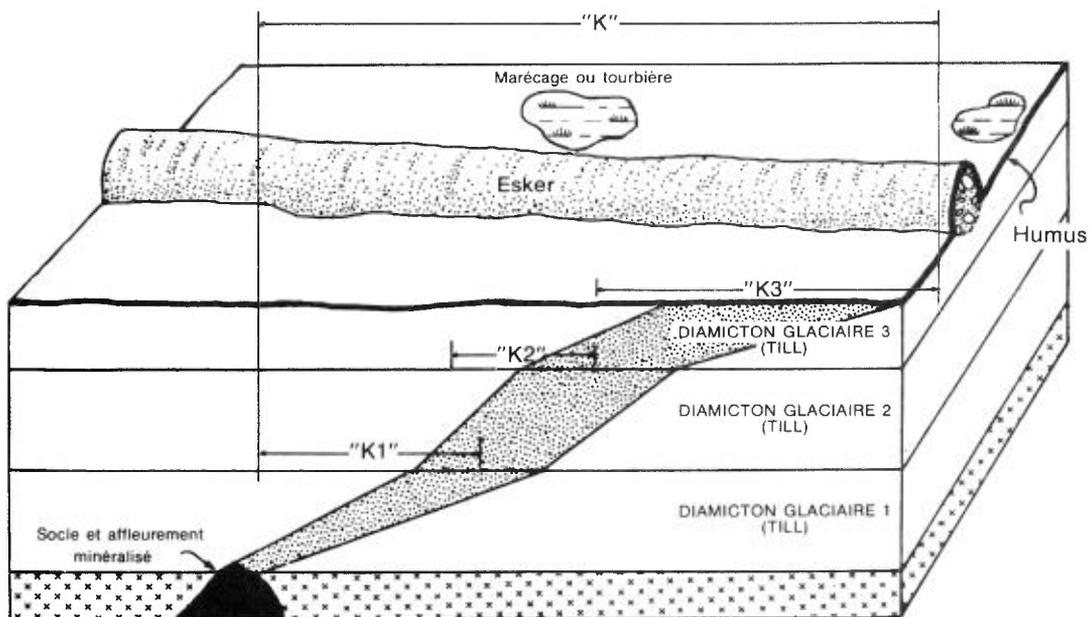
La formation des sols et le développement des profils

Le concept de pédon a été introduit pour permettre la classification des individus de sols. Il s'agit de la plus petite unité qui regroupe les caractéristiques diagnostiques de tous les horizons ou couches reconnaissables dans le profil. Le profil de sol, considéré en coupe verticale, est une succession de couches ou d'horizons, partant de la surface du sol vers la profondeur jusqu'à atteindre le matériau géologique peu ou pas modifié. Les horizons reflètent la formation du sol à partir du matériau parental et rendent ainsi compte des processus de désagrégation physique ou d'altération (weathering) des fragments de roche, de l'altération (weathering) chimique avec mise en solution des roches et des minéraux, de l'activité biologique engendrée par la croissance des plantes et la décomposition des résidus végétaux, ainsi que la production d'humus (matière organique du sol) et enfin de l'activité des macro- et micro-organismes du sol.

Tous ces processus impliquent des changements dans les matériaux et le transfert de matière d'une partie du profil à une autre ou son évacuation en dehors du profil.



Modèle idéalisé de la dispersion glaciaire (tiré de Drake 1983)



Transport glaciaire et fluvio-glaciaire
Adapté et modifié d'après Lee (1965) et Drake (1983)

FIGURE 1 - Hypothèse et modèles concernant le transport glaciaire et fluvio-glaciaire.

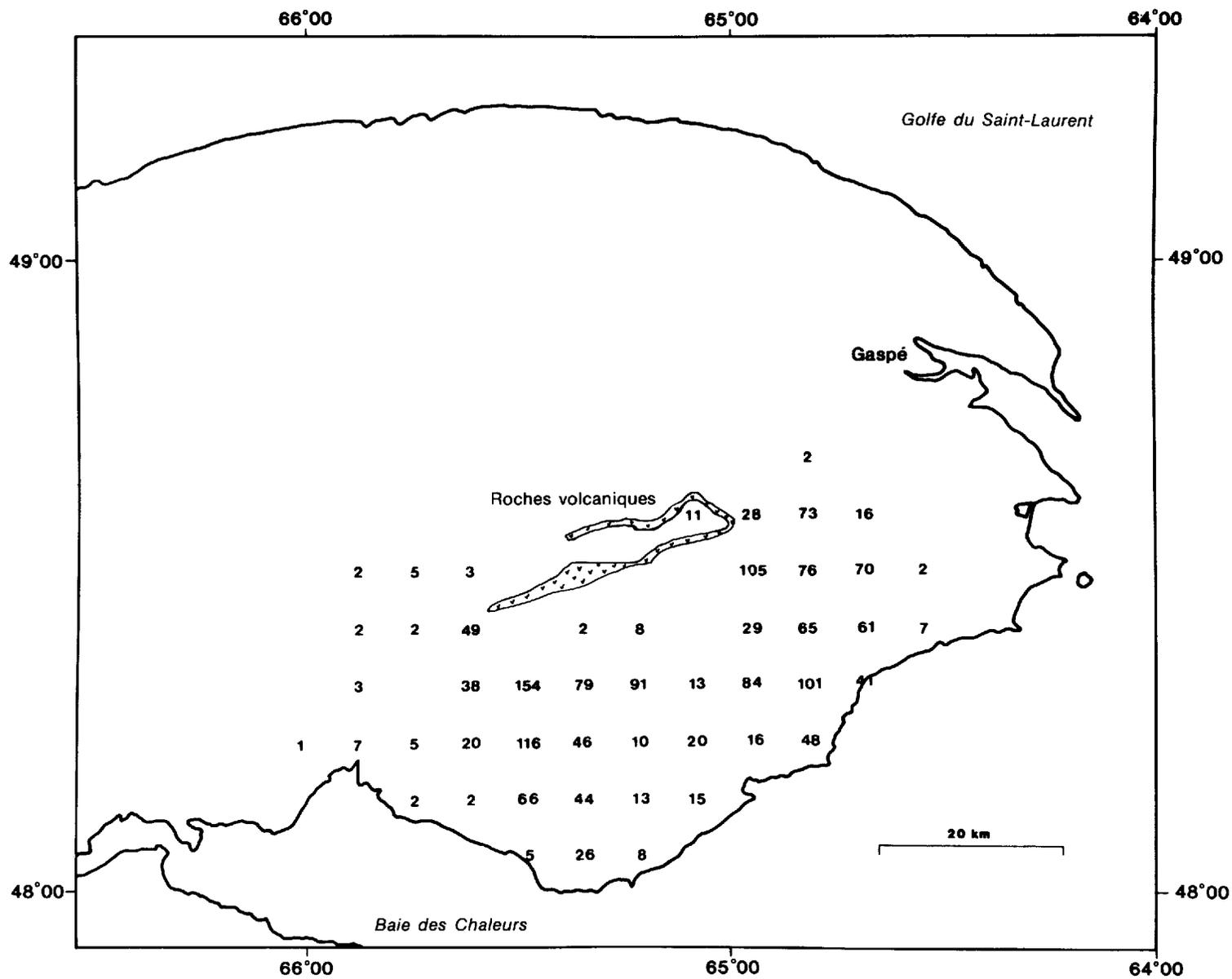


FIGURE 2 - Dispersion des erratiques de volcanites dans la partie sud de la Gaspésie. Nombre maximum d'erratiques par 45 km² (Lasalle et al, Geology).

Un sol est donc identifié par les divers horizons ou couches qui constituent le profil. Le système canadien de classification des sols (Commission Canadienne de Pédologie 1978) les notations A, B, C et L, F, H, O pour les principaux horizons minéraux et organiques et ces horizons principaux sont subdivisés selon des critères plus sélectifs (Figure 3). Les facteurs qui influencent la formation du sol sont : le climat, le milieu biologique, le relief, le drainage et le matériau originel.

- 1) L'influence du climat s'accroît avec la température et l'humidité, cette dernière comprenant toutes les formes de précipitations arrivant à la surface du sol. Les conditions climatiques déterminent les divers types génétiques de sols dans une région donnée.
- 2) Les composants de la biocénose sont la végétation, la microfaune et la microflore du sol. La végétation dépend elle-même du climat et elle a une action directe sur le sol, plus particulièrement par la nature et la distribution de l'humus dans le profil.
- 3) Le relief du terrain est directement responsable du ruissellement ou de l'accumulation des eaux à la surface du sol.
- 4) Le drainage, c'est-à-dire la rapidité avec laquelle un excès d'eau se retire naturellement du sol est en grande partie fonction de la porosité des matériaux et de la hauteur de la nappe phréatique. Parce qu'il règle les phénomènes d'aération, d'oxydation et de réduction, le drainage exerce une action marquée sur le sol et on peut même associer certaines caractéristiques du profil avec un type défini de drainage naturel.
- 5) Les matériaux originels sont les dépôts géologiques meubles d'origine et de nature diverses. Des matériaux ayant des propriétés physiques et chimiques variées réagissent de multiples façons aux autres agents formateurs du sol.

La pédogenèse s'intéresse aux mécanismes qui régissent le développement des divers horizons du profil. Puisque le sol se développe dans un matériau meuble et de granulométrie assez fine, un facteur important est l'altération chimique des minéraux. Celle-ci est conditionnée par l'eau qui véhicule les agents chimiques actifs (oxygène, acides organiques simples ou complexes, CO_2 ...) et par la température, qui intervient dans les vitesses de réaction. L'altération se fait par dissolution, hydratation, oxydation ou réduction et hydrolyse acide. Le transfert des éléments chimiques, actif à l'intérieur du profil, mènera à la constitution des divers horizons du profil. Dans le cas des sols du Québec, le transfert se fait principalement par des migrations descendantes (processus d'éluviation et de lessivage) ou obliques (le long des pentes).

Composition de l'humus

Les acides organiques constituent les plus puissants agents d'altération sous climat tempéré et il est essentiel de considérer la fraction organique un peu plus en détail. La quantité de carbone contenu dans la matière organique des sols, de l'ordre de 30 à 50 x 10^{14} kg, est cependant faible comparée à celle que renferment les sédiments (16 km de profondeur) de l'ordre de 200,000 x 10^{14} kg (Stevenson, 1982). La matière organique fraîche qui s'accumule chaque année à la surface du sol, et qui représente quelques tonnes/ha, est peu à peu décomposée par les organismes vivant dans le sol. La vitesse de décomposition est fonction des conditions du milieu ; la nature et la quantité des complexes humiques varie donc dans une large mesure. En milieu forestier, la matière organique assure un cycle biologique des éléments nutritifs. Il y a restitution, dans la litière, de la majeure partie des éléments assimilés. Ceux-ci sont provisoirement stockés dans la matière organique fraîche, puis remis en circulation par la minéralisation. Quand le cycle est rapide, la litière disparaît rapidement et une partie seulement des éléments est intégrée dans les synthèses humiques (mull). Quand le cycle est lent, les débris se décomposent lentement, s'accumulent à la surface du sol et les éléments sont incorporés dans un humus brut (mor).

La caractérisation des composés de l'humus repose sur la solubilité des acides organiques dans l'eau, les acides et les bases alcalines (Bariusio et al, 1985). On distingue :

- les acides créniques : solubles dans l'eau ;
- les acides fulviques : solubles dans les solutions alcalines et non précipitables par les acides ;
- les acides humiques : solubles dans les solutions alcalines et précipités par H_2SO_4 ;
- l'humine : insoluble dans les réactifs alcalins (Figure 4).

Ces composés sont des acides organiques complexes, dont le poids moléculaire varie considérablement, celui des acides humiques étant beaucoup plus élevé que celui des acides fulviques et dont les groupes actifs sont surtout de type COOH et OH phénoliques (Schnitzer 1984). La dégradation de ces molécules par les microorganismes peut produire des acides organiques plus simples. Ces divers acides ont un pouvoir complexant vis-à-vis des cations mais il est rare que les grosses molécules soient complètement saturées par les ions métalliques, ce qui les rend plus ou moins solubles dans les eaux de surface. Ces complexes ont une importance dans la chimie d'exploration pour les métaux (Baker 1973, 1978).

Activité microbienne dans les sols

Le sol contient cinq grands groupes de microorganismes : les bactéries, les actinomycètes, les champignons, les algues, les protozoaires.

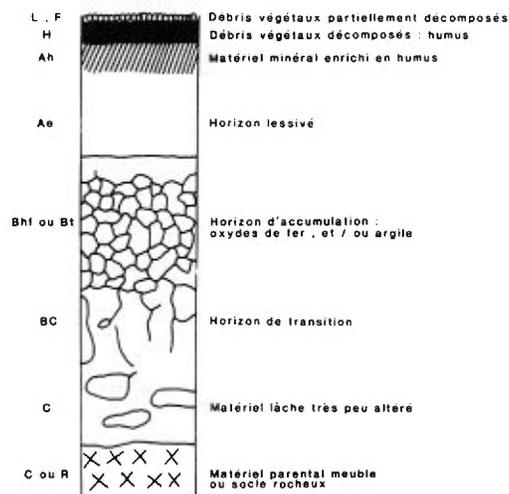


FIGURE 3 - Schéma d'un profil de sol avec horizons caractéristiques.

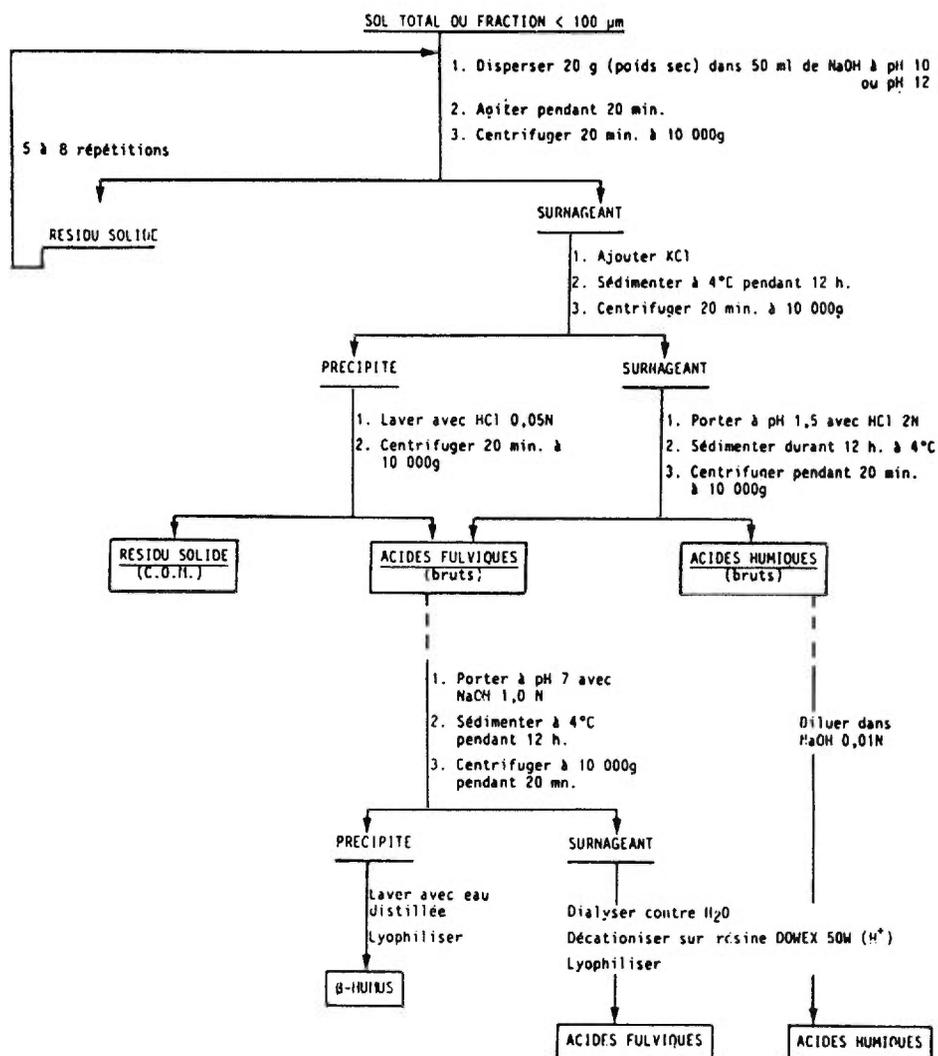


FIGURE 4 - Schéma de séparation des acides organiques (Tiré de Barriuso et al, 1985).

Les bactéries dominent dans les milieux peu oxygénés et peuvent utiliser divers substrats pour croître (Tableau 1). Leur nombre varie considérablement de 1000 à 200 millions par gramme de sol. L'importance des micro-organismes dans le cycle géochimique est due à plusieurs facteurs (Trudinger et al., 1979) :

- 1) leur abondance et leur taux de multiplication dépassent généralement de plusieurs ordres de grandeur celui des organismes supérieurs ;
- 2) les organismes microbiens sont présents dans un plus grand nombre d'environnements que les plantes et les animaux ;
- 3) les micro-organismes sont responsables de réactions chimiques particulières qui ont une grande importance au point de vue géochimique ;
- 4) Ce sont les micro-organismes qui ont d'abord colonisé la croûte terrestre. Ils ont été présents à la surface de la terre depuis environ 3 à 5 milliards d'années (Bowen, 1966).

La discussion portera surtout sur l'action des bactéries. Ces dernières adhèrent aux particules d'argile et d'humus par attraction électrostatique et sont rarement libres dans la phase liquide du sol. La profondeur est aussi une variable écologique qui affecte leur distribution. En zone tempérée, on les trouve surtout dans le premier mètre, près de la surface. Les bactéries à l'état de spore ou dans un état de dormance peuvent persister dans les sols, en milieu non-oxygéné, pendant des milliers d'années et être réactivées lorsque les conditions sont plus favorables. Les bactéries contribuent à la décomposition de la matière organique et minérale par diverses réactions d'oxydation et de réduction (Tableau 2). Un exemple bien connu est celui de l'oxydation de la pyrite par les bactéries *Thiobacillus* (Tableau 3).

La présence d'activité microbienne dans les couches profondes de la zone saturée sous le niveau de la nappe phréatique ne semble pas faire l'unanimité. Mais des expériences de simulation en laboratoire, de l'oxydation de la pyrite présente dans les lits de charbon on démontré que *Thiobacillus ferroxydans* catalyse l'oxydation de la pyrite dans la zone non saturée de la nappe phréatique, pendant quelques jours après l'infiltration de l'eau de pluie, de même bien entendu que dans la zone oxygénée de surface.

D'autres métaux ont été reliés à l'activité microbienne, soit à la phase de l'oxydation, soit à la phase de leur accumulation comme dépôts de minerai. Dans le cas de l'or, par exemple, un métal qui nous intéresse particulièrement, Watterson (1985) rapporte qu'une feuille d'or enfouie dans un sol aurifère humide près de Lingwood en Alaska est devenue très abondamment colonisée par les micro-organismes du genre *Penicillium* et a pris une apparence corrodée au bout de quelques mois. Des expériences préliminaires tendent à démontrer que des bactéries et d'autres débris microbiens sont présents dans les

résidus de dissolution de pépites d'or dans l'eau régale. Les spores de *Bacillus cereus*, une bactérie très commune dans les sols, peut servir de noyau dans la production d'or cristallin (Watterson 1985). Il a été démontré récemment que la concentration d'une souche de *Bacillus cereus* (une bactérie aérobique produisant des spores) est de 10 à 100 fois plus grande dans les sols au-dessus d'une zone minéralisée en or que dans les sols adjacents (Parduhn et al., 1985). Il semble qu'il y ait une bonne réponse même dans les zones enfouies par des pédiments ou du till glaciaire. Il sera intéressant de vérifier cette hypothèse dans les terrains minéralisés et recouverts par différentes épaisseurs d'argiles varvées, e.g. Louvem, Casa Berardi dans le nord-ouest du Québec. Ce travail est en cours. D'autre part, un certain niveau de concentration métallique pourrait empêcher la prolifération de certaines bactéries et de plus certaines bactéries ont tendance à augmenter la concentration de certains métaux de façon suicidaire dans le milieu ambiant, par exemple *Bacillus cereus* comme noyau des pépites.

Altération des minéraux

La dissolution des minéraux par l'eau et les acides organiques dépend dans une grande mesure de la taille des particules. Les réactions étant des réactions de surface, une plus grande surface d'attaque permettra une dissolution plus rapide, mais il faut tenir compte de la susceptibilité des minéraux à l'altération (Goldich, 1938).

Selon l'intensité de l'altération et la nature d'altération, on assistera à la disparition progressive de minéraux de plus en plus stables. Plusieurs auteurs ont étudié les réactions entre l'eau ou les acides organiques et divers minéraux (Tableau 4). Les assemblages minéraux résiduels permettent d'évaluer la progression de la pédogenèse. Les sulfures sont généralement instables dans l'environnement aérobique des sols. Les ions métalliques des sulfures sont libérés facilement et sont disponibles pour former des complexes organo-métalliques ou des oxydes. Par contre, les oxydes d'éléments métalliques sont stables dans l'environnement des sols ; ils sont peu mobilisés, peu mobiles aussi et servent souvent pour évaluer l'homogénéité des dépôts meubles.

Dans le domaine des pH qui définit la plupart des sols, il y a relativement peu de cations majeurs, à l'exception des cations alcalins, qui entrent facilement en solution vraie. Les Na^+ , Ca^{2+} , K^+ et Mg^{2+} sont souvent éliminés hors du profil. Par contre, la plupart des autres cations sont peu mobiles par eux-mêmes, puisqu'ils forment des hydroxydes dans la zone de pH comprise entre 5 et 8 (Tableau 5), valeurs assez communes dans les sols.

Ceci permet de comprendre les mécanismes impliqués dans la migration des éléments. Seule la silice peut entrer en solution à l'état de monomère. Mais elle polymérise rapidement. D'autre part, la quantité de silice soluble en

TABLEAU 1 - Classification nutritionnelle des bactéries (tiré de Dommergues et al, 1970).

	Donneur d'électrons minéral LITHOTROPHES	Donneur d'électrons organique ORGANOTROPHES
	PHOTOLITHOTROPHES	PHOTO-ORGANOTROPHES
	Plantes vertes	Bactéries pourpres non sulfureuses (Athiorhodacées)
	Algues	
	Bactéries sulfureuses pourpres (Thiorhodacées)	
Energie électromagnétique PHOTOTROPHES	Bactéries sulfureuses vertes (Chlorobactériacées)	
	Exemple: - Réaction de photosynthèse: $CO_2 + 2H_2O \rightarrow (CH_2O) + H_2O + O_2$ (le donneur d'électrons est H_2O)	
	CHIMIO-LITHOTROPHES	CHIMIO-ORGANOTROPHES
	Bactéries nitrifiantes	Animaux
	Bactéries sulfo-oxydantes	Végétaux non chlorophylliens
	Ferrobactéries	Micro-organismes hétérotrophes
Energie chimique CHIMIO-TROPHES	Bactéries hydrogène-oxydantes	Réaction générale: $DH_2 + A \rightarrow D + AH_2$ (DH_2 , et D sont les états initial et final du donneur d'électrons organiques; A et AH_2 sont les formes oxydées et réduites de l'accepteur d'électrons)
	Exemple: - Réaction de nitrification $NH_4 + 3/2 O_2 \rightarrow NO_2^- + H_2O + 2H^+$ (le donneur d'électrons est NH_4^+ ; l'accepteur d'électrons est O_2)	

Remarque: Suivant la nature des accepteurs finals d'électrons, on distingue chez les chimiotrophes trois sous-types de métabolismes:

- la respiration: l'accepteur final d'électrons est l'oxygène;
- la respiration anaérobie: l'accepteur final d'électrons est un composé minéral autre que l'oxygène (nitrate, sulfate, par exemple);
- la fermentation: l'accepteur final d'électrons est un composé organique

TABLEAU 2 - Réactions d'oxydation et de réduction impliquant des bactéries (tiré de Trudinger et al, 1979).

Élément	Réactions établies ou supposées
	OXYDATIONS
As	$AsO_3^{3-} + 0,5O_2 \rightarrow AsO_4^{3-}$
Fe	$Fe^{2+} \rightarrow e^- \rightarrow Fe^{3+}$
Mn	$Mn^{2+} + 0,5 O_2 + 2OH^- \rightarrow MnO_2 + H_2O$
P	$HPO_3^{2-} + H_2O \rightarrow 2e^- \rightarrow HPO_4^{2-} + 2H^+$
S	$H_2S + 0,5O_2 \rightarrow S^0 + H_2O$ $H_2S + 2O_2 \rightarrow SO_4^{2-} + 2H^+$ $S^0 + H_2O + 1,5 O_2 \rightarrow SO_4^{2-} + 2H^+$
	REDUCTIONS
As	$AsO_4^{3-} + 2H^+ + 2e^- \rightarrow AsO_2^- + 2OH^-$
Cu	$Cu(OH)_2 + H^+ + e^- \rightarrow Cu(OH) + H_2O$
Fe	$Fe(OH)_3 + H^+ + e^- \rightarrow Fe(OH)_2 + H_2O$
Hg	$Hg_0 + 2e^- \rightarrow Hg^{2-}$
Mo	$MoO_4^{2-} + 6H^+ + 3e^- \rightarrow 6HO_2 + 6OH^-$
Mn	$MnO_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow Mn^{2+} + 2OH^-$
P	$HPO_4^{2-} + 2H^+ + 2e^- \rightarrow HPO_3^{2-} + H_2O$
S	$SO_4^{2-} + 10H^+ + 8e^- \rightarrow H_2S + 4H_2O$
U	$UO_2(OH)_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow U(OH)_4$
V	$VO_4^{3-} + 3H^+ + e^- \rightarrow VO(OH)_2 + OH^-$

TABLEAU 3 - Exemples de réactions impliquant des bactéries chimiolithotrophes (tiré de Fromageot et Senez, 1960)

BACTERIES	DONNEURS D'ELECTRONS	ACCEPTEURS D'ELECTRONS	REACTIONS	PRODUITS FINALS DE LA REACTION	
				A PARTIR DU DONNEUR D'ELECTRONS	A PARTIR DE L'ACCEP- TEUR D'E- LECTRONS
<u>Thiobacillus</u> <u>thiooxidans</u>	S	O ₂	S + 3/2 O ₂ + H ₂ O → H ₂ SO ₄	SO ₄ ⁻⁻⁻	H ₂ O
<u>Thiobacillus</u> <u>denitrificans</u> (anaérobie)	S ₂ O ₃ ⁻⁻⁻	NO ₃ ⁻	5Na ₂ S ₂ O ₃ + 8KNO ₃ + 2NaHCO ₃ → 6Na ₂ SO ₄ + 4K ₂ SO ₄ + 4N ₂ + 2CO ₂ + H ₂ O	SO ₄ ⁻⁻⁻	N ₂
<u>Thiobacillus</u> <u>ferrooxidans</u>	S ₂ O ₃ ⁻⁻⁻ ou Fe ⁺⁺	O ₂	Fe ⁺⁺ → Fe ⁺⁺⁺ + e	SO ₄ ⁻⁻⁻ Fe ⁺⁺⁺	H ₂ O
<u>Hydrogenomonas</u> sp.	H ₂	O ₂	H ₂ + 1/2 O ₂ → H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O
<u>Desulfovibrio</u> <u>desulfuricans</u> (anaérobie)	H ₂	SO ₄ ⁻⁻⁻	SO ₄ ⁻⁻⁻ + 4H ₂ → S ⁻⁻⁻ + 4H ₂ O	H ₂ O	H ₂ S

TABLEAU 4-A - Réactions de l'eau et de l'acide humique 1 (HA1) avec des minéraux et des métaux (tiré de Baker, 1973).

MINÉRAUX PRIMAIRES		ELEMENT DETERMINE	g de métal extrait en 24hr H ₂ O/atmos O ₂ 0-1% HA1	
Galène	PbS	Pb	30	3000
Sphalérite	ZnS	Zn	20	120
Chalcopyrite	CuFeS ₂	Cu	10	140
		Fe	10	80
Bornite	Cu ₅ FeS ₄	Cu	40	1800
		Fe	10	800
Covellite	CuS	Cu	20	4400
Chalcocite	Cu ₂ S	Cu	200	15000
Pyrite	FeS ₂	Fe	10	240
Arsenopyrite	FeAsS	Fe	230	2700
Loellingite	FeAs ₂	Fe	360	3200
Bismuthinite	Bi ₂ S ₃	Bi	10	3800
Stibnite	Sb ₂ S ₃	Sb	160	750
Heazlewoodite	Ni ₃ S ₂	Ni	1100	43000*
Pararammelsbergite	NiAs ₂	Ni	2100	74000*
Breithauptite	NiSb	Ni	2300	59000*
Hématite	Fe ₂ O ₃	Fe	20	340
Pyrolusite	MnO ₂	Mn	30	2100
Calcite	CaCO ₃	Ca	1200	93000*
Fluorite	CaF ₂	Ca	50	600
Barite	BaSO ₄	Ba	10	500
MINÉRAUX SECONDAIRES				
Malaïte	Cu ₂ (OH) ₂ CO ₃	Cu	10	104000*
Smithsonite	ZnCO ₃	Zn	50	70000*
Anglésite	PbSO ₄	Pb	10	96000*
Cérussite	PbCO ₃	Pb	10	218000*
Pyromorphite	Pb ₅ (PO ₄) ₃ CL	Pb	10	4600
Crocoïte	PbCrO ₄	Pb	10	8200
Annabergite	(Ni,CO) ₃ (AsO ₄) ₂ 8H ₂ O	Ni	10	5800
Métaux				
Fer		Fe	1200	133000*
Plomb		Pb	50	291000*
Cuivre		Cu	10	46000*
Zinc		Zn	160	37000*

* Estimé à partir d'un essai de 2 heures.
100 ml 0-1% (p/v) HA1 réagissant sur un poids en grammes égal à la densité des minéraux dont la granulométrie varie de 247 à 590 microns.

TABLEAU 4-B - Réactions de quelques composés organiques avec des minéraux et des métaux (tiré de Baker, 1973).

	ELEMENT DETERMINE	HA1*	Salicytique acide	m de métal extraits en 1 heure		
				acide oxalique	pyrogallol	alanine
Galène	Pb	200	130	95	35	5
Sphalérite	Zn	30	30	20	8	20
Bornite	Cu	1290	260	650	55	10
Chalcocite	Cu	3800	4450	9750	920	1530
Bismuthinite	Bi	550	180	4820	1640	55
Stibnite	Sb	45	5	580	5	5
Pararammelsbergite (NiAs ₂)	Ni	9800	10500	7620	2380	1730
Hématite	Fe	470	3	80	20	20
Pyrolusite	Mn	1000	420	15500	5150	520
Calcite	Ca	10500	11900	980	2040	1400
Cuivre	Cu	5700	5500	2620	1190	7
Plomb	Pb	27400	41800	600	1470	2.

* Tous les réactifs sont en concentration de 0,1% p/v.

Alanine: CH₃CH(NH₂)COOH
Pyrogallol: C₆H₆O₃
Acide salicylique: C₇H₆O₃
Acide oxalique: (COOH)₂H₂O

TABLEAU 5 - Ph de précipitation et de redissolution des métaux.

Hydroxyde solution 0.01M	Début de précipitation	pH redissolution	Anion
Si(OH)_4	0	entre 7.5 et 11.0	HSiO_3^- , SiO_3^{--}
Sn(OH)_4	0.5	entre 12 et 13	HSnO_3^- , SnO_3^{--}
Sn(OH)_2	1.5	13	HSnO_2^-
Hg(OH)_2	2.0	14	HHgO_2
Fe(OH)_3	2.2	14	
Al(OH)_3	3.8	entre 10.6 et 13	H_2AlO_3^- , AlO_2^-
Bi(OH)_3	4.0	14	BiO_2^-
Cr(OH)_3	5.0	entre 13 et 14	CrO_2^-
Cu(OH)_2	5.0	15	CuO_2^-
Fe(OH)_2	5.8	14	HFeO_2^-
Zn(OH)_2	6.8	13.5	HZnO_2^- , ZnO_2^{--}
Pb(OH)_2	7.2	13	HPbO_2^- , PbO_2^{--}
Ni(OH)_2	7.4	14	
Co(OH)_2	7.5	14	
Ag(OH)	8.0	14	
Mn(OH)_2	8.3	14	HMnO_2^-
Mg(OH)_2	entre 9.6 et 10.6	14	

équilibre avec la silice amorphe est de l'ordre de 125 à 140 ppm, mais la valeur baisse à 10 ppm en équilibre avec le quartz (Wey et Siffert, 1962).

Dans les horizons éluviaux des sols de régions tempérées, la silice s'accumule de façon relative sous forme de quartz. Dans les sols tropicaux, où la pluviosité est très élevée, on trouvera des sols dépourvus de silice.

Les ions Fe et Al, insolubles sous forme ionique, forment des complexes organo-métalliques avec les acides fulviques et humiques (Figure 5) et sont ainsi transportés jusque dans l'horizon B où ils s'accumulent. C'est le cas des podzols.

Mobilité des ions métalliques et exploration géochimique

La translocation des éléments majeurs dans les horizons du sol a été discutée brièvement plus haut. Il sera maintenant question de la mobilité des ions métalliques en trace (Figure 6). Si les éléments métalliques dans les sols sont issus des minéraux présents dans la croûte terrestre, leur présence et leur mobilité dans les horizons du sol est d'abord fonction de la rapidité avec laquelle ces minéraux se décomposent en présence de la matière organique et dans l'environnement de surface. La mobilité des ions est fonction du pH et des conditions d'oxydo-réduction. Certains éléments comme le molybdène, le sélénium, l'uranium et le vanadium sont par exemple mobilisés facilement dans des conditions oxydantes.

Bien qu'il y ait des divergences d'opinion sur ce sujet (Salminen et Kokkola, 1979), les plantes sont des accumulateurs d'éléments (Brooks, 1983). Ceci a été mis en évidence par Trudinger et al. (1979, tableau 6), Warren (1980) et Kovalevskii (1984). Il faudra aussi prendre en ligne de compte la vitesse de décomposition des débris végétaux pour évaluer la libération des éléments métalliques qu'ils contiennent.

On peut imaginer la séquence suivante : les minéraux entrent en solution, des éléments sont prélevés par les racines des plantes, ils sont transférés aux parties aériennes et incorporés sous forme de complexes organiques dans le matériel vivant. Ce procédé est différent de celui de la formation des complexes organo-métalliques par les acides fulviques et humiques (Schnitzer, 1984, Shoty, 1984). Au début de la décomposition des débris végétaux et animaux, les composés les plus solubles, surtout des carbonates et des sulfates, sont délavés hors du profil par les eaux de pluie. Les autres espèces chimiques vont former les composantes de l'humus, sujet qui a été discuté plus haut. La décomposition graduelle et cumulative des débris organiques produit ainsi un enrichissement des éléments traces dans la couche organique du sol. Les éléments traces les plus enrichis par cet effet cumulatif sont les suivants : As, Be, Cd, Co, Ge, Au, Pb, Mn, Ni, Sc, Ag, Sn, U, Zn (Brooks, 1983). L'accumulation de certains éléments dans la couche organique en décomposi-

tion au cours du temps peut être déduite de façon indirecte par les datations au ^{14}C obtenues sur la fraction organique de certains sols du Canada (Martel et LaSalle, 1977 ; Stevenson, 1982) donnant la durée moyenne de persistance de la matière organique dans ces horizons. La matière organique séjourne quelques milliers d'années dans les sols des régions tempérées. Les âges moyens, de l'ordre de 1000 à 2000 ans signifient qu'il se trouve de la matière organique très jeune mais aussi de la matière organique très ancienne, beaucoup plus vieille que 2000 ans.

On peut s'attendre à des temps moyens de résidence plus jeune pour les régions du nord-ouest du Québec, puisque la végétation ne s'y est installée probablement que depuis 7000 ans (LaSalle, 1985). Les sols étant relativement jeunes dans ces régions par rapport à des régions situées ailleurs dans le monde et qui n'ont pas subi de glaciation, les contrastes pouvant indiquer des concentrations anormales et donc des minéralisations seront probablement plus faibles.

La littérature géochimique récente, rapporte des exemples de l'utilisation de l'humus dans la prospection géochimique (Kokkola, 1977 ; Nuutilainen et Peuraniemi, 1977 ; Toverud, 1979, 1984 ; Lalonde et al., 1981 ; Erdman 1984). Dans ce dernier cas (Lalonde et al., 1981) les échantillons d'humus ont été prélevés dans l'horizon A, sur des argiles glacio-lacustres. Ces auteurs concluent que les anomalies décelées dans l'humus prélevé sur les argiles varvées semblent correspondre à des anomalies déjà décelées dans le till sous-jacent et dans les eaux souterraines. Pour expliquer ce phénomène, ils semblent favoriser, entre autres mécanismes, la migration des ions sous l'influence de la pression hydrostatique (Smee, 1979 ; Coville, 1980). Dans les autres cas cités plus haut, l'humus a été prélevé dans des sols développés sur du till. Kokkola (1977) rapporte que les concentrations métalliques reflètent le contenu du till, mais que les teneurs semblent s'atténuer à mesure que l'épaisseur du mort-terrain augmente. Dunn (dans Erdman, 1984) fait aussi part de résultats obtenus sur la litière (Horizon L) prélevée en forêt boréale canadienne dans une région contenant des minéralisations de Au, mais à faible teneur. Il observe que la litière séchée contient des valeurs atteignant 6 ppb de Au et que le contour de l'anomalie ainsi délimitée correspond à la zone minéralisée riche en Au. Près de Hopetown, en Ontario, DiLabio et al. (1982) ont trouvé une relation entre les teneurs de zinc dans les feuilles de graminées et les aiguilles de conifères (*Picea mariana* et *Abies balsamea*) et le halo secondaire de dispersion de ce métal dans le till.

Toverud est moins affirmatif en ce qui concerne l'humus et le tungstène. Dans un cas, (Toverud, 1979) il conclut que l'humus peut être un complément dans l'étude de la géochimie du till, le désavantage étant l'impossibilité de faire des études minéralogiques dans le cas de l'humus. Dans un deuxième cas, (Toverud, 1984), il conclut

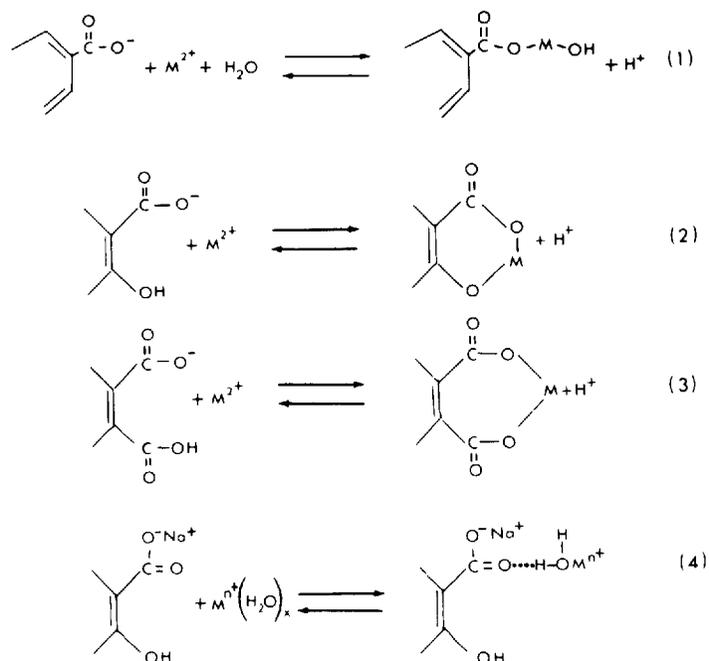


FIGURE 5 - Types de liaisons organo-métalliques (Tiré de Schnitzer, 1981).

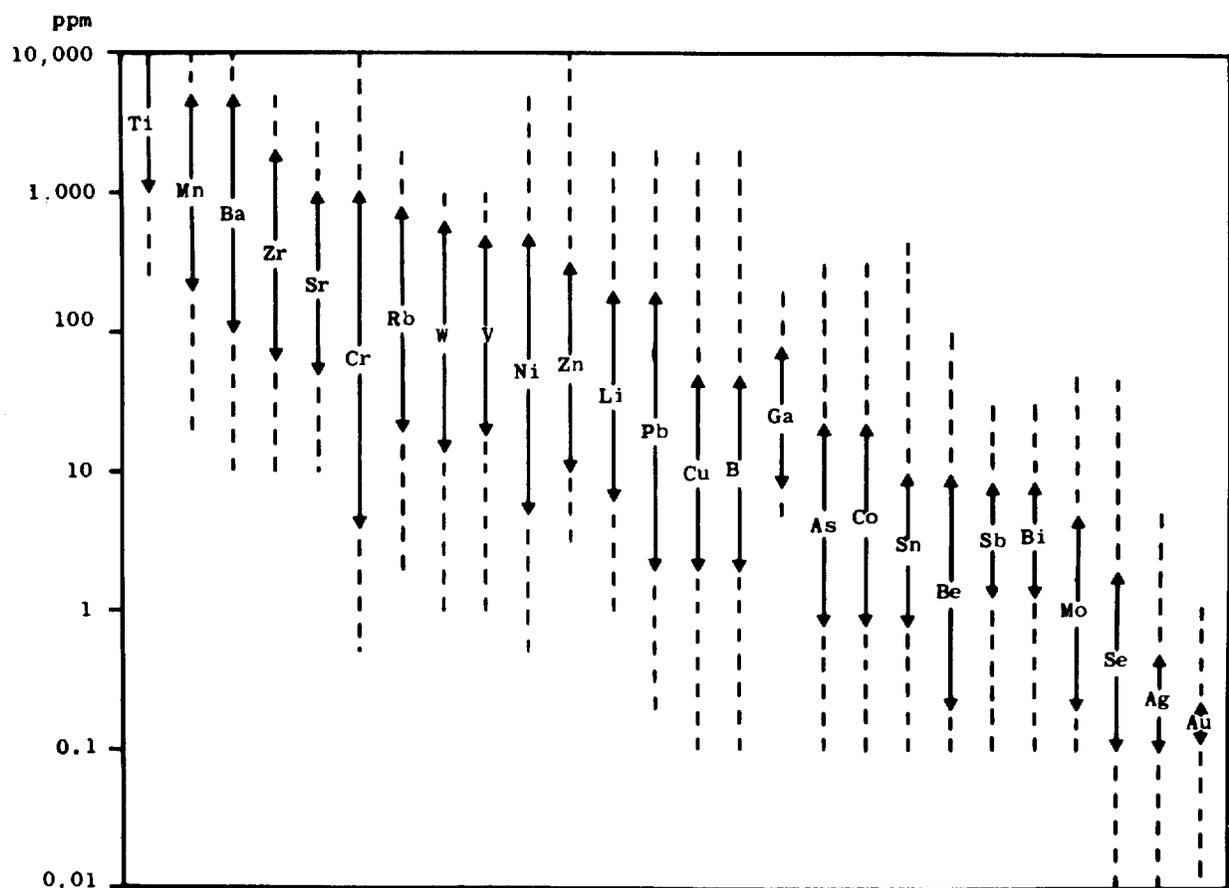


FIGURE 6 - Domaines d'abondance des éléments mineurs dans les sols. Les pointillés indiquent les valeurs extrêmes. (Tiré de Brooks, 1983, p. 120).

TABLEAU 6-A - Exemples d'organismes accumulateurs (tiré de Trudinger et al, 1979).

ELEMENTS	ORGANISMES ACCUMALTEURS
Al	Lycophytes
As	algues brunes et coelentérés
B	algues brunes et éponges
Br	algues brunes, éponges, coelentérés et mollusques
Ca	protozoaires, éponges, coelentérés, échinodermes, mollusques et vertébrés
Cl	coelentérés mous
Cu	annélides, arthropodes et la plupart des mollusques
F	vertébrés (dans le squelette)
Fe	quelques bactéries, plancton, et les plantes genre <u>Equisetum</u>
I	diatomées, algues brunes, éponges, coelentérés,
Mn	fougères, crustacés marins
Na	Coelentérés mous
Si	plantes du genre Equisetum
Sr	diatomées, quelques protozoaires, éponges
V	Algues brunes (de préférence à Ca)
Y	quelques tuniciens
Zn	fougères
	coelentérés

TABLEAU 6-B - Enrichissement typique d'éléments dans les plantes marines (tiré de Trudinger et al, 1979).

ELEMENTS ESSENTIELS		ELEMENTS NON-ESSENTIELS	
ELEMENTS	FACTEUR D'ENRICHISSEMENT PAR RAPPORT A L'EAU DE MER	ELEMENTS	FACTEUR D'ENRICHISSEMENT PAR RAPPORT A L'EAU DE MER
Al	6,000	Ag	830
B	24	As	10,000
C	12,300	Au	1,200
Ca	25-750	Ba	1,000
Co	2,300	Be	1,700
Cu	3,700	Bi	3,530
Fe	70,000	Cd	4,000
I	500-25,000	Cr	20,000
K	140	Cs	1,400
Mg	4	F	3,5
Mn	26,500	Ga	17,000
Mo	45	Hg	1,000
Na	3	Li	170
P	50,000	Ni	600
Rb	70	Pb	267,000
S	14	Sn	330
Se	8,900	Tl	12,000-80,000
Si	500-6,700	W	35
Sr	33-175		
V	1,000		
Zn	15,000		

que les concentrés de minéraux lourds du till devraient avoir la priorité sur l'humus dans la prospection pour le tungstène, parce que les hautes teneurs de tungstène dans l'humus sont difficilement reproductibles.

A la lumière de ces exemples, on peut se demander si les ions métalliques peuvent se concentrer dans les horizons du sol par des procédés autres que ceux propres à la pédogénèse. Salminen et Kokkola (1979) ont observé des variations saisonnières dans le contenu métallique de l'humus et pour la majorité des éléments analysés, au-dessus des zones à concentrations anormales en éléments métalliques. Cette variation est attribuable selon ces auteurs, à plusieurs facteurs comme le degré d'humidité, le lessivage de l'humus par l'eau de fonte, l'effet des pluies acides, etc. Ils concluent aussi que les éléments métalliques ne viennent donc pas de la décomposition des plantes, conclusion qui est plutôt étonnante puisqu'ils n'observent pas les mêmes variations systématiques pour le bruit de fond établi dans les zones en dehors des concentrations anormales.

Ces observations semblent plutôt confirmer qu'il y a un contenu original stable d'éléments métalliques dans l'humus qui provient de la décomposition des plantes. Il faut noter que les éléments analysés dans l'humus n'ont pas fait l'objet d'une étude par Salminen et Kokkola (1979). Les variations saisonnières peuvent être attribuées à des évacuations ou à des apports externes déterminés par différents facteurs entre autres des facteurs électrochimiques dus à la présence d'un conducteur (Salminen et Kokkola, 1979). Comme les ions sont très mobiles dans l'eau, les changements de concentrations causés par des facteurs électrochimiques sont favorisés par les précipitations, les eaux de fonte etc. D'autre part, comme il a été souligné précédemment, les bactéries jouent un rôle considérable dans la transformation de l'état des éléments et il est bien connu que l'activité microbiologique peut varier dans de très larges mesures, au cours de l'année. Ce facteur est peut-être plus important qu'on ne le pense généralement.

Dans le nord-ouest du Québec, des anomalies en Cu, Zn, Pb, Ni, Mo, As ont été relevées dans des échantillons d'humus prélevés au voisinage du site actuel de la mine Selbaie (Beaumier, 1983). Les échantillons ont été prélevés alors que le site était pratiquement vierge. On peut donc exclure toute contamination de la région avant que le prélèvement des échantillons n'ait été effectué. La région est semblable à celle étudiée par Salminen et Kokkola (1979), à l'exception du fait que le till à Selbaie est recouvert par des argiles glacio-lacustres ou bien par un till argileux provenant de la remobilisation des argiles glacio-lacustres par le glacier. Les variations saisonnières de concentration dans l'humus n'ont pas été étudiées mais il a été établi par forage qu'une imposante masse de sulfures est enfouie sous plus de 30 m de mort-terrain incluant deux couches de till très compact séparées par des sables (LaSalle, 1985). Les tills ont donné des valeurs éle-

vées en Cu, Zn, Pb, Ag (Driftex Ltd, 1975). Les anomalies pourraient être reliées à un transport de matériaux rocheux vers la surface du till suivant le modèle de la figure 1. De plus, la topographie de la surface du roc étant très inégale, le till sous-jacent aux argiles glacio-lacustres et au till argileux de surface se retrouve par endroits à moins de 3 m. de la surface. On peut donc présumer qu'à ces endroits (bedrock high) le till inférieur a été réincorporé en partie dans le till supérieur lors d'avancées subséquentes. Les hypothèses les plus souvent retenues pour expliquer les anomalies dans l'humus à Selbaie sont le transfert des anomalies du till supérieur aux argiles glacio-lacustres et au till argileux par des procédés pédochimiques (voir Smee, 1979 ; Colville, 1980) ou électrochimiques (Salminen et Kokkola, 1979). Ceci ne semble pas tout à fait satisfaisant. Des études plus poussées et plus détaillées sont en cours pour essayer d'expliquer ces phénomènes et ainsi encourager une plus grande utilisation de l'humus pour l'exploration dans le nord-ouest du Québec. On doit cependant retenir que, à cause de la topographie, le till de surface argileux a pu incorporer des éléments glaciogéniques de la partie supérieure du till sous-jacent et que l'humus reflète ce transfert (fig. 1).

De la discussion qui précède, on voit que l'humus comme outil d'exploration a donné des résultats intéressants dans des régions où les sols sont développés directement sur le till. Il apparaît aussi que dans les régions où l'épaisseur de l'argile glacio-lacustre ne dépasse pas 3 m., l'humus semble refléter encore bien les éléments glaciogéniques du till. Plusieurs problèmes restent cependant encore à élucider étant donné la variété d'environnements où s'accumule l'humus dans le contexte de dépôts glaciaires du Québec. Un dernier problème à mentionner pour une comparaison entre l'humus et le till est celui de la granulométrie du matériel soumis à l'analyse. Cet aspect a été souligné par Rencz et Shilts (1984) : la fraction la plus susceptible à l'attaque chimique est la fraction < 2 microns, s'il y a donc une répartition chimique différente selon la granulométrie, les anomalies dans des échantillons dont la distribution granulométrique est très large auront tendance à être diluées et peut-être même à disparaître. Or les échantillons standards de géochimie sont le plus souvent dans la fraction 80 mesh ou 177 microns.

L'or dans les sols

A cause de l'intérêt actuel pour la recherche de l'or, il semble opportun d'aborder ce sujet de façon particulière. Il existe peu de littérature qui traite de façon globale de la chimie de l'or dans les environnements naturels (Lakin et al, 1974 ; Boyle, 1979 ; Roslyakov, 1976 ; Jones, 1970 ; Brooks, 1983). L'or est présent dans les sols, les plantes et les animaux en quantité très variable souvent en fonction de la proximité de source de minerai dans la croûte. Les teneurs dans les sols varient de traces à plus de 1000 ppb. La chimie de l'or dans la zone humifère est encore mal

connue. On a longtemps pensé et on pense encore que l'or peut former des complexes organiques solubles avec les acides organiques (Baker, 1978 ; Brooks, 1983 ; Webster et Mann, 1984). Par contre, Ong et Swanson, (1969) affirment que le chlorure d'or en solution est réduit à l'état de colloïdes négatifs d'or métallique en présence des acides organiques : la réduction est effectuée par les groupes carboxyliques et phénoliques et les acides organiques stabilisent les colloïdes en les entourant d'une couche protectrice qui les empêchent de croître et de précipiter. Les colloïdes d'or sont probablement formés très facilement dans la nature puisque l'or est aisément réduit à l'état de fines particules par des procédés fluviaux et glaciaires (LaSalle, 1980). Ceci rend plausible son absorption par les plantes et explique les hautes concentrations dans les tissus des végétaux au-dessus des zones minéralisées (Jones, 1970 ; Swanson, 1969). L'or a tendance à former des complexes et n'est pas sujet au phénomène d'exclusion par les différents organes des plantes (Brooks, 1983 ; Kovaleskii, 1984). La présence d'or colloïdal (0.05 micron en diamètre) pourrait également expliquer sa grande mobilité dans les sols. En résumé, quand les acides organiques sont présents dans l'environnement, que le pH est plus petit que 3 et que des chlorures d'or peuvent se former, l'or sera précipité sous forme de colloïde d'or métallique et incorporé à la matière organique. Dans un environnement où le pH est supérieur à 3, les acides organiques sont solubles et l'or peut être transporté sous forme de colloïdes métalliques entourés de matière organique mais les colloïdes précipitent quand ils rencontrent un environnement plus acide. Ces conclusions de Ong et Swanson (1969) rejoignent celles de Baker (1978) qui croit cependant que l'acide humique forme des complexes organiques avec l'or en trace et permet son transport en solution.

Baker (1978) ne pense pas que l'ion AuCl_4^- est très abondant dans la nature parce que les dépôts de sulfures qui peuvent donner naissance à cet anion occupent une portion insignifiante de la surface de la lithosphère. Par contre, 70% de la surface des terres émergées est occupée par de la végétation (soit des forêts ou des prairies) qui produit de grandes quantités d'acides humiques (Dräger et Lauer, 1967). Il est donc plus plausible que l'or disséminé sous forme de traces dans la lithosphère, est mobilisé par l'acide humique produit par la décomposition de la végétation. De plus, les acides humiques ne doivent pas nécessairement être considérés comme des agents réducteurs. Baker (1978) rapporte des valeurs de Eh de +300 mV pour les solutions d'acides organiques et considère que ces valeurs ne constituent pas des conditions réductrices très fortes, nécessaires pour passer par le stade AuCl_4^- .

On retrouve l'or dans les ruisseaux de la Beauce et de l'Estrie dans un grand nombre de localités (McGerrigle, 1936 ; LaSalle, 1980 ; Maurice, 1985). L'or est présent en concentration très variable dans presque toutes les for-

mations de la Beauce et certaines formations tels les shistes de Bennett semblent en contenir plus que d'autres. On peut donc concevoir, selon l'hypothèse de Baker (1978), que l'or mobilisé par les procédés pédologiques avant la glaciation i.e. au Tertiaire, est entré en solution sous forme de complexes organiques avec les acides humiques. Il a pu ainsi entrer dans le système fluvial (Reuter et Perdue, 1977) et reprécipiter sur des particules d'or qui servaient de noyaux, ou même sur des bactéries (Watterson, 1984, 1985).

Il y aurait ainsi de l'or détritique dans le système fluvial de la Beauce, mais aussi de l'or transporté en solution sous forme de complexes organiques. Il est probable que l'or de la Beauce n'a pas bougé plus loin à partir de sa source originale. Le glacier l'a incorporé dans le matériel glaciaire et pendant les interglaciaires, l'or des sédiments glaciaires est de nouveau entré dans le système fluvial en partie en solution sous forme de complexes organiques et en partie sous forme détritique tout comme aujourd'hui, pour donner les résultats que l'on sait.

Un bon nombre exemple de ceci est décrit par Curtin et al, 1968, 1971) et rapporté par Brooks (1983). Une corrélation remarquable a été démontrée entre l'humus de la forêt et la minéralisation d'or connue à ce même endroit au Colorado. Les anomalies en or dans les horizons inférieurs du sol de même que les éléments du train d'erratiques (peddles, cobbles) ne reflétaient pas de façon convaincante la masse de minerai présent sous les alluvions et les matériaux glaciaires. Brooks (1983) a obtenu aussi une bonne corrélation entre les concentrations en or dans les feuilles de dix espèces de plantes de la Nouvelle-Zélande et les concentrations en or dans les sols qui les supportent.

Cette hypothèse est encore supportée par les résultats de Severson et al (1985) qui ont montré que l'or est enrichi dans les solutions organiques du sol (moins de 0.5mg/l à 1.5mg/l) par un facteur de 10^3 par rapport aux concentrations dans les eaux des rivières (0.02 mg/l) avoisinant une exploration de placer près de Livengood en Alaska.

En plus de l'analyse de Au dans l'humus pour évaluer l'or présent dans les sédiments, il ne faudrait pas ignorer d'autres évidences, indirectes peut-être, mais qui présentent un intérêt certain. En effet, des éléments tel l'arsenic sont généralement associés à l'or et sont également concentrés dans l'humus (Brooks, 1983). De telles associations d'éléments apporteraient une évidence additionnelle de l'existence des minéralisations sous-jacentes à des anomalies dans l'humus.

Conclusion

Au cours de la formation des sols, l'altération et la dissolution des minéraux libèrent des quantités élevées de divers ions. Les principaux facteurs de l'altération chimi-

que sont l'eau chargée de CO_2 , mais surtout les acides organiques.

Une fraction des ions libérés entre dans le cycle biochimique puis ils sont retournés dans le sol lorsque les organismes vivants qui les avaient accumulés meurent et sont décomposés. Une autre partie des éléments libérés par l'altération entre plus rapidement dans le cycle géochimique, mais le plus souvent cela se fait par l'intermédiaire de complexes organo-métalliques, comme de nombreuses études l'ont souligné.

Il semble bien accepté par la plupart des chercheurs que la fraction organique des sols exerce une action de concentration sur la plupart des éléments métalliques. Ce facteur est particulièrement intéressant pour repérer des concentrations anormales dans le roc, le till glaciaire ou tout autre substratum. Plusieurs exemples de prospection géochimique par l'humus ont donné des résultats intéressants, mais c'est en Finlande, où les marécages et les tourbières abondent, que le taux de réussite semble le plus élevé.

Dans les régions qui ont été soumises à la glaciation, un problème majeur est la dispersion des clastes métalliques (allant des blocs aux micro-erratiques). Le succès dans ce cas dépend de l'épaisseur de la couverture de till, et du nombre d'événements glaciaires qui se sont succédés dans une région donnée. On ne pourra donc assez insister sur l'importance d'une bonne connaissance de la stratigraphie des sédiments glaciaires pour l'interprétation des dispersions géochimiques.

Dans le cas particulier où l'humus (ou encore l'humus sur argiles varvées) semblent donner une bonne réponse, comme à Selbaie, la couverture des argiles glacio-lacustres (incluant le till de Cochrane) est beaucoup moins épaisse qu'on ne l'avait d'abord imaginé.

À la lumière de ce qui a été dit précédemment, il semble bien démontré que la fraction organique des sols présents à la surface de la croûte terrestre constitue un outil de prospection géochimique intéressant, même dans le contexte de géologie glaciaire comme celui du Québec ou de la Finlande.

Références

- BAKER, W. E., 1973 – The role of humic acids from Tasmanian podzolic soils in mineral degradation and metal mobilization : *Geochemica and Cosmochimica Acta*, V. 37, p. 269-281.
- 1978 – The role of humic acid in the transport of gold : *Geochemica Cosmochimica Acta*, V. 42, p. 646-650.
- BANISTER, D. P., 1970 – Geochemical investigations for gold, antimony, and silver, at Stibnite Idaho : U. S. Bureau of Mines Rept of Investigation 7417, 7 p.
- BARRIUSO, E. – ANDREUX, F. – PORTAL, J. M., 1985 – Quantification des acides humiques et fulviques d'un sol acide de montagne, discussion méthodologique : *Science du sol*, No I, p. 23-35.
- BEAUMIER, M., 1983 – *Pédogéochimie – Région de Brouillan* : Ministère de l'Énergie et des Ressources, DP 83-10, 10 p., 11 cartes.
- BOUCHARD, M. – GODARD, A., 1984 – Les altérites du Bouclier canadien : Premier bilan d'une campagne de reconnaissance : *Géographie Physique et Quaternaire*, V. 38, p. 149-163.
- BOWEN, H.J.M., 1966 – *Trace elements in biochemistry* : Academic Press, New 241 p.
- BOYLE, R.W., 1979 – The geochemistry of gold and its deposits : Commission Géologique du Canada, Bulletin 280, 584 p.
- BROOKS, R.R., 1983 – *Biological methods of prospecting for minerals* : Wiley York, 322 p.
- COLVILLE, J.S., 1980 – A theoretical estimation of ion mobilities through glacio-lacustrine sediments : diffusion down a concentration gradient : *discu Commission Géologique du Canada, Current Research, part A, Paper 80-IA*, p. 392.
- COMMISSION CANADIENNE DE PÉDOLOGIE, 1978 – Le système canadien de classification des sols : Ministère de l'Agriculture, publication 1646, Ottawa, 170 p.
- CURTIN, G.C. – LAKIN, H.W. – NEUERBURG, G.J. – HUBERT, A.E., 1978 – Utilisation of humus-rich forest soil (mull) in geochemical exploration for V.S. Geological Survey, Circular 562, 11 p.
- CURTIN, G.C. – LAKIN, H.W. – HUBERT, A.E. – MOSIER, E.L. – WATTS, K.C., 1971 – Utilisation of mull (forest humus layer) in geochemical exploration in the Empire district, Clear Creek County, Colorado : U. S. Geological Survey. Bull. 1278-B, 39 p.
- DiLABIO, R.N.W. – RENCZ, A.N. – EGGINTON, P.A., 1982 – Biogeochemical expression of a classic dispersal train of metalliferous till near Hope town, Ontario : *Journal Canadien des Sciences de la Terre*, V. 19, p. 2297-2305.
- DOMMERGUES, Y. – MANGENOT, F., 1970 – *Écologie microbienne du sol* : Masson, Paris, 796 p.
- DRAEGER, W. C. – LAUER, D.T., 1967 – Present and future forestry applications of remote sensing from space : 4th meeting, American Institute of aeronautics and astronautics, Anaheim, California, Paper 67-765.
- DRAKE, L.D., 1983 – Ore plumes in till : *Journal of Geology*, V. 91, p. 707-713.
- DRIFTEX LIMITED, 1975 – Report on overburden drill drift prospecting orientation survey, Brouillan Township, Quebec : Selco Mining Corp. Ltd. and l'Énergie et des Ressources, GM-31966.
- ERDMAN, J. A., 1984 – Workshop 2 : Biogeochemistry in mineral exploration : *Journal of Geochemical exploration*, V. 21, p. 123-128.

- FROMAGEOT, C. – SENEZ, J.C., 1960 – Aerobic and anaerobic reactions of inorganic substances : p. 347-409 in *Comparative biochemistry*, Florkin-Mason, éditeur, Academic Press, New-York.
- GOLDICH, S.S., 1938 – A study of rock weathering : *Journal of Geology*, V. 46, p. 17-58.
- HIRVAS, H., 1977 – Glacial transport in Finnish Lapland : In : *Prospecting in areas of glaciated terrain*. G.R. Davis, éditeur, The Institute of Mining and Metallurgy, London, p. 128-140.
- JONES, R.S., 1970 – Gold content of water, plants and animals : U.S. Geological Survey Circular 625, 1-15.
- KOKKOLA, M., 1977 – Application of humus to exploration : In *Prospecting in areas of glaciated terrain*, The Institution of Mining and Metallurgy, London, p. 104-110.
- KOVALEVSKII, A.L., 1984 – Biogeochemical prospecting for ore deposits in the U.S.S.R. : *Journal of Geochemical exploration*, V. 21, p. 63-72.
- LAJOIE, P.G., 1975 – Les terres agricoles du Québec méridional : Distribution, étendue et qualité : *Agriculture Canada*, publication 1556, Ottawa, 62 p.
- LAKIN, H.W. – CURTIN, G.C. – HUBERT, A.E., 1974 – Geochemistry of gold in the weathering cycle : *United States Geological Survey, Bulletin* 1330, 80 p.
- LALONDE, J.P. – CHOUINARD, N. – BEAUMIER, M., 1981 – Essai de prospection pédogéochimique en milieu d'argiles lacustres de l'Abitibi-Temiscamingue, DPV-778, 134 p.
- LaSALLE, P., 1980 – L'or dans les sédiments meubles : Formation des placers, extraction et occurrence dans le sud-est du Québec : Ministère de l'Énergie et des Ressources ; DPV-780, 26 p. + cartes.
- 1985 – La stratigraphie du Quaternaire du Québec, une revue : Ministère de l'Énergie et des Ressources ; MB-85-11, 74 p.
- LaSALLE, P. – DeKIMPE, C.R. – DAVID, P.P., – Glacial dispersion in southern Gaspé Peninsula : *Geology*, manuscrit soumis.
- MARTEL, Y.A. – LaSALLE, P., 1977 – La datation au radiocarbone de la matière organique de quelques sols du Québec : *Géographie Physique et Quaternaire*, V. 31, p. 373-378.
- MAURICE, U.T., 1985 – Interprétation sommaire des résultats d'un levé géochimique de minéraux lourds en Estrie, Québec : ce volume.
- MAURICE, Y.T. – MERCIER, M., 1985 – Procédure d'échantillonnage des minéraux lourds alluvionnaires au moyen de concentrateurs mécaniques : ce volume.
- McGERRIGLE, H.W., 1936 – Placers aurifères des Cantons de l'Est. Dans : *Rapport annuel du Service des Mines pour l'année 1935*, Partie E, 69 p. + cartes.
- NAWROCKI, P.E. – ROMER, D.M., 1979 – A buried anomaly associated with a float train in central Ireland : In *Prospecting in areas of glaciated terrain*, G.R. Davis, editor, The Institution of Mining and Metallurgy, London, p. 40-44.
- NENONEN, K., 1984 – Till stratigraphic studies as an aid to ore prospecting in Finland : In *Ten Years of Nordic Till Research*, L.K. Königsson, editor, Uppsala, *Striae*, V. 20, p. 101-105.
- NUUTILAINEN, J. – PEURANIEMI, V., 1977 – Application of humus analysis to geochemical prospecting : some case histories : In *Prospecting in areas of glaciated terrain*, G.R. Davis, editor, Institute of Mining and Metallurgy, London, p. 1-5.
- ONG, H.L. – SWANSON, V.E., 1969 – Natural organic acids in the transportation, deposition and concentration of gold : *Quarterly of the Colorado School of Mines*, V. 64, p. 395-425.
- PARDUHN, N. L. – WATTERSON, J.R. – SILBERMAN, M. L. – Erickson, M.S., SHARKEY, J.D. – WALTER, M., 1985 – Geomicrobial exploration for gold deposits. Symposium : Organics and ore deposits, Denver Region Exploration Geologists Society, April, 1985, Denver, Abstracts and Program, p. 20.
- PELTONIEMI, H., 1984 – Till lithology and glacial transport in Kuhmo, eastern Finland : *Boreas*, V. 14, p. 67-74.
- RENCZ, A.N. – SHILTS, W.W., 1980 – Nickel in soils and vegetation of glaciated terrains : In : *Nickel in the Environment*, J.O. Nriagu, éditeur, Wiley, p. 152-188.
- REUTER, J.H. – PERDUE, E.M., 1977 – Importance of heavy metal-organic matter interactions in natural waters : *Geochemica et Cosmochemica Acta*, V. 41, p. 325-334.
- RICE, W.L., 1970 – Investigation of low-grade gold deposit in the Orogrande district, Idaho : U.S. Bureau of Mines, Rept of Investigation 7425, 14 p.
- ROSLYAKOV, N.A., 1976 – Comportement de l'or au cours des processus supergènes de la série d'oxydation : *Trans. Institut de Géologie et de Géophysique, Académie des Sciences de Sibérie (URSS)*, p. 131-140 et 174-184.
- SALMINEN, R. – KOKKOLA, M., 1979 – Annual variations in metal content of humus : *Prospecting in areas of glaciated terrain*, Glasgow : The Institute of Mining and Metallurgy, London, P. 171-178.
- SCHNITZER, M., 1981 – Reaction of humic substances with metals and minerals in soils : *Colloques internationaux du CNRS : Migration organo-minérales dans les sols tempérés*, Colloque no. 303, Editions du CNRS, Paris, p. 229-234.
- 1984 – Soil organic matter : its role in the environment : *Mineralogical Association of Canada, Short course in environmental Geochemistry*, M. E. Fleet, éditeur, London, Ontario, p. 237-264.
- SEVERSON, R.C., CROCK and McCONNELL, B.M., 1985 – Processus in the formation of crystalline gold in

- placers : Symposium, Organics and Ore deposits, Denver Region Exploration Geologists Society, Denver, Abstracts and Program, p. 11.
- SHILTS, W.W., 1984 – Till geochemistry in Finland and Canada : *Journal of Geochemical exploration*, V. 21, p. 95-117.
- SHOTYK, W., 1984 – Metalorganic species in natural waters : Mineralogical Association of Canada, Short Course in Environmental Geochemistry, M.E. Fleet, éditeur, London, Ontario, p. 45-61.
- SHREVE, R.L., 1985 – Esker characteristics in terms of glacier physics, Katahdin esker system, Maine : *Geological Society of America*, V. 96, p. 639-646.
- SMEE, B.W., 1979 – A theoretical estimation of ion mobilities through glaci-lacustrine sediments : diffusion down a concentration gradient. *Commission géologique du Canada ; paper 79-1A (Current reseach, Part A)*, pages 367-374.
- STEVENSON, F.J., 1982 – Humus chemistry, genesis, composition and reactions : Wiley, New York, 443 p.
- TOVERUD, O., 1979 – Humus : A new sampling medium in geochemical prospecting for tungsten in northern Sweden : In *Prospecting in areas of Glaciated terrain*, éditeur, Inst. Min. Metall, London, p. 74-79.
- 1984 – Dispersal of tungsten inglacial drift and humus in Bergslagen, southern central Sweden : *Journal of Geochemical Exploration*, V. 21, p. 261-272.
- TRUDINGER, P.A. – SWAINE, D.J. – SKYRING, G.W., 1979 – Biogeochemical cycling of elements. General considerations : in *Biogeochemical cycling of mineral – forming elements*, P.A. Trudinger et D.J. Swaine, éditeurs, Elsevier, p. 1-27.
- WARREN, H., 1980 – Biogeochemistry, trace elements and mineral exploration : in *Applied Soil Trace Elements*, B.E. Davies, éditeur, Wiley, London, p. 353-380.
- WATTERSON, J.R., 1984 – Evidence that gold crystals can nucleate on spores of *Bacillus cereus* : United States Dept. of Interior, U. S. Geological Survey, Open File Rep. no. 84-487, p. 6.
- 1985 – Microorganisms and gold : Symposium, Organics and ore deposits. Denver Region Exploration Geologists Society, April 1985, Abstracts and program, p. 10.
- WEBSTER, J.G. – MANN, A.W., 1984 – The influence of climate, geomorphology and primary geology on the supergene migration of gold and silver : *Journal of Geochemical Exploration*, V. 22, p. 21-42.
- WEY, R. – SIFFERT, B., 1962 – Réactions de la silice monomoléculaire en solution avec les ions Al^{3+} + Mg^{2+} : *Colloques internationaux du C.R.N.S. no 105, Genèse et synthèse des argiles*, Editions du C.R.N.S., Paris, p. 11-23.



Techniques de forage dans les sédiments meubles et applications à l'exploration

Y. Harvey, Ing., Ph. D. et P. Giroux, Ing., M. Sc.⁽¹⁾

1. Y. Harvey, Ing., Ph. D. et P. Giroux, Ing., M. Sc., GEOROCHE LTÉE, 2600
rue Dalton, Sainte-Foy, Qué G1P 3S4

Résumé

Il y a plusieurs années qu'on utilise les forages dans les sédiments meubles pour l'exploration orientée vers les métaux de base et les métaux précieux.

Au Québec, les découvertes récentes dans le district de Casa Berardi, où la couverture de dépôts meubles est substantielle, ainsi qu'un regain d'activité sur les dépôts de type "placer" dans la Beauce ont contribué à accroître l'intérêt pour les différentes techniques d'échantillonnage par forage dans les sédiments meubles en vue de l'exploration.

Dans le cadre des travaux d'échantillonnage effectués pour la Commission Géologique du Canada par le GROUPE CONSEIL ROCHE LTÉE, nous avons utilisé successivement une foreuse conventionnelle avec un carottier à triple parois (série Q-3) et une foreuse à ultrasons de type Rotosonic. Nos travaux nous ont permis de comparer ces deux approches du point de vue des coûts d'opération, des taux de pénétration et des facteurs de récupération.

Les auteurs tenteront de mettre en relief les particularités de chaque méthode en faisant valoir les avantages et les désavantages de chacune et leurs applications les plus indiquées en fonction des différents objectifs des travaux d'exploration ou de recherche.



Geochemical Studies of Appalachian Till of Southeastern Quebec

W.W. Shilts

Abstract

The Geological Survey of Canada has carried out two major till sampling programs in the Appalachian region of southeastern Quebec. The objectives of these projects primarily were to model lateral changes in till composition caused by glacial dispersal over lithologically complex bedrock and to model vertical variations in till composition due to post and interglacial weathering, glacial depositional processes, and stratigraphic position. In the latest project, deep overburden drilling in the Chaudière Valley, we had the additional objectives of extending stratigraphic correlations and determining the factors that control gold concentrations in glacial and interglacial sediments.

In the course of these ongoing studies, a number of principles governing the composition of any particular sample of till have been clarified or discovered :

- 1) Till composition is first of all a composite of effects of glacial dispersal at many different scales. For instance, the compositional characteristics of the ribbon of ultramafic debris-rich till extending over 80 km southeastward from Thetford Mines are superimposed on those of a regional train of calcareous till reflecting southeastward dispersal from the Paleozoic carbonate terrain of the St. Lawrence Lowlands. Even smaller trains of till from other, smaller bedrock sources, such as mineralized outcrops, may be distinguished from these larger trains.
- 2) Dispersal seems to have taken place during a particular flow phase during each of glacier cover. The 90° late-glacial reversal of flow from the Quebec Ice Divide at Thetford Mines accomplished little detectable erosion and transportation. It did, however, redirect debris already entrained and transported southeastward, toward the north.
- 3) Till is strongly chemically partitioned, reflecting physical partitioning of mineral grains into characteristic size grades according to their resistance to the abrasion processes associated with glacial grinding. For instance, in the areas of ultramafic rocks, serpentine minerals, with their high nickel contents, are preferentially concentrated in the finest ($< 4\mu$) grain sizes of till because of their soft nature. Chromite from the same sources, because of its hardness and lack of cleavage, preferentially resides in the sand ($< 63\mu$) sizes. Thus, sand is enriched in chromium and clay is enriched in nickel in till samples collected from the ultramafic dispersal area.
- 4) Where till overlies thick unconsolidated deposits of an older glacial event (varves, ice-contact gravels, older tills, etc.) it is often composed almost wholly of material reworked from these deposits, which may bear little compositional affinity for either the underlying bedrock or the bedrock up ice. For instance, in exposures in the open pit at Asbestos, silt and clay-rich till lying on bedrock is composed predominantly of ultramafic debris. An upper till overlying about 70 metres of ice-contact gravels is very sandy and contains virtually no ultramafic components. In another case, till covering much of the upper Chaudière Valley is almost wholly composed of reworked silty clay from the underlying thick glaciolacustrine sediments. This till bears no compositional similarity to underlying bedrock or to till deposited by the same glacier on adjacent highlands which stood above the level of the proglacial lake.
- 5) Weathering (oxidation) of the more labile mineral components has generally affected Appalachian tills to depths of 3-4 metres. Within the zone of weathering all labile minerals, such as economically interesting sulphides or carbonates, are destroyed, some of their cations being carried away in solution in ground water and others being adsorbed by secondary oxides or hydroxides or by clay-sized phyllosilicates. Thus, because of destruction of copper sulphides, till which has 500-600 ppm copper in sand-sized heavy minerals of its unweathered phase, commonly has less than 20 ppm copper in the same fraction of its weathered phase. Naturally, more stable mineral phases such as gold, chromite, and tin and tungsten-bearing minerals are scarcely affected by weathering. These components may even appear to be enriched in heavy mineral separates from weathered till compared to unweathered till from the same site as a result of the destruction of large amounts of labile minerals by oxidation processes.
- 6) Multiple tills may be found in appropriate exposures anywhere in Quebec, but in the Appalachians at least three tills representing a like number of distinct glacial episodes have been identified in natural sections and in deep boreholes. The lowermost and the uppermost tills were deposited by glaciers flowing southward or southeastward from the Canadian Shield. The middle till was deposited in part by a glacier

flowing from an eastern ice centre, possibly located in New Brunswick. Its composition commonly reflects this eastern provenance. Twenty-eight deep boreholes, from which continuous 11 cm-diameter cores were collected, have been drilled in the Chaudière Valley in an attempt to correlate these tills and their associated waterlain deposits throughout the region. Several of the boreholes were drilled in the buried valley from which placer gold was mined in Gilbert River Valley at St. Simon-Les-Mines. Although the stratigraphy and highly weathered character of some of the multiple tills in the Gilbert River boreholes are difficult to correlate with other boreholes and sections in the region, it is essential to fit them into the regional stratigraphic framework if other gold-bearing sites are to be predicted.

In conclusion, the regional modelling studies of dispersal, weathering, stratigraphy, etc. have provided a necessary framework for interpretation of sediments and weathering features found in boreholes. Without a thorough understanding of glacial and postdepositional features of the best exposed, latest, till sheet, interpretations of features in isolated boreholes is extremely difficult.

PARTIE B
EXPLORATION LITHOGÉOCHIMIQUE

2000

1000

Prospection pour l'or par la mesure des distributions or, région de Noranda - Val-d'Or, Québec

Guy Perrault⁽¹⁾

1. Département de Génie minéral, Ecole Polytechnique de Montréal, C.P. 6079, Succursale A, Montréal (Québec) H3C 3A7

Résumé

Certaines formations et masses intrusives calco-alcalines de la région de Val-d'Or ont des teneurs normales en or très élevées : la formation de Val-d'Or contient 18 ppb Au (P_{84} à 28 et P_{16} à 12, $P_{84} = 84^{\text{e}}$ percentile), la Formation de Dubuisson - New Pascalis, 16 ppb Au (P_{84} à 37 et P_{16} à 7) et le batholite de Bourlamaque, 21 ppb Au (P_{84} à 35 et P_{16} à 13). La formation de Val-d'Or contient 71% de la production connue d'or de la région de Val-d'Or et le batholite de Bourlamaque, 24%.

La moitié supérieure du groupe de Blake River à la mine Doyon contient 28 ppb Au (P_{84} à 39 et P_{16} à 19). Elle est calco-alcaline et contient les mines Doyon et Bousquet.

Les formations Héva et Jacola sont d'affinité calco-alcaline ; elles contiennent 4,5 ppb Au (P_{84} à 12 et P_{16} à 1) et 4,2 ppb Au (P_{84} à 14 et P_{16} à 1) respectivement. La formation de Jacola contient la mine Kiena.

Le Deguisier supérieur au nord de Noranda contient normalement 3,6 ppb Au (P_{84} à 8,8 et P_{16} à 1,5) ; cette formation contient le gîte Dest-Or.

De façon générale, les formations calco-alcalines à haute teneur normale en or renferment plus de gîtes d'or que les formations tholéitiques à teneur plus faible.

Plusieurs gîtes d'or que nous avons étudiés (Lamaque, Sigma, Kiena, Doyon et Dest-Or) sont enveloppés d'un halo d'enrichissement en or. Ce halo fait de 10 à 400 m de largeur et la valeur seuil de l'enrichissement varie entre 20 et 50 ppb Au.

Dans une région de 10 km (EO) par 3 km (NS), la Formation de Val-d'Or contient 20% de "trous" : régions où la teneur en or est de 1,5 ppb Au. Ces "trous" peuvent représenter des lieux où l'or a été lixivié. La lixiviation de 13,5 ppb Au dans un volume de $10 \times 3 \times 3 \text{ km}^3$ libère suffisamment d'or pour former les gîtes contenus dans cette formation (Lamaque et Sigma) et pour admettre d'autres gîtes non-découverts et des gîtes érodés.

Introduction

Il y a bientôt quatre années que nous avons commencé à explorer la possibilité d'utiliser la mesure des distributions or pour la recherche de nouveaux gîtes d'or. Nous

avons consacré des ressources très importantes à cette recherche ; nous avons d'abord reçu l'appui financier du MERQ et nous y avons ajouté nos propres ressources, telles subventions CRSNG, FCAC et Industrie. Plusieurs thèses M.Sc.A. et Ph.D. à l'Ecole Polytechnique de Montréal ont été entreprises autour de ce thème et les premières thèses complétées viennent tout juste d'être déposées et acceptées. L'ensemble de données comprend au-delà de 5000 déterminations diverses (surtout Au, mais aussi As, Sb et W), 1000 lames minces et au-delà de 500 analyses chimiques pour éléments majeurs. Le cadre actuel de notre présentation va nous permettre tout au plus, une revue rapide des principaux résultats ; le lecteur intéressé pourra consulter les oeuvres de la liste bibliographique ci-après.

Échantillonnage et analyse

Même dans une note qui prétend être un résumé, il nous semble important de poser les jalons nécessaires sur la précision et la justesse des analyses. Le tableau 1 présente une comparaison entre deux échantillonnages et deux analyses pour huit matériaux des épontes d'un gîte d'or important de l'Abitibi. Il est clair qu'on ne peut pas tirer les mêmes conclusions de ces deux jeux d'analyses. Le labo 1 est notre laboratoire d'analyse ; l'erreur analytique pour ces mesures est de $\sigma \approx 3 \text{ mg/t Au}$.

Les six échantillons no 1 à 6 inclusivement représentent une formation riche en Au ; il est probable que les différences entre ces échantillons reflètent principalement l'erreur d'échantillonnage (voir ci-après). Les échantillons 7 et 8 représentent un enrichissement en bordure d'un gîte d'or.

Nos analyses sont faites par activation neutronique sur le réacteur Slowpoke de l'Institut de Génie nucléaire de l'Ecole Polytechnique. L'activation (AANI) est faite sur des échantillons de masse de 2 g ; pour ces échantillons qui contiennent plus de 15 mg/t Au, une exposition d'une heure au réacteur nucléaire suivie d'un comptage au spectromètre durant deux heures après une période de décroissance radioactive de six jours permet des mesures à $\sigma = 3 \text{ mg/t Au}$ à un coût de l'ordre de 15\$/éch. Pour ces échantillons contenant moins de 15 mg/t Au, il est nécessaire de faire suivre l'activation neutronique par une séparation de l'or radioactif (^{198}Au) afin de réduire le bruit de fond (AANR) ; on améliore ainsi σ à 0,2 mg/t Au et le seuil de détection à 0,1 mg/t Au aux dépens du coût qui grimpe à environ 75\$/analyses.

TABLEAU 1 - Analyses et échantillonnage comparés.

NUMÉRO D'ÉCHANTILLON	LABO 1 Au, mg/t	LABO 2 Au, mg/t	DISTANCE DU GITE EN MÈTRE
	24	1	550
	21	1	450
	36	4	425
	11	8	400
	22	8	375
	22	30	350
d'analyse	3		
moyenne, 1—6 1—6	23 8		

TABLEAU 2 - Distribution de l'or, Formation de Val- d'Or.

	ppb Au											
	Normale				Enrichie				Appauvrie			
	Méd.	P84	P16	n	Méd.	P84	P16	n	Méd.	P84	P16	n
LAMAQUE												
Pyroclastites et	13	30	5	110					1,4	2,1	0,7	27
andésites	16	26	9	38	85	120	56	11	2,7	7,0	1,0	12
Diorite porphyrique	15	30	7	139	70	120	40	24	1,5	2,8	0,8	35
Ensemble												
SIGMA												
2e et 5e niveaux	19	33	12	82								
Profondeur 2000m	17	31	10	44								
Ensemble	18	32	11	82								
BROMINCO												
Toutes lithologies					52	52	36	27	7	11	4	11
AILLEURS												
Toutes lithologies	12	30	5	22								
FORMATION DE VAL-D'OR	18	28	12	132	35 à 125				1 à 10			

méd = médiane
P = percentile
n = nombre d'individus

L'erreur d'échantillonnage (ou erreur de représentation) est beaucoup plus difficile à estimer que l'erreur analytique. Nous croyons que les échantillons no 1 à 6 inclusivement du tableau 1 reflètent cette erreur, c'est-à-dire que ces six échantillons contiennent probablement une même quantité d'or et que la variation des teneurs est effectivement le fruit de l'erreur de représentation. Pour ces six échantillons, $\sigma \approx 8$ mg/t Au. L'erreur d'échantillonnage est principalement fonction de la granulométrie de l'or. Deux observations permettent au lecteur de saisir la grandeur du problème :

- 1- un échantillon de 2 g à 1 mg/t Au contient 6×10^{12} atomes Au : si l'or est suffisamment fin, il y en a assez pour une représentation précise ;
- 2- un grain d'or d'un diamètre de $10 \mu\text{m}$ (pas encore visible à l'oeil nu) fait déjà 10 mg/t Au dans un échantillon dont la masse totale est de 2g : donc, si l'or est grossier ($> 10 \mu\text{m}$), il n'y a pas de représentation précise possible par un échantillon de masse faible (< 2 g).

Maintenant pour les observations utiles

La formation de Val-d'Or

Voici à la figure 1, les principaux traits géologiques de la région de Val-d'Or. Nous y utilisons la nomenclature d'Imreh (1984), avec nuances pour le secteur immédiatement à l'ouest du batholite de Bourlamaque. Dans ce secteur (propriété New Pascalis, SOQUEM et Falconbridge), des travaux récents (Lacroix, 1985) ont montré que l'ensemble des roches volcaniques et volcanoclastiques sont d'affinité calco-alcaline et de composition intermédiaire (andésites) alors que la carte d'Imreh (1984) affiche des basaltes du Dubuisson et déclare le Dubuisson d'affinité tholéiitique.

Selon Imreh (1984), la formation de Val-d'Or est franchement calco-alcaline et elle comprend des coulées et brèches de coulées basaltiques et des pyroclastites surtout andésitiques. Nous ajoutons à cette liste de roches constituantes, de nombreux instusifs hypabyssaux vraisemblablement cosanguins, dont surtout les diorites porphyriques et les porphyriques feldspathiques des mines Lamaque et Sigma (voir Robert 1983, Daigneault 1983).

Nous avons échantillonné la formation de Val-d'Or en quatre lieux (figure 1) :

- 1- à la mine Lamaque (198 échantillons) ;
- 2- à la mine Sigma (98 échantillons) ;
- 3- sur la propriété Brominco (38 échantillons) ;
- 4- sur les propriétés Val-d'Or Mineral Holdings, Dorval et Dufresnoy (22 échantillons).

L'échantillonnage Lamaque est analysé aux figures 2, 3 et 4. A la figure 2, nous établissons que les pyroclastites et les andésites de la mine Lamaque, quant à leur teneur en or sont normales avec médiane à 13 ppb Au (P_{84} à 30

et P_{16} à 5,2, $n = 110$) ; environ 20% des échantillons ont des teneurs plus basses (médiane à 1,4 ppb Au ; P_{84} à 2,1 et P_{16} à 0,7 ppb Au, $n = 27$) et nous croyons que ces roches ont été lixiviées et effectivement, appauvries en Au.

Les diorites porphyriques, cosanguines aux premières, sont analysés à la figure 3. On y reconnaît trois populations : normale, appauvrie et enrichie. Les paramètres statistiques de ces populations sont donnés à la figure 3 et reportés au tableau 2. Sur la recommandation de plusieurs collègues, nous avons analysé nos données de Lamaque en distinguant les groupes lithologiques là où le nombre d'échantillons le permettait ; la médiane à 13 ppb Au pour les pyroclastites et les andésites n'est pas différente de façon significative du 16 ppb Au de la diorite porphyrique. Nous avons répété cette étude spécifique des diverses lithologies constituantes d'un ensemble cosanguin, toujours avec les mêmes résultats. D'où notre conclusion : il n'y a pas de différenciation marquée de l'or avec la différenciation magmatique.

Plusieurs autres auteurs dont Kwong et Crockett (1978) ont aussi fait cette constatation. C'est pourquoi, nous réunissons toutes nos observations sur la Formation de Val-d'Or à la mine Lamaque en une même figure (no 4) ; nous regroupons les autres ensembles de mesures pour une définition un peu meilleure des paramètres statistiques des populations.

A la mine Sigma, nous avons réalisé deux échantillonnages : un premier sur les niveaux 2 et 5 (ca. 70 et 180 m de profondeur respectivement), est représenté à la figure 5 et un deuxième sur des carottes de trous de forage centrées sur une profondeur de 2000 m à la figure 6. Après des résultats préliminaires, nous avons annoncé, par communications personnelles, que la médiane des teneurs à 2000 m était plus faible que celle à 150 m ; les vérifications nécessaires ont montré que cette conclusion était hâtive et nous la retirons. D'ailleurs, les teneurs normales de la Formation de Val-d'Or à la mine Sigma s'accordent parfaitement à celles obtenues à la mine Lamaque.

Sur la propriété Brominco, notre échantillonnage est moins considérable ($n = 38$). On peut distinguer des échantillons enrichis et d'autres, appauvris. Nous n'avons pas reconnu de population normale avec médiane à environ 15 ppb Au.

Finalement, on peut résumer la distribution de l'or dans la formation de Val-d'Or par les propriétés statistiques des diverses populations observées, ce qui est présenté au tableau 2. Il est aussi utile de remarquer que les deux mines les plus importantes du camp minier de Val-d'Or (Lamaque et Sigma) ont leurs assises dans la formation de Val-d'Or et font ensemble 71% de la production d'or du camp minier de Val-d'Or.

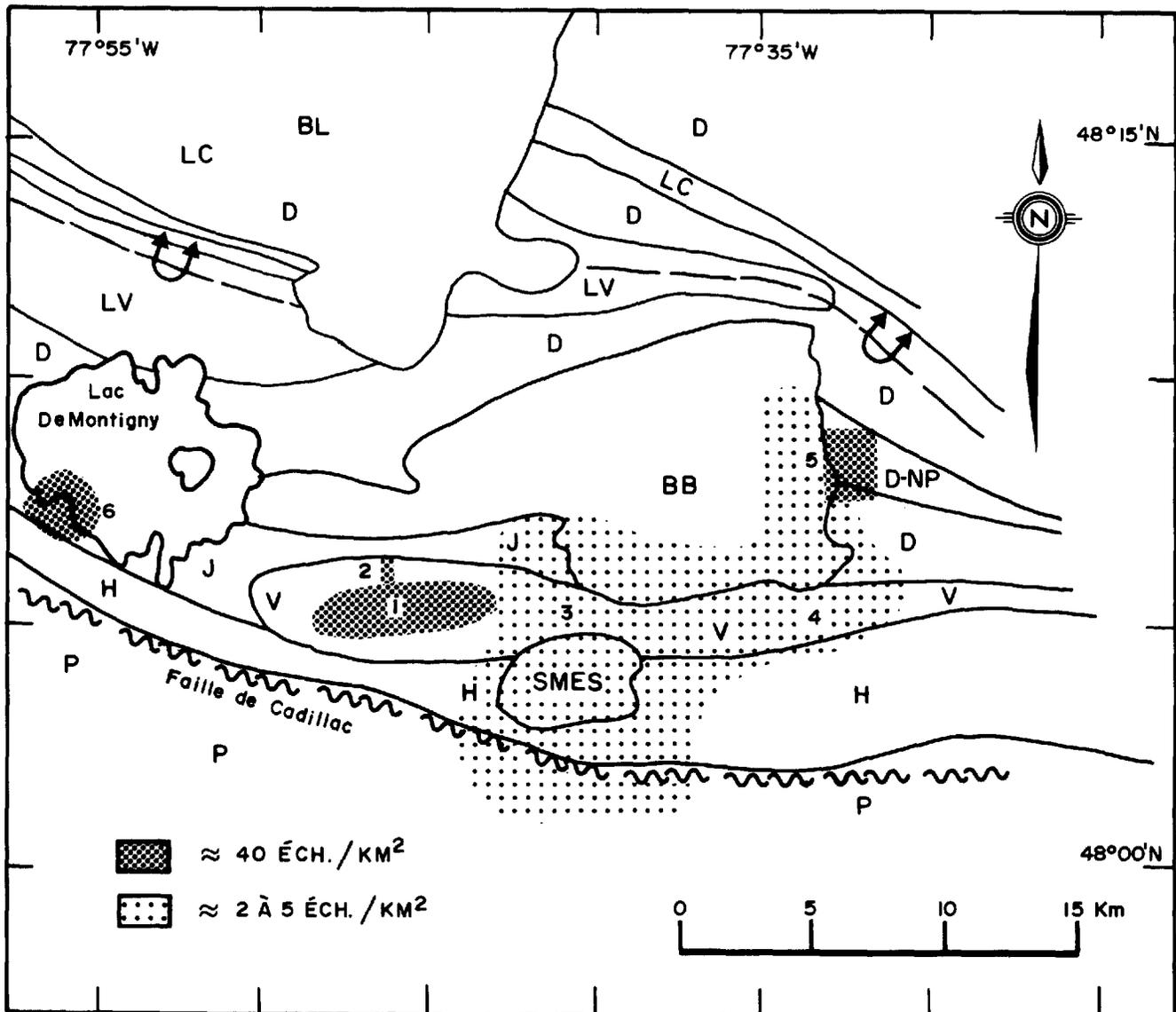


FIGURE 1 - Géologie générale de la région de Val-d'Or. D'après Imreh (1984). BL: batholite de Lacorne. BB: batholite de Bourlamaque. SMES: stock monzonitique de East Sullivan. P: groupe de Pontiac, grauwackes. H: formation de Héva, basaltes et andésites, volcanoclastites felsiques. V: formation de Val d'Or, pyroclastites andésitiques. J: formation de Jacola, komatiites et basaltes. D: formation de Dubuisson, komatiites et basaltes. D-NP: faciès calco-alcalin à New Pascalis, basaltes et andésites, volcanoclastites felsiques. LC: formation du Lac Coste, grauwackes. LV: formation de la Motte-Vassan, komatiites: anticlinal déversé de la Motte-Vassan. Lieux d'échantillonnage: 1- Lamaque, 2- Sigma, 3- Brominco, 4- Dorval et autres, 5- New Pascalis, 6- Kiéna.

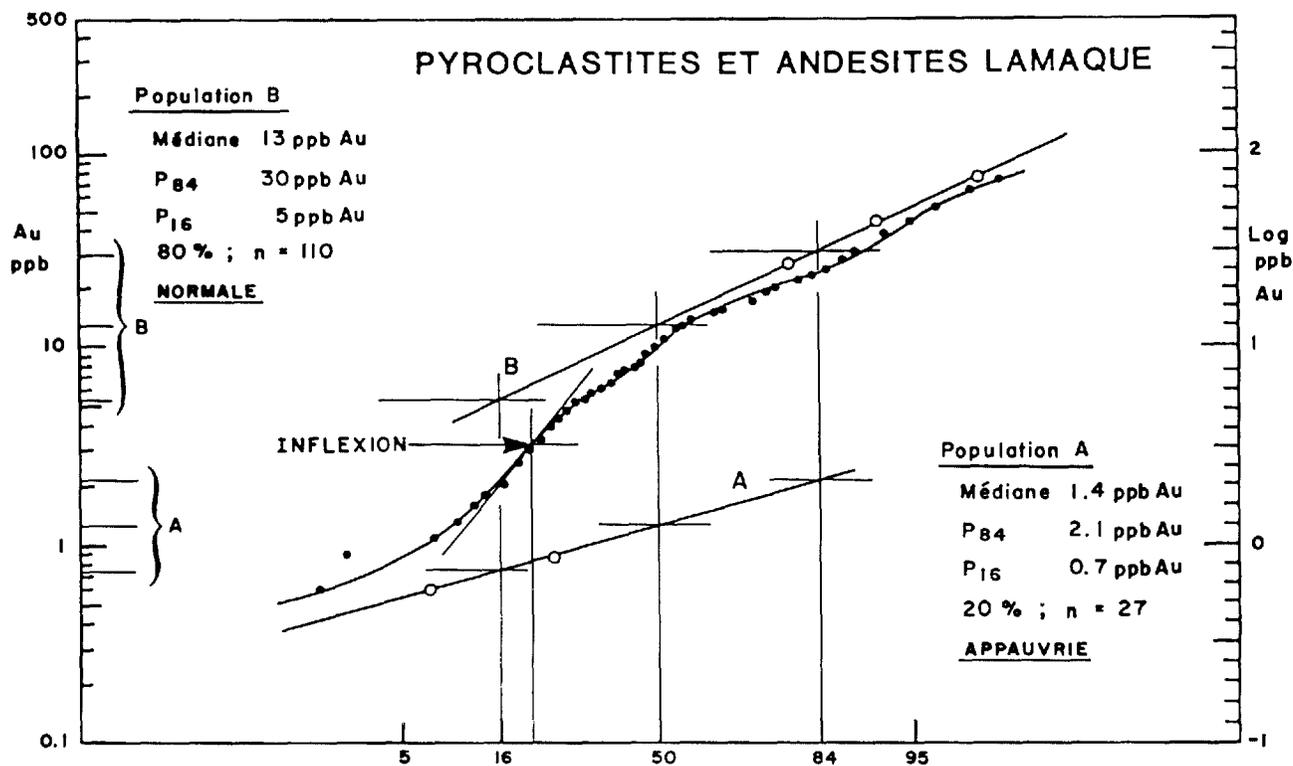


FIGURE 2 - Log ppb Au versus probabilité de fréquence cumulée pour les pyroclastites et andésites de la mine Lamaque.

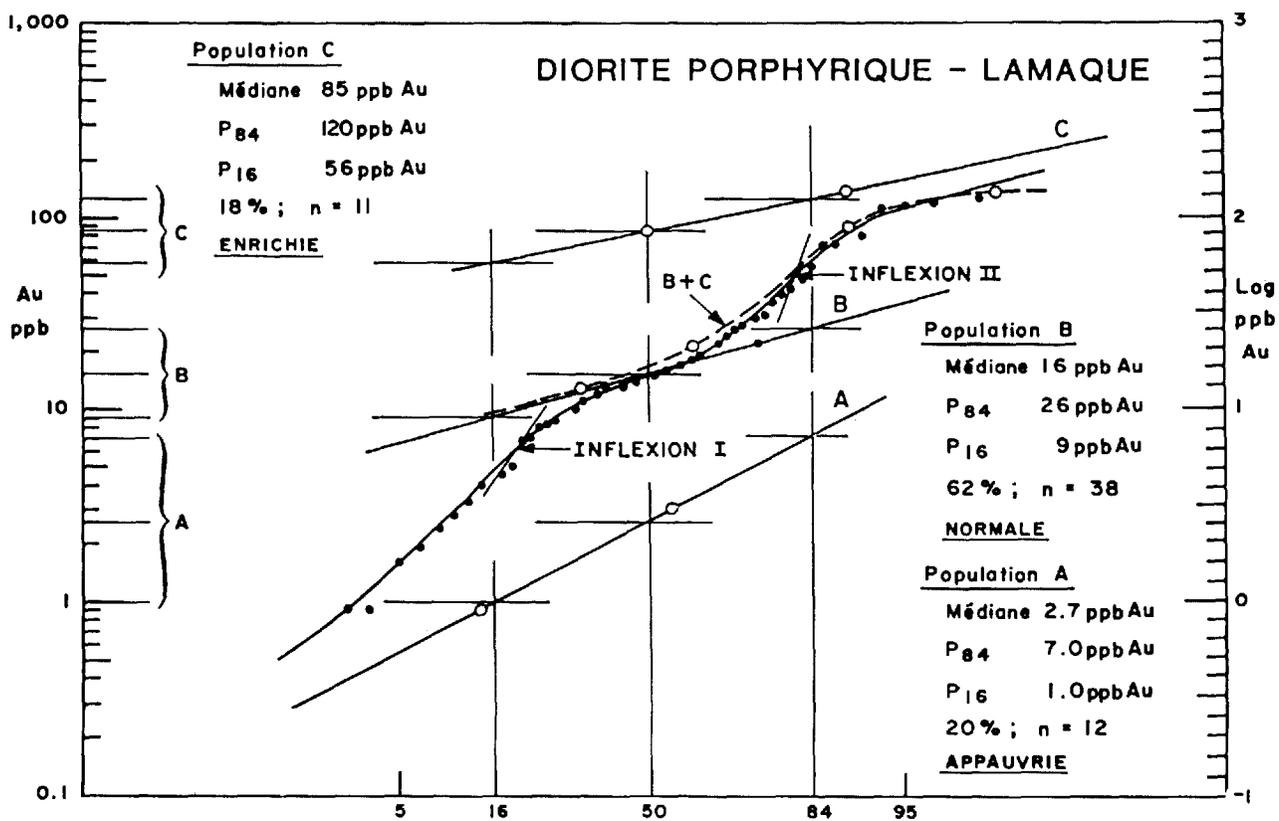


FIGURE 3 - Log ppb Au versus probabilité de fréquence cumulée pour la diorite porphyrique de la mine Lamaque

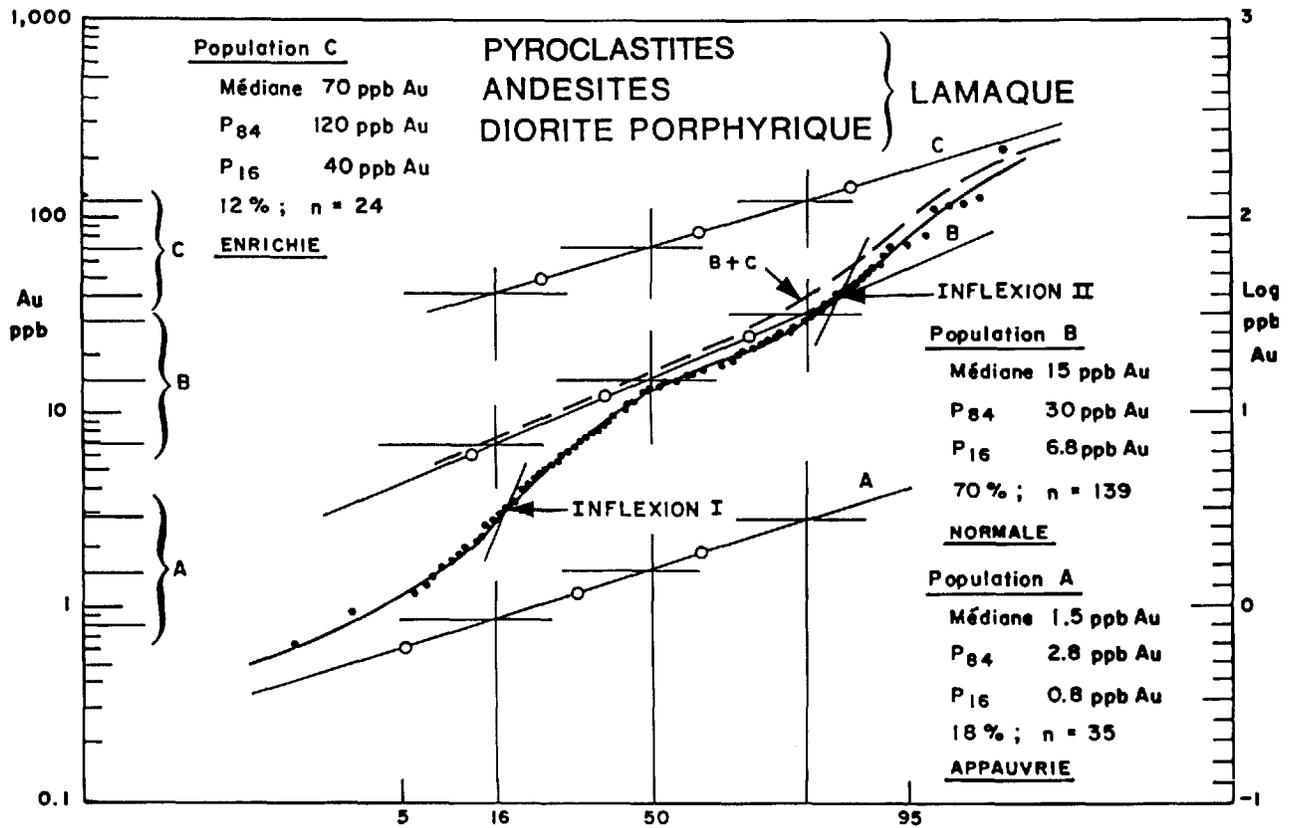


FIGURE 4 - Log ppb Au versus probabilité de fréquence cumulée pour l'ensemble des pyroclastites, les andésites et de la diorite porphyrique de la mine Lamaque (figures 2 et 3 ensemble).

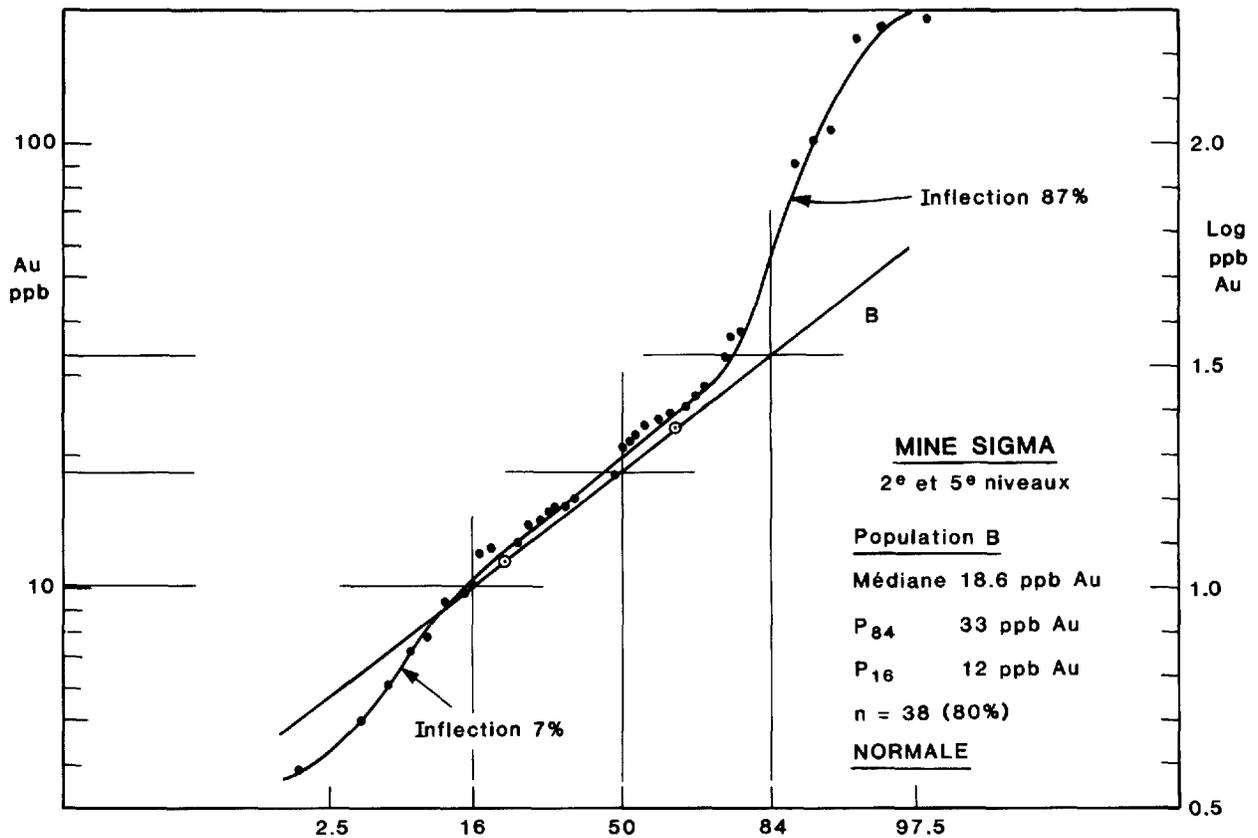


FIGURE 5 - Log ppb Au versus probabilité de fréquence cumulée, échantillons des 2e et 5e niveaux, mine Sigma.

Le batholite de Bourlamaque

Selon Campiglio (1977), le batholite de Bourlamaque est une masse quartzodioritique d'affinité principalement calco-alcaline mais exceptionnellement tholéitique et riche en Mg, Cu et Ni. L'intrusion est sans doute multiple et syn- à tardi-cinématique. Cette quartzodiorite est conforme avec des épontes dans ses bordures nord et sud. Le métamorphisme y est de faciès schistes verts et les compositions minérales centrées sur albite-quartz-chlorite-épidote-leucoxène ; Campiglio (1977) interprète que le métamorphisme est quasi isochimique (exception faite de CO_2 et Cu). Il note aussi que les métadiorites de Bourlamaque sont très semblables aux métavolcaniques de l'Abitibi ; ce dernier commentaire ne nous semble pas particulièrement informateur puisqu'on retrouve à peu près toutes les roches volcaniques imaginables dans l'ensemble "métavolcanites de l'Abitibi". Campiglio (1977) suggère que les quartzodiorites du batholite de Bourlamaque sont les résultats d'une différenciation magmatique en profondeur à partir d'un magma de composition pyroxénitique. Nous ne sommes toutefois pas satisfaits que l'hypothèse alterne d'une fusion partielle de la pile volcanique n'ait pas été sérieusement envisagée ; des arguments géochimiques tels ceux de White et Chappel (1977) permettraient peut-être de distinguer entre ces deux voies génétiques possibles.

Nous avons échantillonné le batholite de Bourlamaque à sa bordure sud (propriétés Brominco, Dufresnoy et Dorval) et suivant sa bordure est (propriétés Perron et New Pascalis) pour un total de 79 échantillons ; 44 de ces échantillons définissent une population que nous qualifions de normale à médiane de 21 ppb Au (P_{84} à 35 et P_{16} à 13). Cinq des échantillons contiennent moins de 13 ppb Au : ce nombre est trop petit pour définir une population appauvrie, mais il nous semble probable que ces échantillons ont effectivement été lixiviés d'une bonne partie de leur or. Ving-huit échantillons sont enrichis, (tableau 3) : médiane à 56 ppb Au (P_{84} à 72 et P_{16} à 44).

Notre échantillonnage du batholite de Bourlamaque se continue actuellement avec les travaux de Darling, Waitzenegger et Dussault. Nonobstant le caractère partiel de nos observations, nous croyons que certaines conclusions préliminaires gagneraient à être diffusées dès maintenant. Il est clair que le batholite de Bourlamaque dans ces lieux que nous avons échantillonnés contient beaucoup d'or ; nous opinons que cette haute teneur en or dans le batholite de Bourlamaque est beaucoup trop étendue et régulière pour être le fruit d'un enrichissement hydrothermal. Nous croyons plutôt que cette teneur est première.

Le batholite de Bourlamaque contient les mines Sullivan, Perron, Courvan, Beaufor, Belmoral, Bras d'Or et il est probable que la mine Siscoe ait son lieu sur un instrusif satellite du batholite de Bourlamaque ; au total, ces

mines cumulent 24% de la production totale d'or du camp minier de Val-d'Or.

Les autres formations de la région de Val-d'Or

Selon Imreh (1984), la formation de Jacola contient essentiellement des coulées ultramafiques, des coulées basaltiques et divers types de brèches. Nous avons échantillonné la formation de Jacola à la mine Kiena et sur la propriété Dufresnoy. Les 28 échantillons recueillis sur la propriété Dufresnoy ont tous donné des teneurs inférieures à 15 ppb Au et nous n'avons pas encore repris ces analyses. C'est pourquoi, nous avons retiré les échantillons Dufresnoy de l'analyse qui suit.

Les échantillons de la mine Kiena (Bourget, 1986) définissent une population log-normale à médiane de 4,2 ppb (P_{84} à 13,8 et P_{16} à 1,3, $n = 82$). Nous avons reproduit l'analyse graphique (figure 7) ; elle constitue un exemple meilleur qu'ordinaire de l'interprétation de ce genre de données.

Nous n'avons pas échantillonné la formation de Dubuisson dans ces lieux où Imreh l'a définie, soit surtout à l'ouest du batholite de Bourlamaque, mais nous l'avons échantillonnée sur la propriété New Pascalis, immédiatement à l'est du batholite. À l'ouest, du batholite, Imreh définit la formation Dubuisson comme tholéitique et comprenant surtout des basaltes avec horizons intercalés de komatiites. Sur la propriété New Pascalis, les roches volcaniques sont intermédiaires et calco-alcalines ; c'est pourquoi, nous utilisons provisoirement l'appellation Dubuisson - New Pascalis (figure 1) pour désigner cette partie de la colonne stratigraphique.

Nos données analytiques sur la propriété New Pascalis sont nombreuses (Lacroix, 1985) ; toutefois, les roches volcaniques contiennent généralement 3,91% H_2O ($\sigma = 0,93$) et 5,31% CO_2 ($\sigma = 3,95$). Il n'est donc pas certain que le métamorphisme ait été isochimique. Néanmoins, nous croyons reconnaître trois populations Au : normale, appauvrie et enrichie. Les paramètres statistiques sont fournis au tableau 3.

La formation de Héva, d'après Imreh, contient des basaltes massifs à octaèdres de magnétite, des basaltes coussinés et des volcanoclastites intermédiaires ; à l'est du stock de East Sullivan, la formation Héva contient des coulées et des brèches de coulées andésitiques et basaltiques. Nous l'avons échantillonnée sur la propriété Brominco. Notre interprétation est forcément provisoire ($n = 16$) : médiane à 4,5 ppb Au ; P_{84} à 12 et P_{16} à 1.

Nos observations sur les autres formations sont trop peu nombreuses pour permettre une interprétation. Nous sommes particulièrement anxieux de faire avancer nos observations dans le Groupe de Pontiac ; déjà au sud de Malartic, nous savons que les grauwackes contiennent beaucoup d'or (Gilbert, 1984).

TABLEAU 3 - Teneurs en or. Intrusifs et formations des régions de Val-d'Or et de Rouyn-Cadillac.

	ppb Au Normalité				REMARQUES
	Méd.	P84	P16	n	
VAL D'OR					
Batholite de Bourlamaque	21	35	13	46	Interprétation provisoire: échantillonnage de bordure surtout
Formation de Héva	4,5	12	1	18	Interprétation provisoire
Formation de Val d'Or	18	28	12	132	
Formation de Jacola	4,2	13,8	1,3	82	
Dubuisson-New Pascalis	15,8	37,1	6,7	123	Valeurs provisoires Hautes teneurs en H ₂ O et CO ₂
ROUYN-CADILLAC					
Groupe de Balke River moitié supérieure mine Doyon	28	39	19	36	
Deguisier supérieur mine Dest-Or	3,6	8,8	1,5	88	
méd = médiane P = percentile n = nombre d'individus					

TABLEAU 4 - Halos endogènes d'or autour de gîtes d'or connus, région de Val d'Or - Cadillac - Rouyn.

	TENEUR SEUIL	TENEUR FORMATION ENCAISSANTE	LARGEUR DU HALO m	RÉFÉRENCE
"Flats" mine no 2 Lamaque	30	18	10	Perrault et al, 1985 Daigneault, 1983
Veines mine Sigma	30	18	10	
Zone S-15 Mine Kiena	20	4	200	Bourget (en préparation)
Zone no 2 mine Doyon	50	28	400	Perrault et al, 1985
Mine Dest-Or	20	4(1)	100	Beaudoin et al, 1986

(1) Avec halo de zone, 7 à 20 ppb Au

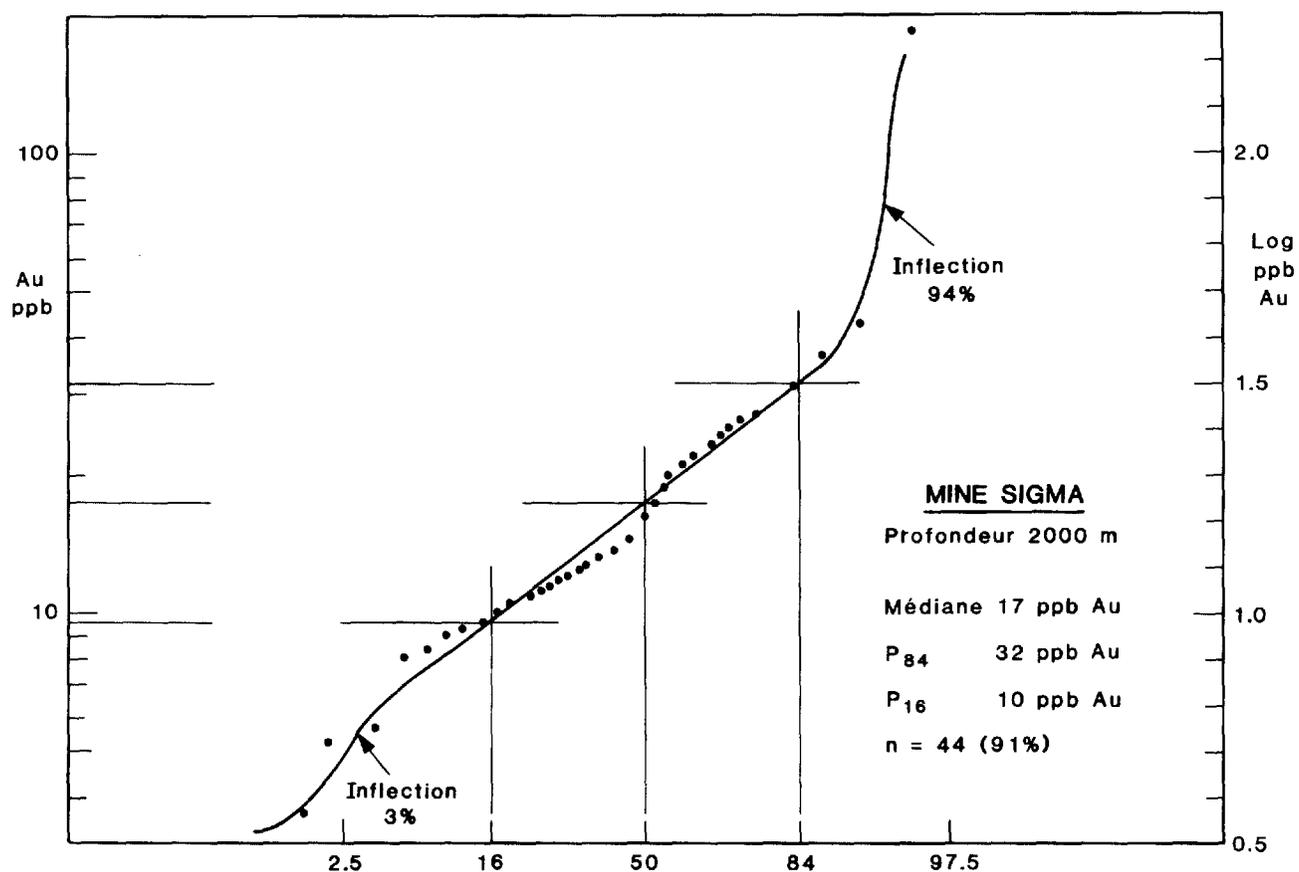


FIGURE 6 - Log ppb Au versus probabilité de fréquence cumulée, échantillons de profondeur de 2000m, mine Sigma.

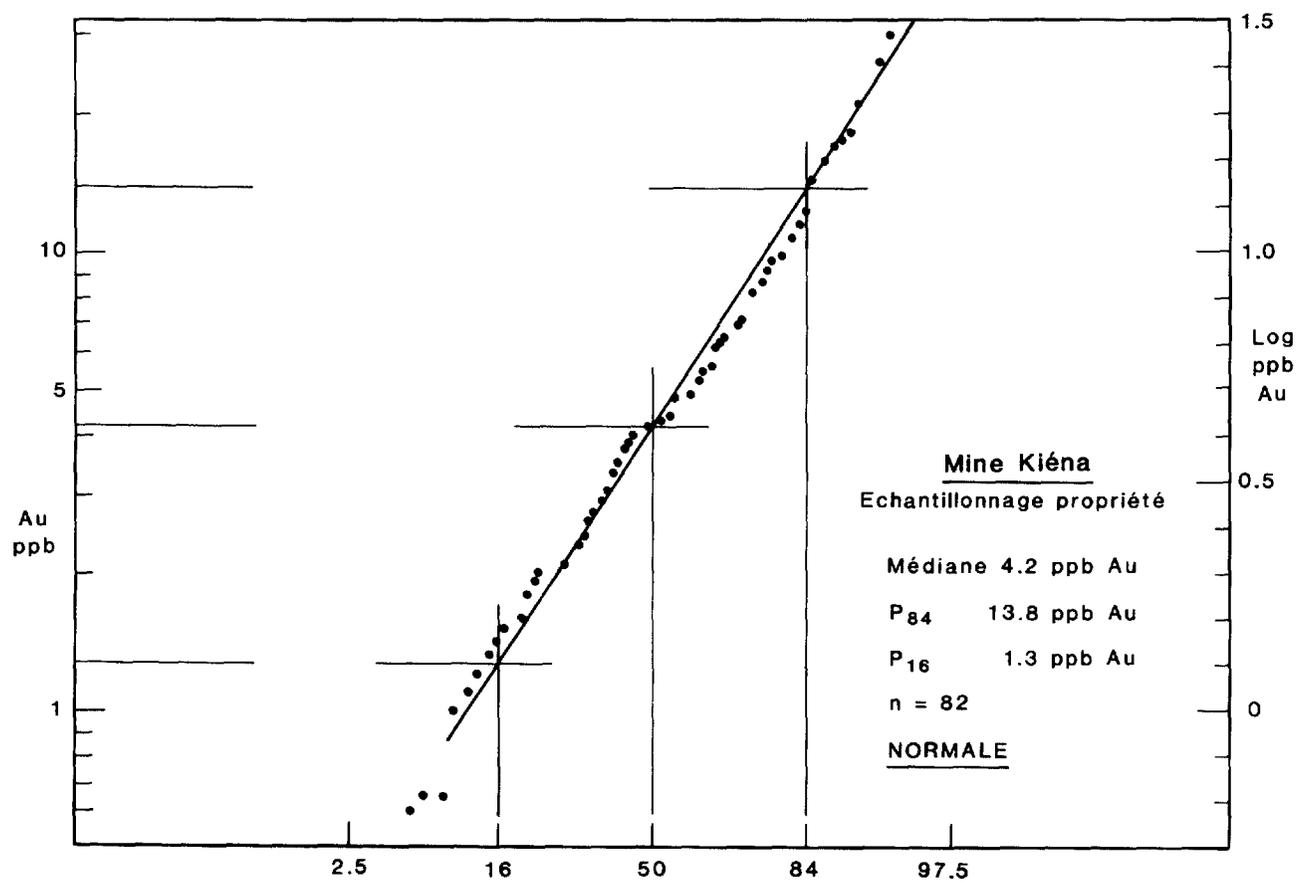


FIGURE 7 - Log ppb Au versus probabilité de fréquence cumulée pour la mine Kiéna.

Le groupe de Blake River

Nous avons échantillonné le groupe de Blake River à la mine Doyon. La section échantillonnée est la moitié supérieure du groupe Blake River ; à la mine Doyon, cette section comprend des tufs et laves intermédiaires à acides, des agglomérats, des volcanoclastiques acides et l'ensemble est d'affinité calco-alcaline.

Cette formation est remarquable par sa haute teneur en or : médiane à 28 ppb Au (P_{84} à 39 et P_{16} à 19, $n = 36$). Nous signalons l'enrichissement autour du gîte ci-après.

La formation Deguisier

A l'occasion de la recherche de A. Beaudoin à la mine Dest-Or, nous avons eu l'occasion d'échantillonner abondamment le Deguisier supérieur autour de la mine Dest-Or. Les roches du Deguisier supérieur sont des gabros (65%), des basaltes et des andésites (35%) d'affinité tholéiitique. Les teneurs en or dans la roche normale sont basses : médiane à 3,6 ppb Au (P_{84} à 8,8, P_{16} à 1,5 et $n = 88$). Nous ferons état ci-après des enrichissements de zone et de gîte.

Premières conclusions

Il y a une distribution stratigraphique de l'or dans les roches volcaniques et intrusives des régions de Val-d'Or et Rouyn. A Val-d'Or, nous avons identifié que la Formation de Val-d'Or et la fraction de la Formation Dubuisson qui affleure sur la propriété New Pascalis contiennent beaucoup d'or ; médianes à 18 et 15,8 ppb Au. Les quartzodiorites des bordures sud et est du batholite de Bourlamaque contiennent aussi beaucoup d'or (médiane à 21 ppb Au). Les formations Héva et Jacola contiennent moins d'or : médianes à 4,5 et 4,2 respectivement.

Nos premiers travaux dans la région de Cadillac-Rouyn (Perrault et al, 1984) indiquent également une distribution stratigraphique de l'or. La moitié supérieure du groupe Blake River à la mine Doyon contient 28 ppb Au (P_{84} à 39 et P_{16} à 19, $n = 36$). Le Deguisier supérieur à la mine Dest-Or contient 3,6 ppb Au (P_{84} à 8,8 et P_{16} à 1,5, $n = 88$).

Les formations à affinité calco-alcaline contiennent plus d'or ; cette affirmation s'appuie pour le moment sur nos mesures portant sur les formations de Val-d'Or, de Dubuisson - New Pascalis et de la moitié supérieure du Blake River. De plus, la quartzodiorite du batholite de Bourlamaque est d'affinité calco-alcaline et sa teneur normale en or est élevée. Les formations tholéiitiques de Héva, de Jacola et de Deguisier supérieur contiennent un peu moins d'or.

Halos endogènes d'or autour des gîtes

Nos premiers échantillonnages dans le pourtour immédiat des veines de la mine Lamaque nous ont montré qu'il y a enrichissement en or autour des veines (figure 8). Malheureusement, nous n'avons pu mener à terme ces échantillonnages et pour le moment, à la mine Lamaque, on peut constater un enrichissement à 50 ppb Au sur au moins 2 m dans l'éponte supérieure des "flats" (sic. veines quasi-horizontales de la mine no 2). Il est probable que cet enrichissement soit plus considérable, mais nous n'avons pas pu documenter davantage. Faute de mieux, nous estimons que le halo peut faire environ 10 m à la cote de 30 ppb Au.

Il y a un halo d'or important associé au gîte Dest-Or. Ce gîte de 2,44 Mt à 4,29 g/t Au donne un halo de gîte d'environ 100 m de large à la cote 200 ppb Au (figure 10), mais il donne aussi un halo de zone à teneur de 7 à 20 ppb Au ; sur la propriété Dest-Or, 25% de la surface totale fait plus de 7 ppb Au et nous avons désigné ces aires, halos de zone.

Il y a un halo d'or important autour du gîte no 2 (ca. 10 Mt à 5,2 g/t) de la mine Doyon. Ce halo fait environ 400 m à la cote de 50 ppb Au (figure 11). Ce halo est plus ample dans les épontes supérieures que dans les épontes sous-jacentes ; il coïncide d'ailleurs avec une zone de schistes à séricite des épontes supérieures. Nous avons aussi mesuré des halos endogènes d'or autour des veines de la mine Sigma, autour du gîte S-15 de la mine Kiena. Nous regroupons et résumons ces observations au tableau 4.

Deuxième conclusion

Les gîtes d'or sont enveloppés de halos endogènes d'or. Les dimensions de ces halos varient : environ 10 m pour des veines du genre Lamaque et Sigma, 100 à 200 m pour des zones de brèches minéralisées du genre Dest-Or et Kiena, 400 m pour le gîte no 2 de Doyon avec éponte vraisemblablement très poreuse (aujourd'hui schiste à séricite). Pour ces gîtes pentés (40 à 70°), le halo endogène est plus large dans les épontes supérieures que dans les épontes inférieures. Les valeurs seuils varient de 20 à 50 ppb Au.

Considérations gîtologiques

Dans des travaux antérieurs (Taner et Perrault, 1985), nous avons montré qu'au pourtour des gîtes d'or de la mine Lamaque, il existe des "trous" dans la distribution de l'or, lieux où les teneurs sont centrées sur 1,5 ppb Au, (P_{84} à 2,8 et P_{16} à 0,8). Nous avons qualifié ces distributions de appauvries : lixiviées par solutions hydrothermales. Ces trous font 20% de la surface de la propriété Lamaque : ils ont été observés sur une longueur de 5 km, mais ils peuvent vraisemblablement s'étendre sur 10 km dans une direction EO. On les a observés sur 1 km

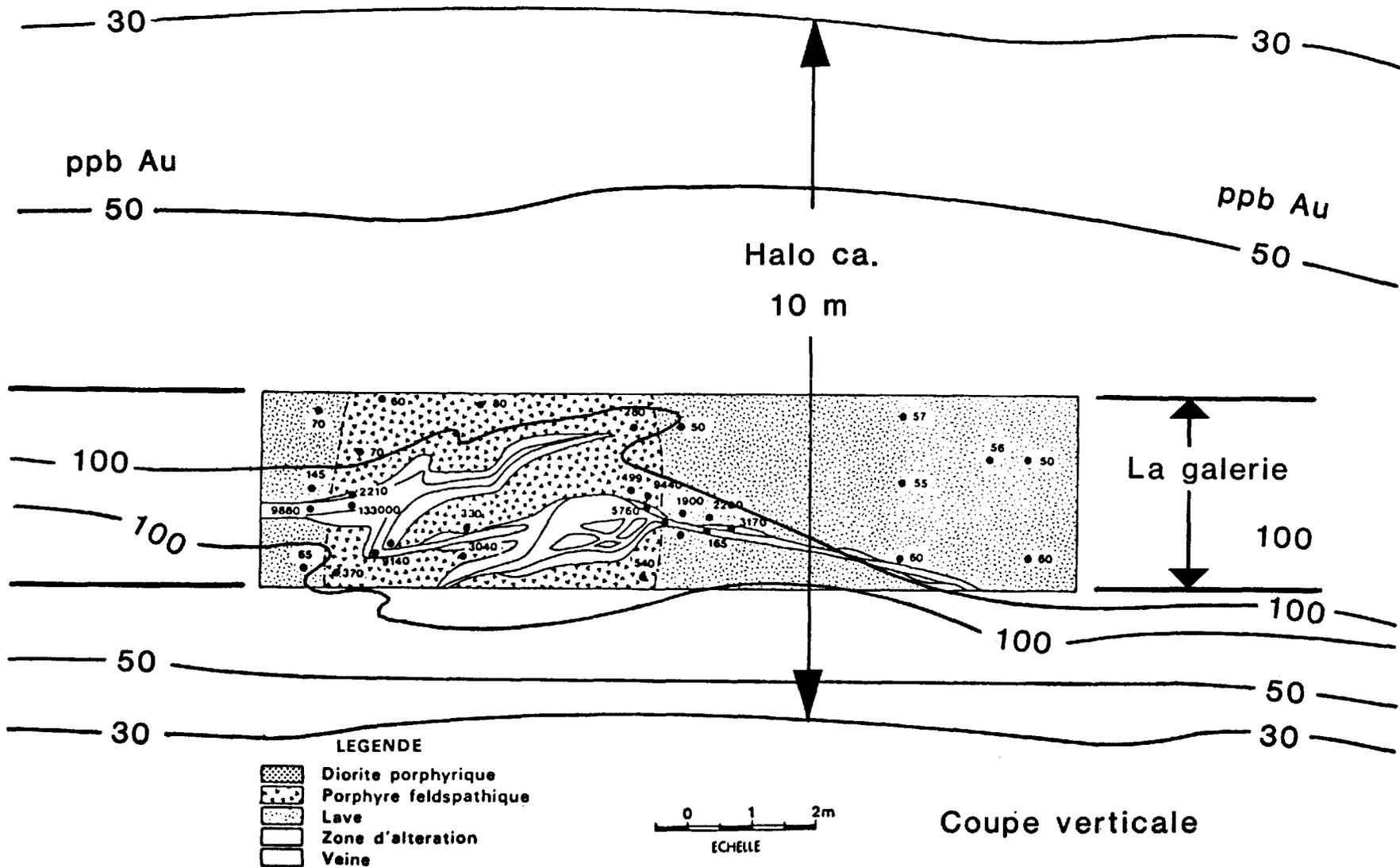


FIGURE 8 - Distribution de l'or autour d'une veine aurifère horizontale ("flats") de quartz-carbonate-tourmaline, mine Lamaque, Val-d'Or. D'après Perreault et al, 1984. Les contours sont en ppb Au.

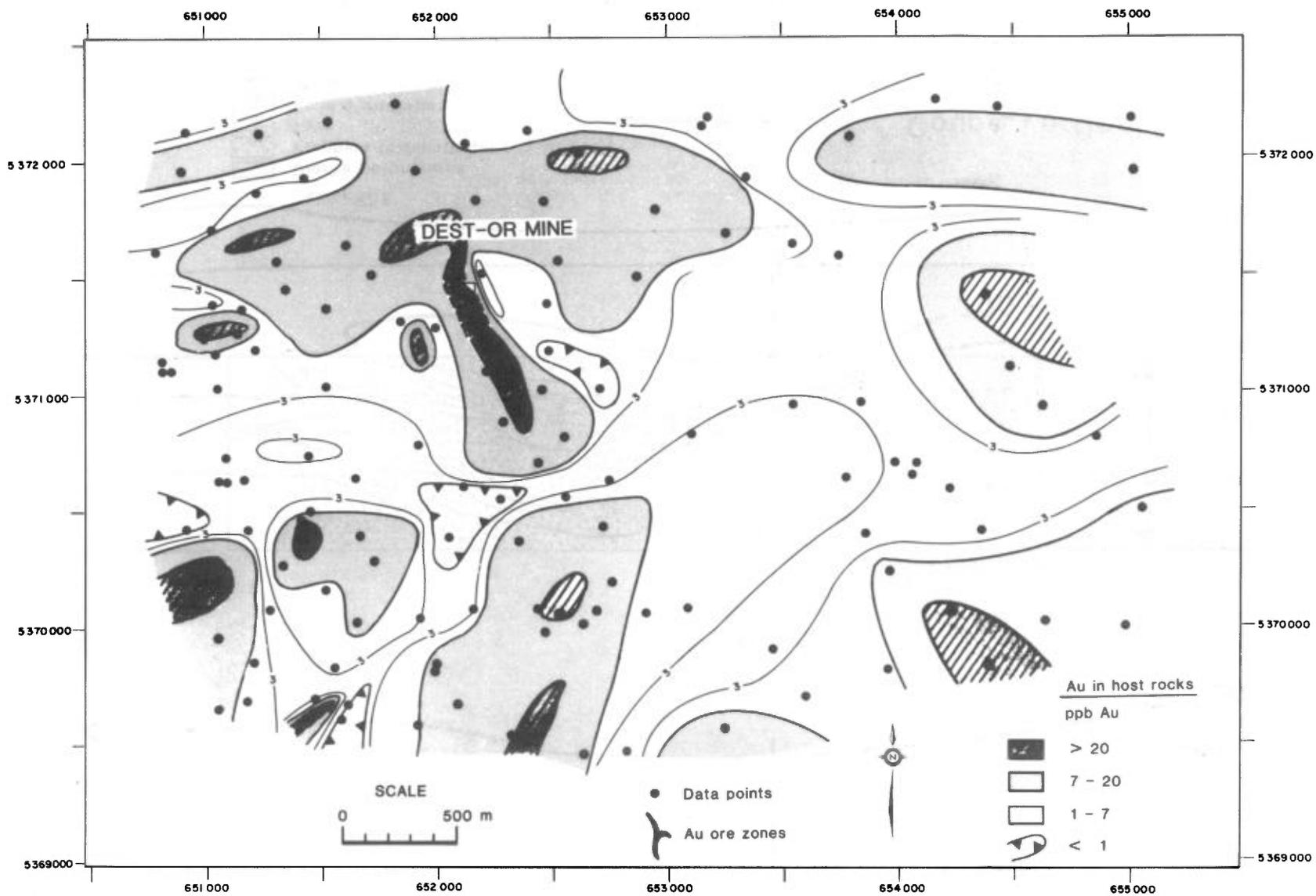


FIGURE 9 - Distribution de l'or sur les propriétés Dest-Or et Bassignac. Observer le halo d'or autour du gîte Dest-Or et les halos de zone (>7 ppb Au). D'après Beaudoin et al, 1986).

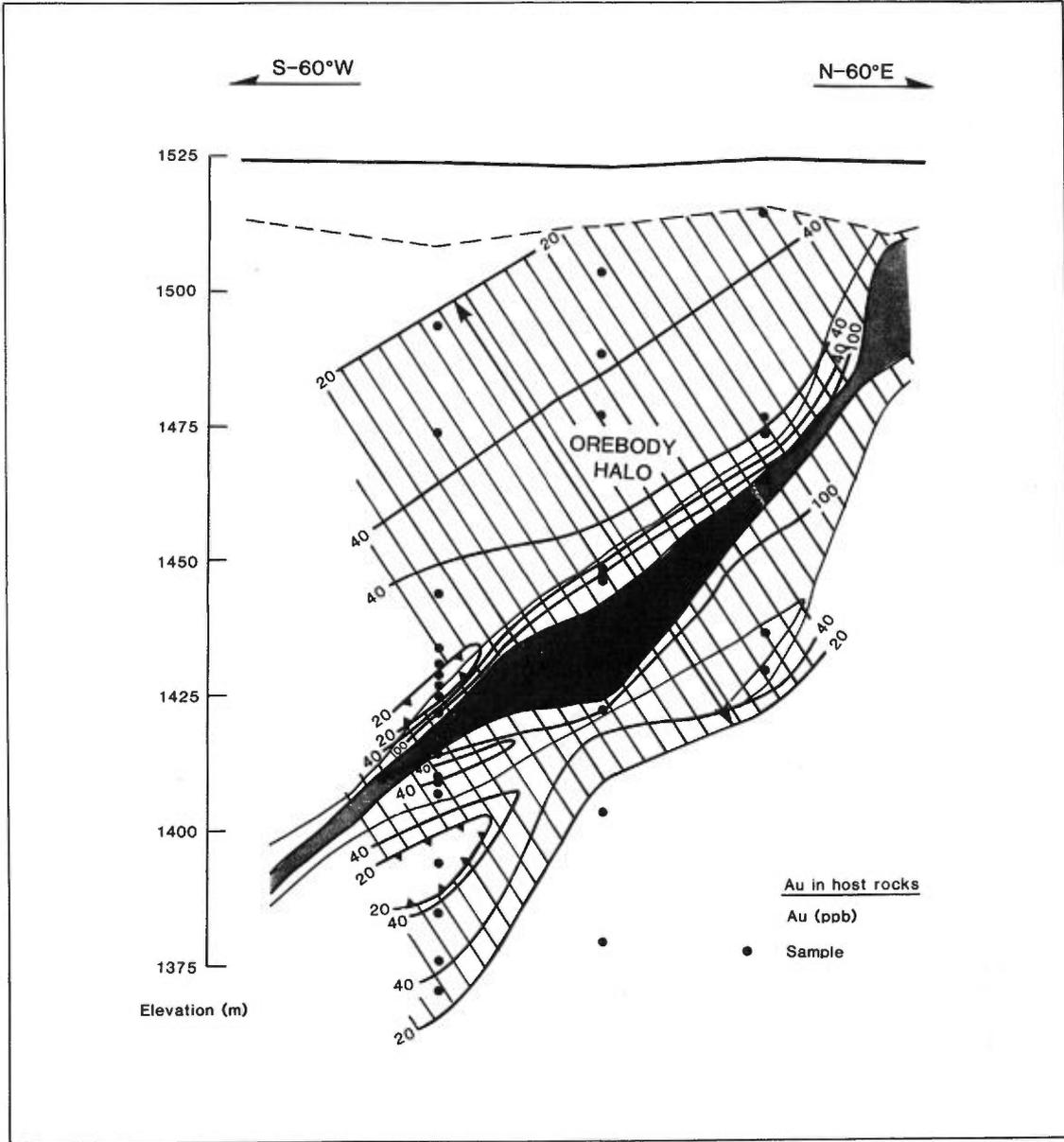
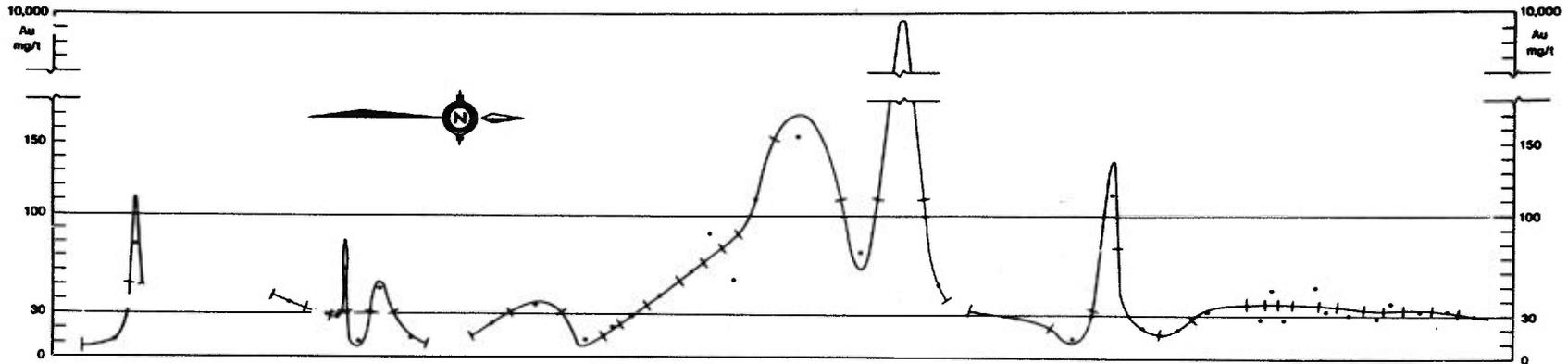
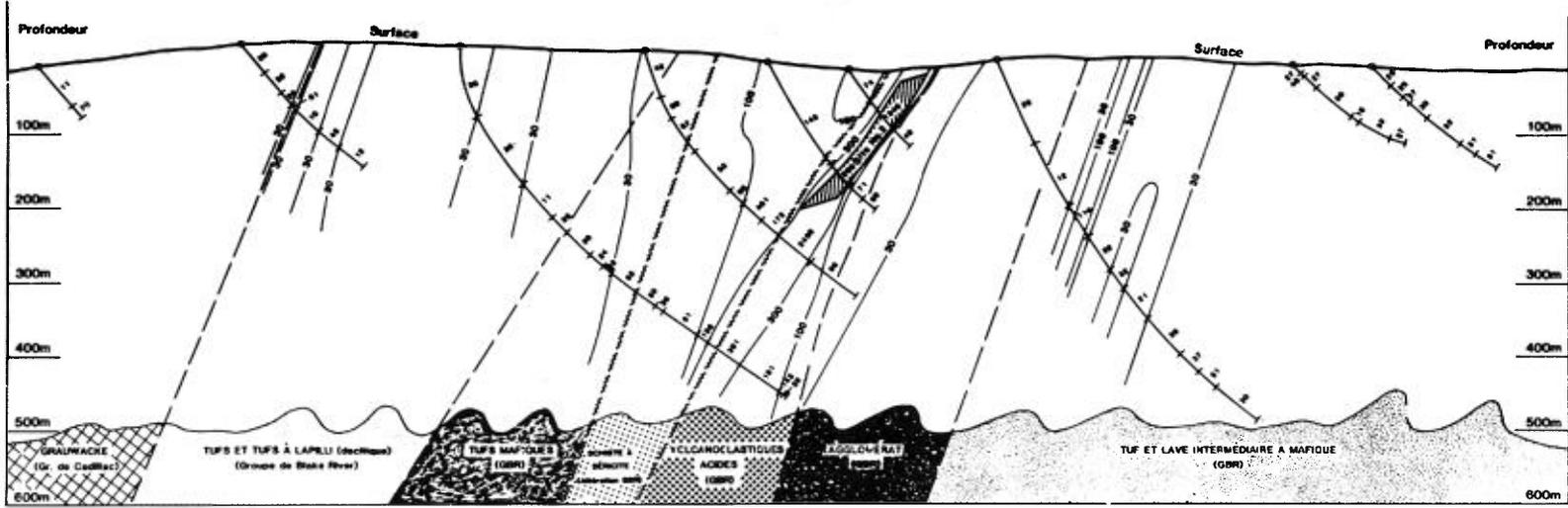


FIGURE 10 - Détail du halo de gîte, mine Dest-Or, section verticale 165N. D'après Beaudoin et al, 1986).



PROFIL OR EN SURFACE. PROJETÉ



TENEUR EN OR DANS LES ROCHES HÔTES - COUPE CENTRALE - GÎTE 2



FIGURE 11 - Coupe verticale, gîte no 2, mine Doyon, région de Cadillac-Rouyn, Québec. D'après Perreault et al, 1985.

d'épaisseur de roches volcaniques ; ils peuvent vraisemblablement occuper les 3 km d'épaisseur de la formation de Val-d'Or à la hauteur des mines Lamaque et Sigma. Ces trous à 1,5 ppb Au contrastent avec les teneurs normales à Lamaque qui sont centrées sur 15 ppb Au.

Si l'on suppose que ces "trous" s'étendent en profondeur sur 3 km, voilà un volume de $10 \times 3 \times 3 \times 20\% = 18 \text{ km}^3$ possiblement lixivié d'une partie de son or. Pour une teneur initiale de 15 ppb Au et une teneur après lixiviation de 1,5 ppb Au, l'or lixivié du volume de 18 km^3 fait environ 729 t Au. On peut aussi accepter qu'environ 20% de cet or sera dispersé en halo endogène ; d'où un reste de 583 t Au, possiblement fixé dans des gîtes minéraux. Les productions cumulées des mines Lamaque et Sigma font 250 t Au. Le solde (sic 333 t Au) pourrait fort bien être constitué de gîtes d'or à découvrir, de gîtes érodés et d'amas minéralisés sub-économiques. Grosso modo, nous opinons qu'il y a balance géochimique de l'or à l'intérieur de ce volume de $10 \times 3 \times 3 \text{ km}^3$. Nous avons aussi retrouvé des "trous" d'or sur la propriété New Pascalis ; malheureusement nos observations ne sont pas suffisamment complètes pour permettre des opinions semblables sur les minéralisations de ce secteur. Les pourtours immédiats de Dest-Or, Kiena et Doyon ne montrent pas de trous semblables.

Nos observations tendent à montrer que les formations à haute teneur normale en Au contiennent plus de gîtes d'or que les autres : 71% de l'or produit à Val-d'Or était contenu dans des gîtes de la formation de Val-d'Or et 24% dans le batholite de Bourlamaque, tous deux riches en Au. Il en est de même du gîte Doyon contenu dans une partie calco-alcaline du Blake River qui contient 28 ppb Au.

"Normalité" en or

Notre entendement de la géochimie de l'or est très partiel et les mesures de son abondance dans les diverses roches de la croûte et du manteau sont trop peu nombreuses pour vraiment catégoriser quantitativement. La plupart des auteurs (voir entre autres Boyle, 1969 ; Crockett, 1973 ; Fryer et al, 1979) s'accordent pour reconnaître que les roches des ceintures de roches vertes archéennes contiennent peu d'or : 0,8 à 1,7 ppb Au dans des régions non minéralisées, et 1,2 à 4,8 ppb Au dans la région minéralisée de Timmins (Fyon et al, 1983 et Fryer et al, 1979). Somme toute, rien dans ces teneurs normales ne laisse prévoir les "normalités" que nous avons observées pour les formations Val-d'Or, Dubuisson – New Pascalis et Blake River.

Pourtant, certaines observations nous portent à penser que certaines formations des ceintures de roches vertes archéennes contiennent plus d'or que le 1 à 4 ppb Au ci-avant. Fryer et al, (1979) donnent quand même plusieurs valeurs de 30 ppb Au pour des andésites faiblement "minéralisées" de la région de Timmins. Sur un ensemble

d'environ 500 valeurs d'or pour des roches de ceintures volcaniques archéennes, Goodwin (1984) en donne environ 60 supérieures à 10 ppb Au et certains de ses diagrammes fréquence versus log ppb Au contiennent des suggestions de modes à $\text{Au} > 10 \text{ ppb}$.

Somme toute, nous soutenons que certaines formations des ceintures de roches vertes archéennes ont des teneurs NORMALES en Au plus élevées (15 à 30 ppb Au) et que plusieurs ensembles de données récentes mériteraient d'être examinés avec cette observation à l'esprit. Nous repoussons ainsi l'enrichissement en or de la formation à la chambre magmatique, voir même au manteau terrestre.

Conclusions

Nous les avons données ci-avant. Nous les rappelons succinctement.

- 1- Plusieurs formations de la région de Val-d'Or – Cadillac – Noranda telles les formations de Val-d'Or, de Dubuisson – New Pascalis et de Blake River ont des teneurs normales élevées en or (15 à 30 ppb Au). Le batholite de Bourlamaque contient aussi beaucoup d'or (ca. 22 ppb Au).
- 2- Ces masses intrusives et formations contiennent des gîtes d'or importants : Lamaque, Sigma, Sullivan, Perron, Courvan, Beaufor, Belmoral, Bras d'Or et Doyon.
- 3- La plupart des gîtes d'or sont enveloppés d'un halo endogène d'une portée de 10 à 400 m ; la valeur seuil des enrichissements varie de 20 à 50 ppb Au.
- 4- L'échantillonnage régional et l'analyse des ppb Au peuvent permettre de trouver de nouvelles formations et de nouvelles masses intrusives à haute teneur en Au.
- 5- Les gîtes d'or s'enveloppent fréquemment d'un halo d'enrichissement d'une portée de 10 à 400 m. Le seuil d'enrichissement est de 20 à 500 ppb Au. Cette observation peut être utilisée pour la prospection.

Remerciements

Puisque notre note est, en quelque sorte, une synthèse de travaux qui se sont étendus sur plus de quatre années, la liste de personnes et d'organismes à remercier est longue. Nous énumérons ci-après les principaux.

POUR APPUI FINANCIER :

- le MER (Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec) convention de recherche IREM P83-21 ;
- le CRSNG (Conseil de la Recherche en Sciences Naturelles et Génie), convention de recherche A-1180.
- le FCAR (Formation de Chercheurs et Aide à la Recherche, Ministère de l'Éducation du Québec), con-

vention de recherche à Alex C. Brown, Richard Darling, Guy Perrault et Pierre Trudel ;

- l'industrie minière du Québec, dont particulièrement mine Doyon, mine Lamaque, mine Sigma, Dufresnoy et plusieurs autres.

POUR APPUI LOGISTIQUE SUR LE TERRAIN, NOUS REMERCIONS :

- le MER et ses géologues résidents de Val-d'Or (M. Lattulippe et Denis Racicot) ;
- les compagnies minières et leur personnel technique

POUR ACCOMPLISSEMENT TANT SUR LE TERRAIN QUE DANS LE LABORATOIRE, NOUS REMERCIONS :

- nos collègues, professeurs et associés de recherche, Richard Darling, Pierre Sauvé, Pierre Trudel, Mehmet F. Taner et Lao Kheang ;
- nos diplômés récents et thésards actuels : F. Robert, R. Daigneault, D. Chainey, A. Beaudoin, A. Bourget, M. Viens, A. Savoie, G. Bourgault, R. Lacroix ;
- une mention toute spéciale pour l'équipe du laboratoire de géochimie analytique de l'Ecole Polytechnique (V. Kubat, C. Dallaire et pour l'activation neutronique, J.-L. Bastien), responsables des mesures analytiques ;
- l'équipe de l'Institut de Génie nucléaire de l'Ecole Polytechnique et plus particulièrement, G. Kennedy.

Finalement, nous remercions Pierre Trudel, Pierre Sauvé et Richard Darling d'avoir accepté de relire notre manuscrit.

Références

- BEAUDOIN, A., 1985 – Pétrographie et géochimie de l'altération reliée au gîte aurifère Dest-Or, Abitibi, Québec. Thèse M.Sc.A., Ecole Polytechnique de Montréal, octobre 1985.
- BEAUDOIN, A. – PERRAULT, G. – BOUCHARD, M., 1986 – Distribution of gold, arsenic, antimony and tungstene around the Dest-Or ore body Noranda district, Abitibi, Québec. Soumis pour publication, Jour. of Geochemical Exploration.
- BOURGET, A., 1986 – Distribution de l'or autour du gîte S-15, mine Kiena, Québec. Thèse M.Sc.A., à être déposée en 1986.
- BOYLE, R. W., 1979 – Gold Production in the Superior Province of the Canadian Shield. Canadian Institute of Mining Bulletin, 76, no 857, pp. 62-69.
- CAMPIGLIO, C., 1977 – Batholite de Bourlamaque. ES-26, Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec.
- CROCKET, J.H., 1973 – Gold. IN "Handbook of Geochemistry"; éd. K.H. Wedepohl ; 79, Springer, Verlag, Berlin, Heidelberg & New York.
- DAIGNEAULT, R., 1983 – Géologie et géochimie du gisement d'or de la Mine Lamaque, Val-d'Or, Québec. Thèse M.Sc.A., Ecole Polytechnique de Montréal.
- FRYER, B.J. – KERRICH, R. – HUTCHINSON, R.W. – PEIRCE, M.G. – ROCHERS, D.S., 1979 – Archean precious-metal hydrothermal systems, Dome Mine, Abitibi Greenstone Belt. I. Patterns of alteration and metal distribution. Canadian Journal of Earth Sciences, 16, pp. 421-439.
- FYON, J.A. – CROCKET, J.C. – SCHWARCZ, H.P., 1983 - Timmins gold deposit types : characteristics and exploration criteria. Montreal, Mineral exploration Research Institute. IREM-MERI, Paper 83-1, 64 pages.
- GILBERT, M., 1984 – Etude géochimique et pétrographique du dépôt aurifère de la zone P, canton Fournière, région de Malartic. Projet de fin d'études, Ecole Polytechnique, mars 1984, 35 pages.
- GOODWIN, A.M., 1984 – Archean Greenstone Belts and Gold Mineralisations, Superior Province, Canada. IN Gold '82, edited by R.P. Foster, published by A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 71-95.
- IMREH, L., 1984 – Sillon de La Motte-Vassan et son avant-pays méridional : synthèse volcanologique lithostratigraphique et gîtologique. Rapport MM 82-04, Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec.
- KWONG, Y.T.J. – CROCKET, J.H., 1979 – Background and anomalous gold in rocks of an Archean greenstone assemblage, Kakagi Lake area, North-western Ontario. Economic Geology, 73, pp. 50-63.
- LACROIX, R., 1985 – Pétrographie et géochimie des minéralisations aurifères, New Pascalis, Québec. Thèse M.Sc.A., Ecole Polytechnique, octobre 1985.
- ROBERT, F., 1983 – Etude du mode de mise en place des veines aurifères de la mine Sigma, Val-d'Or, Québec. Thèse Ph.D., Ecole Polytechnique, Montréal, 274 pages.
- TANER, M.F. – PERRAULT, G., 1985 – Distribution of Au, As, Sb and W in the host rocks of the Eastern Val-d'Or area, Quebec. CIM Bulletin, 77, p. 88 (Abstract). AGM of CIM, Paper no 137.
- WHITE, A.J.R. – CHAPPEL, B.W., 1977 – Ultramorphism and granitoid genesis. Tectonophysics, U3, pp. 7-22.

Stratigraphie et géochimie des roches volcaniques du groupe de Blake River à l'ouest de Rouyn-Noranda

P. Verpaelst, A. Simard, R. Gaulin, P. Gagné, P. Labelle

Introduction

L'étude de la stratigraphie et de la géochimie des roches volcaniques du Groupe de Blake River à l'ouest de Rouyn-Noranda fait partie d'un projet de recherche initié par des chercheurs du Collège de l'Abitibi-Témiscamingue, de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, et du ministère de l'Énergie et des Ressources.

La région étudiée est localisée entre Rouyn-Noranda et la frontière Québec-Ontario, et comprend les cantons de Dasserat, Beauchastel, Montbray et Duprat (figure 1). Cette région peu accessible, a été cartographiée récemment par le MER (Leduc, en préparation). Les travaux antérieurs remontent à la période de 1956 à 1965. Les travaux récents de compilation de Gélinas et al, (1984) et Hubert et al, (1984) ont montré qu'il est possible de corréler une partie des formations de cette région avec la partie est du Blake River (par exemple : l'unité Duprat-Montbray). Cependant, une grande partie des roches de cette région n'ont pu être différenciées (Gélinas et al, 1984), faute de données lithologiques, pétrographiques, structurales et géochimiques. L'étude géologique détaillée de cette région est donc nécessaire pour compléter l'inventaire géologique du Groupe de Blake River. Elle pourrait permettre d'établir des corrélations avec les unités déjà connues de la partie est, et peut-être de retrouver les horizons-repères minéralisés. Nous présentons ici les résultats préliminaires, surtout des résultats lithogéochimiques. Les échantillons dont il est question ont été prélevés durant l'été 1983 par M. Leduc (Géomines) et A. Simard (MER.)

Résultats préliminaires

MÉTHODOLOGIE

Une centaine d'échantillons ont été analysés pour leurs éléments majeurs et leurs éléments en trace. Les teneurs pour les terres rares ont été mesurées au moyen de l'activation neutronique pour une cinquantaine d'échantillons.

L'un des objectifs de cette étude est l'identification de l'affinité géochimique des roches pour fin de comparaison avec d'autres régions déjà caractéristiques du Blake River. Pour ce faire, nous avons éliminé les échantillons altérés en utilisant les critères diagnostiques de l'altération des roches volcaniques de Gélinas et al, (1977). Ce

tri est essentiel pour pouvoir utiliser les éléments majeurs dans l'interprétation. La pétrographie a permis de confirmer et de caractériser l'altération de chaque échantillon analysé. On note que 65% des échantillons sont altérés ; ce pourcentage est comparable à celui obtenu par Gélinas et al, (1977) dans les unités de la partie est du Groupe de Blake River.

INTERPRÉTATION

En première analyse, les roches de la région étudiée (tableau 1) couvrent les domaines tholéiitiques et calco-alcalins (diagrammes AFM.- figure 2). De plus, les échantillons du domaine tholéiitique sont peu différenciés : l'enrichissement en FeO_{total} est peu important. On note également une discontinuité entre les roches mafiques et les roches felsiques qui traduit la bimodalité de la distribution. Ces caractéristiques confirment la ressemblance avec l'unité intermédiaire Duprat-Montbray (Gélinas et al, 1984 ; Verpaelst, 1985) ; Verpaelst et al, (en préparation).

L'examen préliminaire des tendances des éléments en trace (tableaux 2 et 3) vient confirmer les deux affinités tholéiitiques et calco-alcalines des roches de la région. Les roches d'affinités tholéiitiques semblent avoir été générées par un processus de cristallisation fractionnée, alors que les roches calco-alcalines originent de la fusion partielle ou des mélanges de magmas. Ceci est montré par le diagramme Ce versus Ni (figure 3).

D'autres rapports mettent aussi en évidence deux populations distinctes. La première est caractéristique des tendances tholéiitiques ou intermédiaires observées ailleurs dans le Blake River où les rapports La/Yb varient entre 1,6 et 4,6. Ils varient entre 1.5 et 4.5 dans les roches ici étudiées (tableau 3). La seconde est comparable à celle observée dans l'unité calco-alcaline de Dufault où les rapports La/Yb varient entre 5.5 et 18,8 ; ceux-ci oscillent autour de 5 pour nos roches (tableau 3). De même les rapports Ti/Zr de nos roches calco-alcalines varient entre 50 et 65, alors que ceux des tholéiites vont de 85 à 164 (tableau 3).

Conclusion

L'étude préliminaire des roches qui proviennent de la région sise à l'ouest de Rouyn-Noranda montre qu'il y a deux unités lithochimiques distinctes, l'une tholéiitique, l'autre calco-alcaline. Ces unités peuvent être distinguées par les éléments en trace et les terres rares. La partie

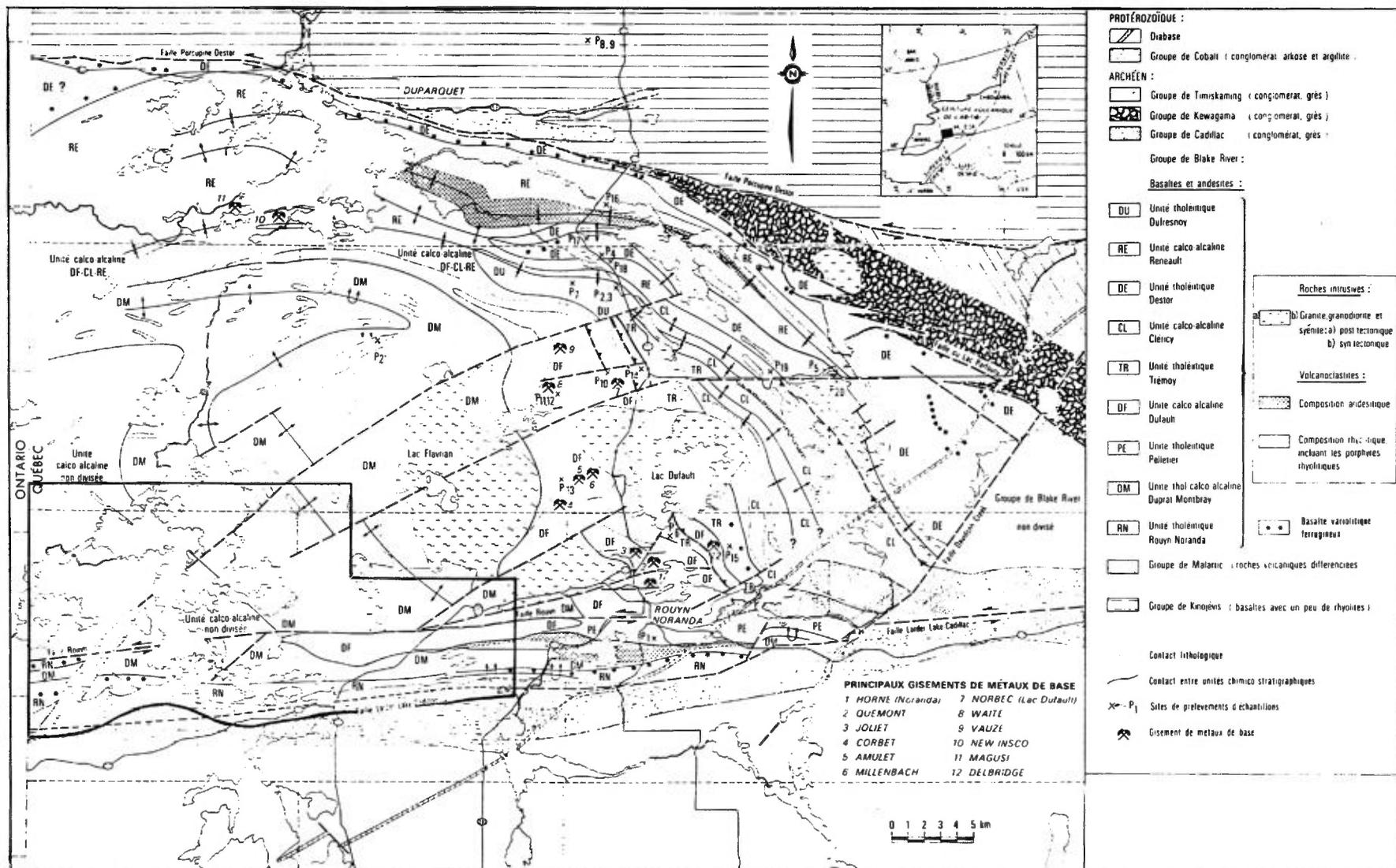


FIGURE 1 - Carte géologique du Groupe de Blake River dans la région de Rouyn-Noranda. Cette carte, tirée de Gélinas et al., 1984b, présente les limites des unités chimico-stratigraphiques telles que définies par ces auteurs.

TABLEAU 1 - Analyses représentatives (oxydes majeurs) des unités tholéitiques (1, 2, 3) et calco-alkalines (4, 5, 6) du Blake River Ouest.

	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	46,6%	51,4	55,3	50,5	55,9	57,6
Al ₂ O ₃	17,9	14,6	15,3	17,4	16,4	15,7
Fe ₂ O ₃ t	9,67	12,6	11,6	9,07	8,42	8,9
MgO	8,77	5,71	3,26	5,16	5,10	3,29
CuO	12,3	8,95	7,07	8,19	7,38	7,08
Na ₂ O	1,42	3,44	3,67	3,40	3,52	3,96
K ₂ O	0,04	0,69	0,28	0,16	0,80	0,59
TiO ₂	0,56	1,35	1,83	0,79	0,97	1,38
MnO	0,12	0,17	0,18	0,17	0,13	0,13
P ₂ O ₅ l	< 0,03	< 0,03	0,29	< 0,03	0,07	0,17
S	0,04	0,05	0,01	0,03	0,03	0,02
PAF	3,57	1,49	0,45	4,71	1,11	0,90

TABLEAU 2 - Concentrations des éléments traces et des terres rares dans le Groupe de Blake River.

INTERVALLE MOYENNE	ÉLÉMENT								
	SiO ₂ (%)	Ba (ppm)	Sr (ppm)	Ti (ppm)	Zr (ppm)	Y (ppm)	La (ppm)	Sm (ppm)	Yb (ppm)
Unité tholéitique DESTOR ®	53,5 - 63,2	98 - 390 198	55 - 156 108	9385 - 11996 10816	116 - 172 153	37 - 70 57	14,9 - 17,4 16,4	5,2 - 7,2 6,6	3,7 - 6,1 5,3
Unité tholéitique ROUYN-NORANDA ®	52,3 - 53,4 52,8	N.A.	155 - 220 183	7974 - 10371 8872	77 - 92 86	18 - 29 25	4,2 - 5,2 4,9	2,3 - 2,9 2,6	1,6 - 3,2 2,6
Unité calco-alkaline DUFAULT®	55,5 - 68,1	0 - 276 121	97 - 165 124	4581 - 7894 6429	109 - 145 125	16 - 28 23	9,5 - 18,2 14,1	3,2 - 4,6 4,1	0,8 - 2,5 1,7
Unité calco-alkaline RENAULT ®	54,9 - 59,0 56,7	172 - 338 242	109 - 259 155	5911 - 7227 6514	97 - 148 122	20 - 24 22	11,9 - 14,9 13,8	3,2 - 3,8 3,5	1,9 - 2,6 2,1
Unité tholéitique	48,2 - 66,3 56,4	39 - 512 187	89 - 327 195	3420 - 13200 8626	50 - 110 82	15 - 63 30	4,0 - 9,0 6,0	2,0 - 4,0 3,1	2,0 - 3,0 2,4
Unité calco-alkaline	49,1 - 59,7 56,0	80 - 675 168	80 - 675 245	4140 - 8460 5914	110 - 130 120	17 - 31 23	10,0 - 13,0 11,3	3,0 - 4,0 2,7	2,0 2,0

© Tiré de Gélinas et al, 1984

TABLEAU 3 - Rapport entre les éléments traces et les terres rares dans le Groupe de Blake River.

RAPPORT					
INTERVALLE MOYENNE	Zn/Y	Ti/Zr	Ti/Y	La/Sm	La/Yb
Unité tholéiitique DESTOR ©	2,7 - 3,6 3,0	65 - 114 80	185 - 385 242	2,3 - 3,3 2,4	2,3 - 4,6 3,1
Unité tholéiitique ROUYN-NORANDA ©	3,0 - 4,3 3,5	90 - 135 105	275 - 576 382	1,8 - 2,0 1,9	1,6 - 2,8 2,1
Unité calco-alkaline DFAULT ©	4,6 - 6,8 5,6	35 - 66 52	230 - 343 277	2,9 - 4,1 3,4	5,5 - 18,8 9,7
Unité calco-alkaline RENAULT ©	4,7 - 6,7 5,5	44 - 64 54	259 - 318 294	3,7 - 4,4 4,0	5,4 - 7,4 6,6
Unité tholéiitique	2,7 - 4,4 3,6	85 - 164 120	58 - 514 305	1,5 - 3,0 2,3	1,5 - 4,5 2,9
Unité calco-alkaline	5,42 - 6,47 5,8	50 - 65 58	180 - 378 262	3,3 - 3,6 3,5	5,0 - 5,5 5,3

© Tiré de Gélinas et al, 1984

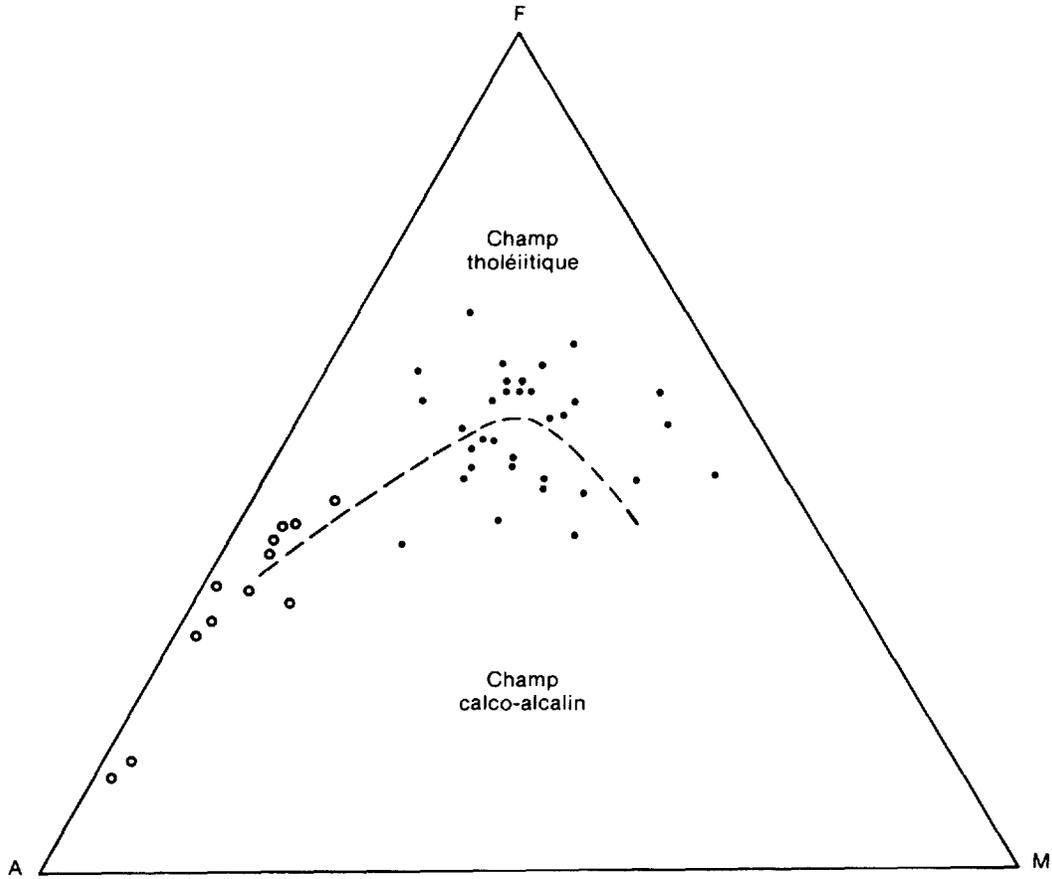


FIGURE 2-Diagramme AFM. La limite des champs est celle de Irvine et Baragar (1971).

- Laves mafiques et intermédiaires
- Rhyolites.

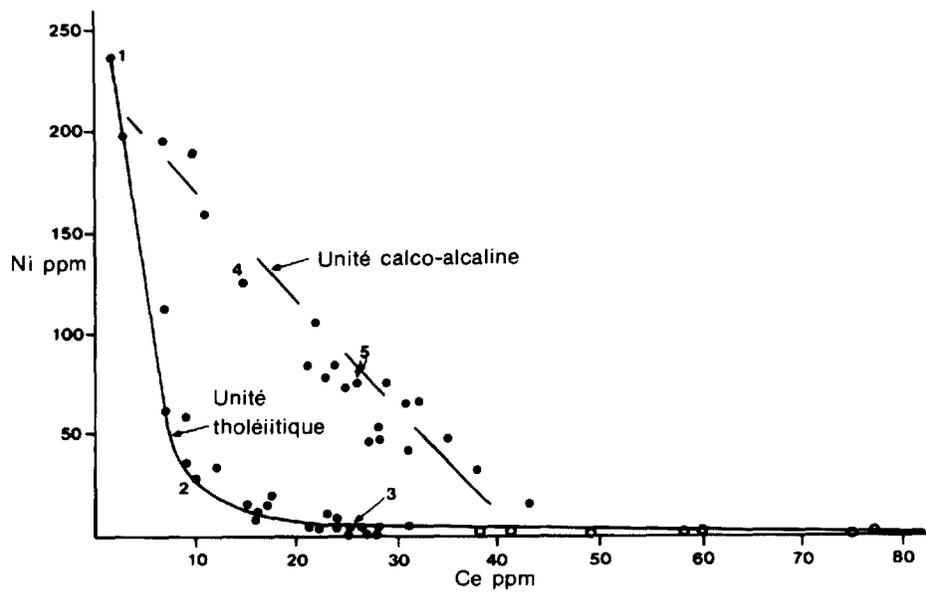


FIGURE 3-Diagramme binaire Ni vs Ce.

- Laves mafiques et intermédiaires.
- Rhyolites.

Les points numérotés sont ceux dont les analyses figurent au tableau 1 .

ouest du Blake River est donc comparable à l'unité intermédiaire Duprat-Montbray par son affinité mixte.

Les roches de la partie ouest du Blake River se distinguent de l'unité Duprat-Montbray (Gélinas et al, 1984) par des variations plus grandes des teneurs et des rapports des éléments en trace. Les tholéiites analysées sont comparables aux laves des unités tholéitiques et intermédiaires du Blake River. Les roches calco-alcalines montrent des rapports d'élément en trace incompatibles qui ressemblent aux rapports observés dans les unités calco-alcalines déjà définies à l'intérieur du Groupe de Blake River.

La présente étude montre bien l'intérêt que cette région peut représenter pour l'exploration minière. En effet, on y trouve des roches calco-alcalines comparables à celles qui constituent l'environnement des principaux gisements volcanogènes de la région de Rouyn-Noranda.

Références

- GÉLINAS, L. – TRUDEL, P. – HUBERT, C., 1984 – Chemostratigraphic division of the Blake River Group, Rouyn-Noranda area, Abitibi, Québec. *Journal Canadien des Sciences de la Terre*, no 21, p. 220-231.
- GÉLINAS, L. – BROOKS, S. – PERRAULT, G. - TRUDEL, P. - GRASSO, F., 1977 - Chemostratigraphic division within the Abitibi volcanic belt, Rouyn-Noranda district Québec. Dans *Volcanic regimes in Canada*, Baragar, WRA, Coleman, L.C. et Hall, J.M. éditeur Geological Ass. of Canada Special Paper no 16, p. 265-295.
- VERPAELST, P., 1985 – Géologie de la séquence volcanique archéenne du Complexe de Duprat, Abitibi, Québec. Thèse de Ph.D. non publiée.
- VERPAELST, P. – LUDDEN, J. – GELINAS, L., (en préparation) – Geochemical evolution of the Duprat volcanic unit from the Abitibi metavolcanic belt.
- LEDUC, M., (en préparation) – Blake River Ouest, région du lac Dasserat. Ministère de l'Énergie et des Ressources.

Soil surveys for Quebec ? Learning from others

S.J. Hoffman, Senior geochemist⁽¹⁾

1. S.J. Hoffman, Senior geochemist, BP Selco, suite 700 – 890 West Pender, Vancouver, B.C. V6C 1K5

Abstract

Application of soil surveys to exploration for base and precious metals in Quebec will become more routine as successful case histories are published. These will probably promote recommendations for standard humus and/or soil sampling under the assumption that sample collection can be conducted easily with little training of samplers or the need to record information on field site parameters as samples are taken. A series of case histories from other parts of Canada illustrate how such simplistic approaches can mislead the explorer and result in predictable wasted expenditures of money and labour. Effectiveness can be achieved by recognizing the total cost of the geochemical program to be the sum of the initial survey and the followup efforts.

Introduction

There is no argument that the proper interpretation of geochemical data requires access to detailed descriptive notes made at time of sample collection. However, project managers (geologists) often complain that note taking is costly and, in their experience no use is made of these notes. This is often a valid complaint. Moreover, many professional geochemists inadvertently accept poor quality sampling by not investigating all those parameters which contribute to the geochemical patterns they are trying to interpret. Usually, failure to systematically examine the large volumes of data recorded in the field is due to the difficulty of routinely reviewing this information when it is available. The two most serious problems are the following :

- 1) Significant anomalies are missed by improper sampling.
and
- 2) false anomalies are not identified due to lack of or ease of access to observational data.

In the case of (1), the surface expression of a potential orebody may be missed ; in the case of (2), funds are spent following-up false anomalies. In both cases geochemical methods have been misapplied and prove costly (in dollars and person days) and ineffective.

Soil sampling in Quebec has not attained the status of a routine exploration methodology as is the case in other parts of the country. However in recent years more at-

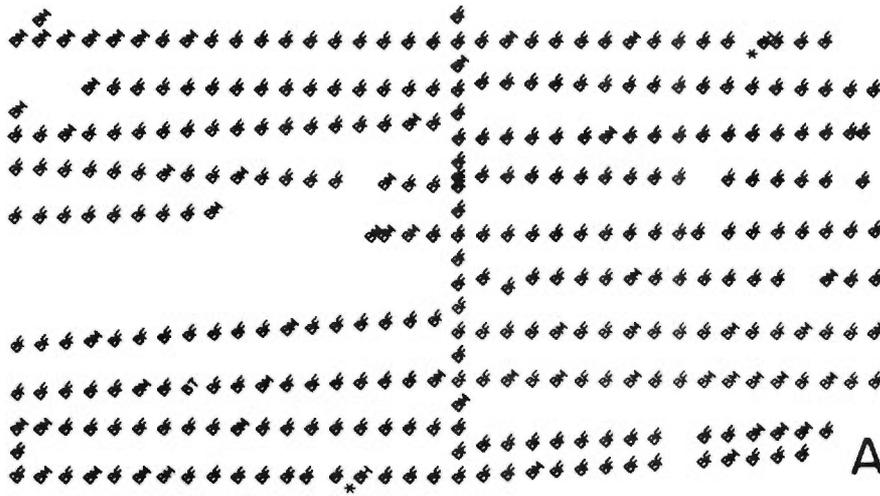
tention is being given to surficial geochemical surveys. The recent humus case history study of the Casa Berardi gold deposit by the Ministère de l'Énergie et des Ressources will likely stimulate further studies of the same type. Successful application of geochemical methods in part will be based on avoiding the pitfalls encountered in the past by other workers in other parts of the country. This paper describes several case history examples which illustrates the benefits of systemically collecting and interpreting field observations and multielement geochemical data.

False anomalies due to the collection of organic rich materials

A routine "B" horizon soil survey was recommended for a gold property in central British Columbia. Soil horizons and colour, as described and sampled in the field following Hoffman (1978), and the copper analysis for a geochemical grid are shown in Figure 1. Samples were primarily taken from the BF and BM horizons (Clayton et al, 1977) and obvious organic horizons were recorded at only 3 of the approximate 800 sample sites (Fig. 1A). Various shades of dark brown to black were recorded for soil colour (Fig. 1B). These are not consistent with the definition of the BF and BM horizons but are indicative of organic-rich materials collected at 43 sites. Accumulations of copper characterize 33% of these sites (indicated by an X over the large dots on Fig. 1C) and accumulation is probably spurious, due to organic matter scavenging. Unrecognized, the false copper anomalies distort distribution patterns and trends and could result in defective recommendations being issued for followup exploration. Resampling of affected sites is necessary prior to detailed interpretation of survey data, and efforts should be made to avoid a reoccurrence of the problem.

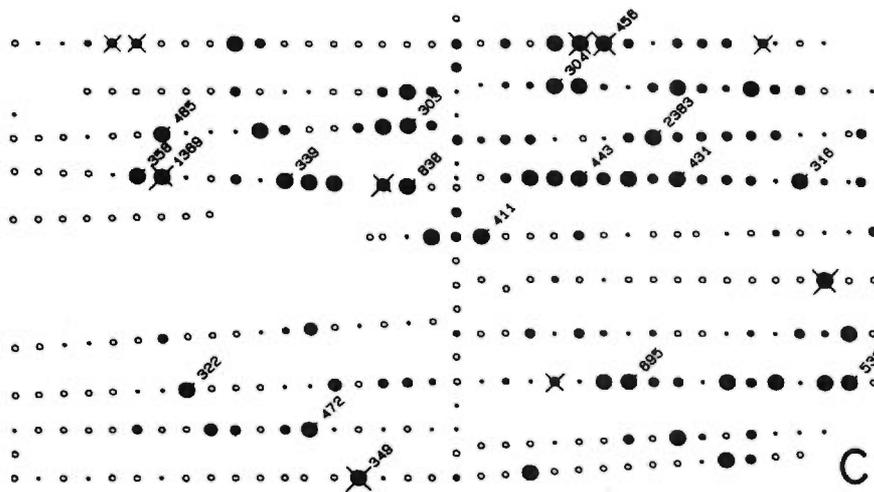
The same problem can be recognized by examining calcium and manganese data obtained by multielement analysis. Anomalous leachable calcium contents exceeding 0.66% are found at 37 of the 43 sites of black samples (Fig. 1D). Manganese is similarly affected at 27 of the 43 sites (Fig. 1E). Sampling problems are readily apparent by "measles-like" distribution patterns. These findings would likely not be possible without plotting of all information and remedial action to : (1) prevent a reoccurrence of sampling problems and (2) better direct followup to bona fide would not be taken.

The same problem was eventually diagnosed to explain the copper geochemistry of another property, on



SOIL HORIZON

- BH. Black, organic-rich mineral horizon at depths greater than 15cm (do not sample)
- BF. Red brown, iron-rich horizon.
- BT. Brown, clay-rich horizon.
- BM. Brown horizon which is only slightly different in appearance from underlying parent material.



Cu

- 40
- 70
- 80
- 150
- 170
- X 300

✕ Black Soil Sample

FIGURE 1 - Soils horizons (A) identified by samplers and the coding format key to the right. Soil colour (B) represents qualitative information using L - light, M - medium, D - dark and the first two letters of the colour for coding. Flexibility is allowed in recording and other readily apparent abbreviations are permitted. Copper anomalies indicated by a "X" through sample points (C) are interpreted to be false, reflecting organic matter savenging. The calcium (D) and manganese (E) distributions are to be compared to soil colour. Organic-rich samples are indicated by an "X".

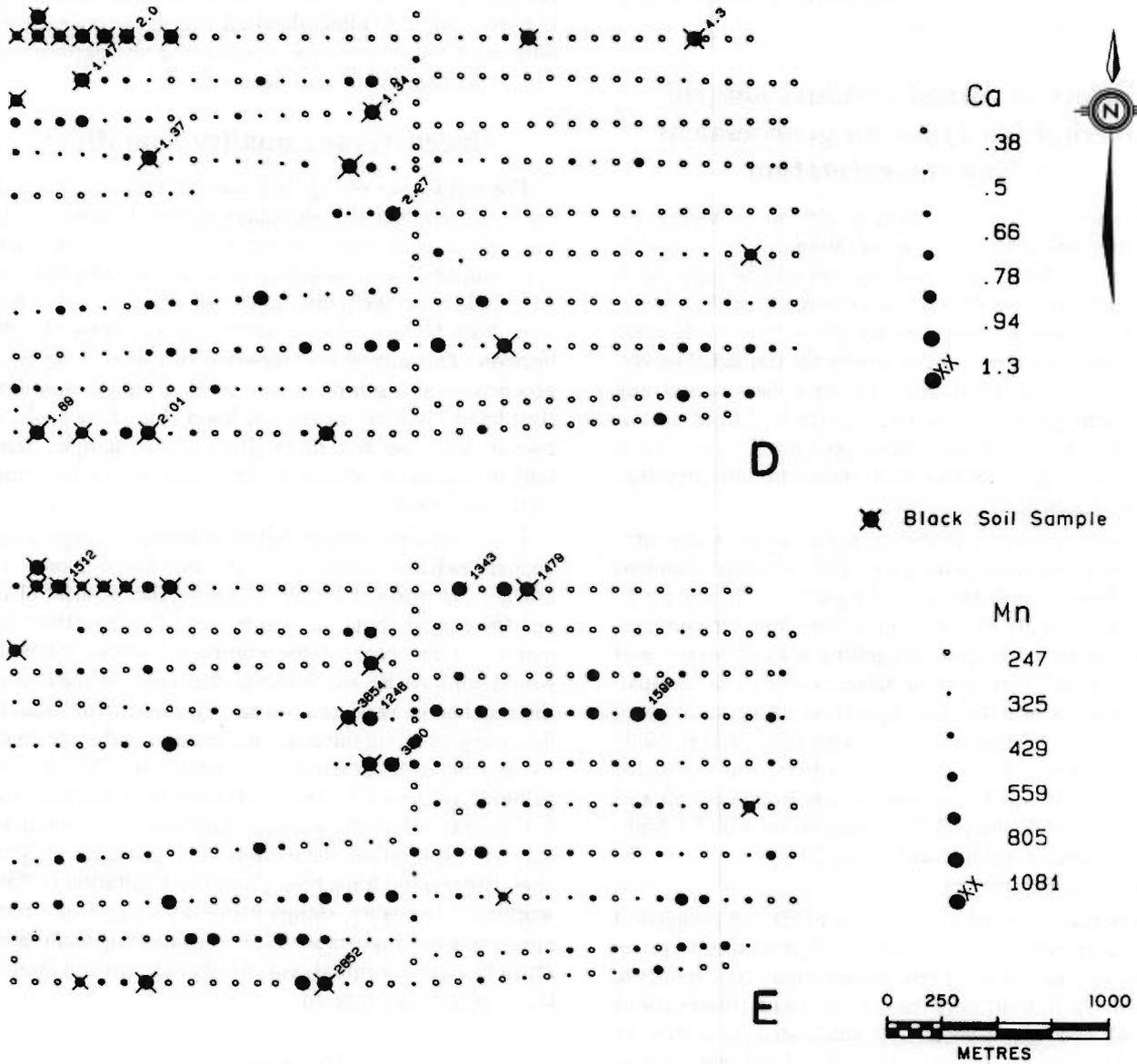


FIGURE 1 (suite)

Vancouver Island. The main showing is a copper-silver prospect which displays a weak copper soil anomaly in proximity (Fig. 2). The major copper anomaly lies to the east. Correct interpretation of data was foiled by a sampler who could not be bothered to dig through the organic-rich layer to collect B horizon material. The importance of using copper as a pathfinder for silver was mitigated as a consequence, and only resampling of all sites anomalous in copper, an expensive remedial action, would correct the problem.

Effect of mixed residual and till overburden types on geochemical survey interpretation

Another routine soil survey in British Columbia encountered two different types of overburden (soil parent material). Different overburden types may be expected to exert different controls on trace element distributions in soils. Overburden conditions (origin, estimated distance of transport) can be noted on site by the trained observer. Most often this information is not collected and any subsequent geochemical interpretation is obliged to consider the entire data set as homogeneous in terms of soil parent material. This standard, simplistic interpretation can be significantly improved.

Trained observers routinely noted areas where outcrops were exposed, where soils had a coarse fragment (1 cm diameter) content exceeding 45% of the soil pit by volume (typically the fragments were angular comprising the same rock type) suggesting a local origin, and where a field interpretation defined the soils as residual, developed in situ by decomposition of bedrock lying within 0.5 to 1.0 metre of the bottom of the soil pit. Surrounding areas of residual soils, bedrock was concealed by a local till which contained a low stone content and was texturally distinct. Shaded regions on Fig. 3A highlight the area of residual soils defined by synthesizing the above three parameters.

Histograms for the entire data set (Fig. 4A) suggested two major population groupings. Histograms were redrawn for tills (code 1) and residual materials (codes 6, 8, and 9) individually based on field observations (Fig. 4B and 4C, respectively). Size coded symbols were selected based on these histograms to represent concentration intervals. Interpretation 1 on Fig. 3B for the entire data set outlines the highest lead values as anomalous. Over 85% of the soil anomalies are associated with the residual environment whereas less than 2% of samples over till contain anomalous lead concentrations. About 40% of the sites testing residual overburden are anomalous. Clearly redefinition of anomaly thresholds is needed for both overburden environments to fulfill the definition of the term anomalous indicating "an abnormal or unusual condition potentially reflecting proximity to ore."

Computer selection of data, using GEOMHM⁽²⁾ software, allows the user to select data based on a variety of parameters listed on the right hand side of Fig. 4C, including overburden origin. These can then be used to plot the interpretation of Fig. 3C which uses different categorizing criteria and symbols (circles, hexagons) to define anomalous conditions in contrasting till and residual geochemical environments, respectively, independently of each other. Northeasterly trends on Fig. 3C, related to mineralization, are visible once the influence of parent material dominating the patterns on Fig. 3B is recognized and accounted for.

Speed versus quality sampling

The soil survey of Figure 5 was undertaken to search for base metal massive sulphides in New Brunswick. To the right of each trace element map is a contractor survey completed at a sampling rate of 125 samples/man day. Field notes were identical at all locations; soils had a medium brown colour and were taken from the BF horizon. The survey was repeated one week later by a geochemist at a sampling rate of 50 samples/man day. Results are plotted on the left hand side of each of the copper, lead and zinc maps. Both sets of samples were sent to the same laboratory and analyzed in the same analytical batch.

The contractor survey failed to identify a significant copper-lead-zinc anomaly in the northwest along the northern position of L21W: the difference is most obvious for copper, but can also be seen for the other elements. In the case of the contractor work, followup would not have led to a mineral discovery; in the case of the geochemist work the soil survey was instrumental in discovery of a suboutcropping massive sulphide body located beneath 2 metres of overburden. The massive sulphide grades up to 18% combined lead and zinc and 1% copper. Had the massive sulphide been found by another exploration technology (i.e. geophysics), geochemistry would have been given the reputation of "not working". In reality, sloppy procedures and a failure to appreciate the importance of proper sampling techniques albeit at a greater initial cost, would have proven fatal to the exploration program.

Discussion

Geochemical interpretation is not as simple as many people would like to think. Numerous parameters must be considered. The large volumes of analytical data now being generated by ICP analysis illustrated here, or by inexpensive XRF or neutron activation multielement packages now available, offer the potential to improve interpretation and better direct funds to worthwhile followup. The next generation of analytical technology, the

2. GEOMHM is available from Geomin Computer Services Corporation, 408 Capilano 100, West Vancouver, B.C., Canada, V7T 1A2)

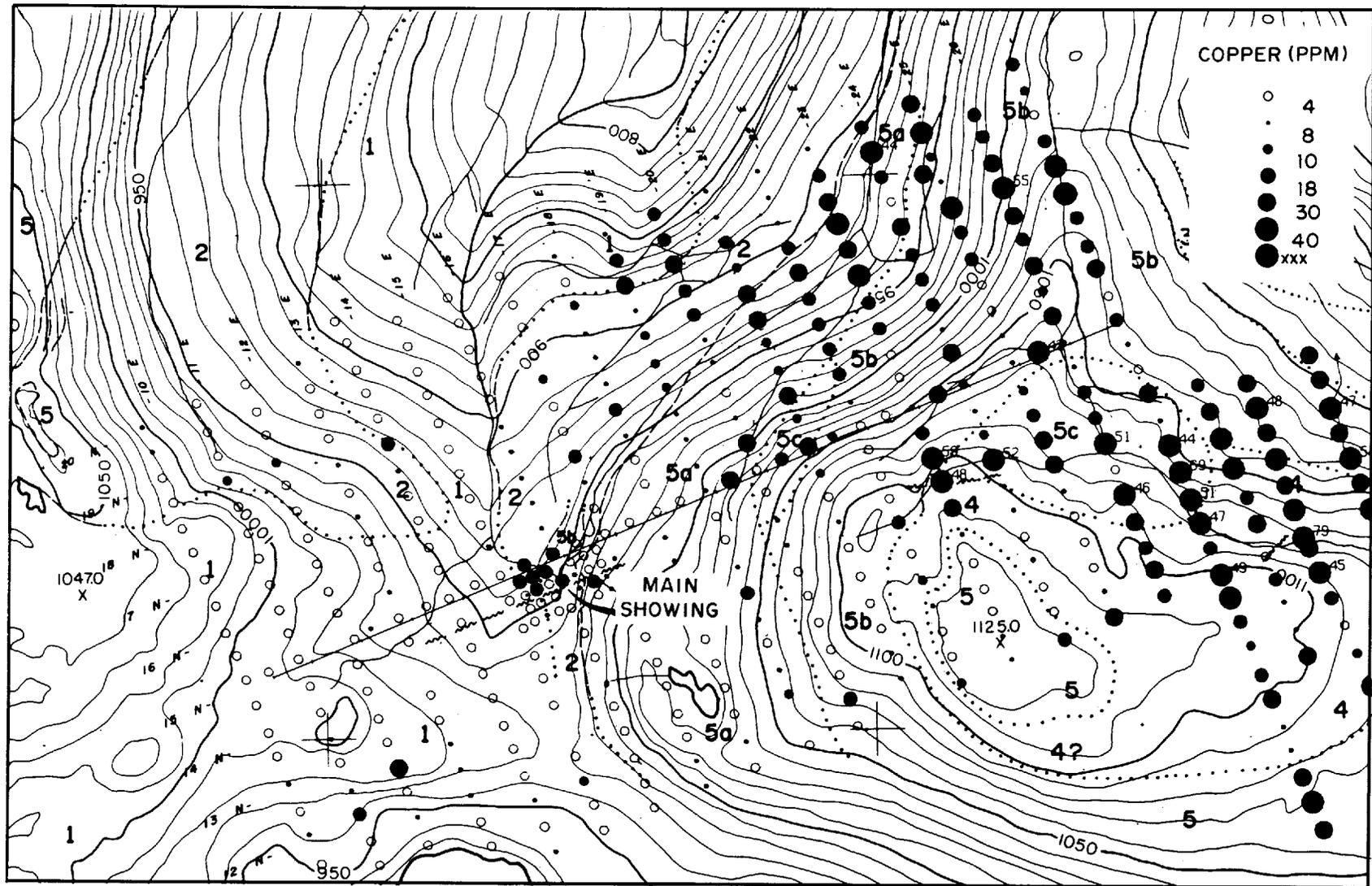


FIGURE 2 - Failure to penetrate a thick organic horizon in the west has mitigated the use of copper as a pathfinder for silver mineralization.

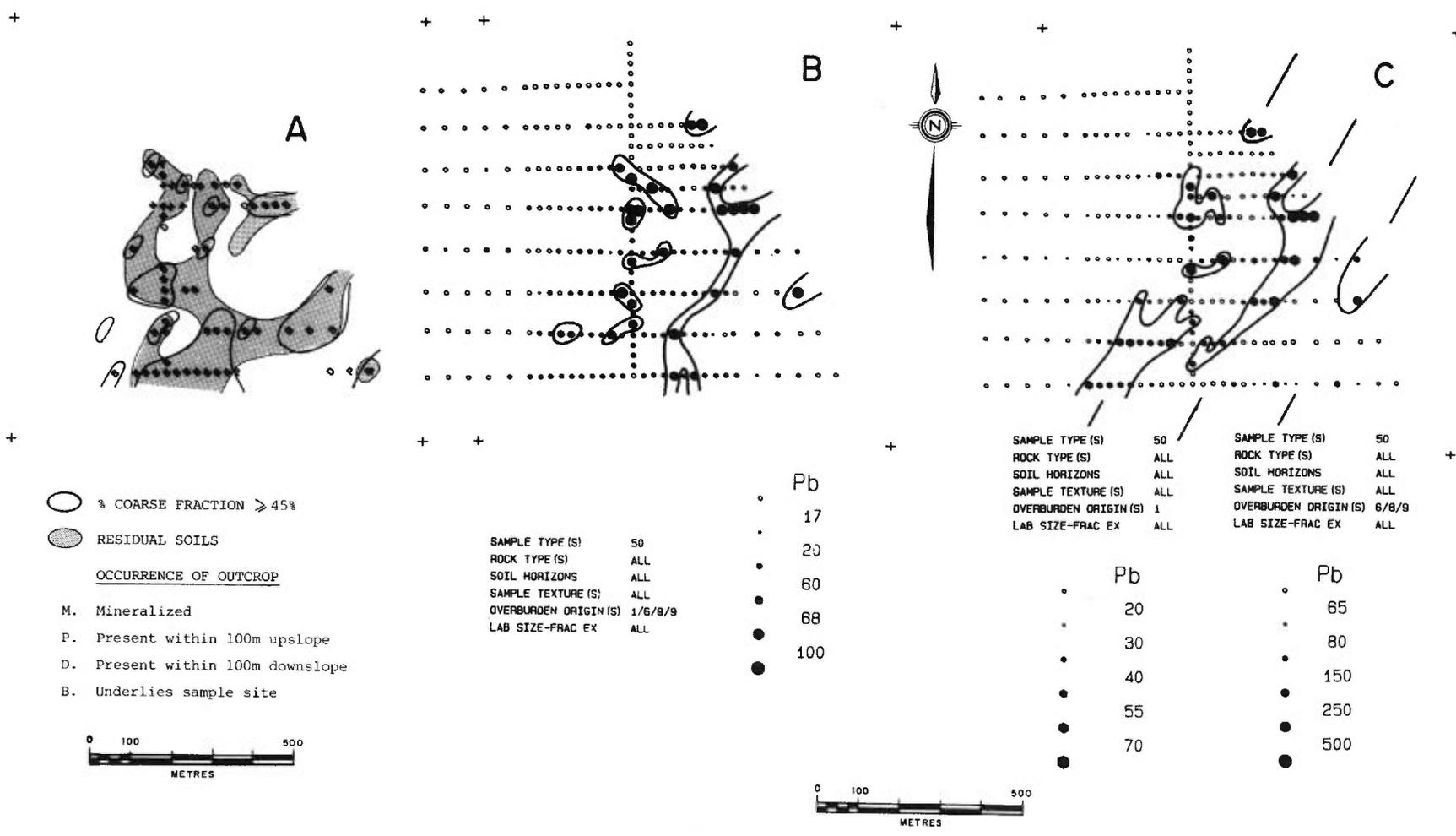


FIGURE 3 - Shaded areas in (A) indicate primarily residual soils; till surrounding the residual overburden. Geochemical interpretation 1 (B) does not consider overburden composition as an important factor, whereas interpretation 2 (C) has attempted to normalize data for overburden type using hexagons to represent residual soils and circles to indicate till soils. Size coding is based on histogram analysis of Figure 3.

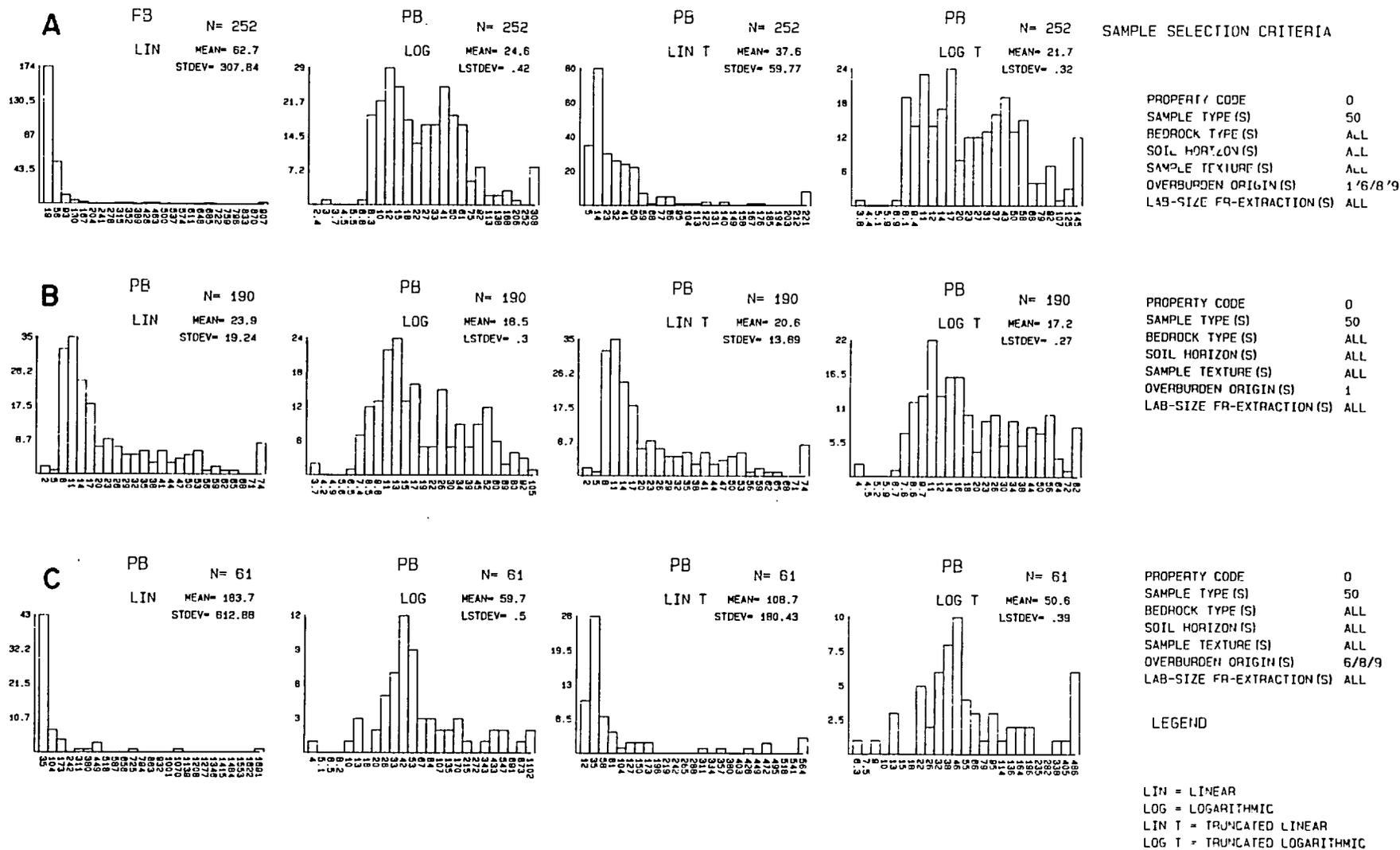


FIGURE 4 - Histograms illustrate a bimodal nature of the lead distribution when all data are considered (A). Lead contents in till (B) are very much lower than those in soils (C). Final interpretation must avoid defining one type of sample as anomalous relative to another (i.e. map overburden types rather than define anomalous conditions). Sample type 50 represent soils; samples over ALL rock types; ALL soils horizons, ALL sample textures; and ALL laboratories size fractions, and digestion methods (in this case data from only one laboratory - Acme Analytical), one size fraction - minus 80 - mesh and one digestion - aqua regia are present in the data file. Overburden origin type 1 represents till, 6 - colluvium derived from outcrop, 8 - talus fines, and 9 - residual soils.

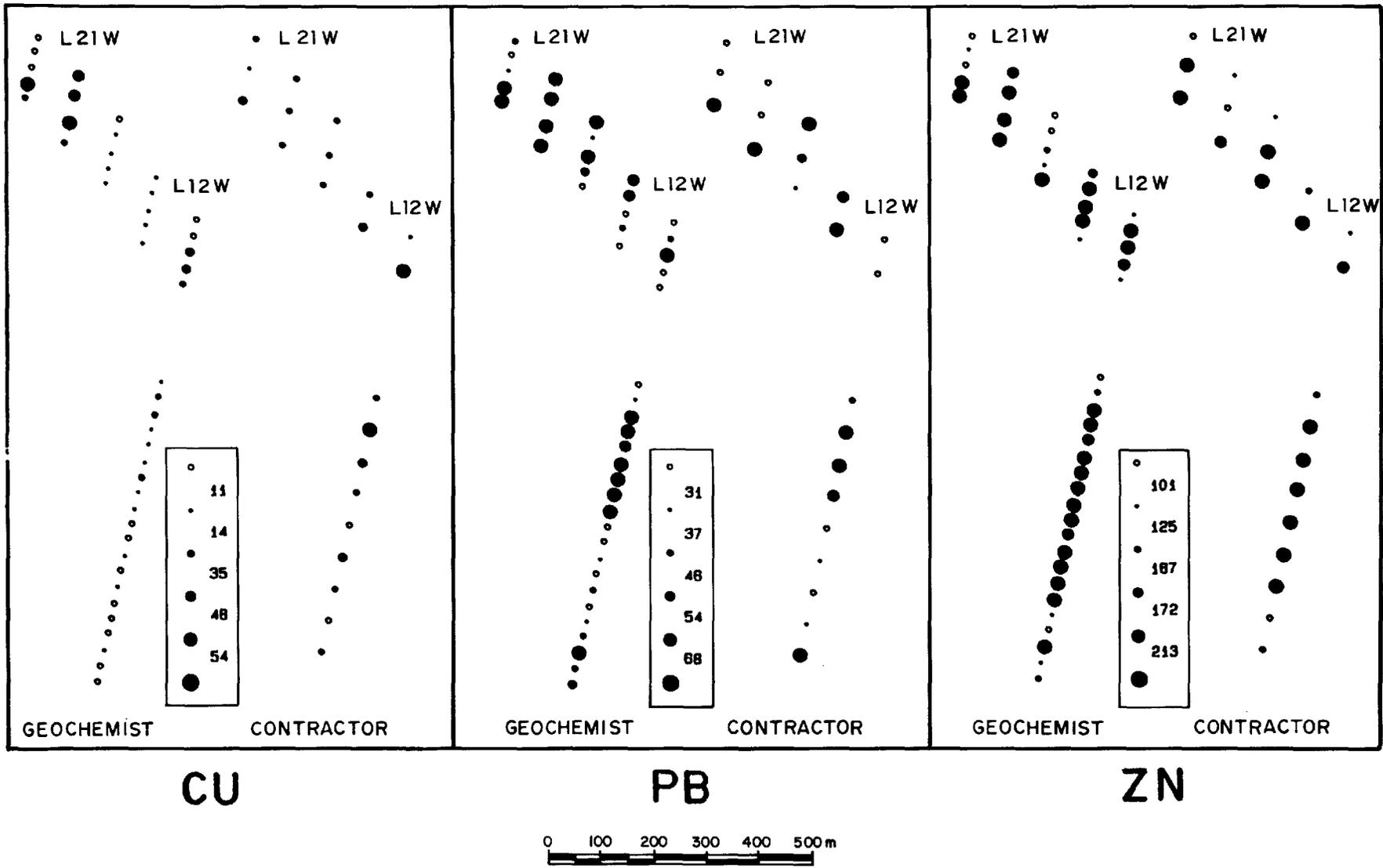


FIGURE 5 - Comparison of two soil surveys over the same area. The suboutcropping massive sulphide lense along L21W has been missed by the contractor survey but was found using proper sampling methods.

ICP-mass spectrometer, will be able to provide still more data at similar analytical costs, and only reinforce the need for efficient and cost effective data processing to maximize the interpretive process.

Less appreciated, but fundamentally important, is the collection of quality geochemical samples and the synthesis of field observational data in the geochemical interpretation. However, to be of any value these large volumes of data must be easily accessible to the geochemist. The microcomputer offers the opportunity to present data in the most easily assimilated form – as graphical plots and maps. Followup recommendations are radically different than would otherwise be the case in ignorance of the key geochemical information.

It is likely that opportunities to locate significant discoveries will be missed by those not having the ability and/or resources and/or resolve to scan geochemical data for more than obvious features (i.e. high numbers). Conversely large sums of money and considerable effort will be expended following the false anomalies which can and should be recognized beforehand.

Conclusions

The large volumes of geochemical data becoming routinely available analytically at affordable prices and complexities associated with geochemical interpretation require application of microcomputer technology for rapid and low cost plotting of all available data to optimize geochemical interpretation.

Interpretation compromises made necessary by failure to collect field observational data or to use that information which is collected ultimately reduces exploration effectiveness and leads to poor expended followup dollars.

Acknowledgments

The author acknowledges the support and encouragement of the management of Selco, Division of BP Resources Canada Limited, for development and application of the GEOMHM system to ongoing exploration programs.

Références

- CLAYTON, J.S. – EHRLICH, W.A. – CANN, D.B. – DAY, J.H. – MARSHALL, I.B., 1977 – Soils of Canada, Volume I : Soils Report. Agriculture Canada, 243 pp.
- HOFFMAN, S.J., 1979 – Mineral Exploration Course for Prospectors, Geochemical Exploration Manual B.C. Dept. of Mines. Unpubl. Rep., Chapter 2, 40 pp.
- HOFFMAN, S.J. – Mitchell, G.G., 1984 – The Microcomputer in Geochemical Exploration. J. Geochem Explor : 21 : 437-454



PARTIE C

**UTILISATION DE LA GÉOCHIMIE EN
EXPLORATION MINIÈRE**



Traitement des données géochimiques de sols du M.E.R.Q.

G. Fréchette⁽¹⁾

1. Département de géologie, Université Laval, Ste-Foy

Résumé

Depuis 1972, le Centre de Recherches Minérales du M.E.R. utilise une attaque à l'acide nitrique concentré et chaud qui dissout partiellement la structure cristalline des sols organiques et en particulier des sols minéraux. En conséquence, certaines teneurs susceptibles de refléter une dispersion de type chimique sont complètement masquées tandis que d'autres possédant un contraste plus élevé ne sont en réalité que l'expression chimique de la matrice cristalline. Il est possible d'apporter les correctifs nécessaires en utilisant des équations de régressions linéaires.

Les résultats des extractions sélectives, pratiquées sur des échantillons de sols organiques et des échantillons de sols minéraux, montrent que les teneurs possédant les meilleurs contrastes sont associées aux oxydes de fer et de manganèse (Co, Mn, Zn) ou à la matière organique (Cu, Mo, Ni, Pb).

Les résultats de cette étude suggèrent que l'attaque des échantillons de sols par HNO_3 conc. peut être employée avantageusement puisqu'elle est suffisamment efficace pour mettre en solution à la fois les métaux associés aux oxydes de Fe-Mn et ceux retenus par les cendres de la matière organique. Par contre, ce procédé doit être combiné à un traitement correctif des données en particulier pour les éléments Co, Cu, Mn, Ni et Zn qui ont pu se substituer aux ions Fe et Mg lors de la cristallisation des minéraux primaires.

Introduction

Depuis 1977, le service de Géochimie et Géophysique du ministère de l'Énergie et des Ressources a récolté plus de 10 000 échantillons d'humus (principalement en Abitibi) couvrant ainsi une superficie totale d'environ 4 000 km². Tous ces échantillons ont été envoyés au Centre de Recherches Minérales (C.R.M.) du ministère et dosés pour les principaux métaux de base.

Au cours des années, la méthode employée pour la mise en solution des éléments Co, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn est demeurée la même. L'attaque chimique est faite sur les cendres et la fraction minérale des échantillons au moyen d'une solution de nitrate mercurique à base d'acide nitrique concentré (15,7 M) et chaud (Gagné et Guimont, 1983). Le réactif HNO_3 conc. attaque certains

minéraux silicatés, en particulier des micas et des feldspaths, selon un degré variable et non prévisible (Foster, 1973 ; Levinson, 1974 ; Tessier, 1982). Dans le cas d'échantillons de sols minéraux (C. org. < 17%), la quantité moyenne de métaux ainsi libérés constitue environ le tiers (Mn), plus de la moitié (Cu, Zn) ou la presque totalité (Co, Fe, Ni) des ions mis en solution par l'attaque (Fréchette, 1985).

Le but de cette étude est de filtrer des données géochimiques de sols du M.E.R. de manière à les utiliser plus efficacement pour la recherche de dispersions chimiques. Pour ce faire, l'auteur propose un moyen de soustraire la contribution de la matrice cristalline à la teneur globale. En seconde partie, la méthode d'extraction pratiquée par le C.R.M. est évaluée en fonction du besoin d'obtenir des contrastes optimum entre la teneur de fond et des anomalies.

Échantillon

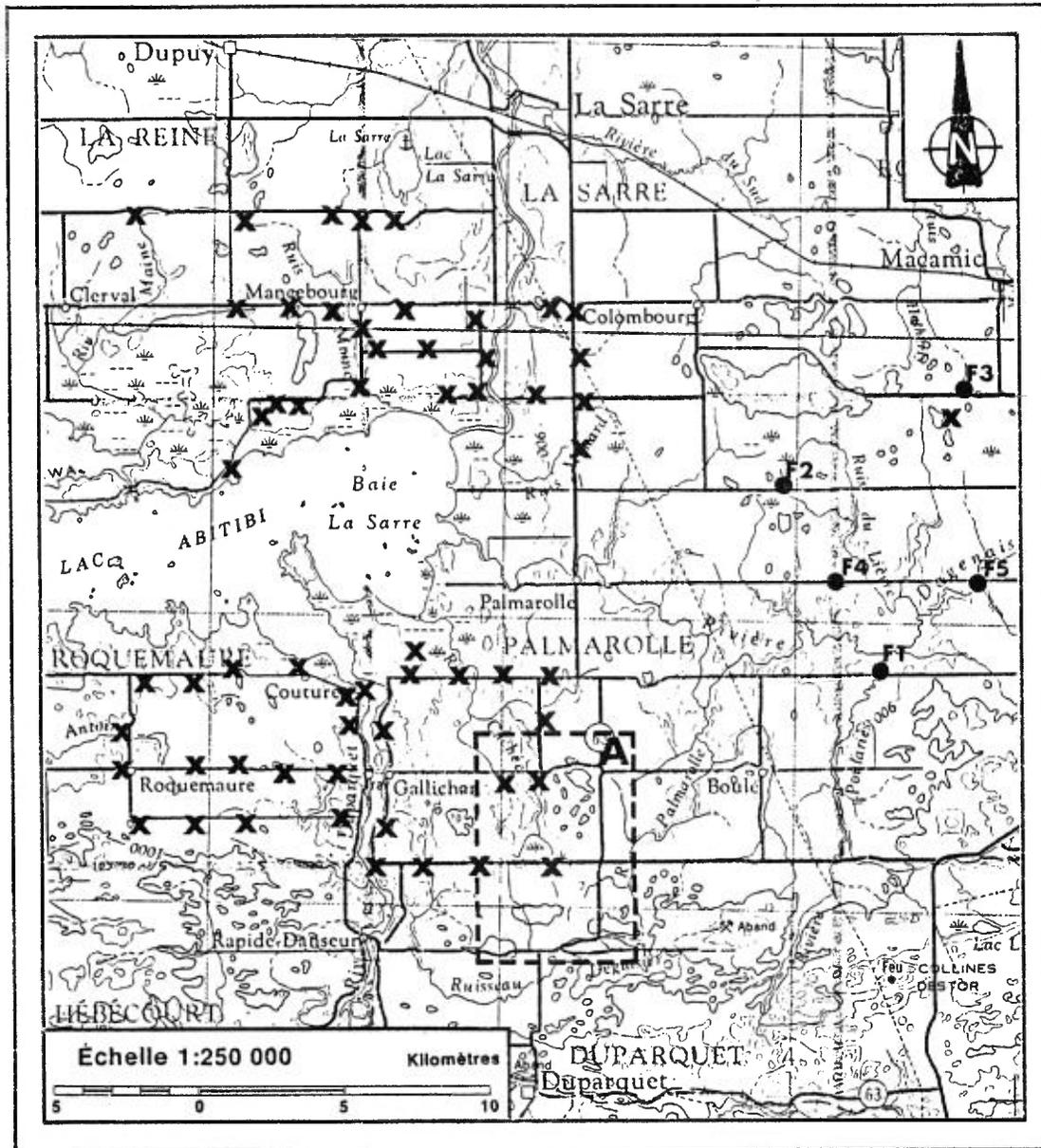
Toutes les données d'analyses utilisées dans le cadre de cette étude ont été obtenues sur des échantillons d'humus et des échantillons de sédiments argileux provenant de la même région (figure 1). Celle-ci est située à l'extrémité est du lac Abitibi, immédiatement au sud de La Sarre. La région couvre une superficie d'environ 660 km² et s'étend entre les latitudes 48°32' et 48°47' et les longitudes 79°00' et 79°25'.

En 1977, 36 échantillons (sections de carottes) ont été prélevés de cinq trous de sondage traversant la séquence argileuse à environ 10 km à l'est de Palmarolle. Les échantillons d'humus proviennent de deux levés de sols effectués par le M.E.R. en 1979 : un levé régional comprenant 59 échantillons recueillis au sud et au nord de la Baie La Sarre et un levé détaillé formé de 571 échantillons récoltés sur une superficie d'environ 40 km² entre Palmarolle et Duparquet.

Partout où il était présent, l'horizon Ah⁽²⁾ fut échantillonné. Cependant, plusieurs échantillons proviennent des horizons organiques L-F-H développés sur les sols minéraux ou des horizons O principalement rencontrés dans les tourbières. Aussi, quelques échantillons ont dû être prélevés de l'horizon Ap des sols cultivés.

Les échantillons de sédiments argileux ont été déposés dans des sacs de polyéthylène tandis que les échantillons d'humus ont été placés dans des sacs de papier Kraft.

2. Système canadien de classification des sols.



LEGENDE

- sites de prélèvement des séd. argileux (38 échant.), projet 010-77
- x échantillons d'humus (59); levé régional, projet 050-79
- A échantillons d'humus (571); levé détaillé, GM-40552 (1979)

FIGURE 1 - Localisation des échantillons; humus et sédiments argileux.

Analyses

Tous les échantillons ont été séchés à 40°C, puis tamisés pour en extraire la fraction inférieure à 177 microns. Parmi les métaux analysés, les éléments Co, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn l'ont été après une calcination (550°C pendant une heure) et une attaque à l'acide nitrique concentré des échantillons.

En 1981, les échantillons d'humus du levé régional et les échantillons de sédiments argileux étaient envoyés à l'Institut National de la Recherche Scientifique (I.N.R.S.) afin que les éléments Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn et Ca soient dosés sur les différentes extractions produites par une méthode de lessivages sélectifs (Tessier et al., 1981). Parallèlement, le contenu total en ces mêmes éléments et le contenu total en C organique, en Al et en Si (ainsi qu'en S dans le cas des échantillons d'humus) étaient analysés au C.R.M..

En 1985, 18 échantillons d'humus du levé détaillé ont également été choisis pour subir une séquence de lessivages sélectifs identique à celle de 1981 (Fréchette, 1985). Les éléments Cu, Mn, Mo, Pb et Zn des extractions furent dosés dans les laboratoires de l'I.N.R.S. tandis que le contenu total en Al et en Si était analysé au C.R.M..

Les méthodes utilisées pour doser les éléments ainsi que leurs limites de détection ont été décrites par Pichette et Brindamour (1976) et par Gagné et Guimont (1983).

Extractions sélectives – méthodologie

Tessier et al. (1981) ont mis au point une méthode de lessivages sélectifs qui permet d'identifier les phases porteuses des éléments traces. Depuis le début des années '70, plusieurs méthodes d'extractions sélectives ont fait leur apparition de sorte qu'une documentation assez vaste existe quant à la sélectivité des réactifs employés (Chao, 1984). Afin de contrôler ce critère, Tessier et al. (1981), ont appliqué leur méthode sur 4 échantillons d'un standard de référence et examiné différents paramètres dans les extraits et les résidus de manière à obtenir des informations sur les phases solides attaquées par chaque solution d'extraction. Finalement, le dédoublement d'échantillons (Fréchette, 1985) a permis de vérifier la précision analytique des différentes extractions tandis que la précision de la procédure globale était vérifiée en comparant les sommes des extractions aux analyses totales effectuées par le C.R.M..

Les modes d'occurrence des éléments extraits ont été associés aux cinq fractions suivantes :

- (a) Fraction 1 : métaux échangeables (absorbés électrostatiquement). L'échantillon est attaqué pendant 10 minutes avec une solution $MgCl_2$ 0.5 M à un pH 7.0.
- (b) Fraction 2 : métaux liés aux carbonates et métaux absorbés spécifiquement sur divers substrats. Le résidu

de (a) est lessivé pendant 5 heures avec NaOAc 1.0 M ajusté à pH 5.0 avec HOAc.

- (c) Fraction 3 : métaux liés aux oxydes de Fe-Mn. Le résidu de (b) est extrait pendant 6 heures à 96°C avec $NH_2OH-HCl$ préparé dans HOAc 25% (V/V).
- (d) Fraction 4 : métaux liés à la matière organique et aux sulfures présents. Le résidu de (c) est extrait à 85°C pendant 5 heures avec 30% H_2O_2 ajusté à pH 2.0 avec HNO_3 .
- (e) Fraction 5 : métaux liés aux silicates et à de petites quantités de matière organique réfractaire. Le résidu de (d) est complètement dissous par un mélange de HF- $HClO_4$.

Afin de faciliter l'écriture, les métaux associés aux phases lessivées seront représentées par les fractions F1 ... F5. De même, les fractions suivantes doivent être définies pour leur utilisation ultérieure :

F[HNO_3] : ensemble des métaux libérés par l'attaque HNO_3 conc. du C.R.M..

F5[HNO_3] : métaux de la fraction 5 libérés par l'attaque HNO_3 conc. du C.R.M.. La valeur de cette dernière fraction est obtenue de l'équation suivante :

$$(1) F5[HNO_3] = F[HNO_3] - [F1 + F2 + F3 + F4]$$

L'attaque à l'acide nitrique concentré et chaud décompose les oxydes de fer et de manganèse, la matière organique, les carbonates, les minéraux argileux et quelques autres silicates (Rose et al., 1979). Telle qu'illustrée sur la figure 2, la stabilité des oxydes de Fe-Mn est fonction de l'acidité (pH) et du potentiel d'oxydo-réduction (Eh). Bien que les oxydes de Fe-Mn soient plus facilement dissous en milieu réducteur, des solutions très acides comme HNO_3 conc. peuvent les dissoudre efficacement. Aussi, le diagramme de stabilité montre que tout comme pour la matière organique et les carbonates, la pyrite peut être dissoute par HNO_3 conc..

En résumé, l'attaque pratiquée par le C.R.M. solubilise l'équivalent des fractions F1, F2, F3, F4 et une partie plus ou moins grande de F5 représentée par la fraction calculée F5 [HON₃]. L'équation (1) est donc justifiée et elle permet de quantifier les métaux libérés par l'attaque HNO_3 conc. qui se trouvaient essentiellement emprisonnés dans la matrice cristalline.

Résultats

MODES D'OCCURRENCE

Les figures 3 et 4 montrent la répartition de la teneur moyenne de fond des éléments Co, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn entre les différentes fractions extraites respectivement des échantillons de sols minéraux et des échantillons de sols organiques du levé régional.

D'une manière générale, le Mn est l'élément le plus également distribué entre les fractions. Par contre, la

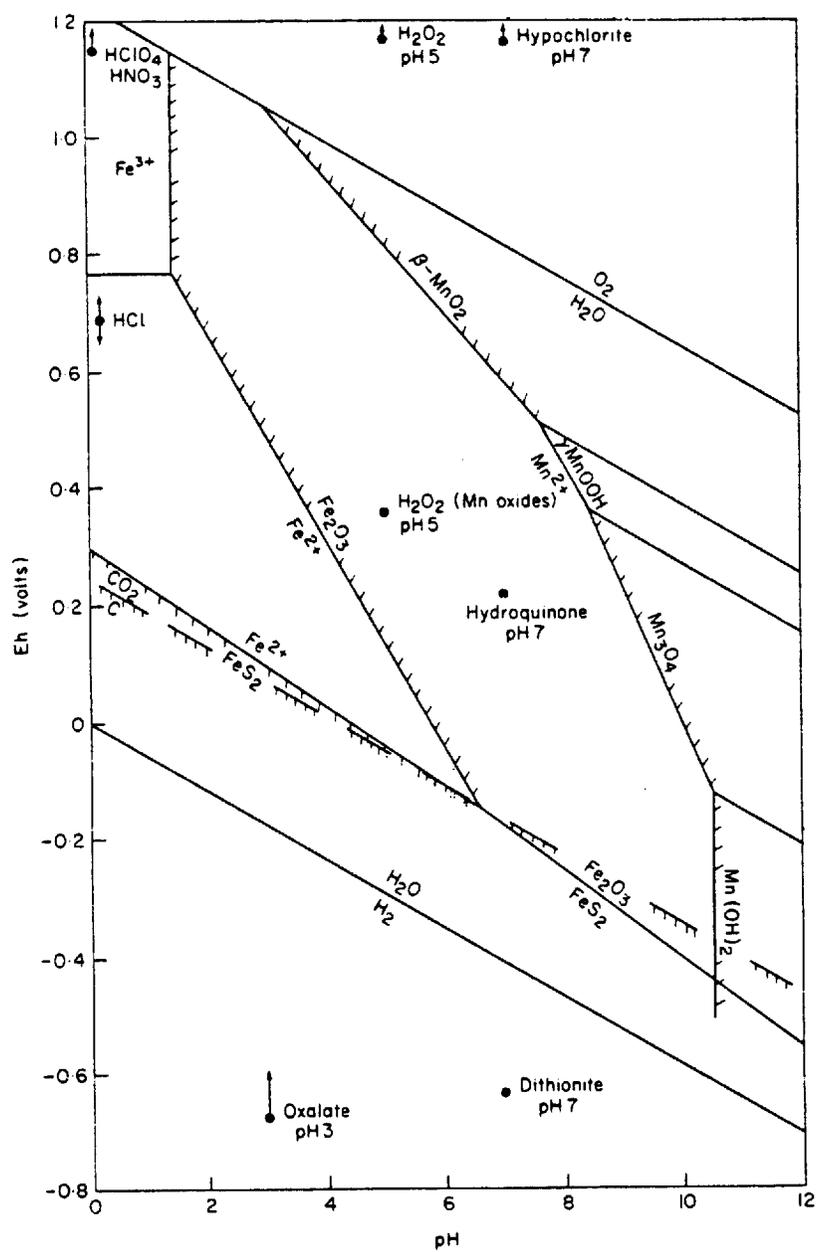


FIGURE 2 - Stabilité des oxydes de Fe, Mn, de la pyrite et de la matière organique (c) en fonction du Eh et du pH de différentes solutions de lessivage (tiré de Hawkes et Webb, 1979).

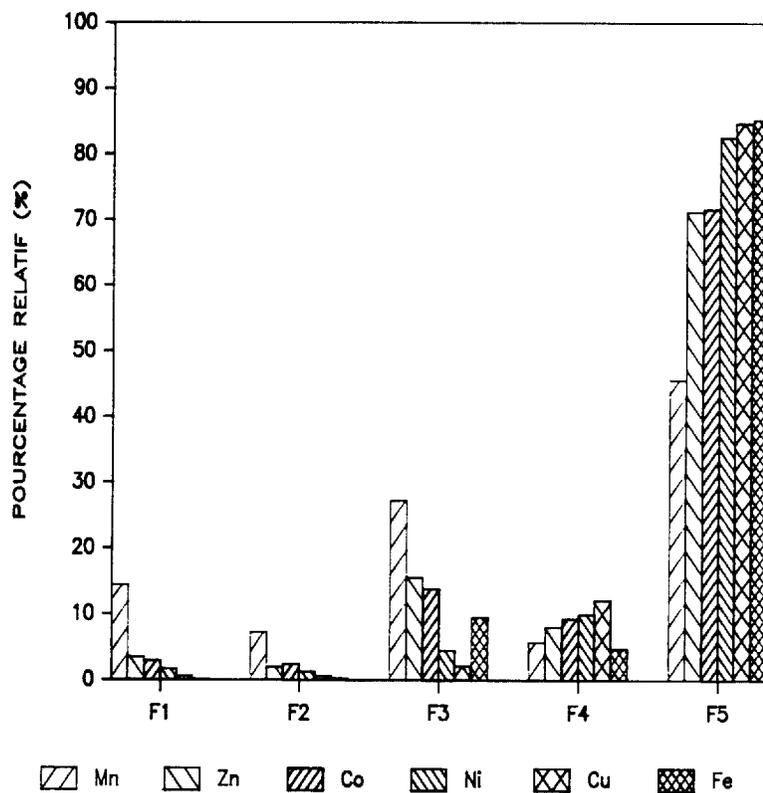


FIGURE 3 - Modes d'occurrence: teneurs de fond. Pour les sols organiques ($C_{org} < 17\%$).

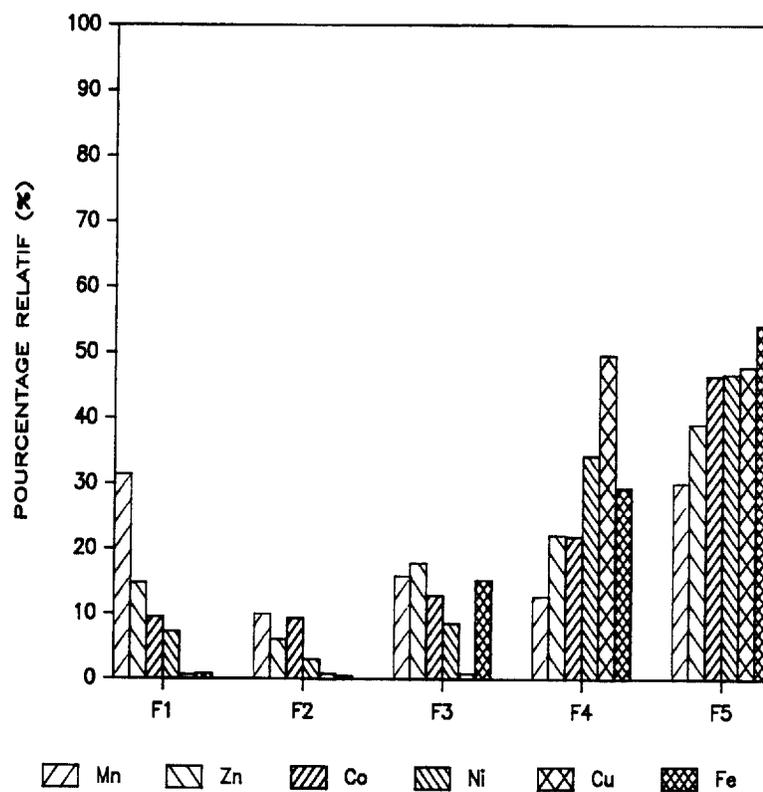


FIGURE 4 - Modes d'occurrence: teneurs de fond. Pour les sols organiques ($C_{org} > 17\%$).

proportion des éléments Co, Cu, Fe, Ni et Zn absorbés ou liés aux carbonates (F1 et F2) est relativement faible, en particulier dans les échantillons de sols minéraux. L'examen des fractions 3 et 4 indique que les éléments Co, Mn et Zn ont plutôt tendance à s'associer aux oxydes de Fe-Mn tandis que les éléments Ni et surtout Cu montrent une plus grande affinité pour la matière organique⁽³⁾. Cependant, plus de 70% de la teneur moyenne de ces éléments (sauf le Mn), extraits des échantillons de sols minéraux, provient de la fraction 5. Dans le cas des échantillons de sols organiques, ce pourcentage baisse à environ 50%.

Concernant leur mode d'occurrence dans la fraction 5, tous ces éléments ont un point en commun : ils ont tendance à se substituer au Fe et au Mg lors de la cristallisation des minéraux primaires. La substitution d'un cation par un autre est favorisée s'ils possèdent un indice de remplacement ionique semblable. Cet indice combine le rayon ionique, la charge, le nombre de coordination et la configuration électronique des cations. Les cations Co^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} , Ni^{2+} et Zn^{2+} ont tous un indice égal à 0,14 et celui de Mn^{2+} est égal à 0,13 (Rose et al., 1979).

ÉQUATIONS DE RÉGRESSIONS (FRACTION 5)

Observation : les éléments Cu, Ni et Zn se sont substitués aux éléments Fe et Mg des minéraux primaires dans des proportions à peu près égales à la quantité de Fe (figures 6, 9 et 12).

Chacun de ces éléments est traité séparément. Les résultats d'analyses des extractions sélectives (échantillons de sédiments argileux et échantillons d'humus du levé régional) ont servi à la construction des diagrammes de corrélation discutés ci-dessous. Les données ont été compilées dans Fréchette (1985).

ZINC

Une étroite corrélation est obtenue entre le Fe et le Zn présents dans la fraction 5 des échantillons de sédiments argileux (figure 6). Étant donné qu'il s'agit de sédiments inorganiques, la fraction 5 ne représente que les éléments emprisonnés dans la matrice cristalline. Une telle relation ne peut exister que si le Zn s'est substitué proportionnellement à la quantité de Fe présent dans la matrice cristalline. De même, une relation semblable est observée dans la fraction 5 des échantillons d'humus (figure 7). Bien que cette fois la droite obtenue passe par l'origine, la pente demeure approximativement la même.

Cependant, l'attaque HNO_3 conc. pratiquée par le C.R.M. ne libère pas complètement tous les métaux emprisonnés dans la matrice cristalline. F5 [HNO_3] a été défini précédemment comme la partie de F5 libérée par l'attaque HNO_3 conc. tandis que F[HNO_3] représente

l'ensemble des métaux extraits par l'attaque, soit $F1 + F2 + F3 + F4 + F5[\text{HNO}_3]$.

Le fait que la même relation Fe-Zn puisse encore être observée dans la fraction F5[HNO_3] des échantillons d'humus indique que des quantités de Fe et de Zn proportionnelles à celles de la fraction 5 sont extraites par l'attaque HNO_3 conc. (figure 8). La droite m1 ainsi obtenue signifie que toute teneur en Zn libérée de la matrice cristalline par l'attaque HNO_3 conc. peut être représentée par l'équation $\text{Zn (ppm)} = 28,01 \text{ Fe } (\%)$.

NICKEL

Les figures 9 et 10 montrent que les éléments Fe et Ni de la fraction 5 se corrélaient très bien entre eux. Les pentes de ces diagrammes sont très semblables et elles ont la même signification que celles des diagrammes Fe-Zn. Aussi, la corrélation subsiste dans la fraction F5[HNO_3] des échantillons d'humus (figure 11), ce qui indique que des quantités de Fe et de Ni proportionnelles à celles de la fraction 5 sont libérées par l'attaque HNO_3 conc.. En conséquence, les teneurs en Ni extraites de la matrice cristalline par l'attaque HNO_3 conc. peuvent être représentées par l'équation $\text{Ni(ppm)} = 11,76 \text{ Fe } (\%)$.

CUIVRE

Une bonne corrélation entre le Fe et le Cu est observée dans la fraction 5 des échantillons de sédiments argileux (figure 12). Par contre, cette relation est beaucoup plus diffuse dans la fraction 5 des échantillons d'humus (figure 13).

D'après Smith et Martell (1976), la constante de stabilité des composés organiques impliquant le Cu est particulièrement élevée. Aussi, l'auteur a déjà montré que le Cu est de loin l'élément qui possède la plus forte affinité pour la matière organique (figure 4). Le diagramme Al-Si-Cu⁽⁴⁾ de la figure 14 suggère qu'une quantité importante de Cu, dans la fraction 5 de quelques échantillons organiques, est retenu par de la matière organique résiduelle. Ceci est illustré par une abondance anormale en Cu uniquement spécifique à des échantillons riches en C organique.

Le rapport $\text{Cu}/(\text{Al} + \text{Si} + \text{Cu})$ est considéré normal s'il est comparable à ceux obtenus pour les échantillons de sédiments argileux. La sélection des échantillons d'humus possédant de tels rapports permet d'obtenir une bonne corrélation entre le Fe et le Cu de la fraction 5 (figure 15). De même, le diagramme Fe-Cu de la fraction FS [HNO_3] montre que des quantités de Fe et de Cu proportionnelles à celles de la fraction 5 sont extraites par l'attaque HNO_3 conc. (figure 16). La droite m3 ainsi obtenue signifie que toute teneur en Cu libérée de la matrice cristalline par l'attaque HNO_3 conc. peut être représentée par l'équation $\text{Cu (ppm)} = 4,17 \text{ Fe } (\%)$.

3. Le contenu en S des échantillons est plutôt associé à la matière organique qu'à des sulfures (figure 5).

4. La valeur réelle des pôles Al-Si-Cu est respectivement égale à 10%, 40% et 70 ppm.

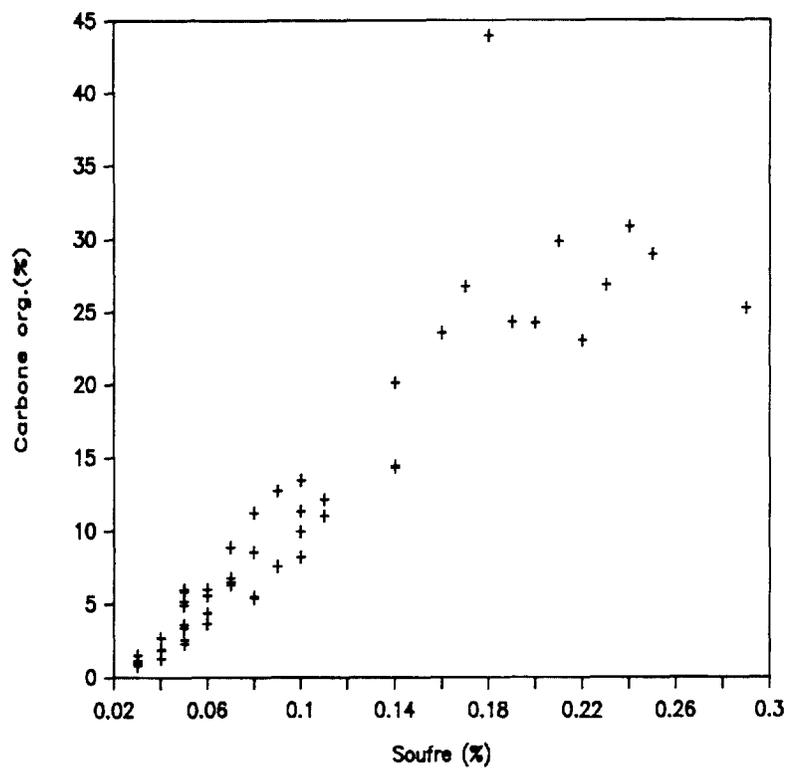


FIGURE 5 - Diagramme de corrélation du carbone org. vs soufre (contenu total, sols org. et minéraux).

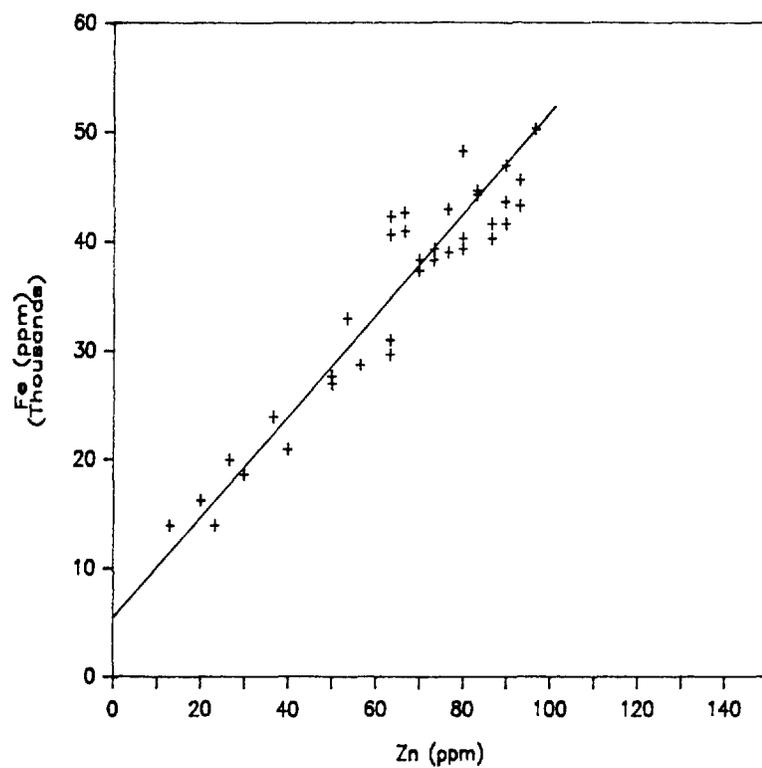


FIGURE 6 - Diagramme de corrélation du fer vs zinc (fraction 5 des sédiments argileux).

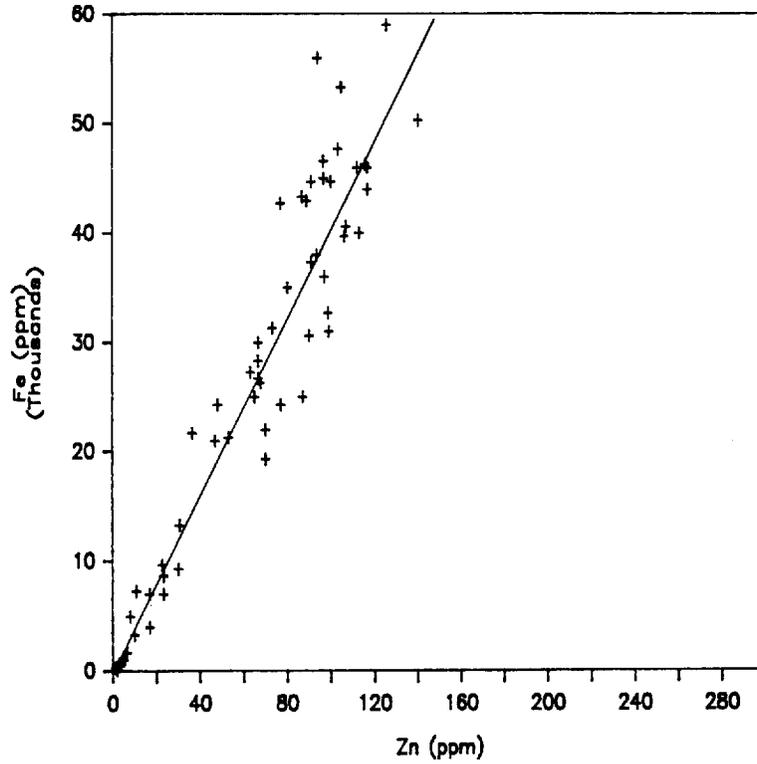


FIGURE 7 - Diagramme de corrélation du fer vs zinc (fraction 5 des sols org. et minéraux).

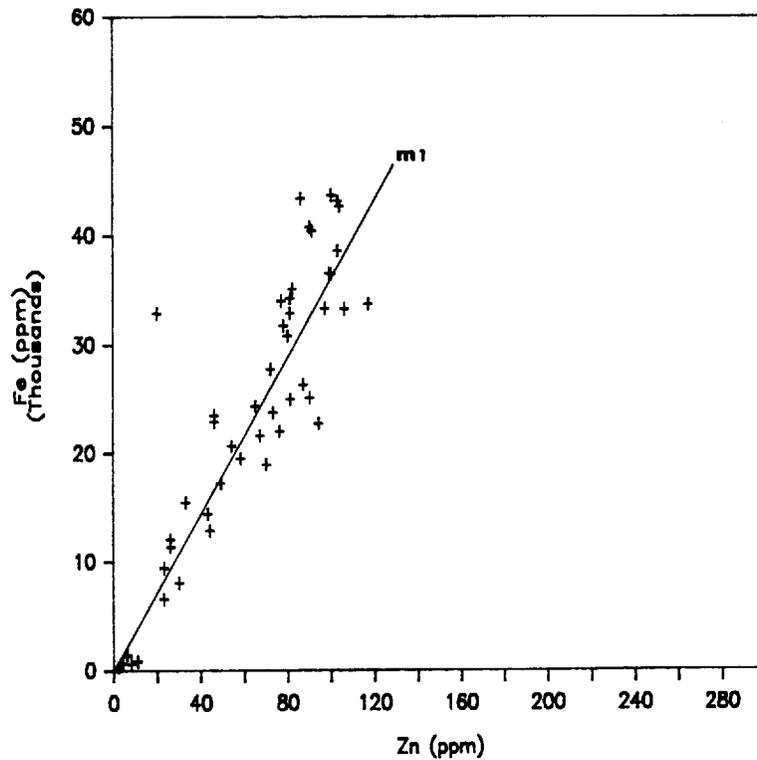


FIGURE 8 - Diagramme de corrélation du fer vs zinc (F5[H3NO] des sols org. et minéraux).

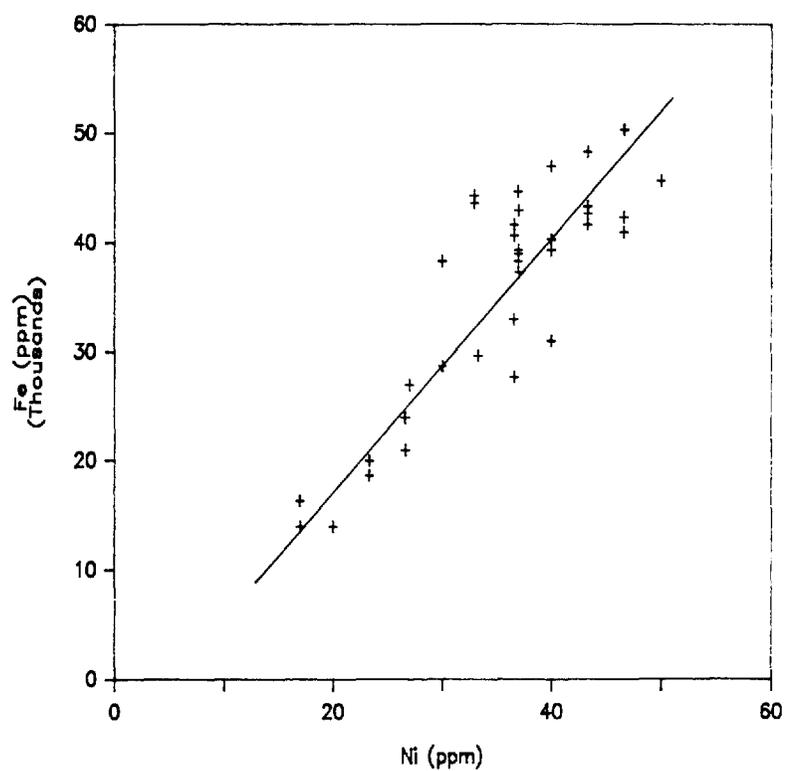


FIGURE 9 - Diagramme de corrélation du fer vs nickel (fraction 5 des sédiments argileux).

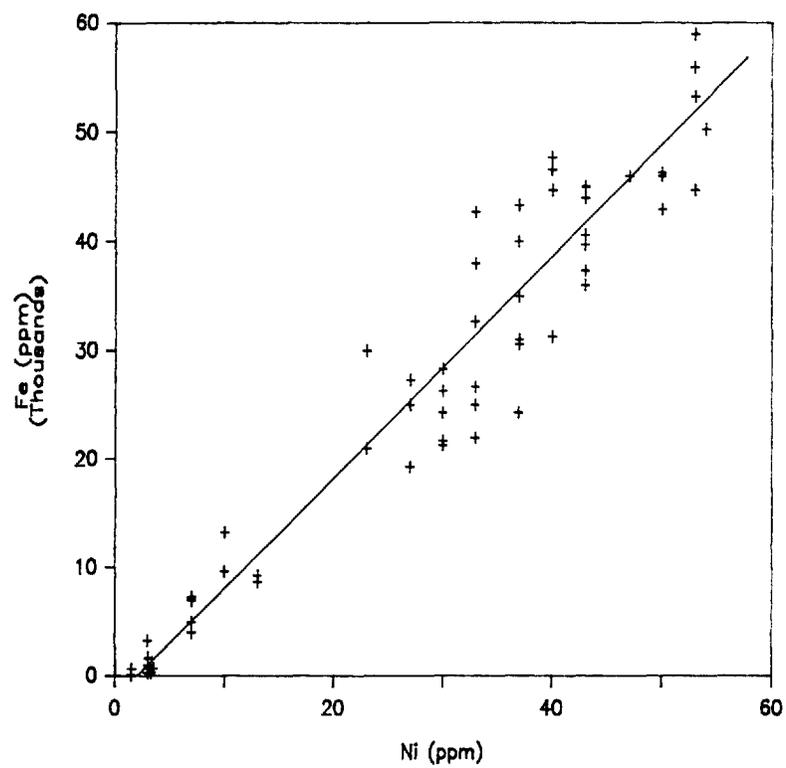


FIGURE 10 - Diagramme de corrélation du fer vs nickel (fraction 5 des sols org. et minéraux).

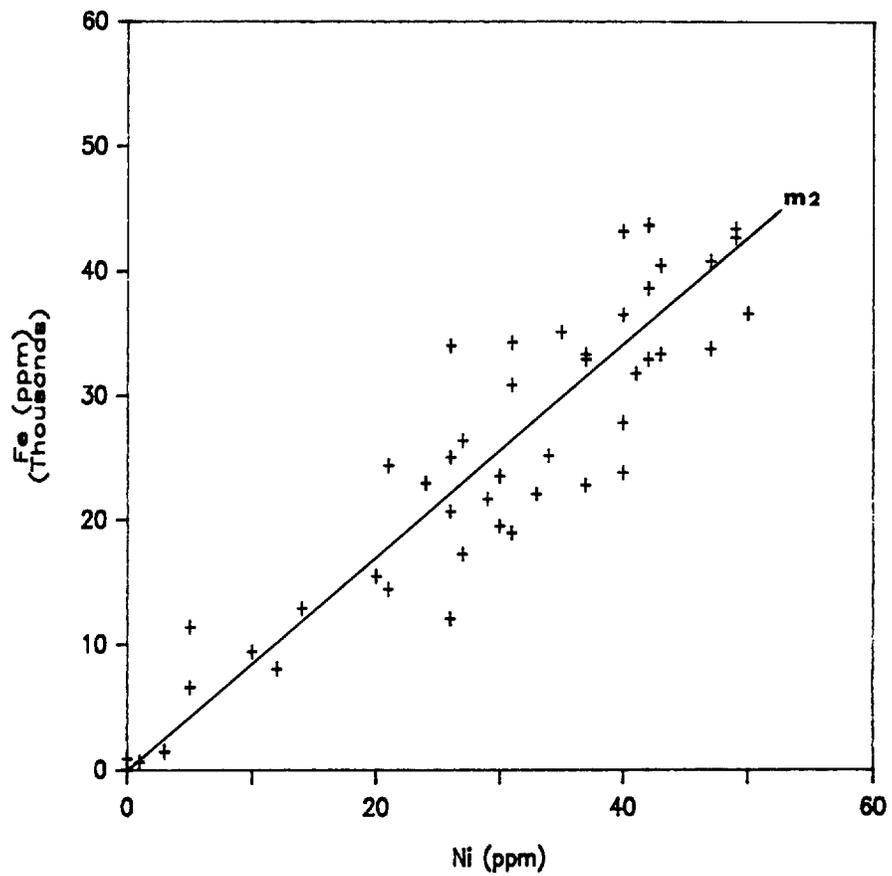


FIGURE 11 - Diagramme de corrélation du fer vs nickel (F5[HN3O] des sols org. et minéraux).

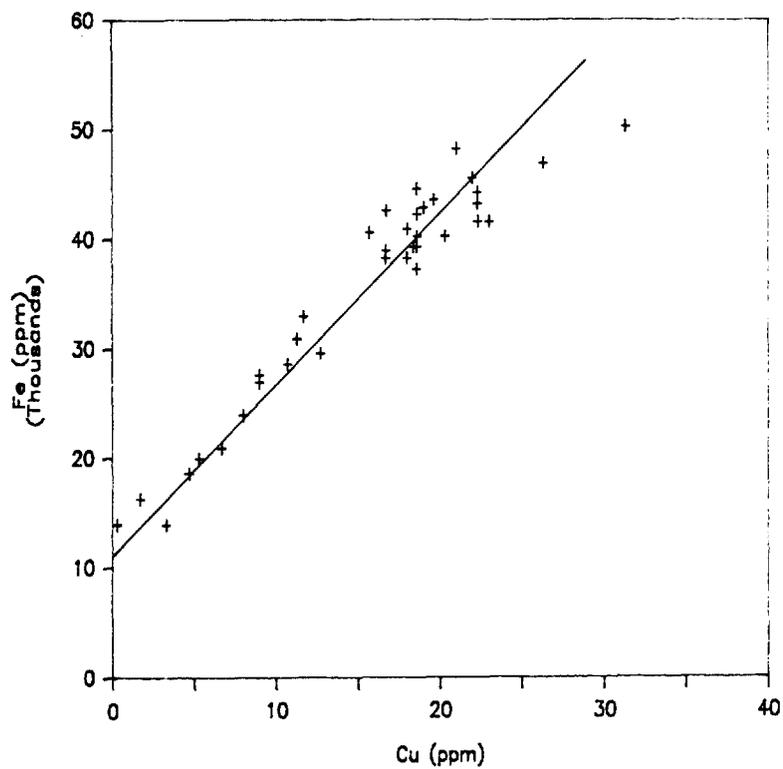


FIGURE 12 - Diagramme de corrélation du fer vs cuivre (fraction 5 des sédiments argileux).

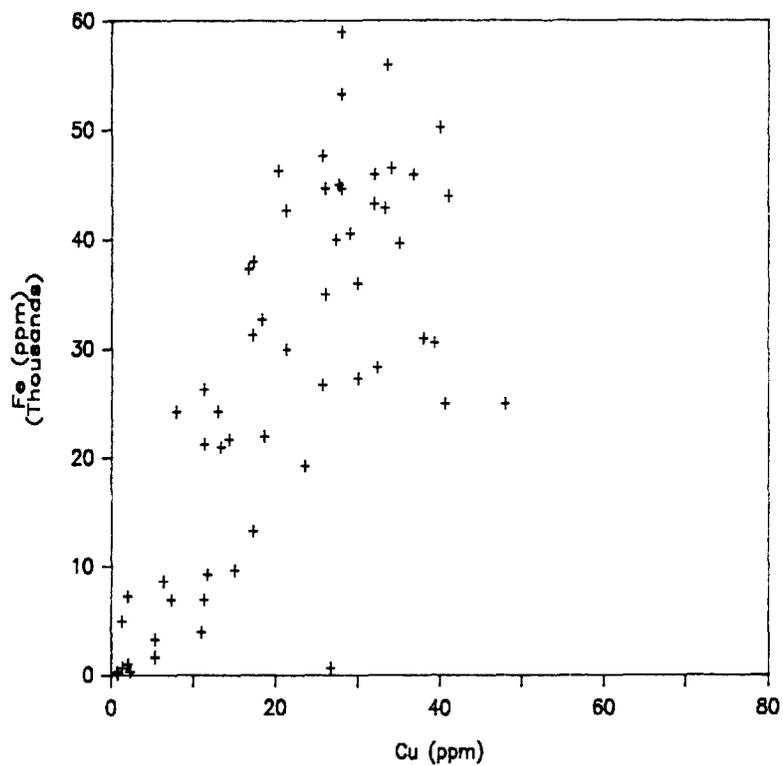
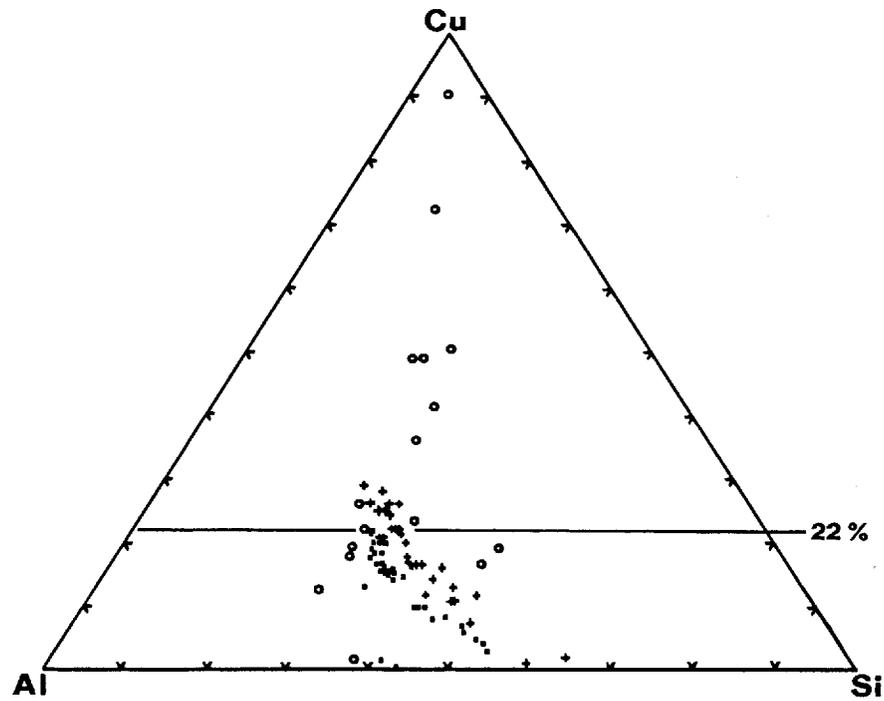


FIGURE 13 - Diagramme de corrélation du fer vs cuivre (fraction 5 des sols org. et minéraux).



LEGENDE

- () nombre d'échantillons
- sédiments argileux (36)
 - + sols, $Conc. < 8\%$ (30)
 - o sols, $Conc. > 17\%$: seulement les échantillons tombant à l'extérieur du regroupement (16)
- 23

FIGURE 14 - Diagramme Al-Si-Cu de la fraction 5

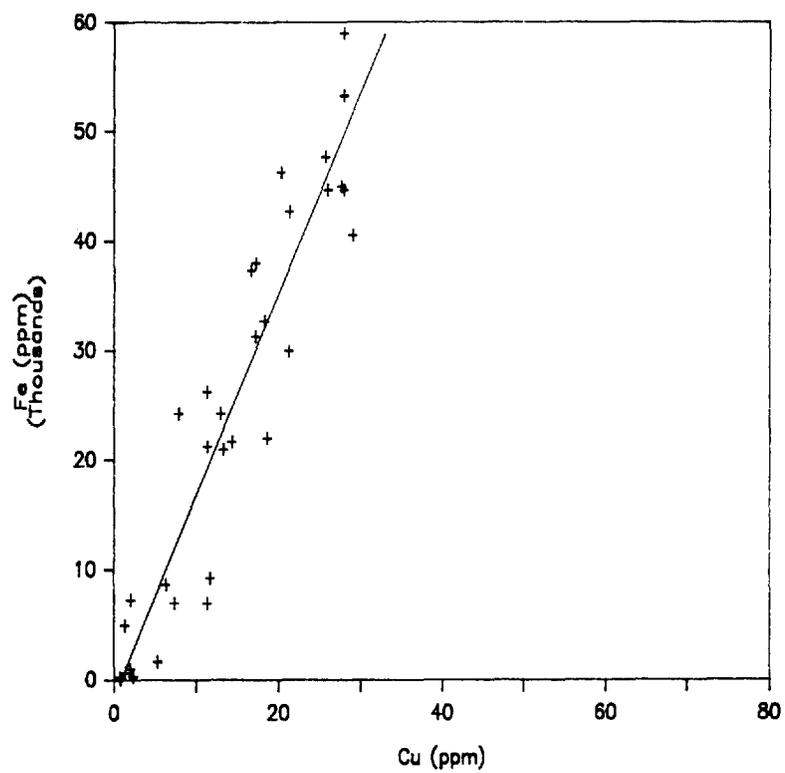


FIGURE 15 - Diagramme de corrélation du fer vs cuivre (fraction 5 des sols, $Cu/(Cu+Al+Si) < .22$).

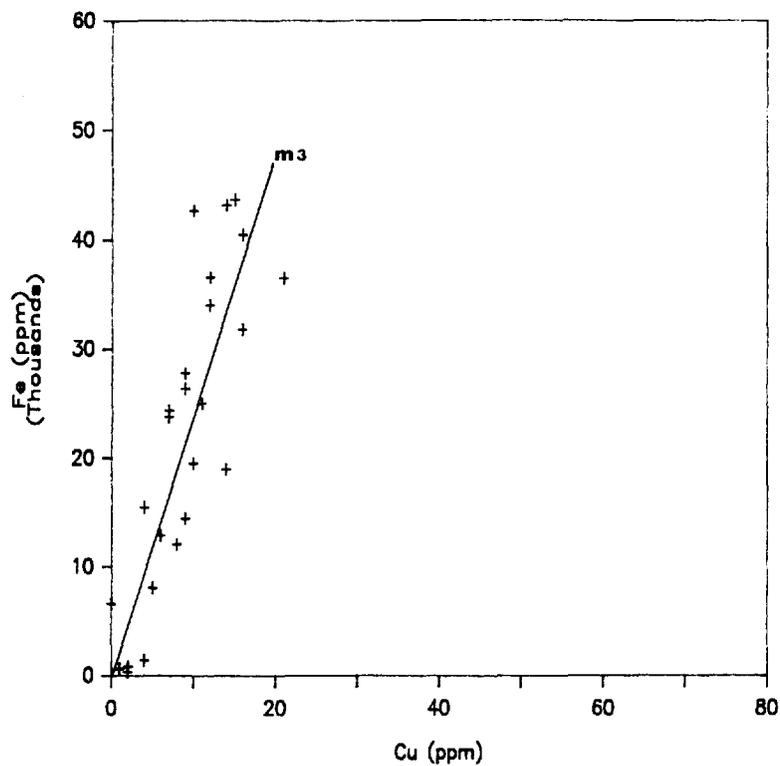


FIGURE 16 - Diagramme de corrélation du fer vs cuivre (F5[HN3O] des sols, $Cu/(Cu+Al+Si) < .22$).

CORRECTIONS DES DONNÉES DU M.E.R.

Observations :

- 1) dans l'ensemble, les teneurs en Fe du levé détaillé sont des teneurs de fond (figure 17).
- 2) la presque totalité de Fe extrait des sols minéraux provient de la fraction 5 (figure 3).
- 3) la somme de teneurs en Fe des fractions 1, 2, 3 et 4 des échantillons de sols organiques est relativement faible, soit en moyenne 5 000 ppm (Fréchette, 1985).

L'application des équations de régressions linéaires précédentes sur les données du M.E.R. a donc pour effet de soustraire les teneurs essentiellement associées à la matrice cristalline.

Les droites m_1 , m_2 et m_3 ont été reportées sur leurs diagrammes $F[\text{HNO}_3]$ respectifs (figure 17, 18 et 19). Les droites des diagrammes Fe-Zn et Fe-Cu longent la partie gauche des points tandis que celle du diagramme Fe-Ni traverse au milieu des points. Ce dernier cas exprime une situation particulière où les teneurs sont presque exclusivement associées à la matrice cristalline. Une situation semblable a été observée pour Co et Li (Fréchette, 1985). Par contre, une contribution importante des fractions 1, 2, 3 ou 4 s'exprime par une configuration différente des points (figures 17 et 18). Dans ce cas, la correction est effectuée en utilisant une équation dont la droite longe la partie gauche des points. A titre d'exemple, $\text{Zn (corrige)} = \text{Zn (non-corrige)} - 28,01 \text{ Fe (\%)}$.

CHOIX DE LA MÉTHODE-CONTRASTES

Le choix de la méthode d'extraction des éléments traces doit conduire à des contrastes optimum entre une teneur de fond et des anomalies et cela à l'intérieur des limites de temps et de coûts raisonnables. L'extraction sélective fournit les meilleurs contrastes en ne libérant que certaines formes spécifiques à la dispersion recherchée. Par contre, si plusieurs étapes de lessivages sont nécessaires, la méthode devient trop dispendieuse pour l'analyse d'un grand nombre d'échantillons.

Les figures 20 et 21 montrent la répartition de contrastes obtenus respectivement sur des échantillons de sols minéraux et sur des échantillons de sols organiques (levé détaillé et levé régional). Bien que l'intensité des contrastes est fonction du choix des échantillons (teneur de fond et teneur anomalique), les principales phases porteuses des éléments demeurent inchangées.

Les meilleurs contrastes obtenus pour les éléments Co, Mn et Zn sont associés aux oxydes de Fe-Mn tandis que les surplus de Cu, Mo, Ni et Pb sont concentrés dans la matière organique. Il est probable que les faibles contrastes observés dans la fraction 5 des échantillons de sols organiques soient reliés à de la matière organique résiduelle. Finalement, seules les teneurs en Zn ont permis d'observer des contrastes importants dans les fractions 1 et 2.

Donc, dans la recherche de dispersions chimiques multiéléments, l'attaque employée sur les échantillons d'humus doit être suffisamment rigoureuse pour mettre en solution les éléments associés aux oxydes de Fe-Mn et ceux incorporés dans la matière organique. La dissolution commune de ces deux phases exige des acides forts et concentrés tels que HCl, HNO_3 ou HF. Par conséquent, il semble que l'attaque HNO_3 conc. employée par le C.R.M. est adéquate. Cependant, il est indispensable d'apporter une correction aux résultats d'analyses à moins que la contribution de la matrice cristalline à la teneur globale soit négligeable.

Conclusion

L'emploi de réactifs moins puissants et plus sélectifs pourrait être souhaité dans le cas de certains éléments (Ni, Co, Li, ...). Mais, dans les études de reconnaissance il est nécessaire d'obtenir de l'information sur plusieurs éléments en même temps et cela pour l'ensemble des phases conciliables avec le type de dispersion recherchée. Des réactifs tels que NH_4Ac , $\text{NH}_2\text{OH-HCl}$, H_2O_2 , ... seraient donc plus appropriés aux études détaillées qui s'intéressent à des éléments spécifiquement associés à certaines phases.

L'auteur propose une nouvelle approche qui permet de reconnaître et de corriger des teneurs partiellement dérivées de la matrice cristalline. Combiné à l'attaque HNO_3 conc., cette approche ne peut conduire qu'à une utilisation optimale et une meilleure interprétation des résultats d'analyses pour la recherche de dispersions chimiques.

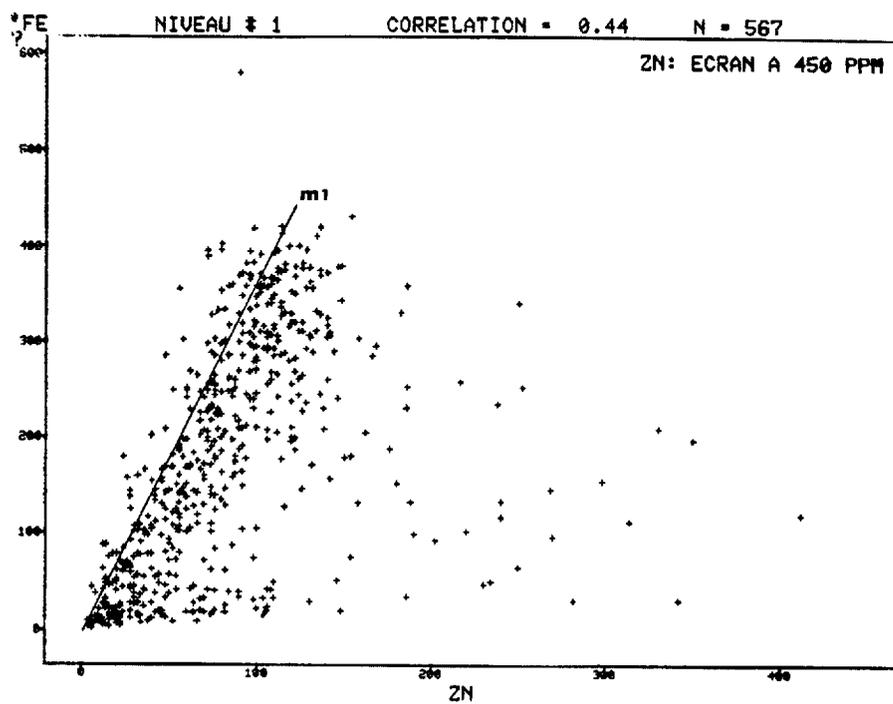


FIGURE 17 - Diagramme de corrélation du fer vs zinc

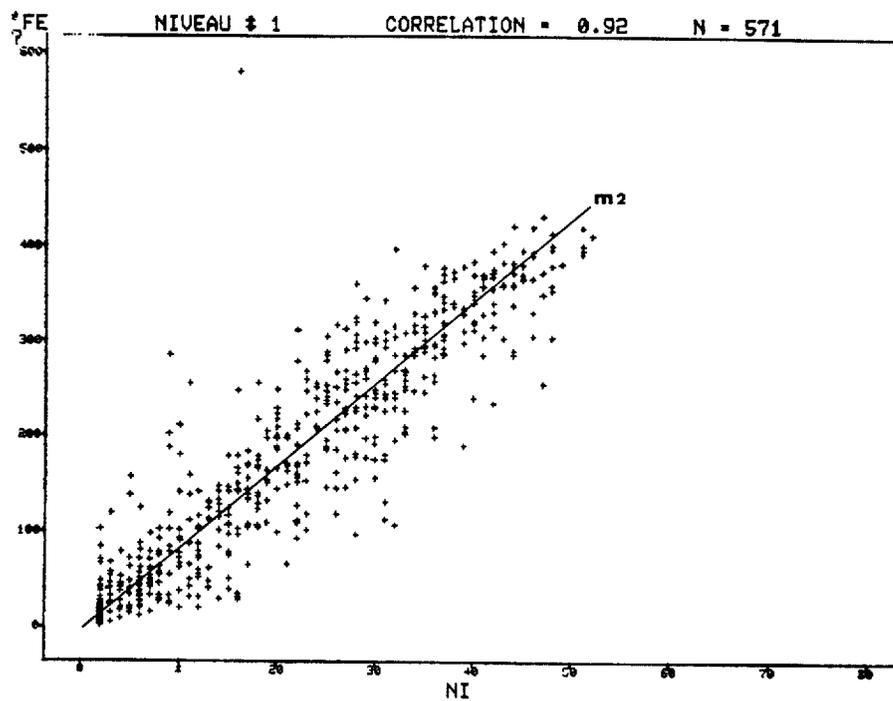


FIGURE 18 - Diagramme de corrélation du fer vs nickel

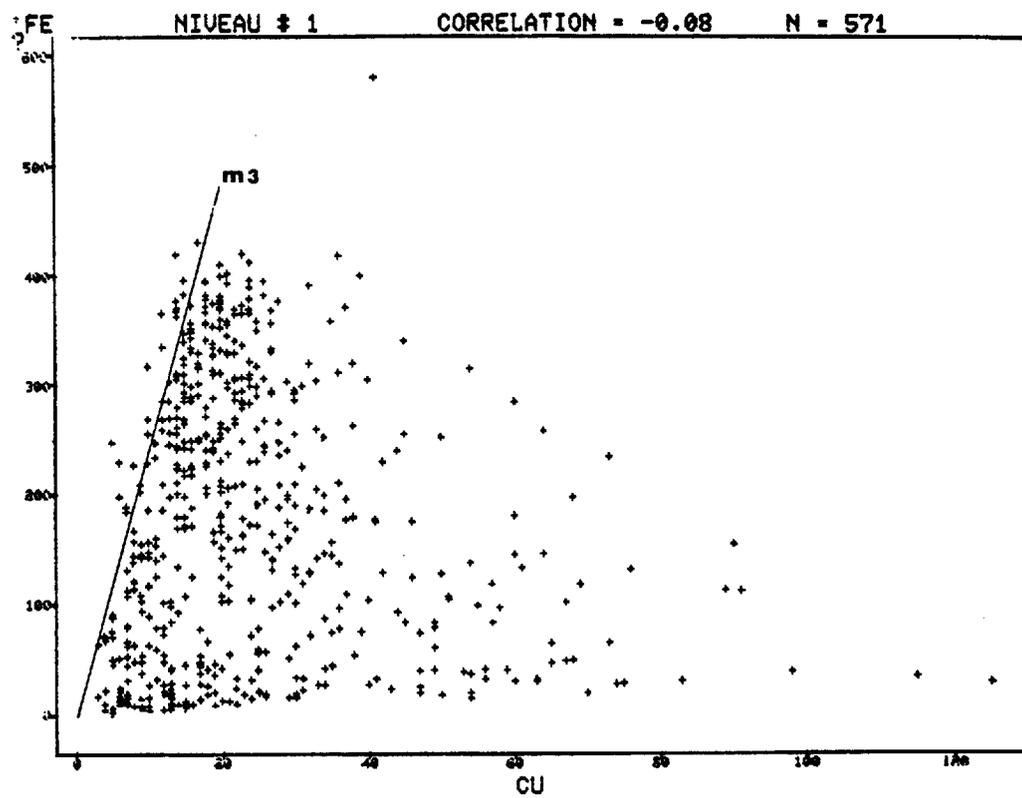


FIGURE 19 - Diagramme de corrélation du fer vs cuivre

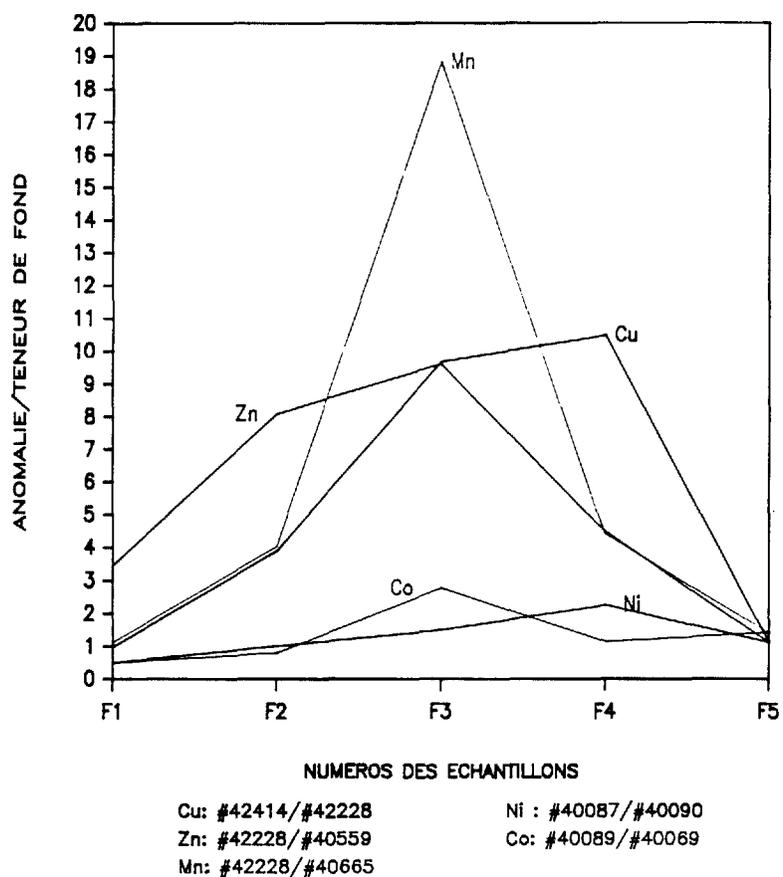


FIGURE 20 - Diagramme de distribution des contrastes. Pour les sols minéraux (C org. < 17%).

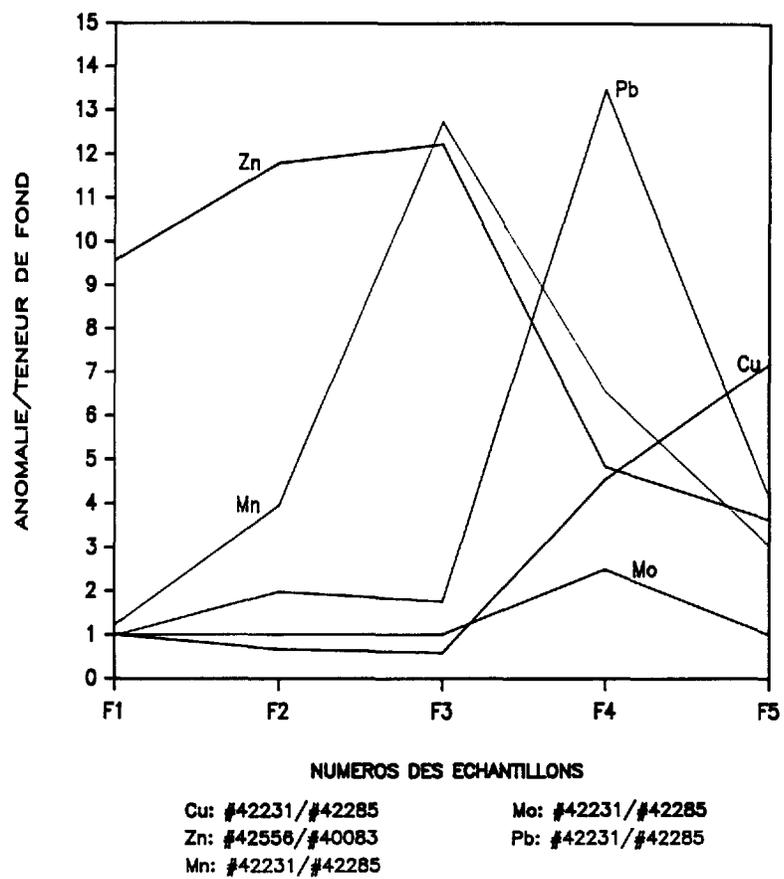


FIGURE 21 - Diagramme de distribution des contrastes. Pour les sols organiques (C org. >17%).

Références

- CHAO, T.T., 1984 – Use of partial dissolution techniques in geochemical exploration. *Journal of Geochemical Exploration* 20 : pp. 101-135.
- FOSTER, J.R., 1973 – The efficiency of various digestion procedures in the extraction of metals from rocks and rock-forming mineral. *Canadian Institute of Mining and Metallurgy Bull.* 66 (August), pp. 85-92.
- FRÉCHETTE, G., 1985 – Traitement de données géochimiques de sols du M.E.R. et analyses de l'or dans l'eau souterraine, Abitibi. Dept. de géologie, Université Laval, Qué.. Rapport de fin de campagne (en préparation) rédigé pour le ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec.
- GAGNÉ, R. – GUIMONT, J., 1983 – Méthodes de dosages d'éléments en traces dans les sédiments, les roches et les eaux. C.R.M., ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec ; AC-9, 256 pp.
- LEVINSON, A.A., 1974 – Introduction to exploration geochemistry. Applied Publishing Ltd. Calgary, 612 pp.
- PICHETTE, M. – BRINDAMOUR, R., 1976 – Méthodes d'analyses des roches et des minerais par spectrométrie d'absorption atomique et d'émission. C.R.M., ministère des Richesses Naturelles du Québec, 110 pp.
- ROSE, A.W. – HAWKES, H.E. – WEBB, J.S., 1979 – *Geochemistry in Mineral Exploration*. Academic Press, New York, N.Y., 658 pp.
- SMITH, R.M. – MARTELL, A.E., 1976 – *Critical Stability Constants*. Plenum Press, New York, N.Y., vol. 1-4, 583 pp.
- TESSIER, A. ET AL., 1981 – Application d'une méthode de lessivages sélectifs des métaux traces à des échantillons de sols de la ceinture d'argile du Nord-Ouest québécois. INRS-Eau, Université du Québec, Ste-Foy, Qué.. Rapport rédigé pour le ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. 128 pp.
- 1982 – Particulate trace metal speciation in stream sediments and relationships with grain size : implications for geochemical exploration. *Journal of Geochemical Exploration* 16 : 77-104.



Carte de compilation et d'interprétation en géochimie de l'exploration

Magella Pelletier⁽¹⁾

1. Géokémex enr., Consultant en géochimie

Introduction

Depuis une vingtaine d'année, les nombreux travaux de géochimie effectués par l'industrie privée et le ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, ont permis :

- de découvrir de nombreuses zones minéralisées qui se sont révélées dans certains cas des gisements à valeur économique.
- d'identifier et de vérifier certains patrons de dispersion géochimique au-dessus de secteurs minéralisés déjà connus.
- de favoriser le développement des techniques analytiques et d'améliorer la précision des analyses, la limite de détection des éléments tout en augmentant le nombre d'éléments dosés.
- de forcer le développement d'une mise en carte des résultats d'analyse qui soient plus adéquats afin de permettre une meilleure interprétation géochimique.

Les nouveaux développements au niveau de la mise en carte des résultats, ont fait naître plusieurs types de cartes géochimiques.

- 1- Les cartes géochimiques mono-élément et multi-éléments sont des cartes de base qui permettent des consultations plus exhaustives des résultats.
- 2- Les cartes de compilation géochimique permettent de repérer et d'identifier rapidement les dispersions ou les zones d'activité géochimique.
- 3- Les cartes d'interprétation géochimique donnent la possibilité aux géochimistes de représenter visuellement certaines de ses déductions sur les zones d'activité géochimique.

Carte géochimique mono-élément

Les cartes géochimiques mono-élément sont à la base des techniques d'interprétation géochimique actuelle. Elles se présentent sous plusieurs formes dépendamment de l'utilisation que l'on veut en faire (Beaumier, 1983 ; Lalonde et al., 1984 ; Pelletier, 1985). La figure 1 montre deux types de carte monoélément les plus couramment utilisées au Québec.

La carte point-teneur permet d'observer la variation des teneurs entre deux sites d'échantillonnage et de vi-

sualiser l'importance de teneurs anormales. La carte de symbolisation permet de visualiser rapidement les zones à forte teneur tout en donnant une idée générale de la force des teneurs. Ces deux types de cartes sont utilisées à toutes les échelles de travail bien que les cartes de symbolisation soient généralement rattachées à des travaux de types régionaux.

Cependant ces cartes ont deux sérieux désavantages. Premièrement, le nombre de cartes qui augmente avec le nombre de dosages effectués pour chacun des sites et deuxièmement le manque de relation entre les éléments pour un même site d'échantillonnage.

Carte géochimique multi-éléments

Afin de remédier aux problèmes engendrés par les cartes mono-élément, multiplicité des cartes et relation entre les éléments, la construction de cartes permettant de regrouper tous les résultats d'analyses géochimiques sur une même feuille fut alors imaginée. Ces nouvelles cartes multi-éléments possédaient le même mode de représentation que les cartes mono-élément (Kelley et al., 1969 ; Tremblay, 1976). L'utilisation de la carte point-teneur (figure 2) fut généralisée à la fin des années 60 à cause du nombre grandissant d'éléments géochimiques que les laboratoires d'analyse pouvaient fournir à cette époque. Toutefois, les cartes multi-éléments avec symbolisation sont encore fréquemment employées pour représenter les minéraux métalliques dans les tills.

Bien que la relation entre les éléments soit bien visible sur une seule carte, les cartes multi-éléments ne permettent plus de retrouver facilement le lien entre les sites d'échantillonnage pour un même élément. De plus lorsque le nombre d'éléments dépasse 8 ou 10, l'utilisation de la carte multi-éléments devient presque acrobatique.

Carte de compilation géochimique

Comme l'expérience de la carte multi-éléments se révélait une torture pour l'esprit plus qu'un outil de travail et que le nombre d'éléments dosés par échantillon augmentait chaque année, les géochimistes du ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec (Service de Géochimie et Géophysique) proposaient au cours des années 70, une carte géochimique qui regroupait les avantages de la carte mono-élément et de la carte multiéléments. Cette carte de compilation géochimique, qui se nomme parfois carte de synthèse ou de réduction d'information,

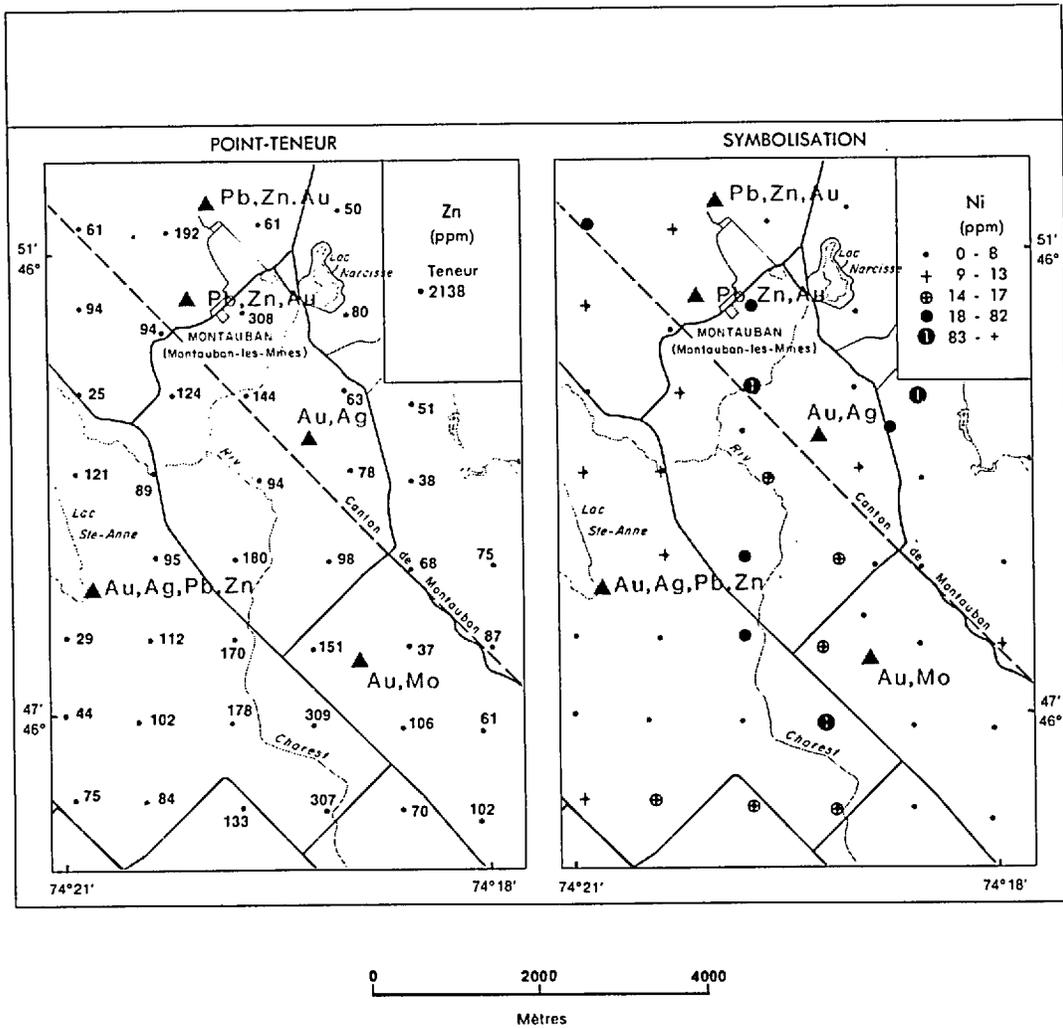


FIGURE 1 - Carte géochimique mono-élément, adaptée à partir de Beaumier, 1983.

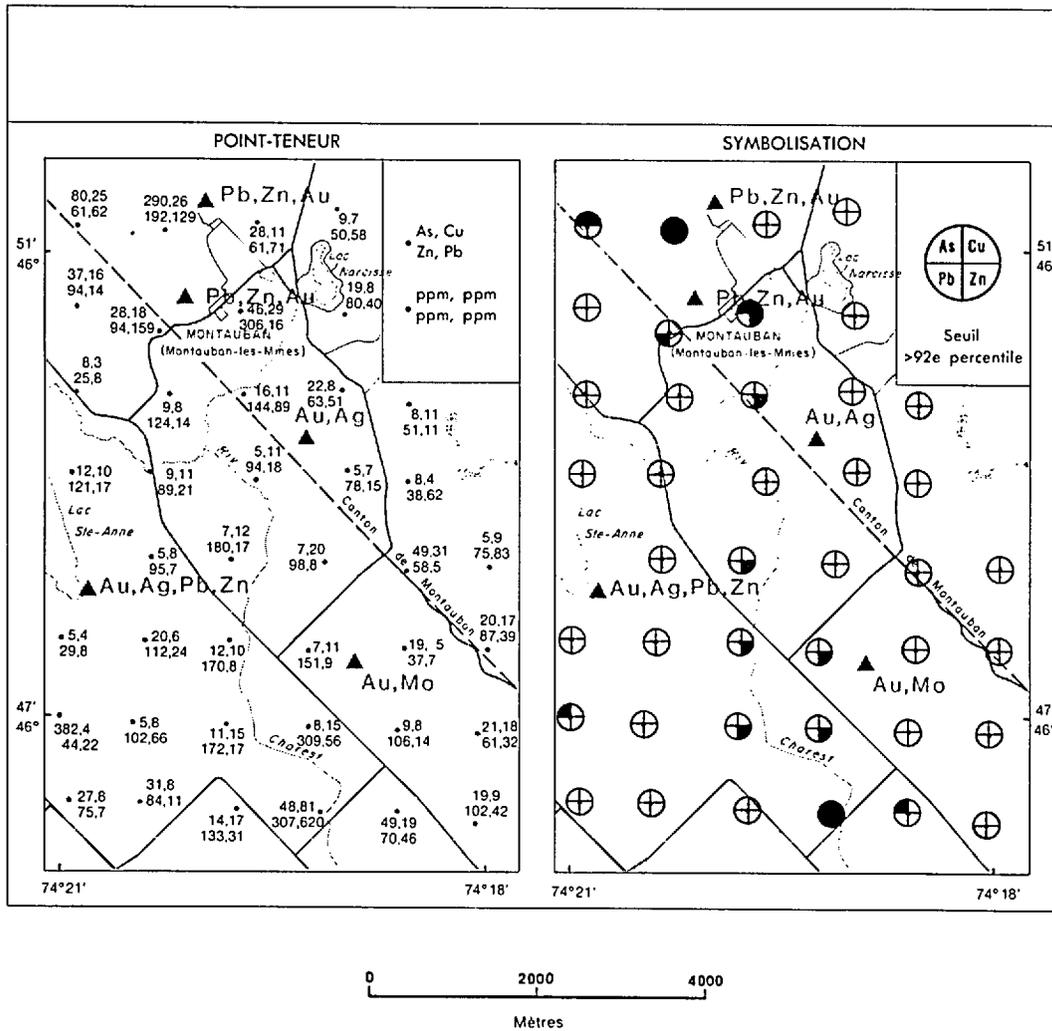


FIGURE 2 - Carte géochimique multi-éléments, adaptée à partir de Beaumier, 1983.

permet de voir facilement les relations qui existent entre les sites et entre les éléments (Beaumier, 1983 ; Lalonde et al., 1984 ; Pelletier, 1985).

Il existe cependant plusieurs façons de construire ces cartes de compilation, mais certains critères sont essentiels pour sa réalisation : (ex. : 92^e percentile, moyenne plus un écart-type, etc.).

- Que la distance maximale pour corréler deux sites à teneur anormale pour un même élément soit fixée à l'avance et soit invariable (ex. : maximum 1 km entre les sites).
- Que les sites isolés ayant un ou plusieurs éléments à teneur anormale soient ignorés.

Plusieurs autres critères sont parfois employés au gré de l'utilisateur et permettent d'obtenir le maximum de renseignements à partir des résultats analytiques.

La construction d'une carte de compilation géochimique est simple et peut être effectuée à partir de cartes avec contour d'isoteneur, elles-mêmes réalisées à partir des cartes monoélément point-teneur. Ces cartes avec contour d'isoteneur sont produites de plusieurs façons, dépendamment des critères utilisés. Les contours peuvent représenter : les teneurs dépassant la moyenne plus un écart et/ou deux écarts, les teneurs par classe de 10, 100 ou 1000 unités, les rangs percentiles de la population globale, etc (Kelly et al., 1969 ; Tremblay, 1976).

La figure 3 montre deux cartes mono-élément sur lesquelles ont été tracés des contours équivalant au 84^e, 92^e et 98^e percentile. Il faut d'abord remarquer la forme et l'orientation des contours qui sont habituellement le reflet de la structure géologique, du déplacement glaciaire, de l'écoulement hydrologique ou de tout autre phénomène qui peut affecter les niveaux de teneur. Ces cartes deviennent alors très utiles au niveau de l'interprétation géochimique.

Les contours gras qui apparaissent sur ces cartes (figure 3) représentent le niveau de teneur du 92^e percentile pour le Zn et le Ni. Si l'on superpose les contours gras de chacune de ces cartes et que l'on garde seulement la position des sites d'échantillonnage, on obtient une carte de compilation pour le Zn et le Ni (figure 4). Si on ajoute les contours du 92^e percentile pour le Cu, Pb, Co, Ag, Mn et Fe, on obtient alors une carte de compilation complète (figure 4), qui exprime l'activité géochimique d'un secteur donné.

Les cartes de compilation géochimique sont donc un reflet de la réalité géochimique d'un lieu et permettent d'observer les relations qui existent entre les sites pour un même élément et entre les éléments pour un même site. Ces cartes ont le pouvoir d'aider le repérage des zones d'activité géochimique, de conserver la forme et l'orientation de ces zones d'activité, d'éliminer les échantillons isolés pouvant être contaminés, d'être reproduisibles par un autre utilisateur lorsque les critères de base

sont respectés et finalement de pouvoir représenter un très grand nombre d'éléments.

Deux problèmes affectent cependant l'interprétation de ces cartes. D'abord le choix des critères de base n'est pas toujours facile car ils sont fortement influencés par : la maille d'échantillonnage, la densité de l'échantillonnage, le type de levé effectué et l'échelle de travail utilisée. Ensuite, la lecture et l'interprétation des zones d'activité sont souvent difficiles à cause du nombre d'éléments présents dans la zone et de l'importance de chacun de ces éléments sur la minéralisation cherchée.

Le choix des critères est relié à l'expérience de l'utilisateur tandis que la lecture et l'interprétation des zones peuvent être en partie résolues par les cartes d'interprétation géochimique.

Carte d'interprétation géochimique

Les cartes d'interprétation géochimique furent instaurées au début des années 80, par des géochimistes du ministère de l'Énergie et des Ressources (Beaumier et Pelletier), afin de permettre aux géologues du domaine de l'exploration de mieux comprendre les cartes de compilation géochimique et afin de rendre visuel certaines interprétations des résultats.

Bien qu'il existe plusieurs cartes d'interprétation géochimique, les cartes numériques (Pelletier, 1985) et de pondération (Beaumier in Leduc, 1981) sont celles qui aident le plus à comprendre les cartes de compilation.

La carte d'interprétation numérique permet d'identifier les zones où le nombre d'éléments anormaux est le plus grand et de visualiser rapidement la forme, l'orientation et l'étendue des zones d'activité géochimique (figure 5). Elle se construit en faisant la somme des éléments présents à chacun des sites, à partir de la carte de compilation, et en exprimant cette somme sous forme de contour. Cette carte est très utile pour définir les liens structuraux, les relations avec les glaciations et l'hydrogéologie et sert souvent à choisir les zones les plus prioritaires pour la poursuite des travaux.

La carte d'interprétation par pondération est une carte numérique beaucoup plus sophistiquée que la précédente et qui permet d'identifier les zones de forte probabilité pour une substance donnée. Les premières cartes de pondération furent élaborées par Beaumier et Leduc 81 à la fin des années 70 et représentaient une pondération globale pour toutes les substances, tandis que les cartes de pondération, qui sont présentées dans ce document sont construites pour la recherche d'une seule substance à la fois (figures 5 et 6).

La construction de ces cartes de pondération est basée sur les éléments indicateurs de substance et sur l'importance de ces indicateurs par rapport à la source. Pour chacun des indicateurs, on établit un rang de pondération qui est proportionnel à son importance. Le tableau 1 donne trois exemples de pondération qui ont été établis à

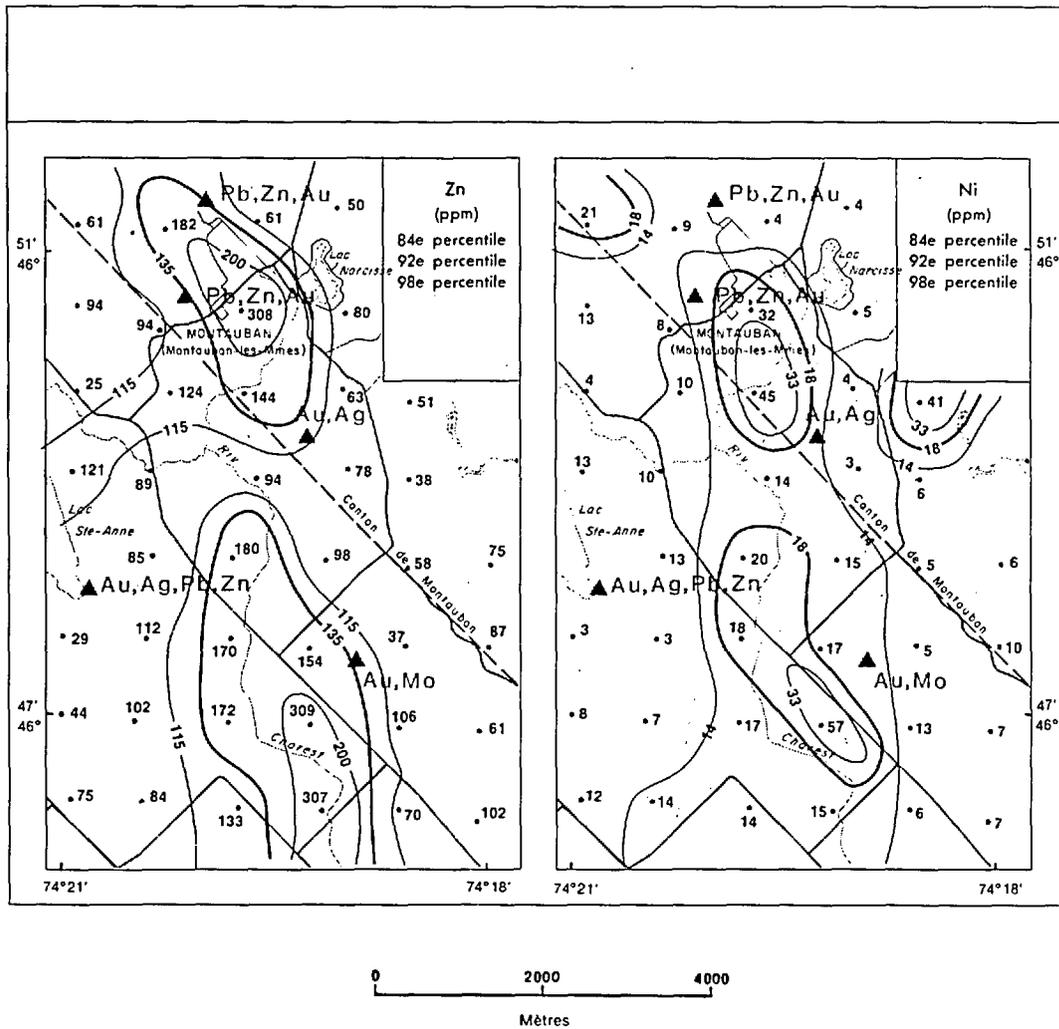


FIGURE 3 - Carte géochimique mono-élément avec contour d'isoteneur, adaptée à partir de Beaumier, 1983.

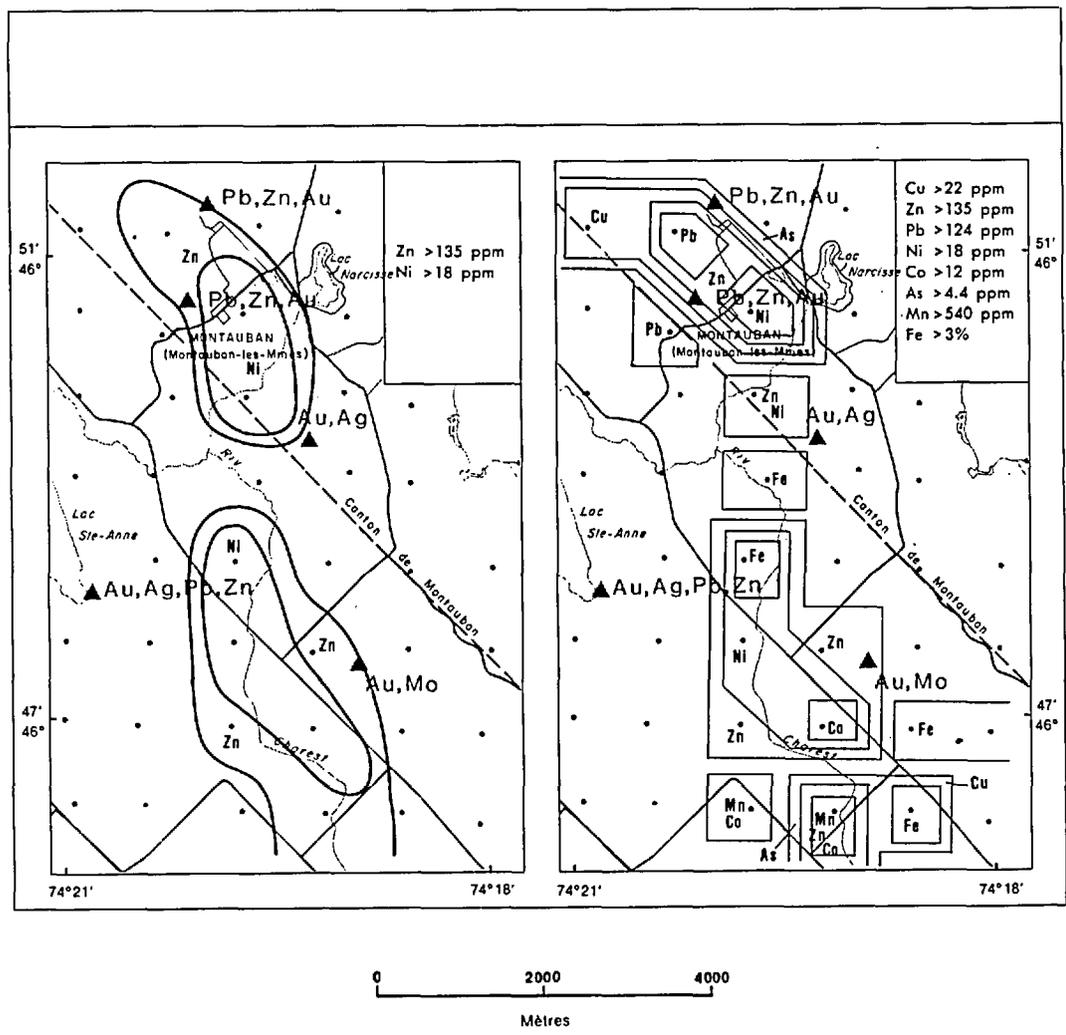


FIGURE 4 - Carte de compilation géochimique, adaptée à partir de Beaumier, 1983.

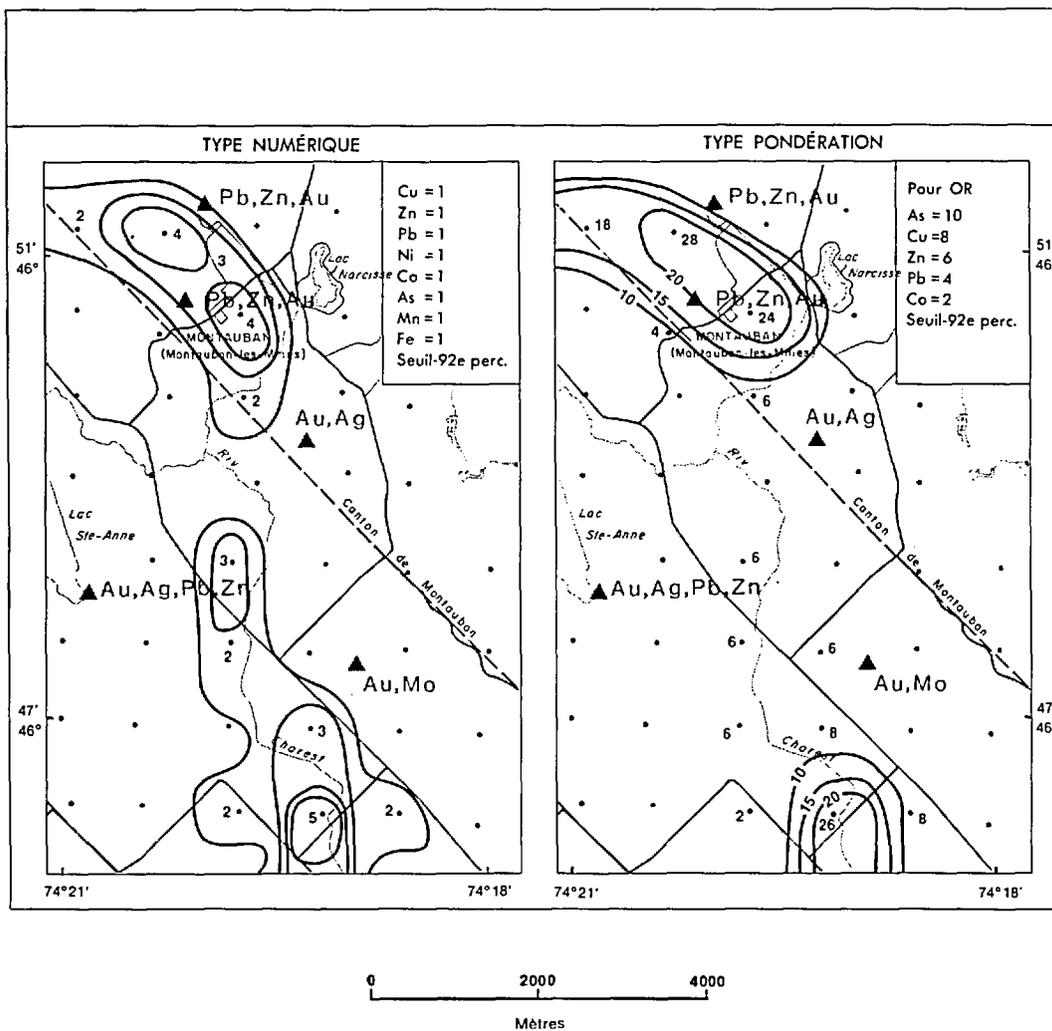


FIGURE 5 - Carte d'interprétation géochimique, adaptée à partir de Beaumier, 1983.

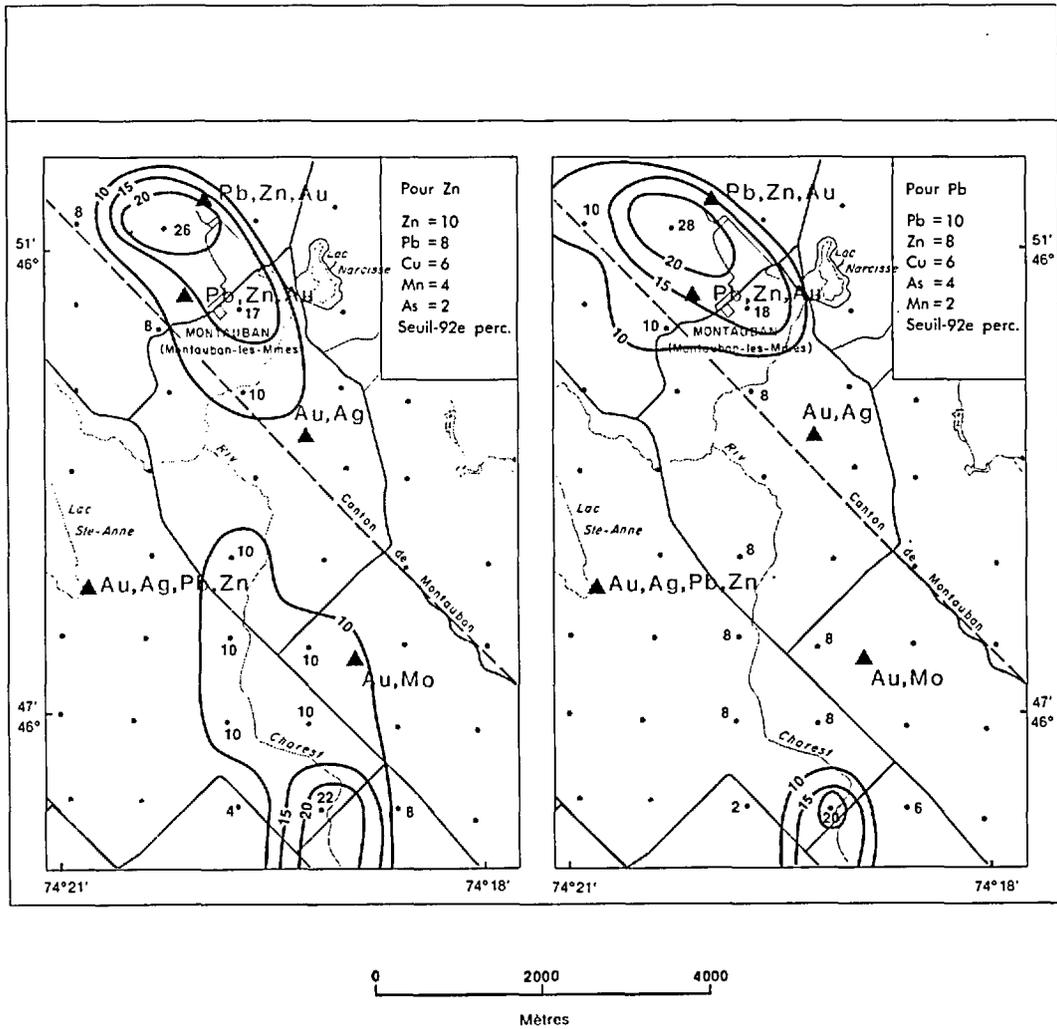
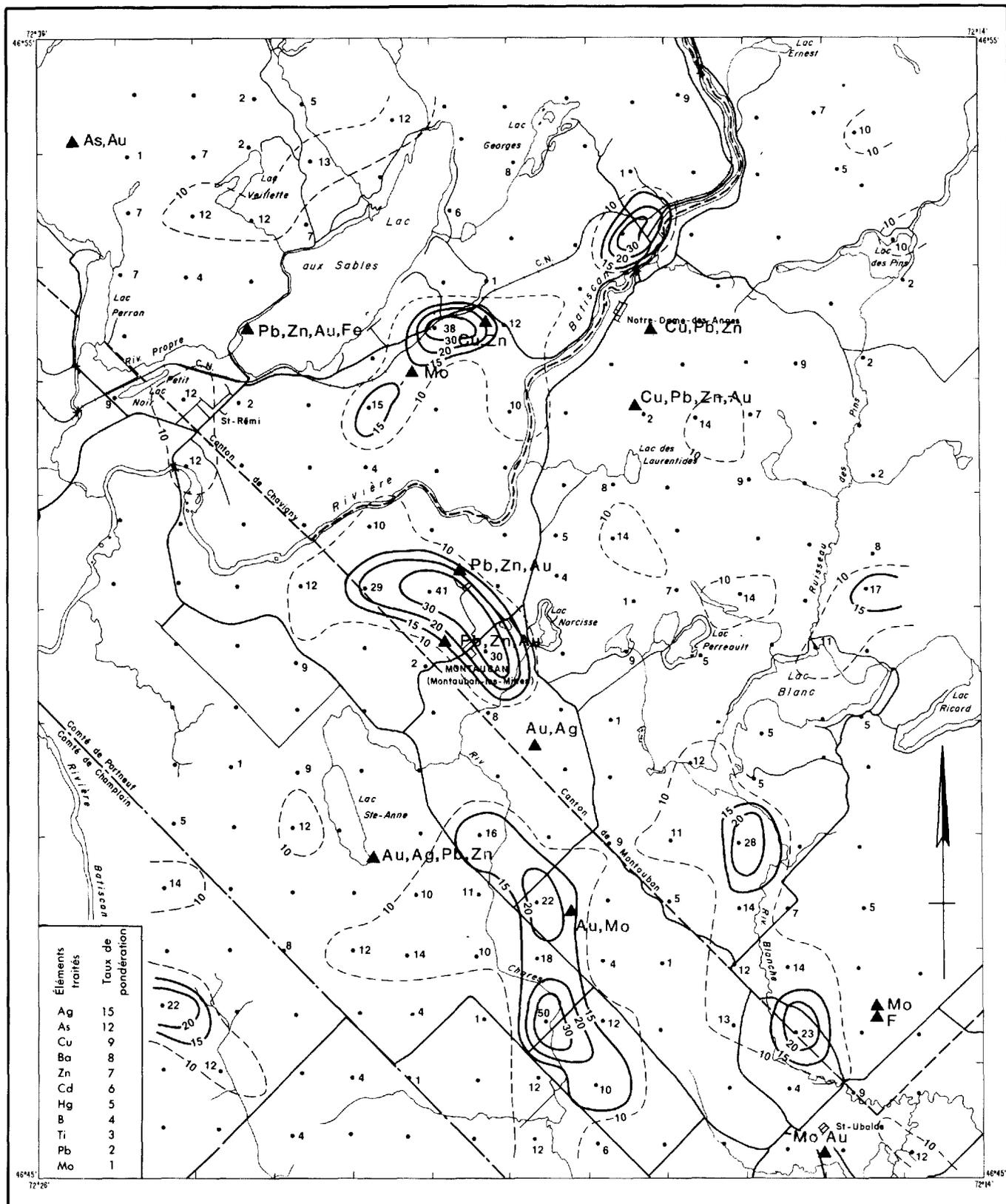
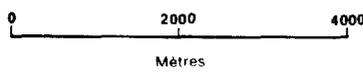


FIGURE 6 - Carte d'interprétation géochimique de pondération, adaptée à partir de Beaumier, 1983.



• 14 Somme de la pondération — 30 — Forte probabilité - - - 10 - - - Faible probabilité
 • 14 Site d'échantillonnage

FIGURE 7 - Carte d'interprétation géochimique de pondération pour l'or, adaptée à partir de Beaumier, 1983.



partir des listes d'éléments indicateurs définis, par Boyle (1974), pour des minéralisations en or, plomb et zinc.

TABEAU 1 - Rang de pondération pour des indicateurs de minéralisations en or, plomb et zinc

Rang de pondération	Éléments indicateurs pour		
	or	plomb	zinc
10	As	Pb	Zn
8	Cu	Zn	Pb
6	Zn	Cu	Cu
4	Pb	As	Mn
2	Co	Mn	As

Ensuite à l'aide de la carte de compilation géochimique on remplace chacun de ces éléments par le rang de pondération correspondant, et après avoir fait la sommation, on trace des contours autour des sites ayant obtenu une somme supérieure à 10. Les zones qui sont définies par ces contours possèdent un ou deux bons éléments indicateurs pour la substance cherchée et l'intensité de la zone donne une idée de son importance (figures 5 et 6).

Finalement, les zones présentées sur ces cartes, indiquent les secteurs à forte probabilité pour la découverte de minéralisations en or, zinc ou plomb.

Afin de permettre aux lecteurs de mieux visualiser la réponse obtenue de l'interprétation par pondération, de situer les zones de minéralisations déjà connues et de comparer la position des teneurs élevées en or dans les humus (Beaumier, en préparation) par rapport aux zones définies par la pondération, la figure 7 présente une carte de pondération pour l'or qui est plus complète et plus raffinée.

Cette carte est établie à partir des 11 éléments indicateurs suivants : Ag, As, Cu, Ba, Zn, Cd, Hg, B, Ti, Pb, Mo, qui ont reçus dans l'ordre, la pondération suivante : 15, 12, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1. Cette carte (figure 7) montre deux zones très importantes se situant au-dessus du gîte de Montauban et à quelques kilomètres au sud de Montauban-les-Mines. Ces deux zones sont possiblement reliées au même niveau stratigraphique et le nombre d'éléments indicateurs pour l'or y est très significatif.

Conclusion

Le développement des techniques de mise en carte des résultats géochimiques par l'élaboration des cartes de compilation et d'interprétation géochimique, permet maintenant aux géologues du domaine de l'exploration, de mieux comprendre les données géochimiques et de les utiliser plus facilement pour la recherche de sites minéralisés.

L'évolution des techniques d'interprétation géochimique est encore à ses premiers pas et il est sûr que d'ici quelques années, le géologue en quête de gisements possèdera des outils efficaces et fiables comparables aux autres domaines de la géologie.

Références

- BEAUMIER, M., 1983 - Levé pédogéochimique de la région de Montauban, comté de Portneuf. Ministère de l'Énergie et des Ressources, DP 83-22.
- BOYLE, R. W., 1974 - Elemental Associations in Mineral Deposits and Indicator Elements of Interest in Geochemical Prospecting. Energie, Mines et Ressources Canada, Geological Survey paper 74-75.
- KELLY, R. - IMREH, L. - HIRLEMANN, G., 1969 - Étude géochimique Lac Kipawa. Ministère de l'Énergie et des Ressources, DP-37.
- LALONDE, J.-P. - PELLETIER, M. - CHOUI-NARD, N., 1984 - Atlas géochimique des eaux souterraines de la région du Bas St-Laurent. Ministère de l'Énergie et des Ressources, DV 83-07.
- LEDUC, M., 1981 - Levés géochimiques, géologiques et géophysiques sur la propriété du lac Fabiola (comté d'Abitibi-ouest). Ministère de l'Énergie et des Ressources, DP 827.
- PELLETIER, M., 1985 - Géochimie des sédiments de lac de la région de la Baie Johan-Beetz. Ministère de l'Énergie et des Ressources DP 85-18.
- TREMBLAY, R.L., 1976 - Géochimie des sols région de Acton-Vale. Ministère de l'Énergie et des Ressources, ES-23.

Till Sampling in the Casa-Berardi Area, Quebec A case History in Orientation and Discovery

J.A. Sauerbrei, E.F. Pattison, S.A. Averill⁽¹⁾

1. Compagnie de Nickel du Canada Limitée, Copper Cliff, Ontario P0M 1N0

Summary

Inco Limited discovered gold mineralization in north-western Casa-Berardi township, Quebec, in April 1981. The discovery, named the Golden Pond zone, is located under approximately 45 m of overburden and is accessible by an all weather gravel logging road from La Sarre, 100 km to the south. Diamond drilling at Golden Pond between April 1981 and August 1983 indicated two main gold mineralized zones on either side of a major graphitic fault zone; both the fault and the mineralized zones strike generally east-west and dip steeply south. The mineralization consists of pyrite – arsenopyrite – native gold bearing quartz-carbonate veins in carbonatized Archean sediments (sandstone, siltstone, graphitic mudstone) and volcanics (felsic agglomerate, lapilli tuff).

As part of the Inco – Golden Knight Joint Venture, which was formed in October, 1983 to explore the Casa-Berardi area, an eleven hole (506 m) reverse circulation overburden drilling program was undertaken in the vicinity of the Golden Pond zone in December, 1983.

The program, under the management of Overburden Drilling Management (ODM) of Ottawa, was designed to test for glacial dispersion of the known mineralization and thereby to evaluate the effectiveness of till sampling as gold exploration method in the Casa-Berardi area. The eleven holes were drilled on three east-west profiles; one profile was drilled 100 m north of the Golden Pond zone, while the other two profiles were drilled 100 m and 400 m south of the zone. On each profile, a 200 m hole separation was used.

All samples of till, sand gravel taken during the program were shipped to the ODM laboratory for processing which involved wet sieving, preconcentration on a shaking table, heavy liquid and magnetic separation. Gold grains picked from the shaking table were examined under a binocular microscope, measured to determine their influence on the analysis of the concentrate, and classified as to degree of transport based on size and shape. To obtain a reliable estimate of the total number of gold grains present, samples that produced multiple grains on the table were refined in a delicate panning operation and the pan concentrates scanned under a binocular microscope. Heavy mineral concentrates were assayed for gold, arsenic and sulphur at the Inco Exploration Assay Laboratory in Sudbury.

Quaternary units present in the Casa-Berardi area comprise Lower Till, Lower Sediments, Upper Till and Upper Sediments of both glaciofluvial and glaciolacustrine origin. The Lower Till forms a semi-continuous blanket in the Golden Pond area; the good preservation of this locally derived till is due to the fact that the mineralized area is a bedrock depression. The high percentage of local material, indicative of intense scouring of the bedrock surface, makes this an ideal sampling medium for exploration purposes.

Within the Golden Pond area, heavy mineral gold and arsenic anomalies are present which define the known bedrock source as well as some which are considered erratic. The erratic anomalies, generally restricted to Upper Till and Upper Sediment sections, are arsenic or gold alone, and are not considered significant. Anomalies related to the Golden Pond zone are found mainly in the Lower Till that lines the bedrock depression which is spatially associated with bedrock mineralization. These anomalies occur only on the two southern drill profiles and on this basis alone are assumed to be related to the known mineralization and constitute a classical dispersion train. This conclusion is supported by the fact that almost all of the till gold grains are within the same size range (50-150 microns) and that gold grains in the till 100 m south of the Golden Pond zone are delicate while the majority of those encountered 400 m to the south are either irregular or abraded indicating greater transport. Furthermore, the gold in the Golden Pond zone is closely associated with pyrite and arsenopyrite, and the gold bearing till concentrates show exceptional enrichment in these minerals. As an example, the heavy mineral concentrate from the bottom till sample in hole 70274 located 100 m south of the Golden Pond zone assayed 5,3 ppm Au, 28,100 ppm As and 21,3% S.

The precise orientation of the dispersion train cannot be determined because the drill area is small relative to the Golden Pond source and also because the host Lower Till horizon becomes thin and discontinuous to the south. However, the distribution of the train with respect to bedrock mineralization is consistent with the south-westerly to southerly vector of Lower Till transport that has been established for the surrounding region.

Following the success of the orientation survey, sampling was used as a screening tool to evaluate geophysical and/or stratigraphic targets east and west of the Golden Pond zone prior to diamond drilling. During the initial sampling programs in the winter and spring of 1984, tar-

gets were tested at intervals of either 300 m or 400 m along strike and 25 m to 100 m down-ice. Closer spaced sampling was done to further define anomalous dispersion trains prior to diamond drilling.

Two reverse circulation holes drilled 300 m apart in April 1984 to test the continuation of Golden Pond electromagnetic conductor encountered an anomalous gold-arsenopyrite dispersion train 2,5 km east of the Golden Pond zone. The best assay value of 57 ppm Au, 19,000 ppm As and 14,0% S came from the heavy mineral concentrate of the bottom till sample in hole 71432 on Section 149E ; five delicate gold grains 50 to 150 microns in size were identified when the sample was panned. It was concluded that the source was within 50-100 m and that most of the gold mineralization was of the "invisible" type. Follow-up till sampling was done in June 1984 to further define the anomalous dispersion train. The heavy mineral concentrate from the bottom till sample of hole 71457 drilled on Section 150E contained approximately 700 very delicate gold grains mostly in the 50 to 100 micron size range and assayed 106 ppm Au, 140,000 ppm As and 21,0 S. The conclusion that the sample was effectively at source was supported by assays of up to 8.8 ppm Au from bedrock chip samples of pyritic quartz carbonate vein material.

Three holes cored in July 1984 confirmed the existence of the Golden Pond East zone. The significance of the discovery of the Golden Pond East zone is evident from the preliminary undiluted mineral resource estimate of 3.0 million tonnes grading 9.9 g/t (Northern Miner, March 14, 1985).

Lithogéochimie du Sill Bourbeau aux voisinages de la mine d'or Cooke

Marc Boisvert et Michel Drouin⁽¹⁾

1. Corporation Falconbridge Copper, Division Exploration, 106 Boul. Springer, C.P. 130, Chapais, Québec

Sommaire

La Division Opémiska de la Corporation Falconbridge Copper exploite présentement un dépôt cuproaurifère dans le Sill Bourbeau, un Sill mafique différencié. La mine Cooke a produit jusqu'à présent 1.5 mt de minerai avec une moyenne de 0.16 oz/T d'or et 0.85% Cu. Les zones minéralisées forment deux cisaillements chloriteux sub-parallèles contenus par la portion gabbroïque du Sill Bourbeau. Le Sill Bourbeau lui-même forme le membre supérieur du complexe régional localement connu comme le Complexe de Cumming.

L'étude présente fut entreprise avec l'objectif de déterminer les éléments chimiques susceptibles de compléter l'exploration aurifère dans la région de Chapais. L'étude et les conclusions sont basées sur la comparaison des profils chimiques d'une section économique de la mine Cooke avec une section non-économique.

Lors de cette étude il fut impossible d'identifier un patron d'altération constant. Malgré la présence d'un enrichissement en K_2O et CO_2 dans les cisaillements, il fut impossible d'associer ce phénomène à la minéralisation. La variation des autres oxydes est attribuée à la différenciation magmatique.

L'étude a cependant montré qu'associée aux cisaillements économiques il y a une forte corrélation entre l'or, le cuivre et l'arsenic. Les cisaillements peu éloignés, non-économiques se caractérisent par de très faibles teneurs en cuivre et un enrichissement en or et arsenic. Cet enrichissement en Au et As pourrait être une zonation minéralogique avoisinante.

Il est conclu que les éléments Au, Cu et As sont les plus favorables pour localiser un dépôt aurifère. Les structures enrichies simultanément pour ces trois éléments peuvent être importantes.

Introduction

Le sujet de cette étude porte sur le comportement des différents éléments chimiques du Sill Bourbeau, aux voisinages de cisaillements aurifères de la mine Cooke. L'objectif premier est de déterminer les éléments chimiques susceptibles de compléter l'exploration aurifère de la région de Chapais.

La région de Chapais se situe dans la ceinture de roches vertes de Chibougamau-Matagami appartenant à la province du Supérieur. Les roches sont d'âge archéen, de faciès métamorphique schiste vert et sont plissées à la verticale.

Le camp minier de Chapais se caractérise par la présence de dépôts filoniens de cuivre et d'or confinés au complexe différencié de Cumming. Ce dernier se divise en trois filons couches : le Roberge, le Venture et le Bourbeau qui ont pénétré la Formation volcano-sédimentaire de Blondeau (fig. 1). La mine Cooke se caractérise par un ensemble de cisaillements chloriteux, aurifères, totalisant 1.5 mt à 0,16 oz/T Au et 0.85% Cu, situé dans le membre supérieur du Complexe du Sill Bourbeau (fig. 2).

Ce sill se différencie de la base au sommet par une pyroxénite, un leucogabbro et un ferro-gabbro-quartzifère. La minéralisation aurifère se situe principalement dans deux zones connues sous nom de veine #7 et #9.

Lithogéochimie

L'objectif de ce projet fut réalisée à l'aide de la comparaison de la lithogéochimie d'une section minéralisée avec une section non-minéralisée, toutes deux à l'intérieur du Sill Bourbeau. L'échantillonnage de ces sections fut effectué en fonction des types de lithologie et par intervalle inférieure à 20 pieds. Un total de 454 échantillons composés de 20% de l'intervalle choisie furent prélevés à partir de sondages. Chaque échantillon fut analysé pour 14 éléments (SiO_2 , Al_2O_3 , CaO, MgO, FeO, Na_2O , K_2O , TiO_2 , S, CO_2 , Cu, As, Ag et Au) par méthodes de fluorescence-X (KRF), absorption atomique et pyroanalyse suivie d'absorption atomique.

Le profil aurifère en fonction de la stratigraphie a servi comme courbe de référence, ce qui a permis de regrouper certains éléments.

Section minéralisée

Le profil aurifère de la section minéralisée montre que seules les veines économiques #7 et #9 ont des teneurs supérieures à 500 ppb Au et que plusieurs cisaillements se caractérisent par des teneurs variant de 35 ppb Au à 500 ppb Au contrairement à la roche encaissante avec des teneurs inférieures à 35 ppb Au. La comparaison de chacun des profils de cette section permet : 1) de regrouper les éléments de forte affinité avec l'or, soit Cu, Ag et

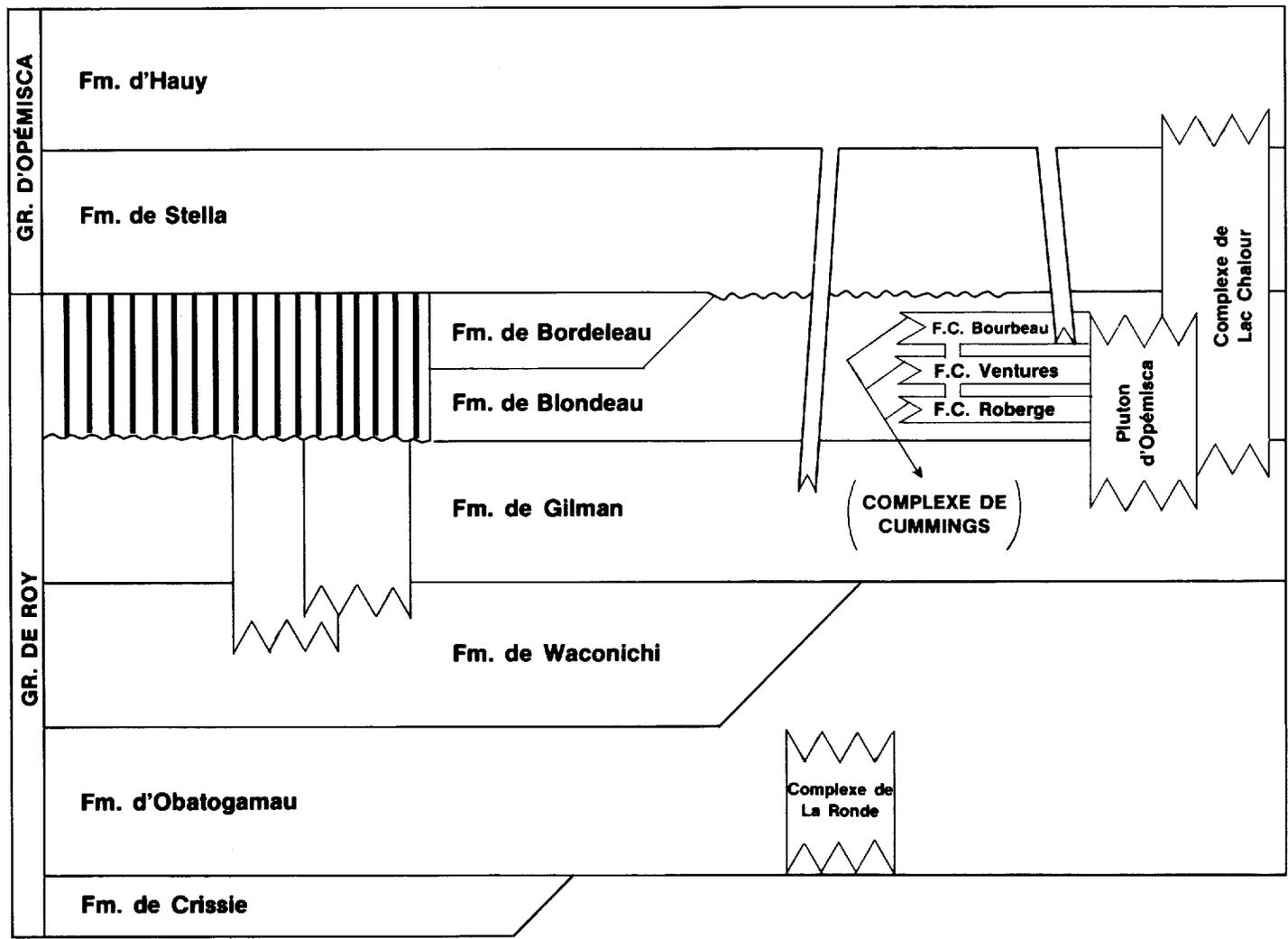


FIGURE 1 - Schéma stratigraphique et relations intrusives.

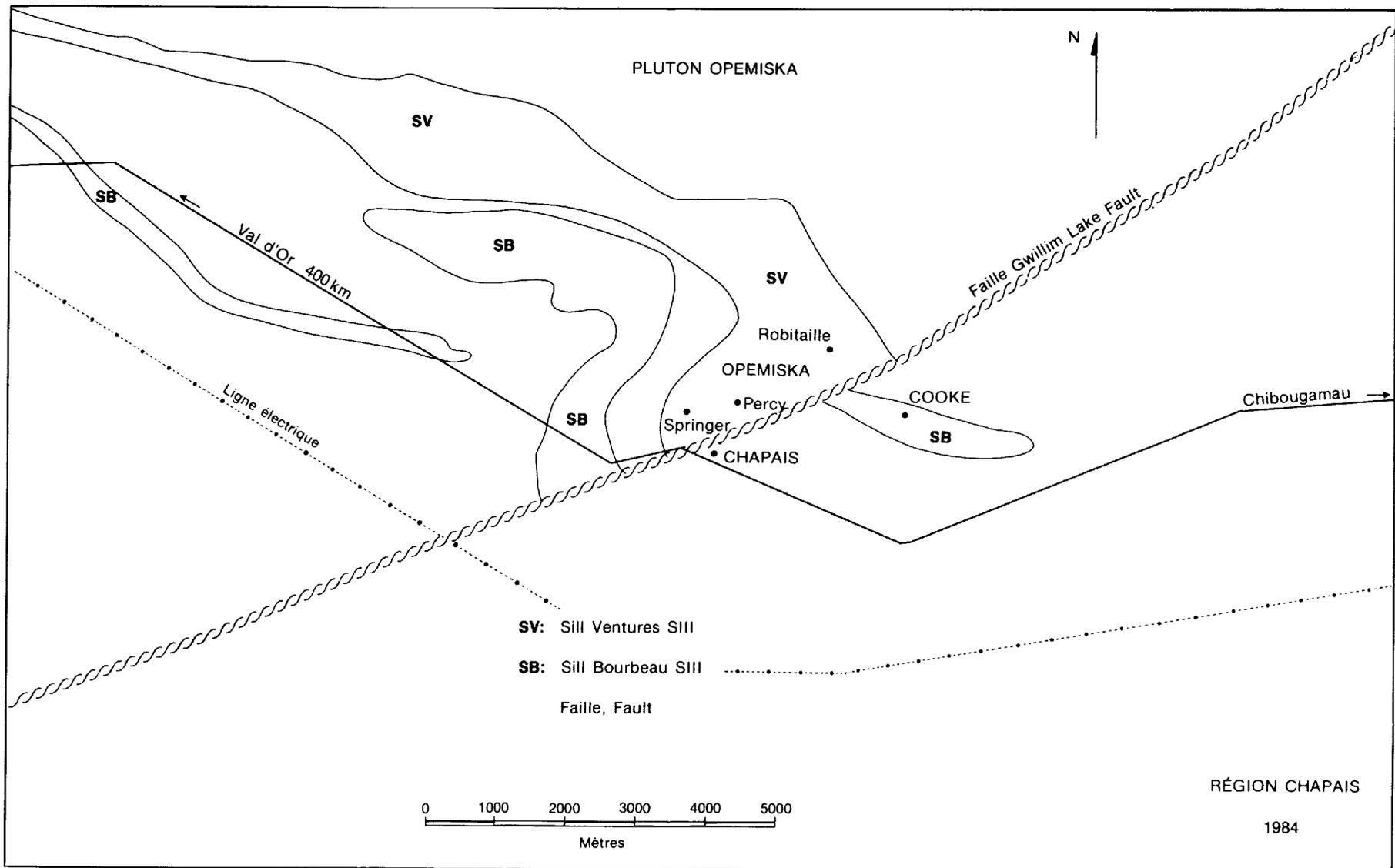


FIGURE 2 - Contexte géologique de la mine Cooke

As (fig. 3). Ces éléments montrent des courbes avec des pics positifs qui coïncident les uns aux autres ; 2) de montrer que les oxydes CO_2 et K_2O ont des teneurs élevées, associées à la veine #7 et des teneurs moyennes légèrement élevées correspondant à la veine #9 et quelques cisaillements (fig. 4) ; 3) les autres oxydes (SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , FeO , Na_2O , TiO_2 et le soufre varient principalement en fonction des différentes lithologies du Sill Bourbeau (fig. 5). Les oxydes CaO , MgO et Al_2O_3 montrent une décroissance des teneurs de la base au sommet contrairement aux oxydes SiO_2 , Na_2O , FeO , TiO_2 et au soufre qui sont croissants (fig. 6). Tous ces éléments sont peu influencés par la proximité des veines minéralisées à l'exception du cisaillement comme tel.

Section non-minéralisée

Le profil aurifère de la section non-minéralisée montre aucune teneur supérieure à 500 ppb Au et seuls les cisaillements chloriteux ont des valeurs supérieures à 35 ppb Au (fig. 3). L'examen des différentes courbes et la comparaison avec celle de l'or permet : 1) de regrouper les profils Au, Ag, As (fig. 3) ; 2) de montrer que les teneurs élevées de K_2O et CO_2 sont associées aux différents cisaillements (fig. 4) ; 3) de visualiser que les oxydes et le soufre ont des variations associées aux lithologies du Sill (figures 5 et 6). Les oxydes CaO , MgO , Al_2O_3 montrent une légère décroissance de la base au sommet (fig. 5), contrairement aux oxydes FeO , TiO_2 et au soufre qui sont croissants (fig. 6). Les oxydes SiO_2 et Na_2O sont plutôt constants avec de légères variations.

Comparaison des sections

Une comparaison des deux sections montre : 1) que la forte corrélation Cu-Au est restreinte à la section minéralisée ; 2) que les teneurs élevées de K_2O et CO_2 ne sont pas exclusives aux cisaillements minéralisés, mais constituent possiblement une caractéristique des cisaillements en général ; 3) que les oxydes des deux sections ont un comportement similaire avec des variations associées à la différenciation magmatique.

Conclusion

Sur la base des résultats obtenus, il appert que les cisaillements minéralisés montrent un enrichissement et une forte corrélation de 3 éléments Au, Cu et As, contrairement à la section non-minéralisée où il y a corrélation de 2 éléments seulement soit Au et As. Il est suggéré que les cisaillements montrant une corrélation des trois éléments Au, Cu, As fassent partie d'un halo minéralisé proximal et que les cisaillements avec une corrélation des deux éléments Au et As constituent un halo minéralisé distal. Cette dernière hypothèse reste spéculative jusqu'à présent.

En second lieu, les teneurs élevées de K_2O et CO_2 sont reliées aux différents cisaillements plutôt qu'au procédé de minéralisation.

Finalement que le comportement des oxydes aux voisinages de la minéralisation est peu influencé à l'extérieur des cisaillements et relié à la différenciation magmatique.

Donc, les éléments Au, Cu et As seraient les plus favorables à localiser un dépôt aurifère à l'intérieur du Sill Bourbeau et spécialement la présence d'une corrélation entre ces éléments.

Remerciements

Les auteurs désirent remercier la direction de la Corporation Falconbridge Copper pour la permission de présenter ce papier et les gens du Ministère pour leur support technique à l'élaboration de ce papier.

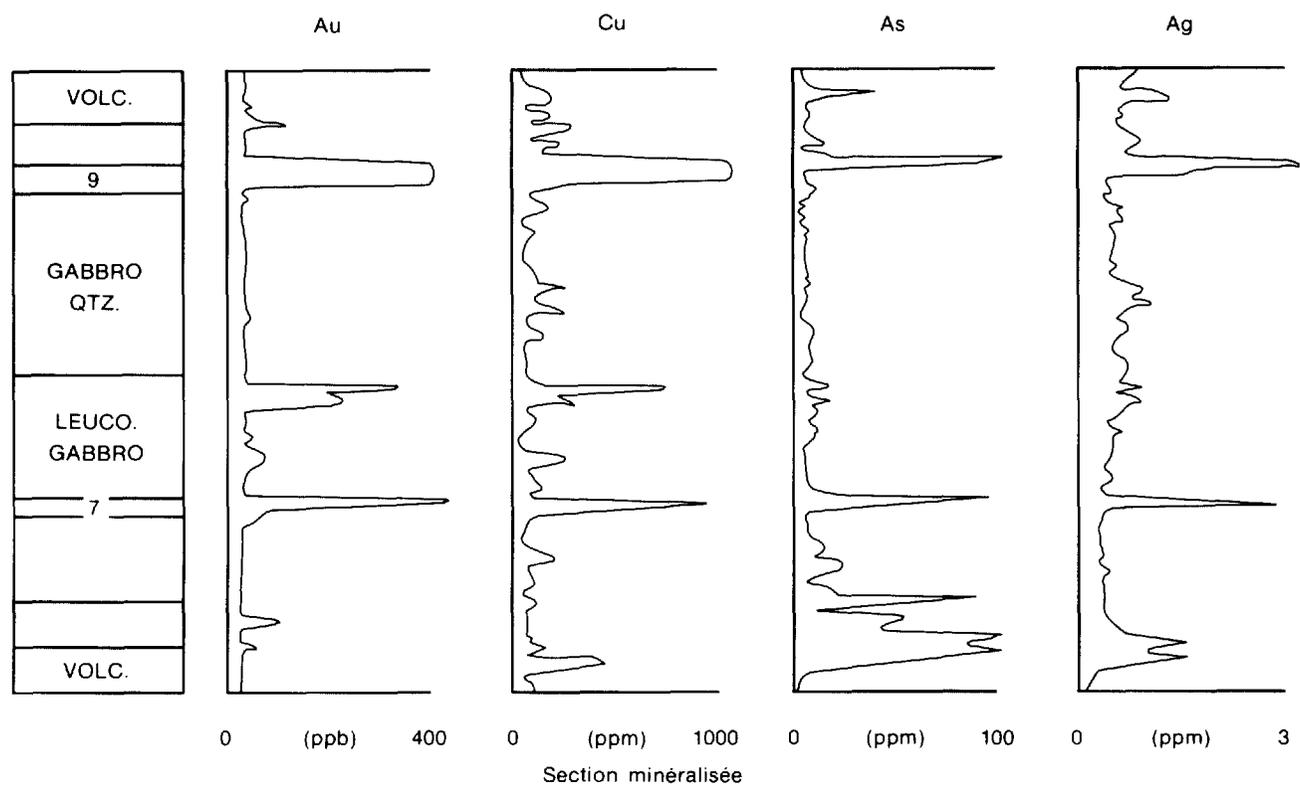
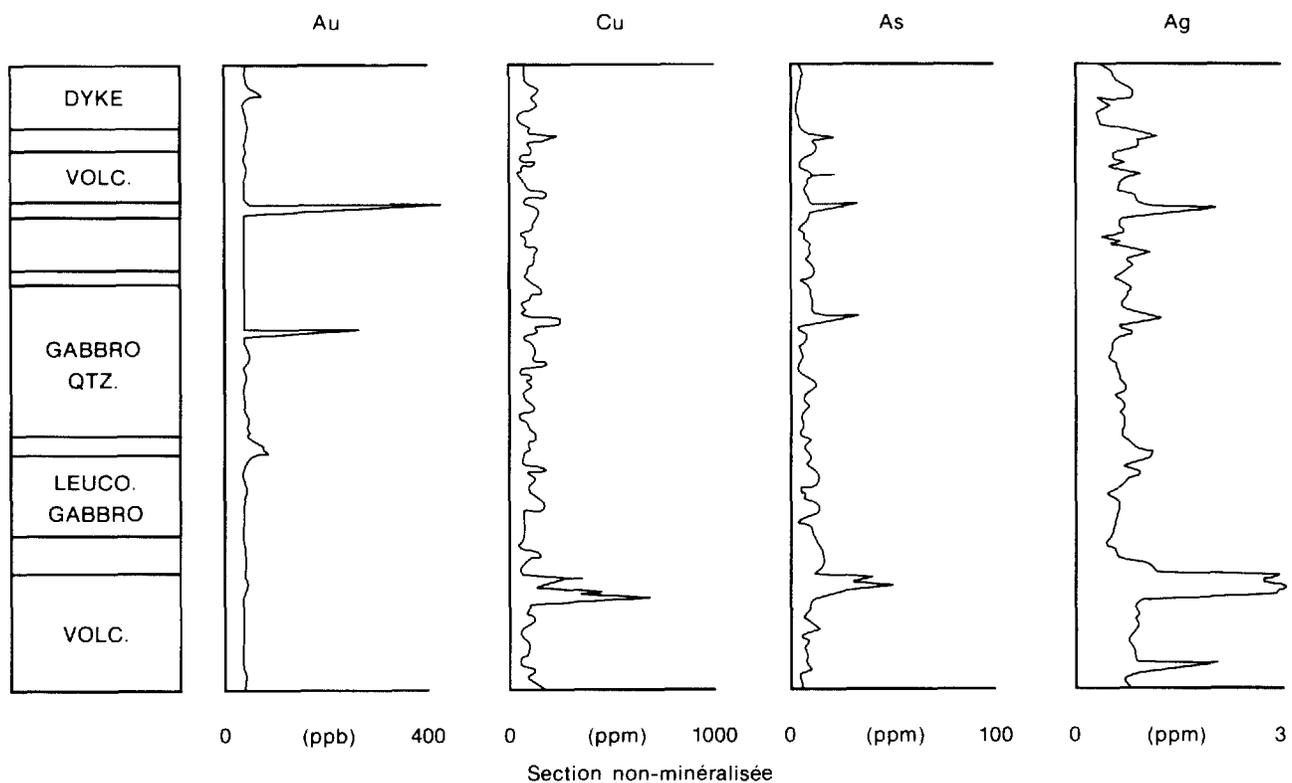


FIGURE 3 - Comparaison des teneurs observées entre la section minéralisée et celle non minéralisée pour les éléments Au, Cu, As, Ag.

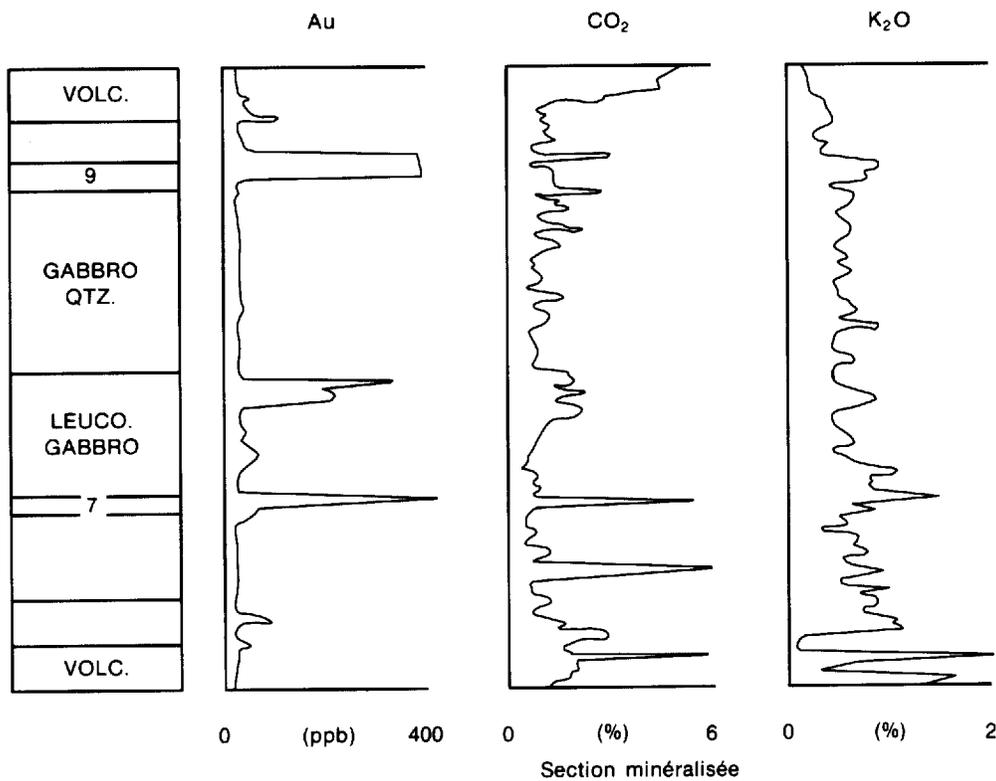
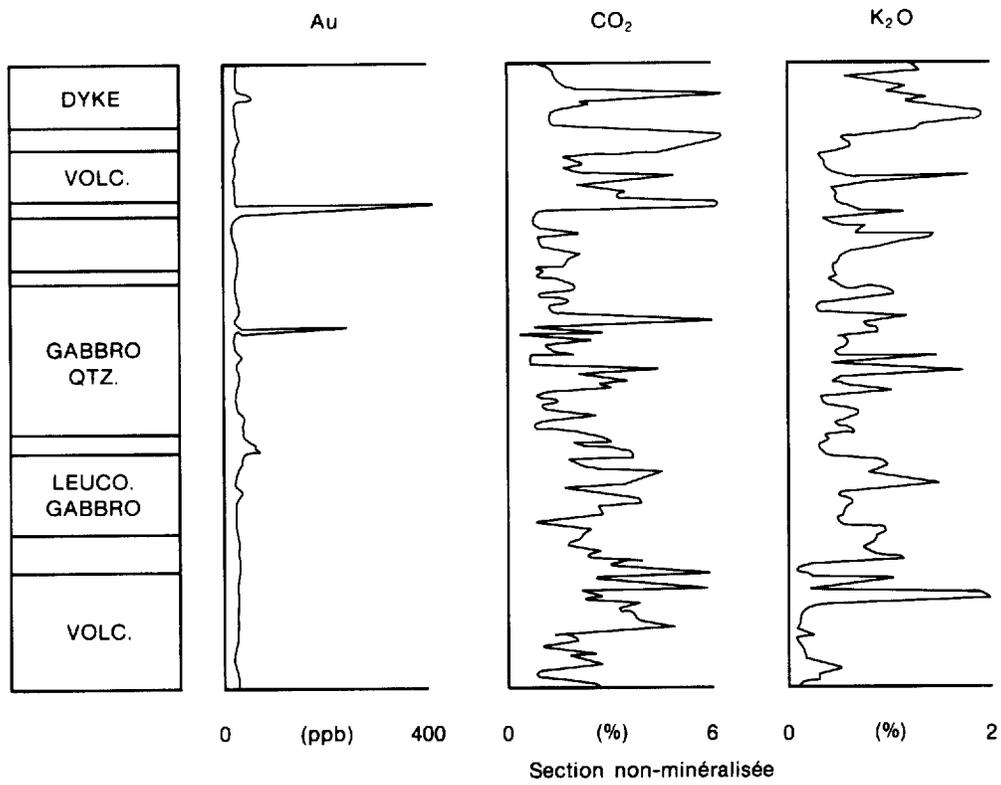


FIGURE 4 - Comparaison des teneurs observées entre la section minéralisée et celle non minéralisée pour les substances Au, CO₂ et K₂O.

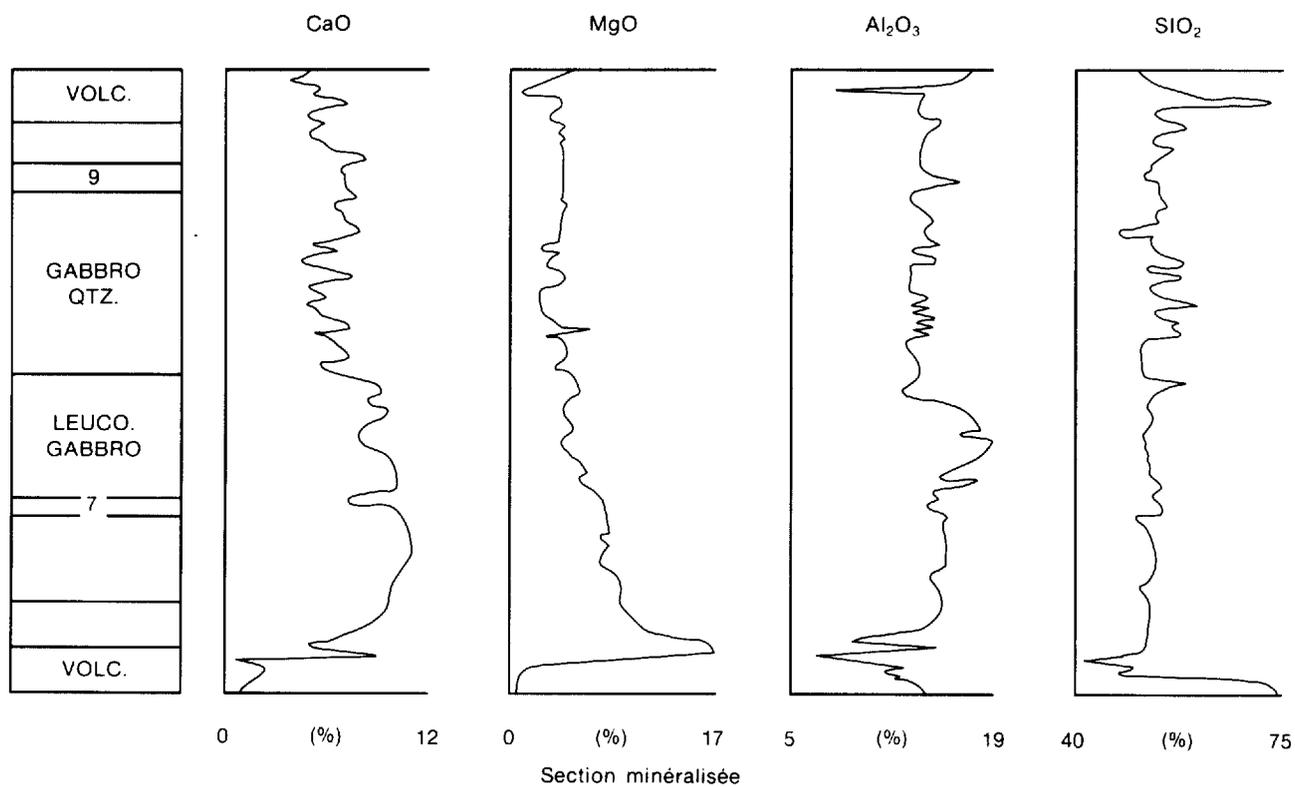
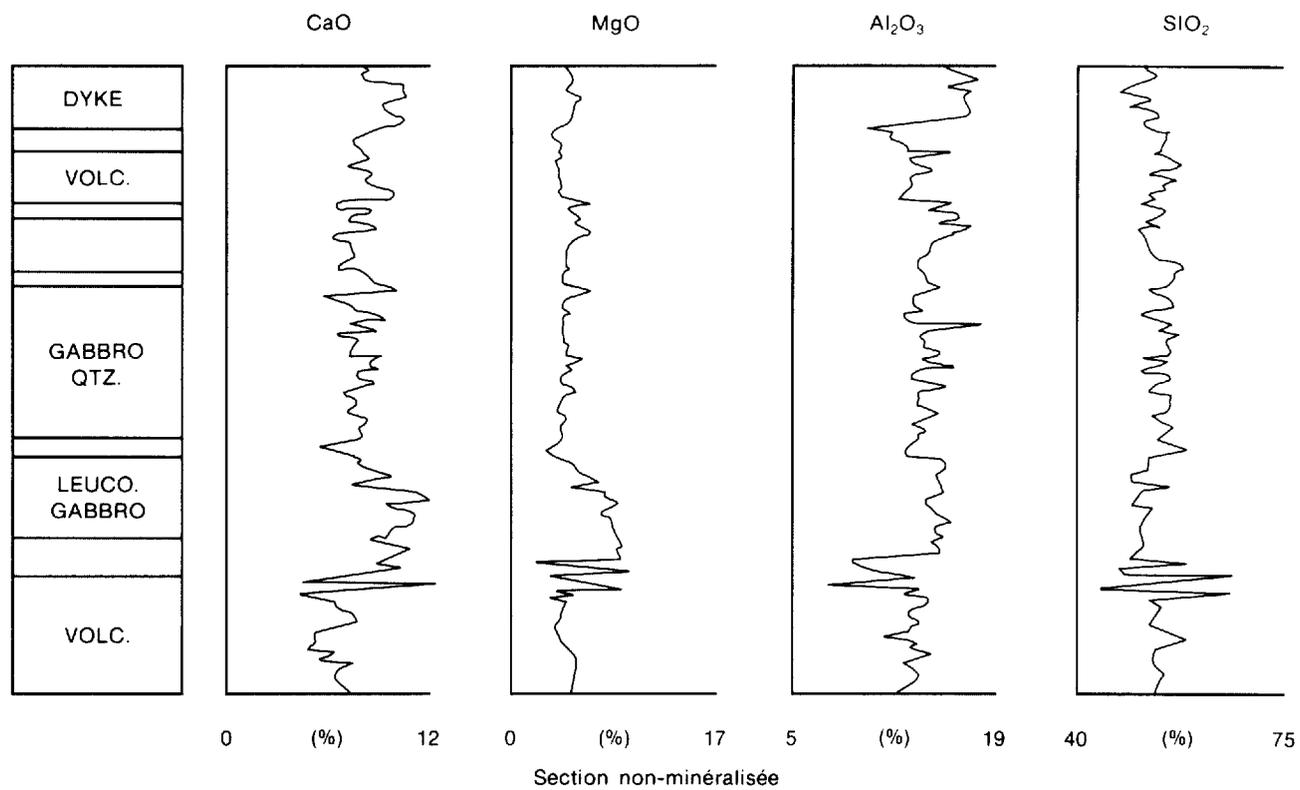


FIGURE 5 - Comparaison des teneurs observées entre la section minéralisée et celle non minéralisée pour les substances CaO, MgO, Al_2O_3 , SiO_2 .

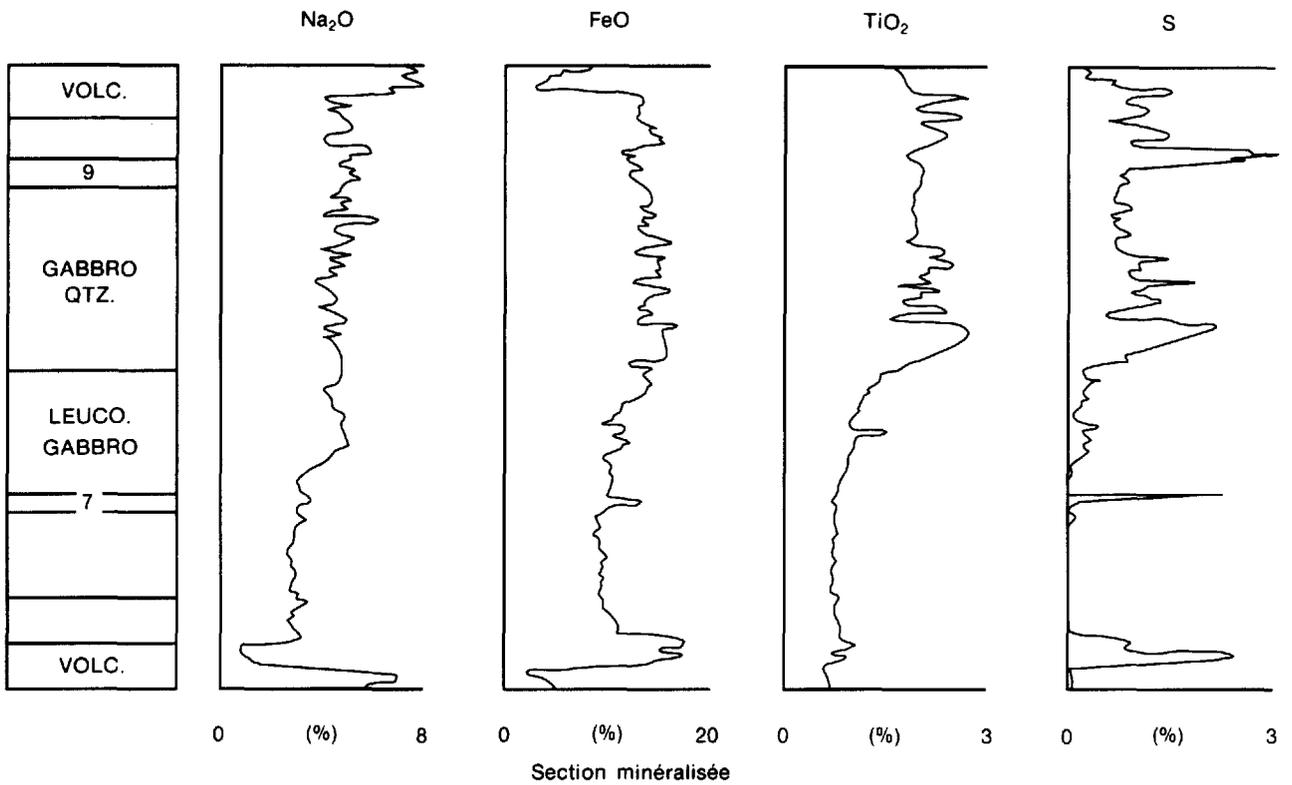
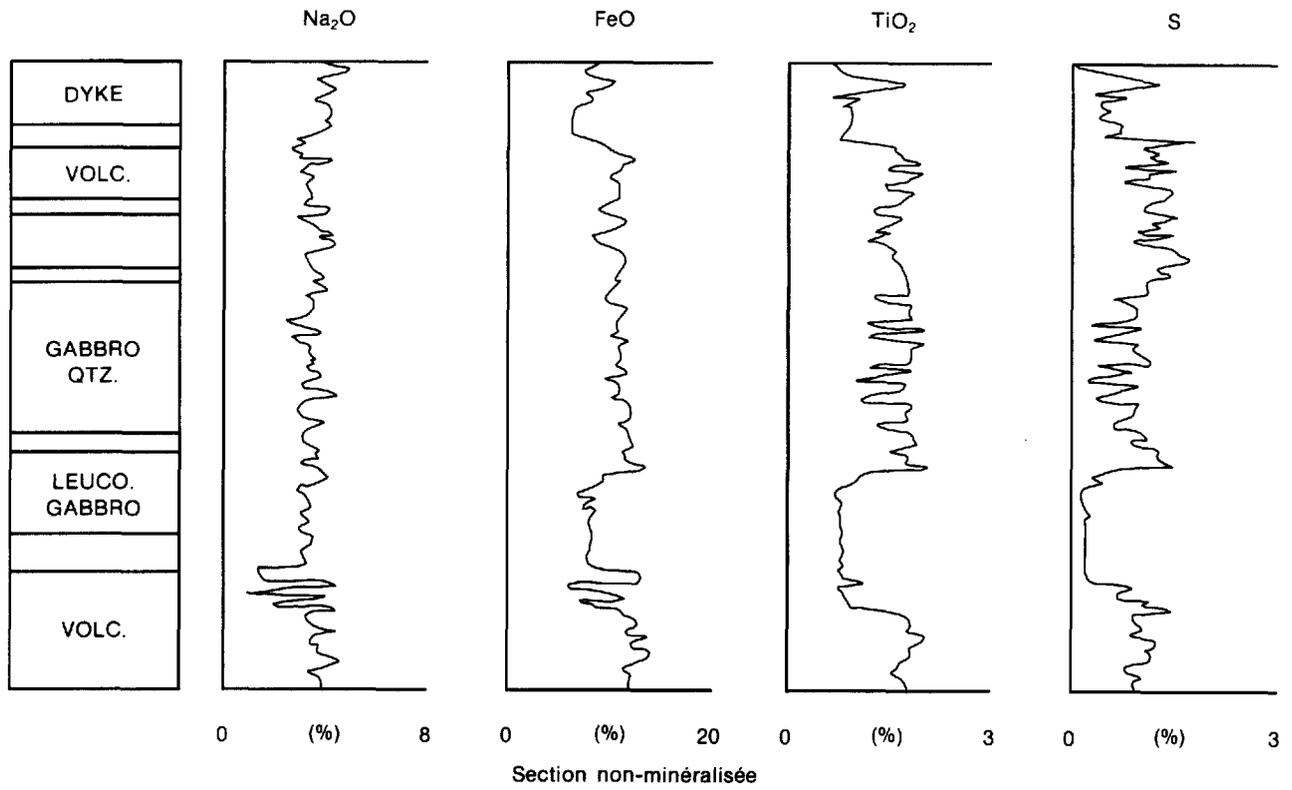


FIGURE 6 - Comparaison des teneurs observées entre la section minéralisée et celle non minéralisée pour les substances Na₂O, FeO, TiO₂ et S.

Cas types de découvertes par erratiques minéralisés

Edwin Gaucher, ing., Ph.D.

Introduction

C'est avec un peu d'hésitation que je me permettrai de parler des erratiques minéralisés sachant qu'il existe des personnes bien plus compétentes que moi. Cependant, le sujet est important, non seulement parce que la plus grande partie de nos mines a été découverte par la prospection, mais surtout parce que je suis convaincu que ce sera également le cas dans l'avenir.

Comme je ne suis pas un spécialiste de la recherche des mines par erratiques, je parlerai peu des cas difficiles. Au contraire, j'essaierai de vous faire saisir surtout comment cela peut souvent être simple de découvrir une mine par les erratiques. De fait, la contribution des erratiques est occasionnellement si rapide et immédiate qu'elle n'est pas officiellement notée pour la postérité. L'essentiel de notre présentation sera donc de montrer une série d'exemples de découvertes minières grâce aux erratiques, souvent observés et signalés par des amateurs. Cependant, nous ajouterons deux paragraphes : le premier a trait aux limitations et difficultés de découvrir des mines en utilisant des levés géoscientifiques, et le deuxième sera, je l'espère, un vibrant appel au MER pour qu'il s'occupe d'authentifier et d'enregistrer les erratiques de façon à créer une banque de données pour l'avenir. En effet, ceux-ci sont souvent petits et éminemment éphémères et, s'ils ne sont pas rapidement décrits, on les met en doute, ce qui revient au même. Une des manifestations du peu de documentation disponible sur les erratiques est mon propre texte, car souvent je ne peux que citer des communications personnelles. Nous ferons un dernier appel, celui-là aux compagnies d'exploration, et c'est d'être plus généreux envers les vrais prospecteurs.

Limitations de l'exploration scientifique

Nos méthodes d'investigation sont maintenant si perfectionnées que presque tous les gisements peuvent être décelés, souvent par plusieurs méthodes d'investigation. En novembre 1984, nous avons tenu à Val-d'Or un symposium sur la géophysique et la géochimie de l'or. On y a démontré que même les gîtes de ce métal sont généralement perçus par l'un ou l'autre des levés géoscientifiques.

Le problème c'est que non seulement les gisements mais beaucoup des roches stériles donnent des anomalies : ainsi, récemment, autour d'une mine de Chibougamau, un levé de polarisation provoquée de qualité a trouvé 100 cibles de forage valables par mille carré. Nous savons d'expérience que plus de 99% d'entre elles sont

absolument stériles. On trouve ainsi un grand nombre de fausses réponses quelle que soit la méthode géoscientifique. Pensons seulement aux millions de conducteurs IN-PUT découverts à date par les levés du MER (fig. 1), à un nombre encore plus grand d'anomalies aéromagnétiques, géochimiques etc. Vérifier toutes ces vraies anomalies géoscientifiques coûterait aujourd'hui au Québec probablement plus que la valeur de toute la production minière de la province à date. Des sociétés ont essayé de le faire : UMEX a fait plus de 1000 forages sur des conducteurs aéroportés sans résultats ; INCO en a fait sans doute autour de 20 000 (400 millions \$) sans qu'il en résulte une seule mine. Et, si on essaie de sélectionner les cibles en combinant les méthodes géoscientifiques, le rendement en terme de découvertes minières devient de plus en plus aléatoire. Mais le sujet est plus difficile à cerner et je laisserai les intéressés lire les références sur le sujet (Gaucher, 1975 et 1983). De fait, à notre jugement, seuls les erratiques de minerai ou un horizon géologique déjà porteur sont des guides valables pour trouver une mine.

Exemples de découvertes par des erratiques

Nous décrirons ci-après des exemples variés de découvertes de gîtes à partir des erratiques afin de bien démontrer leur importance.

BARYTINE DE HUNTINGTON

Dès 1973, des échantillons de barytine pure ramassés dans un champ furent envoyés à l'analyse aux Laboratoires du Ministère des Richesses naturelles par des prospecteurs amateurs. Le directeur du laboratoire, M. Joseph Gagnon, signala dans sa réponse aux prospecteurs l'intérêt de leur découverte. Il a fallu cependant attendre à 1982, soit près de neuf ans, pour qu'un géologue du MER visite le site et confirme la présence d'erratiques contenant de la barytine à la surface dans les champs en friche. Onze excavations furent faites en 1983 (fig. 2) et sept d'entre elles indiquèrent une teneur exploitable. L'indice a fait l'objet d'une émission publique par un courtier et est en développement.

Il est bon de noter que la présence de structures karstiques avait été rapportée par le MER dès 1975 (Globensky, 1975) à proximité immédiate de la découverte, mais on ne perçut l'intérêt de cette observation qu'après que les tranchées aient été évaluées et que l'on rédigeait un rapport sur la propriété. Il paraît que les meilleurs gîtes de barytine ont été découverts dans de tels environne-

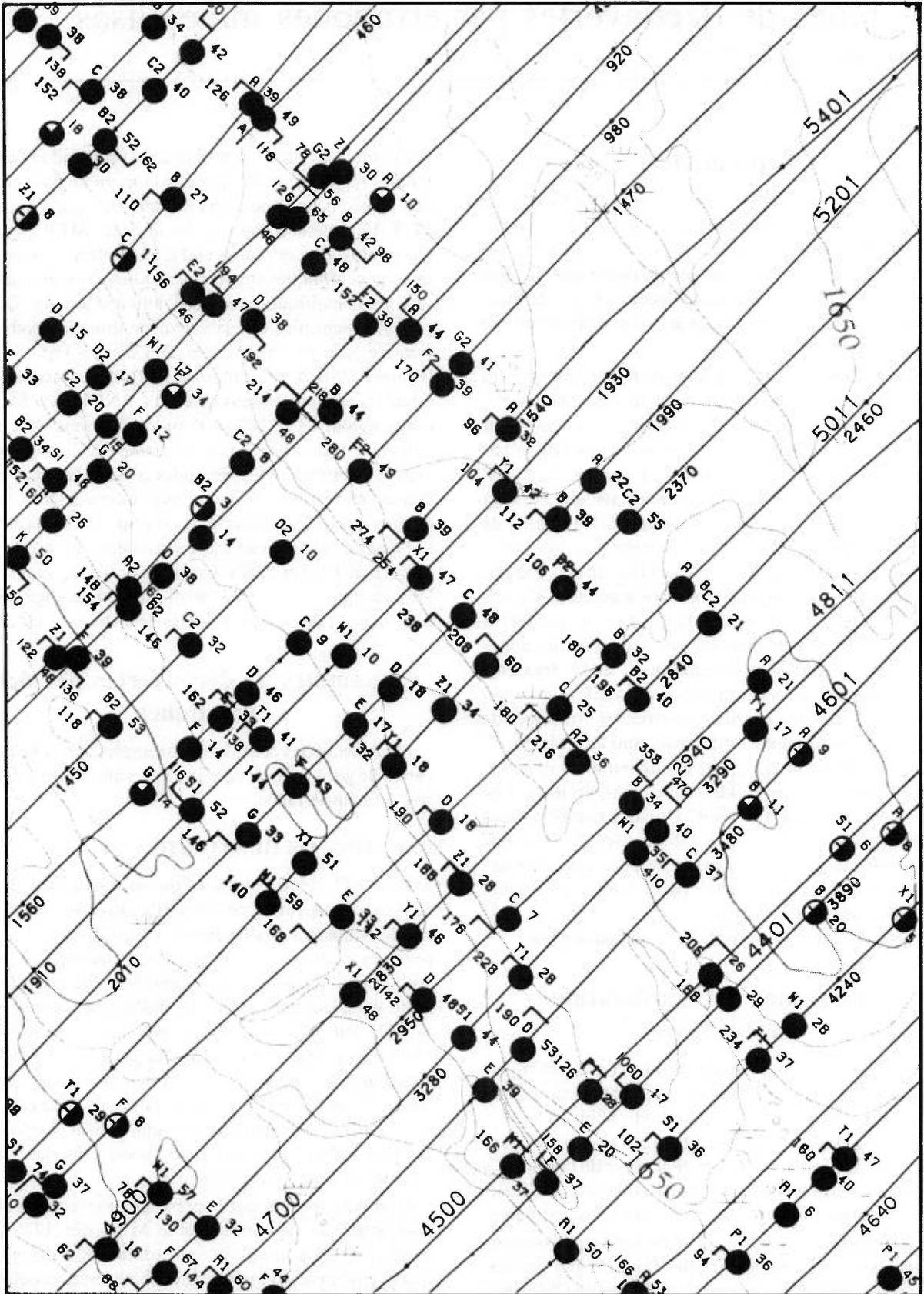


FIGURE 1 - Exemple de levé Input, MER.

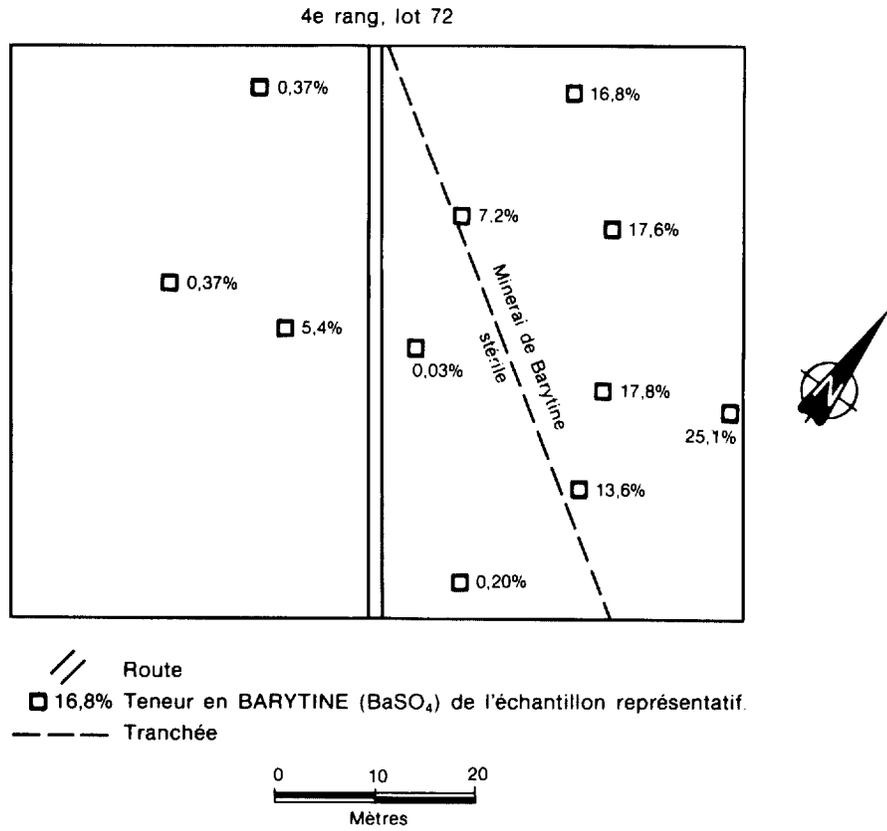


FIGURE 2 - Tranchées sur des erratiques de barytine.

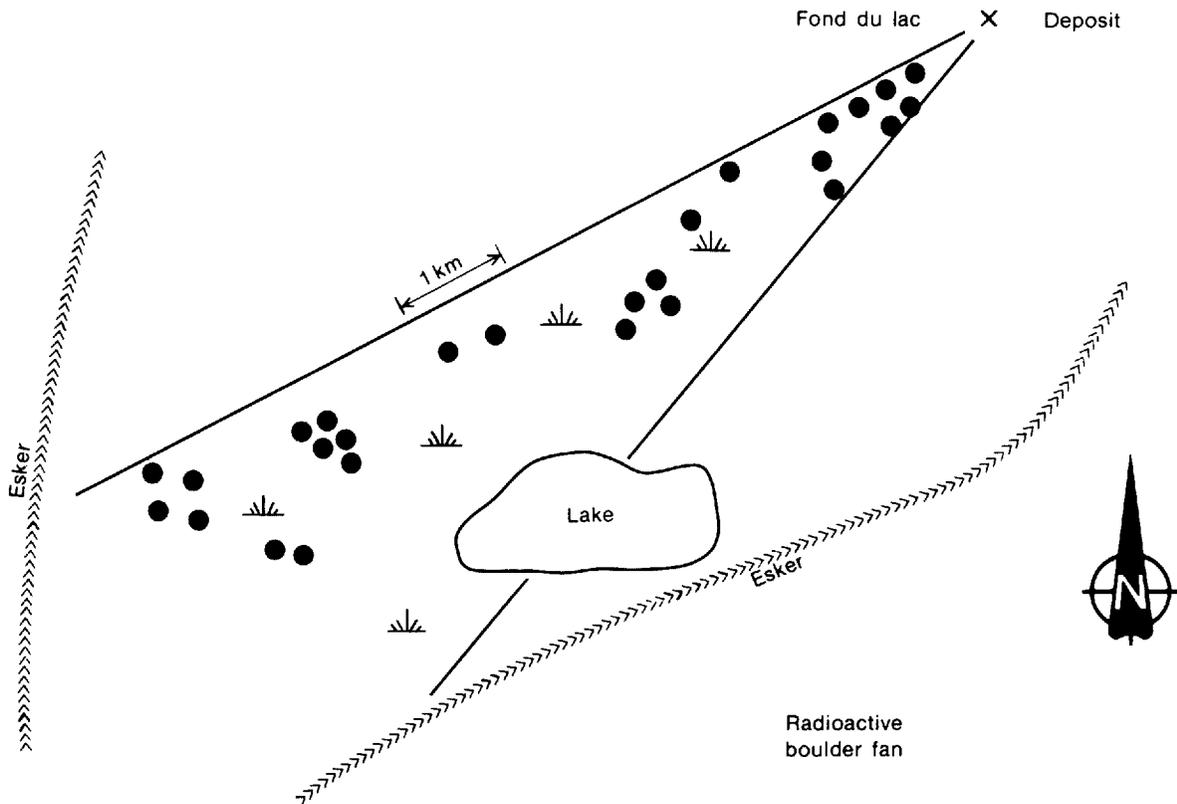


FIGURE 3 - La traînée d'erratiques radioactifs. Gisement Fond du Lac, Saskatchewan.

ments karstiques. Cependant, ce n'est qu'après avoir trouvé du minerai en place que l'on a compris le potentiel de la géologie déjà connue.

GÎTE DE ISCK

Le récit maintenant est par George Podolsky, Vice-Président, Recherche et Développement de Kidd Creek Mines Ltd. Le gîte ISCK constitue la première découverte de Texas Gulf, alias Kidd Creek Mines, depuis celle de Timmins en 1965. La découverte a été faite à l'occasion d'un levé EM aéroporté. Immédiatement avant le levé un géologue de Kidd Creek vérifiait la géologie de la région. Sur la grève d'un lac encore gelé, il observa un bloc de minerai. Après profils de EM sur la glace, on installe la foreuse pour faire vite le trou avant le dégel. Bien que la découverte soit due au flair du géologue et que le gisement ait été foré avant le levé, le gîte est mentionné dans les statistiques comme une découverte faite par un levé aéroporté. Il faut noter que cette société a foré des milliers d'anomalies sans rien découvrir d'intéressant, ni avant ni depuis cette découverte.

GÎTE DE MAGNÉSIE DES MONTS OTISH

Le déroulement en temps de ce récit fait contraste avec le précédent. En 1966, les géologues de SOQUEM observent dans le sud des monts Otish des erratiques blancs dont certains contiennent de l'uranium. Les blocs sont si visibles que l'on suit en quelques jours la traînée sur des dizaines de milles en hélicoptère jusqu'à la source (Brun, J., communication personnelle), mais on n'y trouve pas assez d'uranium. Il faut cependant attendre jusqu'en 1984 pour qu'un des blocs blancs soit analysé par un étudiant dans une université (Coty, communication personnelle) et que l'on s'aperçoive que la roche est de la magnésite très pure. Des réserves considérables semblent évidentes et cette magnésite sera peut-être utilisée comme matière première dans l'usine de magnésium métal de Norsk Hydro présentement étudiée pour Bécancour (Le Devoir, septembre 1985).

MINE SIGMA

Cette mine a été découverte par des prospecteurs qui avaient observé des erratiques immédiatement au sud du gîte éventuel, et ce juste à l'est de Val-d'Or. Les blocs de quartz et tourmaline devaient contenir de bonnes teneurs. Tel que rapporté par A. Audet (communication personnelle), les prospecteurs utilisèrent un instrument géophysique original pour retracer la source de leurs blocs, soit une barre de fer pour vérifier la proximité du socle sous la mousse de ces marécages. Ils ne creusaient à travers la mousse qu'aux endroits où la barre sonnait clair, signalant la présence de veines de quartz. L'andésite encaissant les veines rendait un son plus mat. Apparemment, la technique était bien connue des prospecteurs qui l'ont peut-être aussi utilisée pour découvrir les

veines de Malartic, elles aussi d'abord relevées par des erratiques.

URANIUM SASKATCHEWAN

Les réserves mondiales d'uranium ont augmenté de près de 50% à la suite de quelques 12 gîtes découverts sous et autour du bassin d'Athabasca. Bien que les méthodes géoscientifiques les plus sophistiquées contribuent aux découvertes, N. Paterson rapporte qu'une traînée d'erratiques radioactifs avait été localisée avant tout forage intéressant dans au moins 11 des 12 gîtes découverts. Un exemple d'une telle traînée est illustré à la figure 3.

D'après les témoignages de géologues qui y ont participé, les recherches débutaient souvent par un levé héliporté au scintillomètre. Des équipes de prospecteurs vérifiaient alors les zones favorables, parcourant le terrain en chien de chasse jusqu'à ce qu'un premier erratique soit découvert. La recherche s'intensifiait alors et des dizaines de techniciens balayaient le terrain systématiquement avec des scintillomètres. Il était concevable de mettre 10 techniciens sur une ligne, un à tous les cinq mètres, et de les faire avancer à travers bois en cherchant avec des scintillomètres jusqu'à la ligne suivante à 100 mètres. Ceci permettait à chacun de reprendre sa position, puis on continuait le balayage à la ligne suivante. L'équipe prospectait ainsi un premier 50 mètres parallèlement à la ligne de base, puis revenait 50 mètres plus loin. Une telle équipe de dix personnes, quand elle était loin de la tête de la traînée, pouvait même ne pas trouver une seule erratique par jour. Au fur et à mesure que l'on se rapprochait du gisement, le nombre d'erratiques augmentait. Au moins deux des traînées comptaient plus de 4000 erratiques cartographiés lorsqu'elles résultèrent en une découverte. La traînée qui permet de découvrir le gîte de Fond du Lac illustre une des réussites de cette technique. Seulement une très faible proportion des erratiques découverts est représentée sur la carte.

LE GÎTE DE ROCKLINDEN, LE PROCHAIN PRODUCTEUR DE LA BOLIDEN (Suède)

Le récit de la découverte de ce gîte de sulfures massifs nous a été donné en mars 1985 par Ivan Isakson, chef géologue et directeur de l'exploration pour Boliden, la Noranda suédoise. Cette découverte réconciliera toute le monde aux erratiques, ou presque, car la découverte a vraiment été multidisciplinaire même si les erratiques ont joué un rôle primordial. Un levé géologique ayant indiqué des roches volcaniques dans une région réputée granitique, Boliden y envoya une équipe de prospecteurs. Ils découvrent visuellement un erratique de sphalérite qui ne mesure qu'à peine un pouce de côté. Cependant, l'erratique est faiblement lité par une mince couche de pyrite, suggérant une origine métavolcanique. Peu après, l'équipe de prospection réussit à découvrir un deuxième erratique, du même matériel, mais mesurant cette fois-ci

quelque 4 pouces (10 cm) de diamètre. L'information est suffisante pour décider Boliden à faire immédiatement un levé électromagnétique aéroporté. Le miracle arrive, il y a une petite anomalie isolée dans la direction des stries glaciaires. Ce n'est qu'alors que le troisième erratique est découvert par les prospecteurs, seulement à 100 mètres au sud du conducteur. Il est accompagné de nombreux autres, et tout de suite l'équipe découvre l'indice recouvert d'un mètre de terre. Tout ceci se passe dans une région du centre de la Suède défrichée et habitée depuis plus de 1000 ans. L'histoire ne s'arrête pas là. Les forages indiquent que l'indice est tout petit et tronqué par une faille, mais une étude de géologie minière fort élaborée permet de retrouver le mouvement du plan de faille et, ainsi guidés, les forages retrouvent la continuation du gîte. La production devait débiter cet été (1985).

GÎTE DE ICON

La découverte de Icon a été racontée à plusieurs reprises. Les erratiques de chalcopryrite avaient été découverts dans les rapides de la rivière Waconichi par Stratmat en 1956. Les premiers forages n'avaient rien trouvé et ce n'est que lorsque la traînée fut redécouverte que la mine fut trouvée à proximité immédiate de la tête de la traînée. Notons qu'ici (Dilabio, 1981), la géochimie aurait aussi donné la clef immédiate de la découverte et qu'elle aurait aussi permis de découvrir le deuxième gîte. La géophysique par contre aurait été ici tout à fait impuissante, la veine cuprifère étant contenue dans une séquence graphique qui forme de multiples et excellents conducteurs sur des centaines de mètres de largeur et une vingtaine de kilomètres de longueur. Et pourtant certaines compilations accordent cette découverte au crédit de la géophysique aéroportée. Pour ceux que la fréquence des erratiques inquiète et qui pensent qu'il est difficile de les découvrir, la chalcopryrite était si abondante dans le till de la traînée que tout le till, comme à Steep Rock, a été envoyé au moulin comme minerai pour en extraire le cuivre. Il faut cependant ajouter qu'utiliser le till comme minerai était seulement possible dans ces deux gîtes car le premier traitement consistait en une séparation gravimétrique dans des boues lourdes, ce qui permettait de traiter du minerai particulièrement pauvre.

GOLD STREAM

Le premier erratique de ce gîte a été trouvé en Colombie-Britannique par deux prospecteurs, le long d'une route d'exploitation forestière. La région était connue pour son potentiel métallifère ; elle avait été couverte par des levés géophysiques et des forages. Des sociétés ont optionné le site de l'erratique mais ne surent quoi faire. Les prospecteurs originaux revinrent à la charge, creusèrent sous l'erratique un véritable tunnel de renard et retrouvèrent l'affleurement d'où provenait l'erratique. Ce n'est qu'après que Noranda prit l'option et développa le gîte.

GÎTE DE WINDY CRAGGY

Des erratiques de ce gigantesque gîte furent découvertes par des prospecteurs dirigés par James J. McDougale. Une fois les erratiques trouvés, ce fut un jeu d'enfant d'en découvrir la source. Ce site illustre pourquoi les erratiques sont si souvent à l'origine des découvertes car ils sont tellement plus dispersés que les affleurements qui sont presque toujours les erratiques et non les affleurements qui sont observés en premier. Les photos de ce gîte sont absolument spectaculaires (J.B. Gammon).

LE GÎTE DE LA MARE AUX CANARDS

Cette découverte sous son nom fictif, illustre l'importance que le personnel des sociétés d'exploration attache aux erratiques, mais aussi leur manque de confiance à des méthodes modernes pour en découvrir d'autres.

En 1976, un consultant de Québec est demandé pour vérifier la qualité d'un levé gravimétrique, déjà réalisé, sur un faisceau de conducteurs. Quelques erratiques de sulfures massifs pesant de un à une centaine de kilos avaient été découverts antérieurement à proximité. Le consultant, de sa propre initiative, amène un mini EM (ancêtre de du Tapis Prospecteur) et, un soir, sans y être sollicité, découvre un autre erratique de minerai de plusieurs tonnes, et ce sous 8 à 12 pouces de till. La découverte est bienvenue, il reçoit un bonus, mais le mini EM, trop compliqué, n'est pas utilisé par qui que ce soit sur cette propriété. Même si par la suite on lui confie en hiver des contrats géophysiques importants sur cette même propriété, on ne lui demande pas de trouver d'autres erratiques en été.

Le gîte d'où provenaient les fragments est trouvé quatre ans plus tard, apparemment caché par 15 à 50 pieds de mort-terrain. Le consultant réussit à revenir chercher d'autres erratiques avec un octroi du Fédéral en 1984. Il découvre à proximité du gîte deux affleurements de minerai (4 et 7% de cuivre) sous un mètre de till.

Cette fois-ci, il semble que cela dérange davantage, peut-être parce que cela jette un doute sur la pertinence de toutes les dépenses antérieures de géophysique, de forages à circulation inversée, etc. Et pourtant, personne ne pense que ces levés ont été inutiles et même si on avait découvert la mine tout de suite, on aurait certainement fait tous ces levés, mais cela aurait été pour essayer de trouver d'autres gisements. De plus, les budgets auraient été sûrement approuvés.

LA DÉCOUVERTE DE OTOKUMPU, FINLANDE

Ce gîte de 7 millions de tonnes de minerai, d'une teneur de 4,5% de cuivre, a été découvert en mars 1910. La recherche du gîte débuta grâce à l'observation d'un bloc de 20 tonnes de minerai trouvé en 1908 pendant l'excavation d'un canal à 45 kilomètres du site de la mine. Ce gîte ferait une très belle mine même aux prix du cuivre d'aujourd'hui. Devons-nous attendre que quelqu'un dé-

couvre une mine semblable ici pour encourager la recherche des erratiques au Québec ou au Canada ? Pourtant, nous avons des erratiques aussi riches ici et nous avons pu suivre d'autres traînées d'erratiques à la source partout au Canada, ce qui prouve que nous pouvons les tracer tout comme en Finlande.

UNE DÉCOUVERTE DIFFICILE : LE GÎTE DE HALLINMAKI (Finlande)

La découverte de ce gîte illustre bien la nécessité de garder un catalogue et un échantillon de tous les erratiques de minerai découverts dans la province. Elle illustre aussi la nécessité d'intéresser le public à la découverte des erratiques.

Le début de la découverte commença en 1958 par la trouvaille par un amateur d'un échantillon contenant 4% de cuivre et du grenat. Deux autres blocs du même minerai furent rapidement découverts à proximité du premier par le géologue qui visita le site, mais ce fut tout. Ce site est marqué par 1 sur la figure 4.

En 1961, encore pendant un concours d'amateurs, deux autres échantillons sont découverts (sites 2 et 3, figure 4) dont un riche en cuivre. Un contrôle dans les filières permet de constater que la composition des grenats est identique même si les sites sont distants de 10 à 30 kilomètres de la première découverte. On fait alors un examen plus approfondi des dossiers d'erratiques de la Commission Géologique en Finlande et cela permet de retrouver un autre échantillon contenant le même grenat, mais avec une plus faible teneur en chalcopryrite (site 4, figure 4). Il avait déjà été découvert en 1953, mais n'étant pas à haute teneur, il n'avait attiré l'attention de personne. Pour couper court, la mine fut découverte à proximité du 4^e échantillon et les levés aéromagnétiques de la Finlande y contribuèrent en suggérant le site de la zone de skarn par une petite anomalie magnétique.

UNE DÉCOUVERTE FUTURE : LA TRAINÉE D'ERRATIQUES D'OR DE SOQUEM

Encouragé par la haute direction de SOQUEM, Gérald Thériault prospecte avec une petite équipe depuis au moins trois ans en analysant systématiquement des erratiques. Ils découvrirent déjà plusieurs indices et leur cible la plus intéressante est illustrée à la figure 5. La source des erratiques à haute teneur (9 gr d'or à la tonne) est encore inconnue, mais ce sera, espérons-le, la prochaine mine de la région de Chibougamau, qui prolongera peut-être la vie de la ville de Chapais.

Conclusions

Nous croyons avoir réussi par ce texte une démonstration de l'importance des erratiques en exploration minière. En conclusion, nous aimerions mettre en évidence quatre recommandations :

L'intérêt des sociétés minières est de garder les erratiques aussi secrets que possible, tandis que l'intérêt du pays est de les archiver, de bien les décrire et de les rendre accessibles au public. On a réussi au Québec et au Canada à concilier la chèvre et le chou dans des situations plus difficiles que cela et je ne vois pas pourquoi on ne pourrait pas le faire pour les erratiques. En ce moment, la province ne garde pas en archives les erratiques et le bagage de connaissances meurt avec ceux qui le détiennent, à moins qu'ils ne le passent à d'autres intéressés comme me l'ont fait à deux occasions les regrettés Yvan Vézina et Murray Airth, ex-gérant de la mine Mattagami. Avouons que ce n'est pas la meilleure façon de transmettre et de diffuser l'information. Il est grand temps que la province organise un fichier des erratiques, qu'il soit tenu à jour et que les sites soient visités. Même les erratiques qui ont gagné des prix au concours de Val-d'Or n'ont pas été indexés, ni visités, et pourtant il y en a eu de très importants.

La deuxième recommandation a trait à l'organisation d'un concours d'erratiques qui serait ouvert à tous, si possible sans aucune exception, et qui serait accompagné d'une bonne publicité et des prix en conséquence. La Suède et la Finlande en organisent non pas un, mais des dizaines, sinon une centaine par année, et offrent un total de prix d'une centaine de milliers de dollars. Il faudrait graduellement en faire autant. Notre concours de Val-d'Or, avec un total de 1000 \$ en prix, tient par miracle d'année en année et ne profite d'aucune publicité. Il faudrait multiplier la valeur des prix, le nombre de concours et augmenter la publicité. Il faudrait aussi des concours dans de multiples municipalités pour permettre à de nombreuses personnes de soumettre leurs découvertes.

La troisième recommandation vise les sociétés minières, celles qui font l'exploration. Les géologues, vis-à-vis des prospecteurs, sont devenus très peu généreux depuis l'avènement de l'exploration minière par les méthodes "scientifiques" dans lesquelles on se complait si facilement. J'ai su que des géologues avaient passé des journées à essayer de retrouver des erratiques dans le bois, lesquels avaient été signalés par des gagnants du concours de Val-d'Or plutôt que de payer aux gagnants l'autobus et une couple de jours de travail pour qu'ils leur montrent où ils avaient été trouvés. Ces mêmes géologues des grandes sociétés ont ensuite traité les petits prospecteurs de menteurs et de tricheurs quand ils ne surent pas retracer les erratiques. Je doute que beaucoup d'entre vous agissiez de cette façon mais nous essayons tous de payer le minimum absolu à un prospecteur qui a découvert un vrai indice de peur de nous faire critiquer par les administrateurs de nos sociétés. Nous pensons que l'importance des prospecteurs est de nouveau reconnue en Colombie-Britannique et, tout au moins en principe, au bureau chef de la plupart des sociétés, mais je n'ai pas entendu récemment au Québec de vrai prospecteur qui aurait découvert un nouvel indice recevoir une

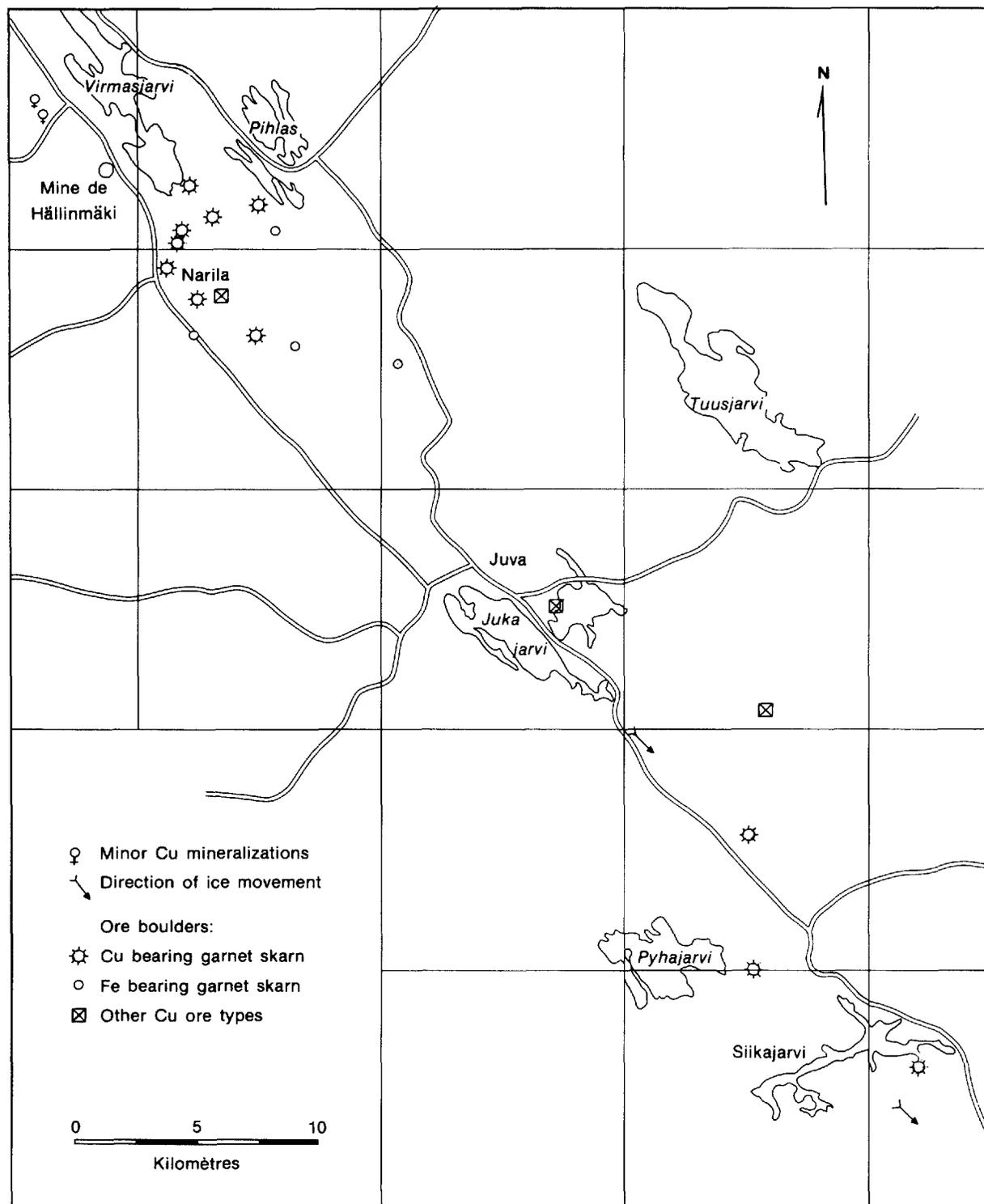


FIGURE 4 - Les erratiques de Hällinmäki.

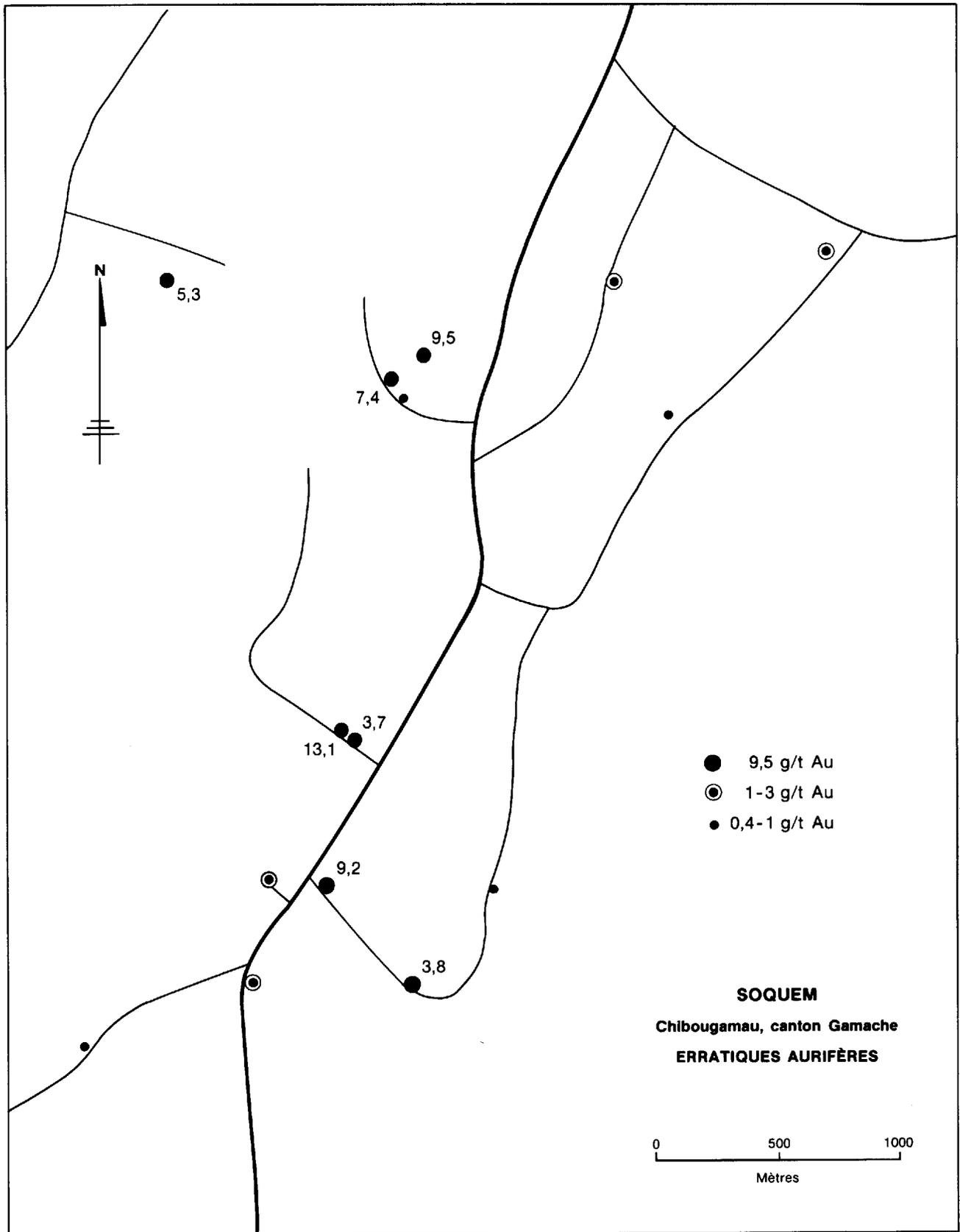


FIGURE 5 - Les erratiques de SOQUEM à Chibougamau.

premier paiement décent. On lui offre souvent une royauté, un intérêt, mais jamais de comptant et pourtant c'est la seule chose qui le motiverait vraiment à récidiver.

Le quatrième souhait me concerne. J'aimerais que des individus ou compagnies croient à la possibilité de trouver des mines de la façon simple que je prône. Nos tapis prospecteurs sont disponibles pour location ou achat et nous pouvons même effectuer des levés pour ceux qui le désirent. Par exemple, en une semaine, une certaine société a découvert cinq erratiques et quatre affleurements de sulfures avec le tapis, dont un contenait 0,02 once d'or à la tonne. Malgré ces résultats, cette société n'a pas les fonds pour continuer les levés. Je me sens comme un prospecteur qui a peur d'être une espèce en voie de disparition.

SAURAMO M. – Tracing of glacial boulder and its application in prospecting ; Commission Géologique de Finlande, no. 67, mars 1924.

Références

- DILABIO, R.N.W. – Glacial dispersal of rocks and minerals at the South end of Lac Mistassini, Quebec, with special reference to the Icon dispersal train ; Geological Survey of Canada, bulletin 323, 1981.
- GAMMON, J.B. – Exploration of the Windy Craggy, massive sulfides deposit, Northwestern BC, Canada : T.E. Chandler, in press Special publication, IMM, London, 1985.
- GAUCHER, E. – Stop Screening and Start Drilling ; The Canadian Mining and Metallurgical, January 1975.
- Estimation of sulphide content of a potential orebody from surface observations and its role in optimising exploration programmes ; chapter in Developments in Geophysical Exploration Methods-4, published by Applied Science Publishers Ltds., England, 1983).
- Rapport d'exploration minière sur un indice de baryte pour travaux statutaires, 1984.
- GLOBENSKY, Y. – Région de Huntington, RG-198, MER, 1975.
- HOLMENIUK, L.A. – BONNAR, R. – The Fond du Lac Deposit, Eldorado Nuclear Limited ; CIMM Convention, Paper #91, 1980.
- LE DEVOIR, 5 septembre 1985.
- PATERSON, N.R. – BOSSCHART, R., MISENER, D.J. and WATSON, R.K., Geophysical Prospecting for Uranium in the Athabasca Basin ; Canadian Mining Journal, April 1979, p. 32.
- PODOLSKY, G., Vice-Président – Recherche et Développement, Kidd Creek Mines Ltd., conférence présentée au SEG, octobre 1975.
- SALTIKOFF, B. – Boulder tracing and the mineral indication data bank in Finland ; Geophysical Survey of Finland, Espoo, Finland, p. 184.



PARTIE D

AIDE TECHNIQUE À LA RECHERCHE GÉOCHIMIQUE



Informatisation en analyse géochimique

Jean Guimont, chim.⁽¹⁾

1. Jean Guimont, chef du service de la Chimie au Centre de Recherches minérales du MER

Résumé

Depuis une quinzaine d'années maintenant, la géochimie a gagné ses galons parmi les diverses sciences de la terre. L'évolution dans le domaine de l'analyse des éléments traces n'est certes pas étrangère à l'évolution même de la géochimie.

De tous les "types" de géologue, le géochimiste est sans doute celui qui s'est le plus intéressé aux diverses caractéristiques des méthodes d'analyse.

Depuis longtemps, les mots exactitude, précision, écart et limite de détection font partie de son vocabulaire quotidien. N'importe lequel de ces termes aurait d'ailleurs pu faire l'objet de ma présentation d'aujourd'hui. J'ai cependant préféré vous raconter une histoire, celle du développement d'un système analytique complètement informatisé que nous avons développé au Centre de recherches minérales. Ce système, tout spécialement dédié aux travaux de géochimie, a subi une évolution que nous pouvons qualifier, je crois, de normale dans le sens que le cheminement poursuivi a été semblable à celui de beaucoup d'autres développements technologiques à défaut d'avoir été le fruit d'une planification exemplaire.

Comme vous le savez tous, le service de Géochimie/Géophysique du MER prélève annuellement des milliers d'échantillons de sols ou de sédiments de divers types. Afin de satisfaire l'insatiable soif de données analytiques des divers spécialistes de ce groupe, il a été convenu en 1979 de faire l'acquisition d'un spectromètre d'émission atomique à plasma (SEAP), appareil qui faisait à ce moment sa grande sortie sur le marché. Quelques mois plus tard, soit en mars 1980, l'appareil est disponible et on se met immédiatement à la tâche pour développer un procédé visant à doser simultanément 32 éléments dans des échantillons de sols ou de sédiments. Cette étude a, entre autres, nécessité dans un premier temps la vérification d'environ 1500 cas d'interférences interéléments puis subséquemment l'étude approfondie d'environ 400 cas pour finalement aboutir à un programme assorti de 85 corrections d'interférences interéléments. Il faut noter ici que tout ce travail de "moine" qui avait dû à l'époque être exécuté à la "mitaine" peut maintenant être effectué automatiquement en beaucoup moins de temps grâce aux développements informatiques au niveau des ordinateurs dont sont dotés ces instruments analytiques.

A peine les travaux de développement étaient-ils commencés que nous étions déjà confrontés à notre premier

problème majeur. L'appareil allait nous fournir, tous les jours, 3200 résultats. Ces résultats, il nous faudrait les transcrire manuellement sur des formulaires appropriés qui allaient plus tard servir au poinçonnage des données sur cartes informatiques. Les coûts de ces retranscriptions, aussi bien en main-d'oeuvre qu'en erreurs, nous apparurent trop élevés. Aussi, parallèlement au développement analytique, nous avons amorcé la première phase du développement informatisé (Fig. 1). Dans cette phase, on ajoutait un ordinateur qui devait remplir plusieurs fonctions :

- saisie ;
- épuration ;
- prise en charge des unités ;
- prise en charge des limites de détection ;
- prise en charge des chiffres significatifs ;
- stockage de données ;
- modification des formats pour les rendre compatibles à un gros ordinateur IBM ;
- Enregistrement sur disquettes de résultats directement accessibles à la banque de données géochimiques du Québec BADGEQ.

Le succès de cette première initiative dans le domaine de l'informatique entraîna immédiatement la mise en place d'une seconde phase qui visait à interfacer au système déjà existant divers appareils servant à l'analyse d'autres éléments tels que Hg, U, As, etc. (Fig. 2).

Malheureusement, cette charge additionnelle était trop lourde pour les capacités de notre ordinateur qui ne suffisait plus à effectuer des transferts de données et à être à l'écoute du SEAP. La troisième phase (Fig. 3) eut donc pour but de libérer le premier ordinateur et ainsi lui permettre à nouveau d'être à l'écoute du spectromètre à temps plein.

Actuellement, le local où est situé le système ressemble beaucoup plus à une salle de télévision qu'à un laboratoire d'analyse et, quoique désolant pour les vieux chimistes, nous croyons que c'est très bien ainsi. En terminant, je veux simplement mentionner que nous sommes actuellement en train de terminer la quatrième et "dernière" phase qui consiste à transférer les données par modem, ce qui nous épargnera le transport de disquettes et réduira d'une journée la transmission des données.

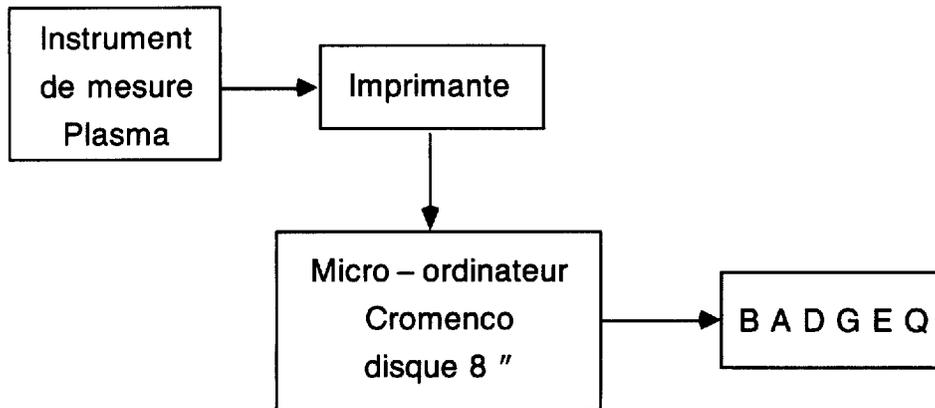


FIGURE 1 - Première phase du développement informatisé.

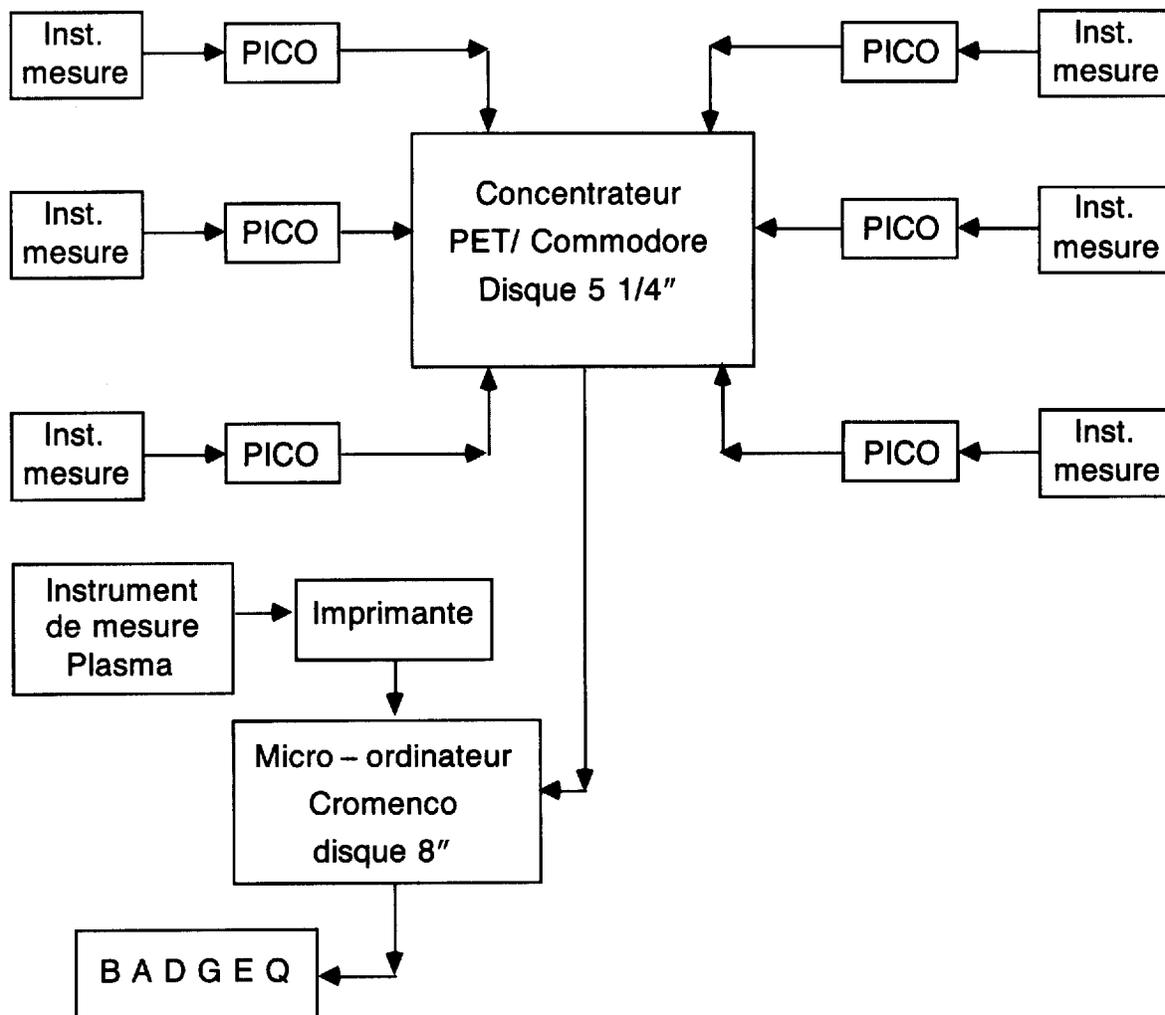


FIGURE 2 - Seconde phase du développement informatisé.

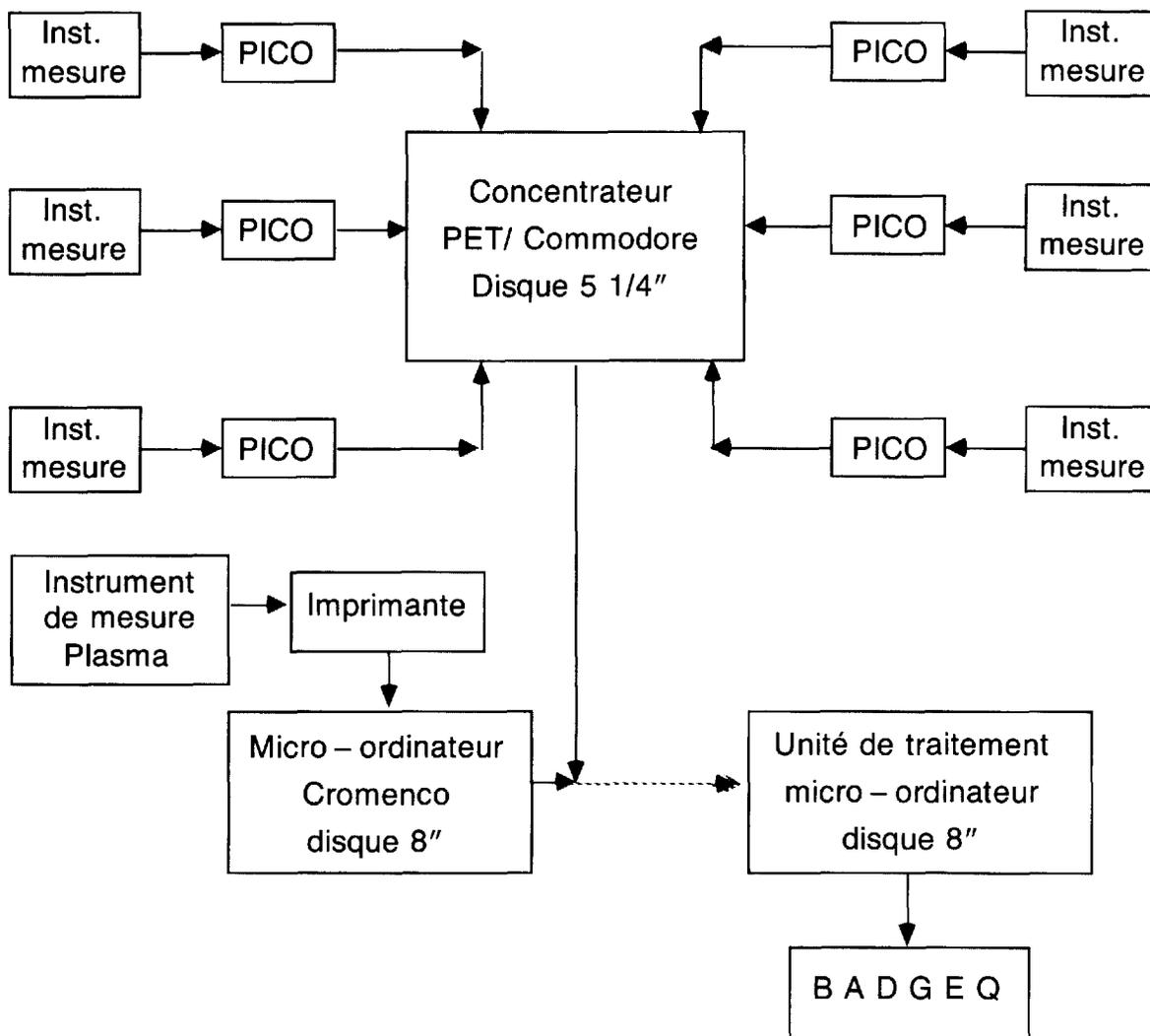


FIGURE 3 - Troisième phase du développement informatisé.



Interprétation sommaire des résultats d'un levé géochimique de minéraux lourds en Estrie, Québec

Y.T. Maurice⁽¹⁾

1. Commission géologique du Canada, Ottawa

Introduction

Ce texte décrit les résultats analytiques du levé géochimique des minéraux lourds dont l'aspect technique est présenté dans l'article par Maurice et Mercier dans ce volume.

Le projet, entrepris par la Commission géologique du Canada,⁽²⁾ en 1984, visait d'une part la mise au point d'une méthode rapide et efficace d'échantillonner les minéraux lourds alluvionnaires et d'autre part, la représentation sur carte des distributions de plusieurs métaux à l'échelle régionale. On prévoyait que celle-ci mettrait en évidence de nouvelles cibles d'exploration susceptibles d'intéresser les compagnies minières. Dans le cas de l'or, on espérait recueillir des données qui possiblement aideraient à expliquer l'origine des placers aurifères de la région.

Les travaux d'échantillonnage ont été répartis sur deux années consécutives. La figure 1 montre l'étendue des régions couvertes au cours de chacune des campagnes de 1984 et de 1985. L'ensemble des résultats de la campagne de 1984 fait l'objet d'un rapport de la Commission géologique du Canada (Maurice et Mercier, 1985a).

Le présent article se limite aussi aux résultats de la campagne de 1984, ceux de 1985 n'étant pas disponibles au moment de sa rédaction.

Note sur les concentrations

Nous croyons opportun de souligner au lecteur que les concentrations d'éléments figurant dans le texte et les figures de cet article représentent des concentrations dans des concentrés de minéraux lourds et que nous n'avons pas tenté de recalculer les teneurs dans le volume de sédiments originaux. Tel qu'indiqué dans l'article sur les procédures (Maurice et Mercier, 1985b) ces concentrations sont de l'ordre de 10^3 à 10^4 fois plus élevées qu'elles le seraient dans les sédiments alluvionnaires originaux. Cette façon de procéder possède l'avantage d'éliminer les variations dues uniquement à des différences dans l'abondance des minéraux lourds dans les sédiments des ruisseaux causées en partie par les courants tourbillonnaires.

2. Projet faisant partie des Mesures fédérales relatives à l'amianté.

Ces variations nuisent lorsqu'on tente de comparer les valeurs d'un site à l'autre.

Caractéristiques des levés géochimiques de minéraux lourds

L'analyse de concentrés de minéraux lourds permet de mettre en évidence des anomalies et des dispersions de certains éléments qui autrement ne seraient pas détectées à cause des teneurs trop faibles dans les sédiments de ruisseaux. L'analyse des minéraux lourds fait aussi ressortir les dispersions détritiques en éliminant des échantillons, les espèces susceptibles d'être enrichies par l'absorption d'ions métalliques (e.g. minéraux argileux, matière organique, etc). Ceci a une importance particulière pour les éléments mobiles comme le cuivre, le zinc, le plomb, etc., qui existent dans les sédiments de ruisseaux surtout sous forme absorbée. Lorsqu'on les trouve sous forme de minéraux détritiques (e.g. grains de sulfures), même en concentrations faibles, ceci peut être une indication convaincante de l'existence d'une source minéralisée.

La méthode d'échantillonnage utilisée pour ce projet peut être perçue comme une façon commode d'échantillonner les dépôts glaciaires. Ce sont des dépôts, et non pas la roche sous-jacente, qui constituent la principale source des minéraux lourds que l'on ramasse dans les ruisseaux. De plus, à l'échelle de nos travaux, il semble y avoir très peu de transport alluvionnaire des minéraux lourds. Par exemple, lorsqu'un segment d'un cours d'eau principal est enrichi en un certain minéral lourd provoquant une anomalie géochimique, on remarque que les tributaires de ce cours d'eau dans le même secteur sont souvent eux aussi anormaux. Cette situation ne pourrait pas résulter du transport alluvionnaire des minéraux le long du cours d'eau principal à partir d'une source distante. La forme bidimensionnelle de l'anomalie exige qu'il y ait un enrichissement des matériaux au travers desquels coulent les ruisseaux. On remarque également très peu d'usure et d'arrondissement des grains de minéraux lourds de nos échantillons lorsqu'on les examine au microscope binoculaire. Ceci apporte une preuve additionnelle au concept que les anomalies de minéraux lourds alluvionnaires sont façonnées surtout par des processus reliés à la glaciation.

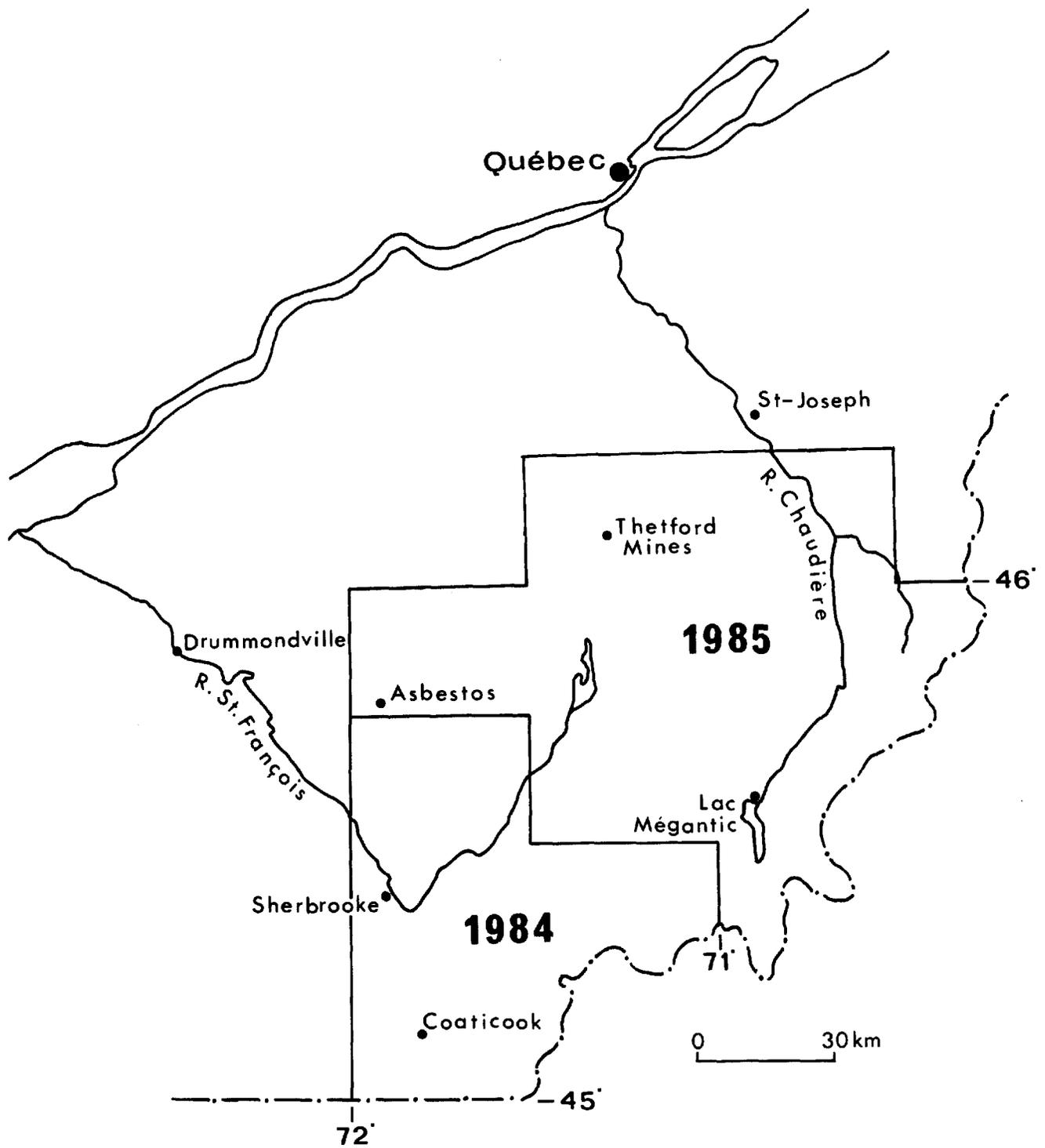


FIGURE 1 - Régions échantillonnées en 1984 et en 1985.

Le rôle de la glaciation comme mécanisme de dispersion

L'importance des phénomènes glaciaires comme mécanisme de dispersion géochimique dans le sud du Québec a été bien documentée dans les publications par Shilts (1973, 1974, 1975, 1976, 1984) Rencz et Shilts (1980) et McDonald et Shilts (1971). Ces articles décrivent entre autres des travaux effectués dans les régions de Thetford Mines et du Lac Mégantic et montrent des traînées de blocs erratiques, de minéraux et d'anomalies géochimiques s'étendant sur des distances de l'ordre d'une cinquantaine de kilomètres de leurs sources. Ces traînées sont orientées en général vers le sud-est, direction qui est reconnue comme celle prédominante du transport glaciaire dans la région.

Nos données sur les dispersions des minéraux lourds dans la région étudiée en 1984 corroborent pleinement les observations antérieures. La figure 2 montre la dispersion du chrome dont la source est la bande de serpentine située au nord et nord-ouest de la région étudiée. On note une teneur de fond uniformément élevée, entre 5% et 10% Cr, affectant l'ensemble de la région. On note également une traînée de valeurs beaucoup plus basses (< 1% Cr) orientée vers le sud-est à l'ombre du mont Mégantic résultant probablement de la dilution du chrome par des minéraux provenant des roches intrusives. Cette traînée est très riche en magnétite et un examen au binoculaire de la fraction non-magnétique révèle une forte concentration d'ilménite parsemée de gros zircons hyalins. On note un enrichissement en niobium le long de la même traînée (voir Maurice et Mercier, 1985a).

La figure 2 montre aussi une zone à basses teneurs en chrome au sud du mont Hereford et une autre près de la bande de serpentine au nord de la région. Cette dernière représente vraisemblablement une zone recouverte de dépôts quaternaires composés surtout de débris des roches provenant des formations au nord de la bande de serpentine et relativement pauvres en chrome. La crête de hautes teneurs en chrome (> 10% Cr) orientée nord-est/sud-ouest dans la partie centrale de la région correspond à la position d'un front glaciaire (McDonald, 1969). La chromite se serait accumulée par un effet de "convoyeur" durant la phase de retrait du glacier.

Dispersion des éléments mobiles

Les échantillons de minéraux lourds ont été analysés pour un certain nombre de métaux mobiles (Cu, Pb, Zn, Ni, Mo, Bi, As, Sb, Ag) qui se retrouvent généralement sous forme de sulfures, lesquels s'oxydent plus ou moins rapidement en contact avec l'atmosphère. On retrouve néanmoins des grains de ces sulfures et de pyrite dans les ruisseaux. Ils proviennent de la partie non-oxydée des dépôts glaciaires et dans les ruisseaux, on les retrouve

souvent en grains très frais dans de l'argile qui les isole et retarde leur oxydation.

La pyrite, très souvent en cubes, est présente dans une bonne proportion des échantillons de minéraux lourds de l'Estrie. Elle peut être extrêmement fraîche lorsqu'elle a été récupérée dans de l'argile ou oxydée totalement ou en partie si elle provient des sédiments plus grossiers. Même oxydée elle conserve sa forme cubique.

Les sulfures oxydés des métaux mobiles peuvent se retrouver avec les minéraux lourds sous forme de grains de goethite ou d'autres minéraux secondaires qui ont pu conserver une partie des métaux qui constituaient les sulfures originaux. Toutefois, ces minéraux résistent difficilement à l'abrasion et se transforment assez rapidement en une poudre non-récupérable par les méthodes d'échantillonnage utilisées.

La figure 3 montre la dispersion du cuivre. On note une traînée orientée parallèlement à la direction d'écoulement glaciaire et qui semble prendre source dans la région des gisements de sulfures au sud de Sherbrooke. Le zinc, le plomb et l'argent montrent également des traînées semblables à partir de ces gisements (Maurice et Mercier, 1985a) lesquels, selon Harron (1976), renferment de la pyrite massive, de la chalcoppyrite, de la sphalérite, de la galène, de la barytine, de la tétrahédrite-tennantite, de la pyrrhotine, de l'arsénopyrite, des tellurures et des quantités récupérables d'or et d'argent. Nos résultats montrent de faibles enrichissements à la source en bismuth, en antimoine, et en molybdène mais ces éléments ne forment pas de traînées détectables.

Les autres anomalies en cuivre localisées à plusieurs endroits fond probablement aussi partie de traînées glaciaires plus ou moins évidentes.

Distribution de l'or

L'or se retrouve en quantité mesurable (> 0,01 ppm) dans 85% des échantillons de minéraux lourds prélevés en 1984. Dans vingt-sept de ces échantillons, les particules d'or natif étaient suffisamment grosses pour être aperçues dans la drague à sluice ou au laboratoire durant la préparation des concentrés. Des études sont en cours à la Commission géologique pour déterminer si l'or dans les échantillons se trouve toujours sous forme de particules d'élément natif libres ou si d'autres minéraux comme la pyrite contribuent à la teneur en or.

La figure 4 montre la distribution de l'or dans la région échantillonnée en 1984. Dans les bassins des rivières Coaticook, Moe et Ascot, on remarque une traînée d'or qui est orientée de la même façon et qui coïncide largement avec les traînées glaciaires des éléments mobiles qu'on a interprété comme provenant des gisements de sulfures au sud de Sherbrooke. Ceci porte à croire que ces mêmes gisements, qui sont aurifères (Harron, 1976), sont aussi la source d'un enrichissement en or des tills des bassins de ces rivières. La destruction ou un lessivage

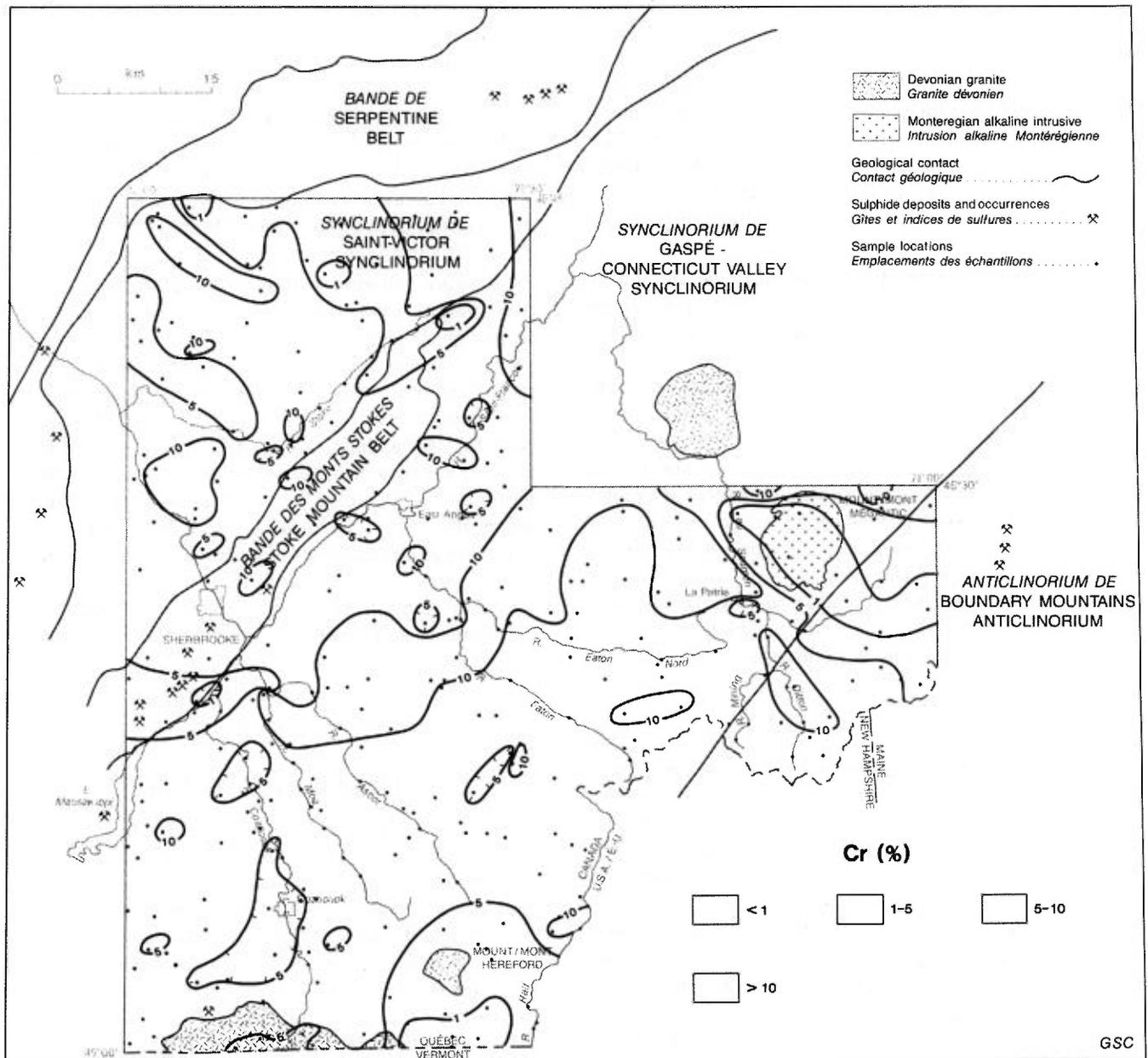


FIGURE 2 - Dispersion du chrome.

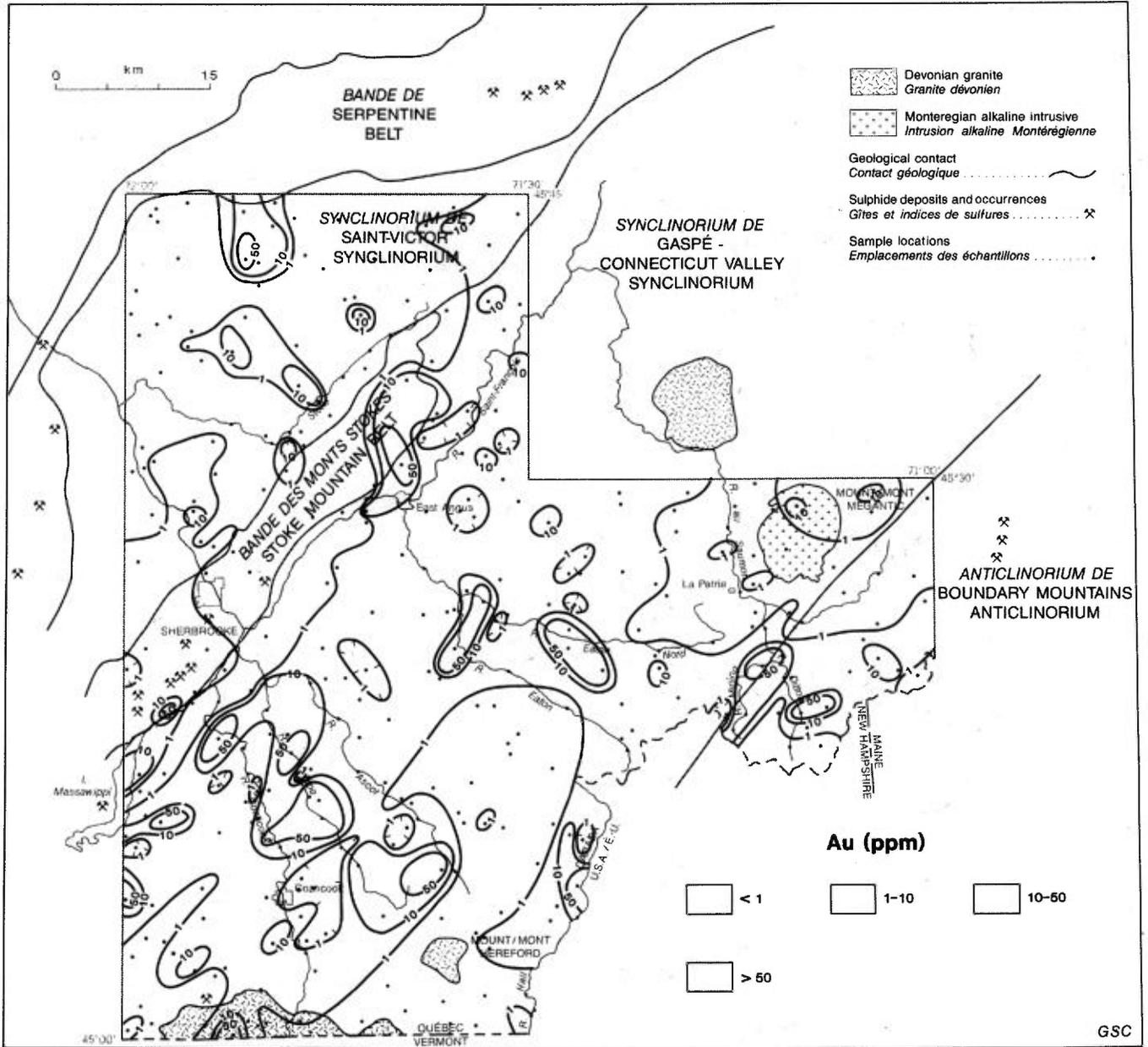


FIGURE 4 - Dispersion de l'or.

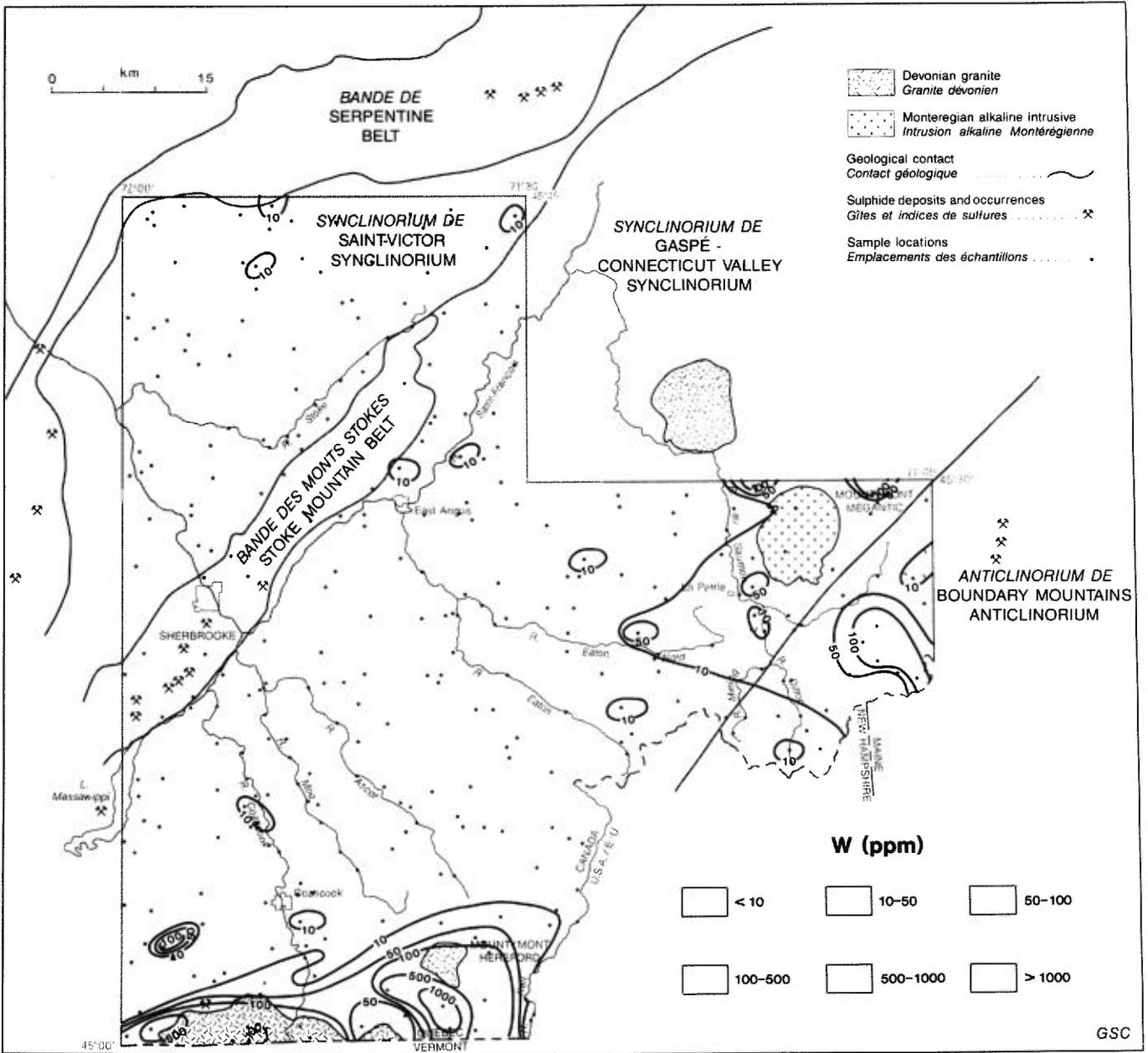


FIGURE 5 - Dispersion du tungstène.

des matériaux aurifères aurait par la suite libéré l'or qui se serait aggloméré en particules de métal natif que l'on retrouve aujourd'hui dans les cours d'eau. Les travaux de McDonald (1966), qui rapporte avoir trouvé des fines particules d'or angulaires dans la partie oxydée des tills de la même région, suggèrent que ces processus ont lieu au moins en partie dans les tills.

Il est intéressant de noter qu'avec les méthodes d'échantillonnage et de concentration des minéraux lourds utilisées pour ce projet, on est parvenu à retracer à peu près tous les placers d'or connus dans la région (Chalmers, 1898, McGerrigle, 1935, Boyle, 1979, La-Salle, 1980). D'autres anomalies en or, d'intensité semblable à celles reliées aux placers connus, ont été détectées à des endroits où de l'or alluvionnaire n'avait pas été rapporté auparavant. C'est le cas des anomalies situées au nord-ouest des monts Stokes et au sud-est du lac Massawippi. Ces anomalies semblent faire partie de traînées orientées aussi parallèlement à la direction d'écoulement glaciaire.

La traînée qui relie des anomalies le long des rivières Eaton et Eaton-Nord à celles situées au nord-ouest des monts Stokes, semble débiter au nord de la région échantillonnée en 1984. La découverte de particules d'or dans les échantillons de 1985 indique que cette traînée se poursuit vers le nord-ouest au-delà de la bande de serpentine.

Cette traînée mesure plus de 60 km de long et possiblement davantage si on considère que les placers du ruisseau Mining et de la rivière Ditton pourraient aussi en faire partie en supposant une déviation des glaciers vers l'est à l'approche des hautes terres le long de la frontière internationale.

Outre les anomalies faisant partie des traînées glaciaires décrites précédemment, on note des valeurs de fond en or uniformément élevées (de 1 à 10 ppm) au sud-est de la bande des monts Stokes et appréciablement plus basses (< 1 ppm) au nord-ouest de celle-ci. Des études sont en cours pour déterminer si ces différences sont reliées au caractère géochimique des roches des synclinoriums de Saint-Victor et de Gaspé-Connecticut Valley ou à un apport vers le sud-est de détritiques plus aurifères en provenance des monts Stokes.

Les anomalies de tungstène

Le tungstène forme une anomalie spectaculaire dans la région du granite de Stanhope et du mont Hereford (figure 5). Le contour de 10 ppm W correspond à peu près à la limite de l'auréole de métamorphisme thermique autour des intrusifs. La zone immédiatement au sud du mont Hereford a possiblement été protégée de la glaciation, tel que le suggèrent les basses valeurs en chrome dans ce secteur, ce qui a pu contribuer aux concentrations très élevées en tungstène par rapport au reste de l'anomalie. Nous recommandons néanmoins que cette

zone soit examinée en détail pour des gisements de tungstène.

Les minéraux lourds dans ce secteur, comme ailleurs autour des granites, contiennent un bon nombre de gros grains angulaires de scheelite fluorescente associés à des cristaux de grenat euhédriques remarquablement bien conservés et de l'ilménite en plaquette. A un endroit, près de la rivière Coaticook, on a remarqué au microscope une forte concentration de cristaux de monazite.

Dans un échantillon prélevé dans la décharge du lac Wallace, sur la frontière internationale, qui est anomal en étain, en plomb et en antimoine, on a observé quelques grains de cassitérite et d'un minéral d'antimoine et plomb non identifié.

Dans le secteur du mont Mégantic, le tungstène est également sous forme de scheelite. Les anomalies semblent faire partie de traînées glaciaires quoiqu'il ne soit pas exclu que l'enrichissement au sud-est du mont Mégantic proviennent des roches locales. La déviation vers l'ouest de l'anomalie près de La Patrie peut avoir résulté d'un mouvement des glaciers vers le sud-ouest antérieur à la dernière glaciation (McDonald et Shilts, 1971). Le granite de Scotstown pourrait être la source de tungstène dans cette région.

Références

- BOYLE, R.W., 1979 – The geochemistry of gold and its deposits. Geological Survey of Canada, bulletin 280, 584 p.
- CHALMERS, R., 1898 – Report on the surface geology and auriferous deposits of south-eastern Quebec; Geological Survey of Canada, Annual Report, new series volume 10, rep. J, 160 p.
- HARRON, G.H., 1976 – Métallogénèse des gîtes de sulfures des Cantons de l'est. Ministère des Richesses Naturelles du Québec, rapport ES-27, 42 p.
- LASALLE, P., 1980 – L'or dans les sédiments meubles – formation des placers, extraction et occurrences dans le sud-est du Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources, DPV-745, 26 p.
- MAURICE, Y.T. – MERCIER, M., 1985a – Méthode d'échantillonnage et résultats d'un levé géochimique de minéraux lourds en Estrie, Québec (21E3, 4, 5, 6, 12) Commission géologique du Canada, Dossier Public 1145.
- 1985b – Procédure d'échantillonnage des minéraux lourds alluvionnaires au moyen de concentrateurs mécaniques. Ce volume.
- MCDONALD, B.C., 1966 – Auriferous till in the Eastern Townships, southeastern Quebec, Geological Survey of Canada, Paper 66-2, p. 51-53.
- 1969 – Surficial geology of La Patrie – Sherbrooke area, Quebec, including Eaton River watershed. Geological Survey of Canada, Paper 67-52, 21 p.

- McDONALD, B.C. – SHILTS, W.W., 1971 – Quaternary stratigraphy and events in southeastern Quebec. Geological Society of America Bulletin, volume 82, p. 683-698.
- McGERRIGLE, H.W., 1935 – Mount Megantic area, southeastern Quebec, and its placer gold deposits. Quebec Bureau of Mines, Annual Report, Part D, p. 63-104.
- RENCZ, A.N. – SHILTS, W.W., 1980 – Nickel in soils and vegetation of glaciated terrains. In : Nickel in the Environment, J.O. Nriagu (ed.), John Wiley & Sons, Inc.
- SHILTS, W.W., 1973 – Glacial dispersal of rocks, minerals and trace elements in Wisconsinian till, southeastern Quebec, Canada. Geological Society of America, Memoir 136, p. 189-219.
- 1974 – The wealth the glaciers left behind. GEOS, Energy, Mines and Resources, Canada, p. 8-9.
- 1975 – Principles of geochemical exploration for sulphide deposits using shallow samples of glacial drift. Canadian Mining and Metallurgical Bulletin, volume 68, No 757, p. 73-80.
- 1976 – Glacial till and mineral exploration. In : Glacial Till, R.F. Legget (Ed.), Royal Society of Canada, special publication 12, p. 205-223.
- 1984 – Till geochemistry in Finland and Canada Journal of Geochemical Exploration, volume 21, p. 95-117.



Procédure d'échantillonnage des minéraux lourds alluvionnaires au moyen de concentrateurs mécaniques

Y.T. Maurice⁽¹⁾ et M. Mercier⁽²⁾

1. Commission géologique du Canada, Ottawa, Ontario

2. GEOREX, Sherbrooke, Québec

Introduction

En 1984, la Commission géologique du Canada entreprenait un levé géochimique des minéraux lourds à l'échelle régionale en Estrie afin d'obtenir des données sur la distribution de plusieurs métaux à caractère économique dont l'or. Les travaux se sont poursuivis en 1985 dans la région de la Beauce et au total, près de 13000 km² ont été échantillonnés systématiquement. Les données analytiques et l'interprétation d'une partie des résultats sont présentées dans d'autres rapports (Maurice et Mercier, 1985, MAURICE, 1985).

L'étude est fondée principalement sur l'analyse chimique de concentrés de minéraux lourds plutôt que sur l'identification des espèces minérales. Ceci permet d'obtenir des mesures quantitatives pouvant être représentées sur des cartes à contours isoteneurs. La méthode exige qu'à chaque site soit récoltée une quantité suffisante de minéraux lourds pour permettre plusieurs analyses chimiques et un examen au microscope. On requiert des échantillons ayant un minimum de cinq grammes de minéraux lourds non-magnétiques, de granulométrie inférieure à 0,85 mm. On préfère toutefois des échantillons de trente à quarante grammes.

Densité d'échantillonnage et sélection des sites

L'unité de travail est la carte topographique au 1/50 000. Chacune des cartes est divisée en cellules de 25 km² en se servant du quadrillage UTM inscrit sur les cartes. En 1984 on sélectionnait un site de prélèvement par cellule en fonction de deux critères : l'accessibilité du site, généralement à un croisement ruisseau-route et la superficie du bassin de drainage en amont du site de prélèvement qui, de préférence, représentait une surface équivalente à celle de la cellule. Lorsqu'un cours d'eau d'ordre supérieur à celui choisi traversait la cellule, on prélevait un échantillon supplémentaire sur ce dernier. Dans 25% des cellules, on a adopté un modèle d'échantillonnage permettant d'évaluer la variance géochimique à différents niveaux par la méthode proposée par Garrett et Goss (1980). Dans les cellules choisies pour cette étude, deux cours d'eau appartenant à deux bassins de drainage différents étaient sélectionnés. Sur l'un d'eux,

un échantillon était prélevé normalement. Sur l'autre, on en prélevait trois : deux au même site et le troisième, à environ 1 km des deux autres. En 1984, on recueillait également à chaque site un échantillon de silt qu'on devait faire analyser tel quel afin de comparer les résultats avec ceux des minéraux lourds.

En 1985, deux sites par cellule de 25 km² étaient sélectionnés selon les mêmes critères d'accessibilité et de représentativité des bassins de drainage qu'en 1984. Dans certaines cellules peu accessibles, on pouvait sélectionner seulement un site ou aucun ; toutefois, pour maintenir une densité d'échantillonnage d'un échantillon par 12,5 km², on ajoutait des sites aux cellules plus accessibles. Ni les silts, ni les cours d'eau d'ordre supérieur ne furent échantillonnés en 1985, les résultats de 1984 ayant démontré qu'il n'était pas utile de le faire. L'étude de la variance géochimique a été discontinuée en 1985.

Prélèvement des échantillons et préparation des concentrés

Pour obtenir une quantité suffisante de minéraux lourds, il est nécessaire de traiter un volume important d'alluvions. Il est également essentiel que l'échantillonnage s'effectue assez rapidement pour permettre le prélèvement d'un certain nombre d'échantillons par jour. La méthode traditionnelle à la batée a été jugée trop lente et trop pénible pour qu'on l'utilise à ce projet.

Une nouvelle technique a été mise au point pour le projet de l'Estrie ; elle comporte deux étapes :

1. on obtient d'abord un préconcentré de minéraux lourds sur le site d'échantillonnage au moyen d'une drague à sluice, et
2. on produit ensuite un concentré final en laboratoire en se servant d'un séparateur à spirales.

Echantillonnage avec la drague à sluice

Différents modèles de dragues à sluice sont disponibles commercialement. Celle employée en Estrie (Fig. 1) est équipée d'un sluice mesurant 25 x 132 cm, d'une pompe à eau centrifuge d'une capacité de 500 litres par minute, d'un moteur à essence de 3cv, de tuyaux d'aspiration et de pression, et d'une chambre à air de camion servant à soutenir et à faire flotter l'appareil. Son poids assemblé est de 32 kg.



FIGURE 1 - Drague à sluice.

La drague fonctionne de la façon suivante : le moteur à essence actionne la pompe centrifuge qui fait circuler un jet d'eau à grande vitesse à l'intérieur d'une buse attachée à l'extrémité du tube d'aspiration. Par le principe de Venturi, il se crée un vide au niveau de la buse ce qui permet d'aspirer les sédiments du fond du ruisseau. Le mélange d'eau et de sédiments est acheminé dans le sluice où sont retenus les minéraux lourds.

La drague à sluice permet non seulement de traiter un volume important de gravier dans un temps relativement court, elle permet aussi, en vertu de son fonctionnement par succion, d'échantillonner sous l'eau les couches inférieures de sédiments, ce qui augmente les chances de récolter des particules de métaux précieux et d'autres minéraux très denses s'ils sont présents.

A chaque site, le lieu de prélèvement est choisi en tenant compte des sources possibles de contamination, des particularités du lit du cours d'eau pouvant influencer la concentration des minéraux lourds, et de la profondeur de l'eau. Lorsque l'opération de dragage est terminée, une série de manoeuvres est exécutée (tamisage, lavage, etc) pour ensacher le préconcentré. On doit s'assurer que tous les grains de sable sont enlevés des différentes parties de la drague afin d'éviter de contaminer les échantillons suivants.

La quantité de préconcentré obtenue est assez constante, environ 4 à 5 kg, ce qui correspond à peu près à la capacité des riffles du sluice. Toutefois, la concentration de minéraux lourds dans le préconcentré est très variable et est fonction du volume de gravier traité à la drague, des caractéristiques hydrauliques du cours d'eau au site de prélèvement, et de la nature et composition des roches et des dépôts meubles de la région. En ce qui a trait au volume de gravier traité, le manufacturier de la drague maintient que la capacité de celle-ci est de 1.5 à 3.0 m³ à l'heure. En pratique toutefois, le taux d'aspiration est de beaucoup inférieur à celui rapporté par le manufacturier et varie avec la nature des sédiments (présence de gros blocs, d'argile, leur degré de compaction, etc.), la fréquence de blocage de la buse ou du tuyau d'aspiration, la profondeur et la vitesse d'écoulement de l'eau, etc. En fixant le temps de dragage à une demi-heure, on obtient en général suffisamment de minéraux lourds pour satisfaire aux besoins du projet. On estime que l'on traite en moyenne près de 0.2 m³ de gravier durant cet espace de temps, soit environ 250 à 300 kg.

Préparation des concentrés

A partir des préconcentrés provenant de la drague à sluice, on doit préparer des concentrés purs de minéraux lourds. La figure 2 montre les différentes étapes à suivre dans la préparation de ces concentrés.

En vertu de la masse, de 4 à 5 kg, les préconcentrés se prêtent mal au traitement par les liqueurs lourdes. Par

contre, l'emploi d'un séparateur à spirales permet d'effectuer le travail efficacement et économiquement.

Le séparateur à spirales (Fig. 3) est composé d'une cuvette circulaire munie d'un orifice central où convergent quatre rampes de caoutchouc disposées en spirale, d'un récipient en plastique placé derrière la cuvette pour recueillir les minéraux lourds, d'un tuyau perforé muni d'un robinet placé radialement devant la cuvette duquel s'échappent des jets d'eau, d'un réceptacle pour recueillir l'excès d'eau et les minéraux légers, d'une pompe à eau rattachée au tuyau perforé, et d'un moteur électrique. Le tout est assemblé sur un châssis métallique triangulaire muni d'un dispositif permettant l'ajustement de l'angle d'inclinaison de la cuvette circulaire. Plusieurs modèles existent ; celui utilisé en Estrie est équipé d'un moteur à courant continu de 12V et la cuvette a un diamètre de 47,5 cm.

Le moteur électrique fait tourner la cuvette, dans laquelle est introduit l'échantillon, à une vitesse d'environ 25 tours par minute ; ceci entraîne les minéraux le long des rampes vers l'orifice central. L'action simultanée des jets d'eau interrompt la montée des minéraux légers qui sont entraînés par le courant vers le bas de la cuvette. Seulement les minéraux lourds réussissent à atteindre l'orifice central par lequel ils passent pour tomber dans le petit récipient de plastique derrière l'appareil. La séparation se fait par ordre décroissant des densités des minéraux : les particules d'or sont extraites au début. Ensuite viennent les oxydes noirs et les sulfures, suivis des silicates comme les grenats et les pyroxènes. Certains minéraux tels que la goéthite et la pyrite limonitisée sont récupérés plus tard dans la séquence en raison de leur porosité élevée qui réduit leur densité. Il est important de suivre le progrès de la séparation à l'aide d'un microscope binoculaire pour décider à quel moment arrêter l'appareil lorsque la récupération des minéraux lourds voulus est terminée. Le passage du grenat indique généralement l'épuisement des minéraux lourds utiles et on arrête l'appareil vers la fin de sa montée.

Les opérations subséquentes (Fig. 2) consistent à égoutter et à faire sécher les minéraux lourds, à les tamiser, à en extraire la magnétite et à diviser la fraction non-magnétique en deux portions égales, l'une pour l'analyse chimique et l'autre pour être conservée comme référence pouvant servir à des études minéralogiques éventuelles.

La figure 4 montre les résultats d'analyses granulométriques de quatre concentrés de minéraux lourds obtenus à partir de préconcentrés de la drague à sluice traités au séparateur à spirales. La figure 5 donne la répartition des masses totales et non-magnétiques de 361 échantillons de concentré représentant la première moitié des travaux de 1985. Sur cette dernière, on remarque que les masses des concentrés varient beaucoup. A noter que les médianes (qui séparent le nombre d'échantillons en deux parties égales) se situent à 70 g et 50 g pour les masses totales et non-magnétiques respectivement. Il s'agit dans les deux

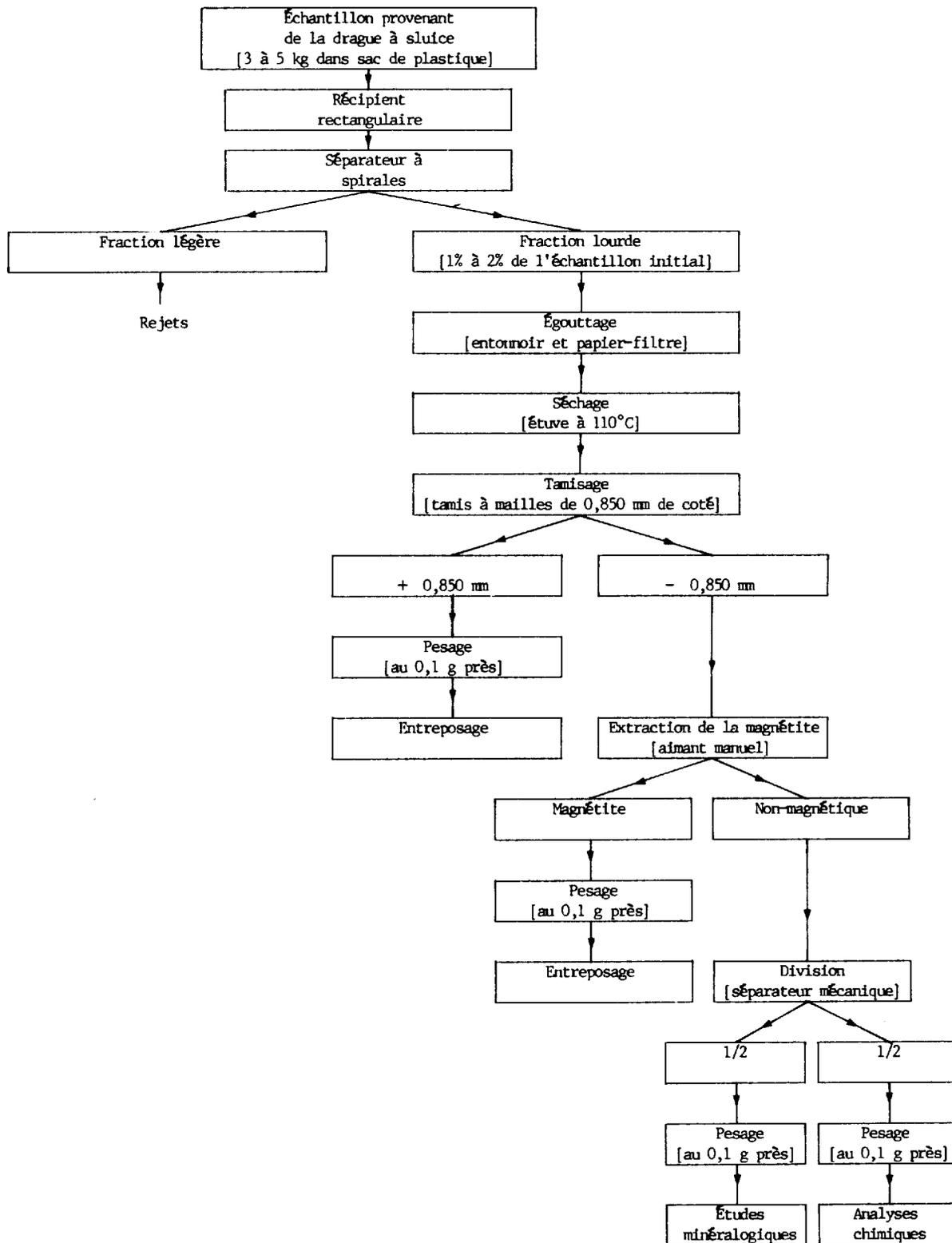


FIGURE 2 - Schéma pour la préparation des concentrés de minéraux lourds.



FIGURE 3 - Séparateur à spirales.

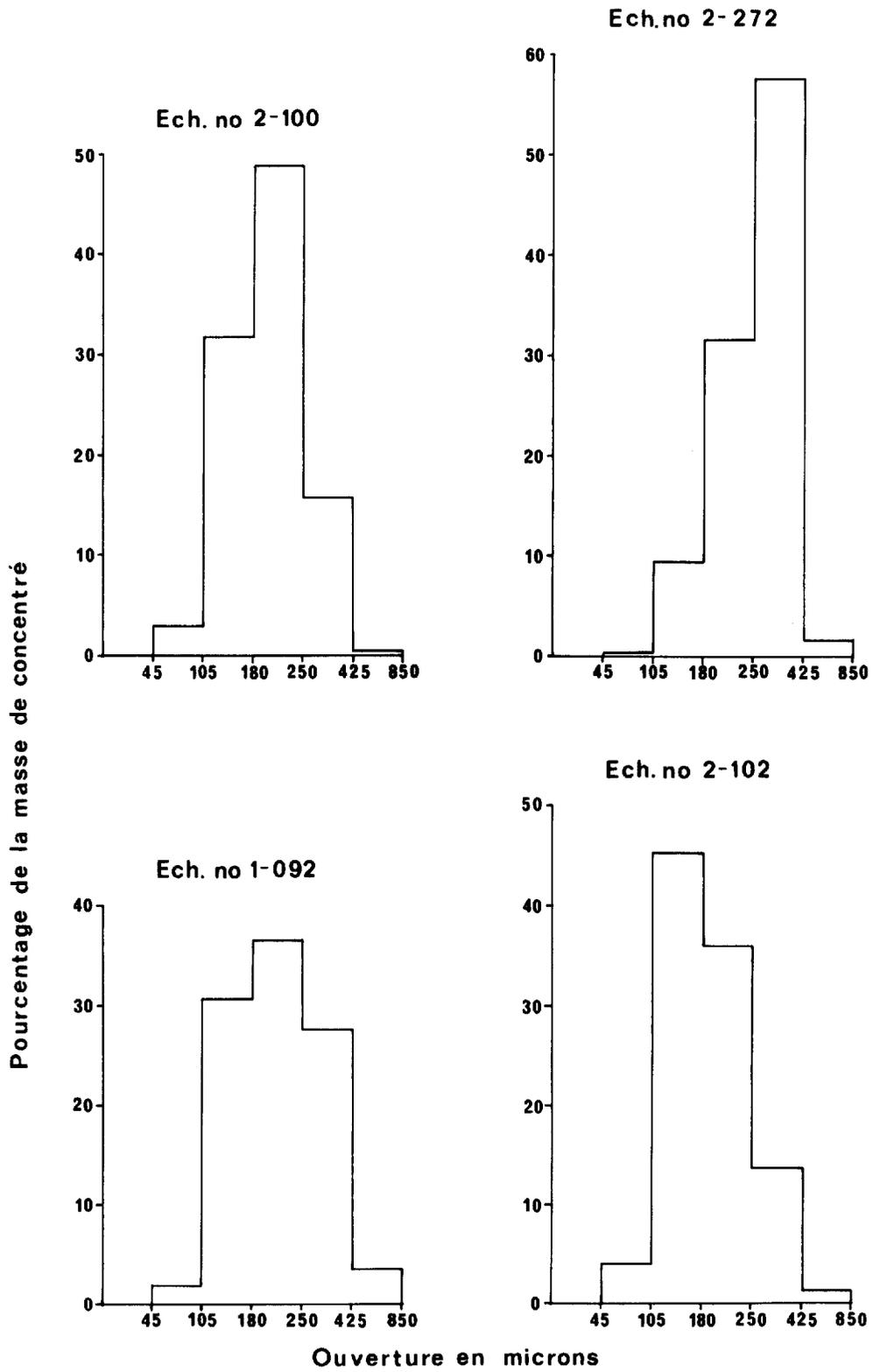


FIGURE 4 - Histogrammes granulométriques de concentrés de minéraux lourds.

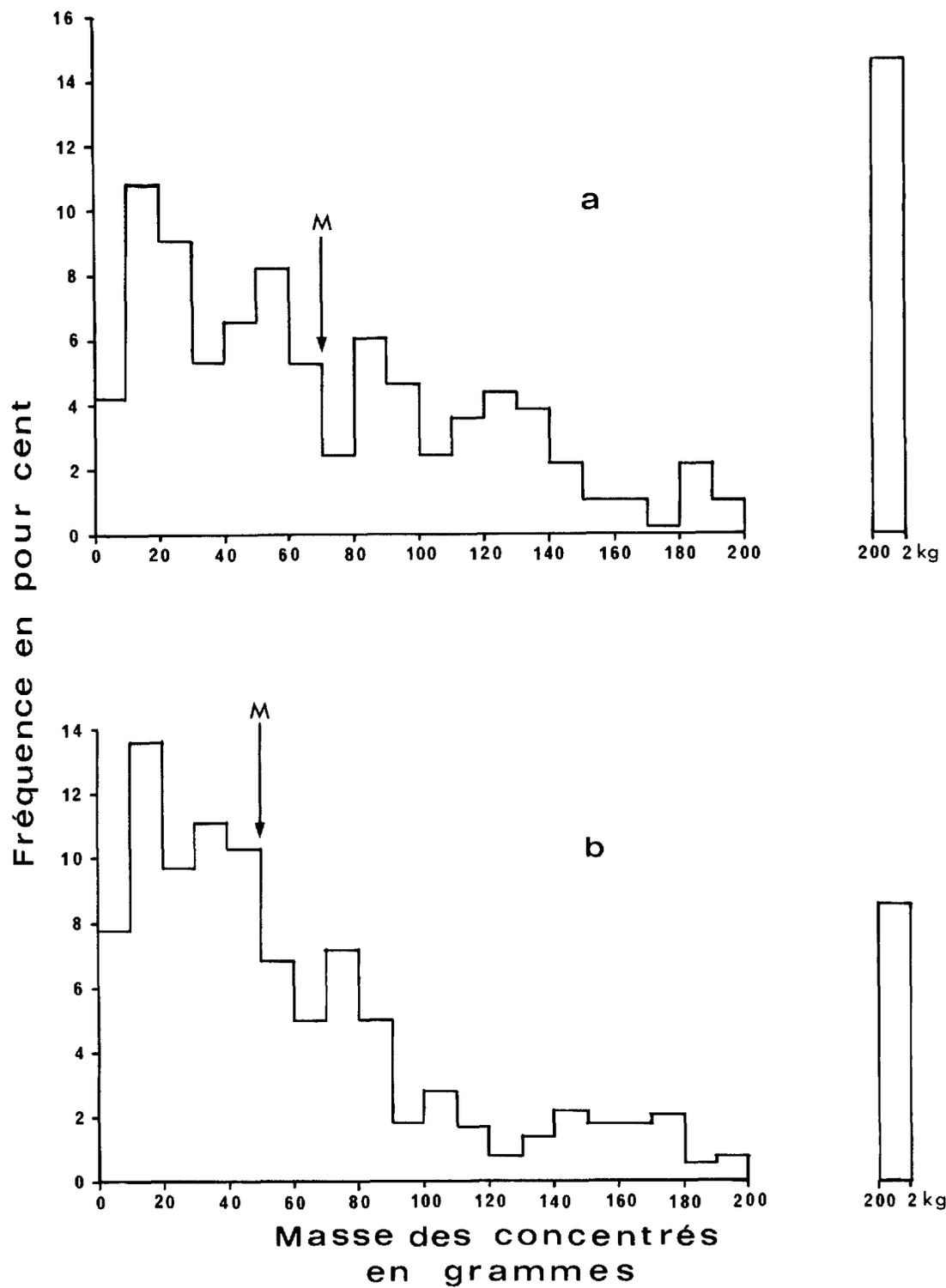


FIGURE 5 - Histogrammes montrant la répartition des masses totales (a) et non-magnétiques (b) de 361 échantillons de concentrés de minéraux lourds. Granulométrie inférieure à 0,85mm. M=médiane.

cas des fractions de granulométrie inférieure à 0,85 mm. Pour plusieurs des concentrés dont la masse se situe près du minimum requis de 5 g on a dû augmenter le temps d'échantillonnage à la drague souvent en le doublant et même en le triplant afin de s'assurer d'au moins 5 g de concentré. Ces échantillons proviennent de régions déficientes en minéraux lourds.

Discussion

Lorsque l'angle d'inclinaison de la cuvette du séparateur à spirales et l'intensité des jets d'eau sont bien ajustés, le concentré produit est d'une pureté remarquable, et on l'obtient à une fraction du coût d'une séparation aux liqueurs lourdes. Toutefois, si on examine les rejets sortant du séparateur à spirales on s'aperçoit qu'une partie de la fraction fine des minéraux lourds n'est pas récupérée. On ne connaît pas l'importance ni la composition minéralogique de cette fraction perdue par rapport à la fraction qu'on récupère. On ne connaît pas non plus le taux de récupération des minéraux lourds au niveau de la drague à sluice. On estime toutefois que le total des pertes durant les deux opérations est relativement peu important par rapport à la quantité de minéraux lourds récupérée.

Il faut se souvenir que le but de l'opération est d'obtenir un concentré de minéraux lourds pur en quantité suffisante pour effectuer les analyses chimiques et qu'en principe, les pertes ne sont pas dommageables. Toutefois, lorsque la quantité de minéraux lourds est très faible comme c'est le cas dans certaines parties de l'Estrie, il y aurait avantage à améliorer le taux de récupération des minéraux lourds tant au niveau de la drague à sluice qu'au niveau du séparateur à spirales. On peut même se demander si la portion perdue ne posséderait pas une signature géochimique différente de la portion récupérée qui pourrait être intéressante.

Les pertes de minéraux lourds au moment de l'échantillonnage ou de la séparation affectent aussi le facteur de conversion si on veut passer des concentrations géochimiques dans les minéraux lourds à des concentrations dans les sédiments de ruisseaux originaux. Il faut noter, toutefois, que nos résultats analytiques ne peuvent pas être convertis de cette façon puisqu'on ne mesure ni le volume ni la masse de gravier traité par la drague à sluice. En effet, notre étude porte sur les concentrations métalliques dans les concentrés de minéraux lourds plutôt que dans les sédiments originaux ce qui nous permet de faire abstraction des variations fortuites dans l'abondance en minéraux lourds des sédiments, qui peuvent être considérables, même très localement (voir Fig. 5).

Pour obtenir l'ordre de grandeur, on peut supposer une masse constante de 250 kg de gravier traité à la drague; la proportion de minéraux lourds dans ce gravier (= facteur de conversion) serait de 1/1000 pour 250 g de concentré et de 1/10 000 pour 25 g. Il s'agit ici de valeurs

minimales car toute perte de minéraux lourds (contenant des particules de l'élément que l'on veut convertir) encourue au moment de l'échantillonnage ou de la séparation, incluant la fraction grossière (plus grand que 0,85 mm) dont on ne tient pas compte habituellement, contribuera à faire augmenter les proportions réelles de minéraux lourds et de l'élément que l'on veut convertir par rapport à la masse originale de gravier.

Les questions relatives à la récupération des minéraux lourds, aux pertes, etc., sont en voie d'être étudiées en détail grâce à une subvention de recherche accordée par le MER à la firme GEOREX de Sherbrooke. Il ne fait aucun doute que les résultats de ces travaux contribueront à améliorer la méthode.

Références

- GARRETT, R.G. – GOSS, T.I., 1980 – UANOVA : A Fortran IV program for unbalanced nested analysis of variance. *Computers and Geosciences*, V.6, pp. 35-60.
- MAURICE, Y.T., 1985 – Interprétation sommaire des résultats d'un levé géochimique de minéraux lourds en Estrie, Québec. (Ce volume).
- MAURICE, Y.T. – MERCIER, M., 1985 – Méthode d'échantillonnage et résultats d'un levé géochimique de minéraux lourds en Estrie, Québec (21E3,4,5,6,12). Commission géologique du Canada, Dossier Public 1145.

L'analyse de l'or en prospection géochimique : problèmes, solutions et exemples

J.P. Saheur et C. Massie⁽¹⁾

1. Chimitec Inc.

Introduction

Nous présentons ici quelques techniques pour la détermination de l'or dans des échantillons géologiques tout en répondant aux demandes particulières du prospecteur. Nombreux problèmes accompagnent l'analyse de l'or et méritent d'être discutés. Nous proposons aussi diverses solutions pour atténuer leur effet tout en présentant quelques exemples.

Les besoins impératifs du géologue prospecteur peuvent être résumés comme suit :

- 1) Disposer d'une limite de détection qui permet d'analyser les teneurs de fonds ("background") de l'or.
- 2) Une reproductibilité ("précision") et une exactitude ("accuracy") des analyses qui permettent de reconnaître des patrons ("patterns") et des variations dans ceux-ci.
- 3) Les résultats analytiques doivent être disponibles dans des délais très courts, dû à la particularité de la prospection minière.
- 4) Les coûts analytiques doivent être compétitifs.

L'analyse

L'analyse de matériel géologique pour l'or peut être subdivisée en différentes phases soit : la préparation, la préconcentration et la détermination proprement dite (Tableau 1).

LA PRÉPARATION

La phase préparation des échantillons (de roches, de sédiments et de végétations) pour la détermination de l'or comprend aussi le prélèvement du matériel sur le terrain ainsi que les précautions à prendre afin d'éviter toute source de contamination. Cette phase est déterminante pour la qualité du résultat analytique final. Prenons par exemple les échantillons d'humus dosé pour l'or après leur préparation sous la forme de pastilles. Celles-ci doivent être enveloppées individuellement avant l'analyse par activation neutronique. Cette procédure permet d'éviter autant la désintégration de la pastille, la perte de matériel et la possibilité de contamination entre les échantillons.

LA PRÉCONCENTRATION

La phase de préconcentration n'est pas nécessaire dans tous les cas. Elle s'effectue généralement soit par pyrolyse, soit par extraction acide suivie par une séparation MIBK. De façon générale, la préconcentration permettra d'abaisser la limite de détection.

LA DÉTERMINATION

La détermination comme telle peut s'effectuer en utilisant plusieurs types d'appareils qui répondent à des besoins plus particuliers. Notons entre autre les méthodes, gravimétrique, l'absorption atomique, l'absorption atomique au four à graphite, la spectrophotométrie d'émission avec plasma (DCP et ICP) ainsi que l'activation neutronique.

Parmis celles-ci, il est à noter que la détermination sans préconcentration préalable n'est possible que par la méthode de l'activation neutronique qui permet d'analyser en même temps toute une suite d'éléments traceurs (antimoine, arsenic, uranium, etc).

RÉPONDRE AUX BESOINS

Les diverses techniques disponibles aujourd'hui permettent au chimiste de satisfaire aux besoins du géologue prospecteur :

- 1) Les limites de détection pour l'or sont, selon la méthode analytique utilisée, de 1, 2, 5 ou 10 ppb pour les roches, les sédiments, les sols, ... et de 0,1 ppb pour les échantillons végétaux. Ces limites de détection sont parfaitement adaptées pour analyser les teneurs de fond de l'or dans les matériaux géologiques.
- 2) La reproductibilité et l'exactitude sont assurées par des techniques de préparation spéciales, de préconcentration et avec des déterminations instrumentales très sensibles et avec des contrôles serrés.
- 3) Les résultats analytiques sont en général disponibles dans les 7 à 10 jours après l'arrivée de l'échantillon au laboratoire. Une transmission rapide des résultats est disponible par des systèmes informatiques.
- 4) Les coûts analytiques sont de l'ordre de 6,00 \$ à 12,00 \$, ce qui est très compétitif et abordable pour des déterminations qui demandent un effort particulier.

TABLEAU 1 - Détermination de l'or dans des échantillons géologiques

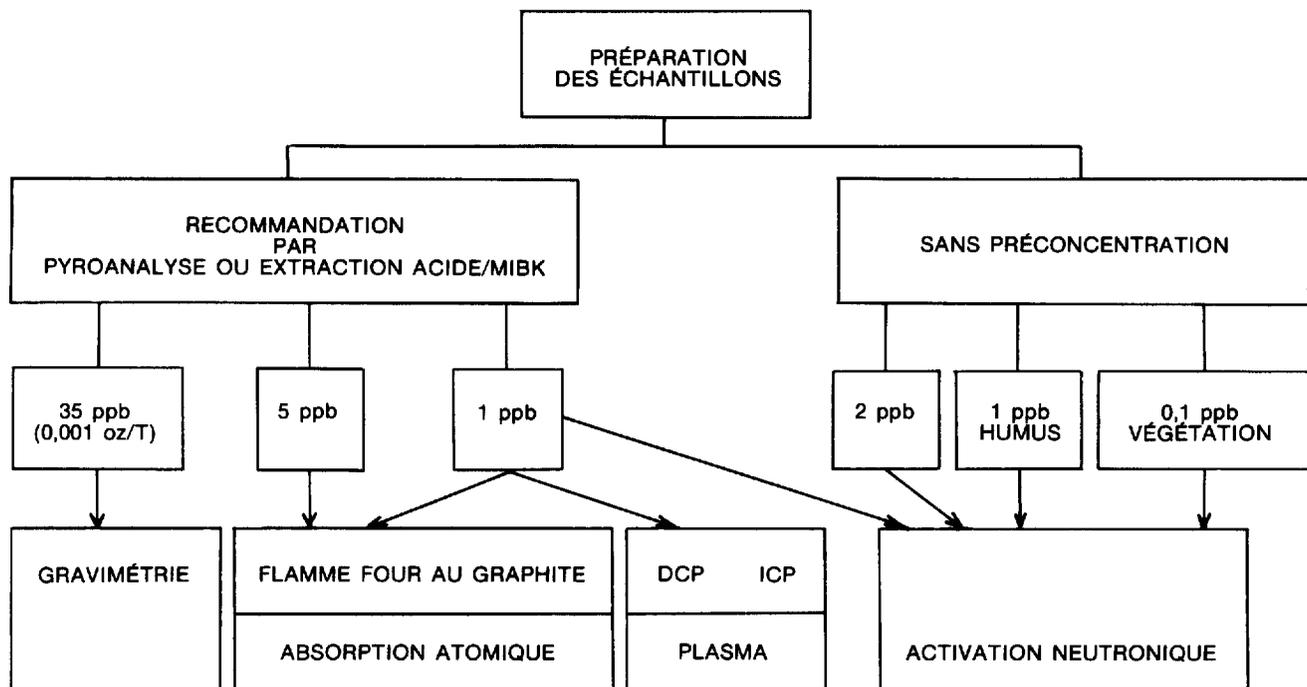


TABLEAU 2 - L'effet de la présence d'or, sous la forme particulaire, sur les résultats analytiques*

MAILLE		POIDS D'UNE PARTICULE D'OR (mg)	CONCENTRATION D'OR PAR PARTICULE (ppb)	
TYLER	STANDARD		échantillon test de 10g	échantillon test de 30g
10	1,68mm	88	8 976 000	2 992 000
48	297m	0,50	51 000	17 000
150	105m	0,21	2 142	714
200	74m	0,0078	795	265
400	37m	0,0010	102	34

* Tiré de McLean, 1982

Problèmes dus à l'effet pépité

Lors des campagnes de prospection géochimiques ou même lors des suivis tactiques en sondages on s'aperçoit dans la plupart des cas que la distribution des anomalies est souvent aléatoire : fréquemment des minéralisations "ne produisent pas des teneurs anormales" dans les sédiments de ruisseaux, dans les tills ou dans les sols, ou, s'il y a des anomalies, elles ne sont souvent pas reproductibles. Ou, dans le pire des cas, le géologue a pu observer dans des échantillons de l'or visible, mais le résultat analytique n'a pas confirmé la présence de cet or. Le raisonnement dans des cas pareils est souvent trop simpliste : les résultats analytiques sont douteux, on soupçonne une erreur du laboratoire ... Par contre, des recherches récentes ont bien démontré, que la raison principale se trouve dans l'influence de l'effet pépité. Celle-ci se situe à trois phases de l'analyse et les erreurs s'accumulent. Il s'agit comme point de départ de l'échantillonnage, suivi de la préparation des échantillons pour analyse et finalement, de la détermination elle-même. Le tableau 2 (d'après McLEAN, 1982) résume l'effet pépité en fonction de la dimension des particules sur le résultat analytique :

Solutions proposées

Harris (1982) a proposé quelques moyens pour palier aux problèmes inhérents à l'effet pépité (Tableau 3). De

façon générale, les moyens proposés impliquent une meilleure connaissance des divers problèmes autant par le géologue que par le chimiste. Si, d'une part, le chimiste a développé diverses techniques pour palier aux problèmes, il importe maintenant d'assurer un meilleur contrôle sur le matériel prélevé et sa préparation.

Exemples

Les quelques exemples suivants ont été sélectionnés pour démontrer l'influence du matériel échantillonné sur le succès d'une campagne de prospection basée sur l'analyse de l'or.

EXPLORATION POUR L'OR DANS LES RÉGIONS AVEC UN FAIBLE RECOUVREMENT DE SÉDIMENTS GLACIAIRES (Gleeson, et al., 1984)

Dans un secteur à 85 km au sud-ouest d'Ottawa, les auteurs ont pu démontrer l'influence primordiale du matériel analysé sur la réponse géochimique.

Les matériaux suivants ont été analysés :

- 1) Humus : la fraction inférieure à 50 mesh ;
- 2) Sols : la fraction inférieure à 80 mesh de l'horizon B ;
- 3) Till : la fraction inférieure à 250 mesh ;
- 4) Till : la fraction inférieure à 5 mesh, pulvérisée ;
- 5) Minéraux lourds du till.

TABLEAU 3 – Moyens pour augmenter la fiabilité des résultats d'analyse.

(1) L'ÉCHANTILLONNAGE

- (1.1) Étude d'orientation et d'optimisation pour définir le matériel à prélever, la fraction granulométrique à analyser, ... donnant le meilleur contraste géochimique
- (1.2) Prélever des échantillons d'un volume plus important.
- (1.3) Prélever des échantillons en double.
- (1.4) Tamisage et préconcentration sur le terrain.
- (1.5) Tenter d'uniformiser la localisation du site du prélèvement des échantillons.
- (1.6) Identifier les échantillons contenant ou supposés de contenir de l'or visible / grossier.

(2) LA PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS POUR L'ANALYSE

- (2.1) Tamisage de l'échantillon entier.
- (2.2) Concentrations des minéraux lourds sur le terrain, ou au laboratoire (2.3) Marquer le type d'échantillon pour permettre un contrôle au laboratoire.
- (2.4) Broyage adapté à la granulométrie de l'or.
- (2.5) "Metallics Sieve Analysis" : Broyage spécial et tamisage en deux fractions (+0,1 mm et - 0,1 mm), dosage de l'or dans les deux fractions ; calcul de la moyenne en tenant compte des poids des fractions respectives.
- (2.6) Quartage des roches, broyées à - 2 mm.
- (2.7) Quartage à des volumes plus importants pour la porphyrisation.

(3) DÉTERMINATION DE L'OR

- (3.1) Analyser des échantillons d'un volume plus important, c'est-à-dire augmenter la prise d'échantillons
- (3.2) Analyser la totalité des concentrés de minéraux lourds.
- (3.3) Effectuer des analyses en double et utiliser des poids moyens.
- (3.4) Contrôle de la qualité (reproductibilité et exactitude) : par le géologue et par le laboratoire. Familiarisation avec les procédures du contrôle de la qualité utilisé par le laboratoire.

Les auteurs concluent que la fraction inférieure à 250 mesh du till est la mieux adaptée en vue du rapport qualité/prix pour une prospection stratégique dans cet environnement. Pour un suivi tactique, l'utilisation de l'humus s'avère plus efficace.

**GISEMENT DE DOYON (SILVERSTACK)
BOUSQUET TOWNSHIP, QUÉBEC (Sheehan &
Gleeson, 1984)**

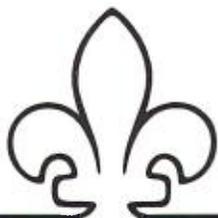
L'échantillonnage de diverses fractions du till de base a démontré que l'utilisation de la fraction -10+100 mesh des minéraux lourds donnait le meilleur contraste géochimique. L'humus est très utile dans ce secteur si le recouvrement glaciaire est perméable. Par contre, un mètre d'argile glacio-lacustre peut déjà masquer toute réponse lithologique.

**SECTEUR DE KNOX LAKE DANS LA RÉGION
DE BEARDMORE-GERALDTON DANS LE
NORD-OUEST DE L'ONTARIO (Closs & Sado,
1979)**

Cette étude est un autre exemple de l'importance primordiale du choix du matériel à prélever. Les cartes présentées montrent la dispersion de l'or dans les sols (horizons B), dans la fraction inférieure à 250 mesh du till et dans les minéraux lourds du till. Le résultat est évident : la fraction -250 mesh du till donne la meilleure réponse dans ce secteur.

Bibliographie partielle

- CLOSS, L.G. – SADO, E.V., 1979 – Geochemical drift prospecting studies near gold mineralization Beardmore-Geraldton area, northwest Ontario, Canada. In : J.R. Watterson & P.K. Theobald (editors), *Geochemical Exploration 1978 : The Association of Exploration Geochemists*, Rexdale : 459 - 477.
- GLEESON, C.F. – RAMPTON, V.N. – THOMAS, R.D. - PARADIS, S., 1984 - Grant 065 – Development and adaptation of geochemical techniques to gold exploration in glacial drift. In : V.G. Milne & R.B. Barlow (editors), *Exploration Technology Development Program of the Board of Industrial Leadership and Development, Summary of Research 1983 - 1984*, Ontario Geological Survey, Mics. Paper 120 : 129 - 149.
- HARRIS, J.F., 1982 – Sampling and analytical requirements for effective use of geochemistry in exploration for gold. In : *Precious Metals in the Northern Cordillera*, The Association of Exploration Geochemists, Rexdale : 53 - 67.
- McLEAN, D.C., 1982 – Practical considerations in the sampling and estimation of reserves in low grade gold ore deposits. *The International Precious Metals Institute, International Seminar, London, October 10 - 14, 1982* : pp. 47.
- SHEENAN, D. – GLEESON, C.F., 1984 – Case histories of till prospecting over Doyon, Bousquet and Williams Gold Deposits. In : *Till Tomorrow '84, Symposium held in Kirkland Lake, Ontario, May 8 - 12, 1984* : Paper 15, p. 24 - 26.



Page couverture:

Divers modèles de dispersion des éléments dans
les sédiments meubles.

(Tiré de Lalonde, Chouinard, Beaumier, 1981)
