DPV 733

METALLOGENIE ET PROSPECTION DU MOLYBDENE AU QUEBEC

Documents complémentaires

Additional Files



Licence

License

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

Énergie et Ressources naturelles
Québec

DIRECTION DE L'EXPLORATION

MINISTÈRE
DE L'ÉNERGIE
ET DES RESSOURCES

DIRECTION GÉNÉRALE
DE LA RECHERCHE GÉOLOGIQUE
ET MINÉRALE

MÉTALLOGÉNIE ET PROSPECTION DU MOLYBDÈNE AU QUÉBEC

P. TRUDEL

Etude de l'Institut de Recherche en Exploration minérale
pour le compte du ministère de l'Energie et des Ressources.

1980

DPV-733

MINISTERE DE L'ENERGIE ET DES RESSOURCES

DIRECTION GENERALE DE LA RECHERCHE GEOLOGIQUE ET MINERALE

DIRECTION DE L'EXPLORATION

METALLOGENIE ET PROSPECTION DU MOLYBDENE AU QUEBEC

PAR

P. TRUDEL

Etude de l'Institut de Recherche en Exploration minérale pour le compte du ministère de l'Energie et des Ressources

FEVRIER 1980

DPV-733

RESUME

Ce travail présente une étude de la métallogénie du molybdène et propose des guides et méthodes qui pourraient être utiles dans l'exploration pour ce métal au Québec. Une revue du cadre géologique des plus importants gisements de molybdène dans le monde permet de définir les principaux caractères minéralogiques, pétrographiques et géochimiques de ces minéralisations de départ acide. L'application de ces critères à la géologie du Québec nécessite certaines restrictions, étant donné le caractère beaucoup plus ancien des terrains. Le principal problème, sur les terrains québécois, est de découvrir des minéralisations dans des intrusions épizonales qui ne montrent pas une érosion trop profonde, laquelle a pour effet de soustraire à la prospection la partie la plus intéressante de la minéralisation.

L'environnement géologique de plusieurs minéralisations de molybdène au Québec offre d'intéressantes similitudes avec celui des gisements porphyriques récents. C'est le cas de minéralisations dans la région de Chibougamau et dans certaines parties des Appalaches. L'exploration pour le molybdène au Québec doit se fonder sur un modèle génétique, défini à partir de l'étude des minéralisations récentes. Les intrusions de porphyres acides revêtent, dans ce modèle, une importance de premier plan. Dans la plupart des cas, la géochimie primaire des roches (éléments en traces et terres rares), ainsi que la géochimie des sols et des sédiments de ruisseau sont les méthodes les plus appropriées à la phase stratégique de l'exploration.

TABLE DES MATIERES

	Pages
INTRODUCTION	1
Objectifs	1
Remerciements	1
GEOCHIMIE	2
Minéraux	2
Minéraux primaires	2
Minéraux secondaires	2
Distribution du molybdène	3
Roches ignées	3
Roches sédimentaires	3
Sols	3
Végétation	3
Cycle géochimique	4
METALLOGENIE	4
Classification des gisements	4
Caractéristiques géologiques d'importants gisements	5
Gisements porphyriques	8
Mode de formation	8
Age	9
Modèle tectonique global	11
Méthodes de prospection	12
Guides pétrographiques et minéralogiques	12
Méthodes géophysiques	13
Méthodes géochimiques	13
Méthodes biogéochimiques	14
Application possible au Québec	14
Schéma d'une campagne d'exploration au Québec	15
PROSPECTION ET EVALUATION: INDICES DE MOLYBDENE AU QUEBEC	16
Supérieur	17
Batholites de Preissac et de Lacorne	17
Canton de Senneterre	19
Région de Chibougamau	20
Région des lacs Frotet et Troïlus	22
Mine Don Rouyn	23
Conclusions	24
Grenville	24
Région de Hull-Gatineau	24
Gîte de Portneuf Mineral Corporation	25
Conclusions	26
Appalaches	26
Mines de Cuivre Gaspé	26
Région des monts Sainte-Cécile et Saint-Sébastien	27
Région de Saint-Robert	28
Secteur de la faille du Grand Pabos	29
Conclusions	29
CONCLUSION	30
Potentiel en molybdène du Québec	30
Considérations économiques	32
REFERENCES	33
ANNEXES	
A - Technologie et aspects économiques du molybdène	42
Usages	42

Production et consommation 42
Prix 43
Principaux producteurs 43
Perspectives 43

B - Production et évolution des marchés et des réserves 44
Production mondiale 44
Historique et évolution de la production mondiale 44
Réserves mondiales 46
Canada 46
Situation actuelle 46
Production canadienne: historique 46
Colombie britannique 47
Ontario 47
Québec 50
Nouveau-Brunswick 50
Nouvelle-Ecosse 50
Etats-Unis 50
Chili 51
Pérou 52
Autres pays 52

FIGURES

1 - Champs de stabilité des composés du Mo dans le système molybdénite-eau 4
2 - Cadre géologique de la région des batholites de Preissac et de Lacorne 17
3 - Cadre géologique de la région de Senneterre 19
4 - Localisation des minéralisations de type porphyrique dans la région de Chibougamau 21
5 - Cadre géologique de la région des lacs Frotet et Troïlus 23
6 - Localisation et cadre géologique de la mine Don Rouyn 23
7 - Localisation des minéralisations de Mo dans la région de Hull-Gatineau 25
8 - Localisation de la concession minière de Portneuf Mineral Corporation 25
9 - Cadre géologique de la région des monts Sainte-Cécile et Saint-Sébastien 28
10- Cadre géologique de la région de Saint-Robert 29
11- Localisation de la faille du Grand Pabos. 29

TABLEAUX

1 - Concentration moyenne en Mo des principaux types de roches ignées 3
2 - Concentration moyenne en Mo des principaux types de roches sédimentaires 3
3 - Teneur moyenne en Mo des cendres de divers types de végétation croissant dans des terrains non minéralisés 4
4 - Composition minéralogique moyenne des roches des batholites de Preissac et de Lacorne 17
5 - Production et réserves des gisements de Mo de la région des batholites de Preissac et de Lacorne 17

A-1 Répartition de la consommation de molybdène aux Etats-Unis, 1971 - 1975 42

A-2 Balance: production et consommation mondiales de molybdène, 1973 - 1976 42
A-3 Prix de la livre de molybdène, 1973 - 1976 43
A-4 Principaux producteurs de molybdène 43
B-1 Production mondiale de molybdène, 1971 - 1975 44
B-2 Réserves mondiales de molybdène 46
B-3 Caractéristiques géologiques de certains importants gisements de Mo..... 48-49

INTRODUCTION

Le présent rapport a fait l'objet d'un contrat de recherche octroyé en avril 1979 par le ministère des Richesses naturelles à l'Institut de Recherche en Exploration Minérale. Il a pour but de dresser un inventaire du potentiel de la province en molybdène et de faire des recommandations concernant les méthodes de prospection à utiliser dans la recherche de gîtes de ce métal.

Cette étude est justifiée d'une part, par l'abondance d'indices de minéralisation en molybdène dans plusieurs régions du Québec et d'autre part, par des raisons d'ordre économique et social. Le ministère doit, en effet, encourager l'exploration minière; de plus, à l'heure actuelle, le molybdène est l'un des métaux les plus recherchés. Ce métal jouit présentement d'excellents marchés, comme le montre l'analyse des aspects technologiques et économiques du molybdène (annexes A et B). Malheureusement, la métallogénie du molybdène et le cadre géologique des minéralisations sont souvent mal connus.

Rappelons également que la fermeture, entre 1960 et 1962, de trois mines productrices de molybdène dans le Nord-Ouest du Québec, a profondément influé sur l'industrie de cette région. Depuis lors, le Québec ne compte plus qu'un seul producteur de molybdène (Mines de Cuivre Gaspé), et il ne fait aucun doute que la découverte de nouveaux gisements serait un stimulant exceptionnel pour l'industrie minérale au Québec.

OBJECTIFS

Le mandat qui nous a été confié comporte les objectifs suivants:

- Etablir une documentation sur les principaux gisements de molybdène dans le monde et en extraire les principales caractéristiques géologiques;
- Etudier la métallogénie du molybdène de ces gisements afin de définir les environnements favorables à la formation de gîtes du même métal;
- Déterminer les méthodes de prospection qui ont contribué à la découverte de tels gisements et, de façon générale, de quelle manière se fait l'exploration pour le molybdène dans le monde;
- Etablir un parallèle entre le contexte géologique québécois et le contexte géologique mondial quant à la métallogénie du molybdène;
- Fournir des critères géologiques, géochimiques et géophysiques qui pourraient être utilisés lors de campagnes de prospection.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Jules Cimon, géologue au ministère de l'Energie et des Ressources, pour sa collaboration. Nous remercions également Gaston Pouliot, professeur au département de génie minéral de l'Ecole Polytechnique, pour ses critiques constructives et les nombreux conseils prodigués tout au long de ce travail.

Rod Kirkham, de la Commission géologique du Canada, nous a consacré une journée de son temps, et les discussions que nous avons eues ont été fort appréciées et extrêmement profitables. Nous remercions enfin le personnel de l'IREM et en particulier le directeur, Michel David, pour les services mis à notre disposition.

GEOCHIMIE

La concentration du molybdène dans la croûte terrestre est de l'ordre de 1 ppm (0.0001%). En dépit de cette faible concentration, le métal tend plus à former des minéraux bien individualisés qu'à se camoufler dans la structure des autres minéraux par le mécanisme de la substitution atomique. Le molybdène peut toutefois se substituer en faibles proportions (de l'ordre du ppm) à des cations, tels que Fe^{+3}, Ti^{+4}, Al^{+3} et Si^{+4}, dans la structure cristalline de certains minéraux comme les feldspaths, les amphiboles, les pyroxènes, la biotite et, surtout, la magnétite et l'ilménite (Vokes, 1963). L'électronégativité élevée du molybdène, cependant, confère à celui-ci une tendance chalcophile de sorte que le métal se retrouve généralement dans les roches sous forme de molybdénite (MoS_2, sulfure naturel de molybdène). Le molybdène est concentré, de façon caractéristique, dans les "minéralisations de départ acide" (Routhier, 1963), où il est associé à d'autres métaux comme le cuivre, le tungstène, l'étain et le rhénium.

MINERAUX

MINERAUX PRIMAIRES

La molybdénite (MoS_2), le minéral de molybdène le plus commun, est le seul minéral primaire de ce métal, connu dans la nature. A l'état pur, elle contient 59.94% de Mo et 40.06% de S (% en poids). Toute la production canadienne, de même que la presque totalité de la production mondiale de molybdène, proviennent de la molybdénite. Dans la zone d'oxydation, celle-ci s'altère en ferrimolybdite ($Fe_2[MoO_4]_3 .8H_2O$), en powellite ($Ca[Mo,W]O_4$) et en ilsemannite ($MoO_2 \cdot 4MoO_3$).

MINERAUX SECONDAIRES

La **wulfénite** ($PbMoO_4$) est un minéral secondaire formé dans la zone d'oxydation de gisements contenant des minéraux de Pb et de Mo. C'est, après la molybdénite, le minéral le plus commun de molybdène. La wulfénite n'a pas d'importance économique au Canada; elle a toutefois été exploitée dans une mine près de Mammoth en Arizona, de 1916 à 1919 et de 1934 à 1944; la production totale a atteint environ 500 000 livres de molybdène.

La powellite ($Ca[Mo,W]O_4$) est un produit d'altération de la molybdénite. Elle n'a été identifiée qu'en deux endroits au Canada (Traill, 1970): au Grand Lac de l'Esclave, dans une quartzite micacée, et dans la région de Fiedmont (Abitibi), au sein d'un dyke de pegmatite contenant du quartz, de l'albite, du spodumène, de la bismuthinite et de la molybdénite. La powellite n'a pas d'importance comme minerai de molybdène, mais sa présence est significative dans la recherche de gisements de molybdène. Il est douteux, cependant, que, dans les conditions climatiques canadiennes, la powellite puisse se former en quantités importantes.

La ferrimolybdite ($Fe_2[MoO_4]_3 \cdot 8H_2O$) est un minéral d'altération commun de la molybdénite. Elle se présente sous forme d'incrustations en surface altérée; sa couleur jaune soufre sert d'indice dans la

prospection du molybdène. Elle n'a pas, en soi, d'importance économique.

Les autres minéraux secondaires de molybdène incluent la chillagite ($3PbWoO_4 \cdot PbMoO_4$), l'ilsemannite ($MoO_2 \cdot 4MoO_3$), la koechlinite ($BiO_2 \cdot MoO_4$) et la lindgrenite ($Cu_3[MoO_4]_2[OH]_2$); il s'agit de minéraux rares ayant peu d'importance économique.

Pour une description détaillée des principales propriétés physiques des minéraux de molybdène, se reporter à Vokes (1963).

DISTRIBUTION DU MOLYBDENE

ROCHES IGNEES

L'affinité du molybdène pour les roches ignées acides est bien connue; la teneur en Mo (tableau 1) des roches ignées croît généralement avec la teneur de celles-ci en SiO_2. Le molybdène peut être qualifié d'élément hygromagmatophile; autrement dit, lors de la cristallisation d'un magma, le métal est concentré dans le liquide résiduel.

TABLEAU 1 - Concentration moyenne en Mo(en ppm) des principaux types de roches ignées (d'après Scholz, 1969):

Roches ultramafiques:	0.4
Gabbro :	0.6
Basalte et diabase :	1.0
Diorite :	1.4
Granodiorite :	1.8
Granite :	2.4
Pegmatite :	5.9

ROCHES SEDIMENTAIRES

Le Mo est surtout concentré (tableau 2) dans les roches riches en matière organique (schistes noirs, phosphorites, cendres des charbons et des bitumes), par suite, probablement, de processus organiques. Les bactéries anaérobiques, par exemple, transforment les sulfates en soufre, lequel peut ensuite fixer le Mo sous forme de molybdénite.

TABLEAU 2 - Concentration moyenne en Mo (en ppm) des principaux types de roches sédimentaires (d'après Vokes, 1963).

Calcaire et dolomie:	0.1 - 0.5
Grès :	0.1 - 1.0
Schiste argileux :	1.0
Sédiments pélagiques:	2.0 - 3.0
Schiste noir :	10.0 - 300.0

SOLS

La teneur moyenne en Mo des sols est de 1 à 4 ppm; cette teneur peut atteindre quelques centaines et, exceptionnellement, quelques milliers de ppm, dans les sols au-dessus de roches riches en Mo (Ginzburg, 1960). On trouve des teneurs comparables dans les sédiments de ruisseau: ainsi, Kelly (1975) a trouvé une teneur de fond de 1 à 5 ppm dans les Cantons de l'Est, laquelle peut atteindre 180 ppm à proximité de minéralisations connues.

Dans les podzols, le Mo se concentre dans l'horizon A et dans l'horizon C. Dans les sédiments meubles, il a tendance à se concentrer dans la fraction la plus fine (Hawkes et Webb, 1972; p. 166).

VEGETATION

Le Mo peut être concentré dans la végétation au-dessus de roches minéralisées en celui-ci. Il est essentiel au fonctionnement des bactéries fixant l'azote dans les nodules des racines des légumineuses (Vokes, 1963). La présence d'une trop grande quantité de Mo dans les fourrages est, par contre, extrêmement toxique pour

le bétail. Le tableau 3 fournit quelques données caractéristiques.

TABLEAU 3 - Teneur moyenne en Mo (en ppm) des cendres de divers types de végétation croissant dans des terrains non minéralises (d'après Hawkes et Webb, 1962).

Graminées:	34
Autres herbes:	19
Feuilles des arbustes:	15
Feuilles caduques:	7
Aiguilles des conifères:	5

CYCLE GEOCHIMIQUE

La teneur en Mo de l'eau douce est de l'ordre de 0.05-3 ppb (partie par milliard) et celle de l'eau de mer, de 1-5 ppb. Dans le cycle sédimentaire, le Mo est très mobile en milieu oxydant. Il est transporté en solution sous forme de MoO_4^{-2}. En milieu réducteur, principalement en présence de H_2S, il précipite, probablement sous forme de MoS_2. Dans un milieu riche en $CaCO_3$, le Mo peut également précipiter sous forme de molybdate de calcium ($CaMoO_4$).

Le pH de précipitation du Mo est d'environ 3; le métal précipite généralement dans les sédiments riches en matière organique, en même temps que les oxydes de manganèse. Les nodules de Mn des océans contiennent d'ailleurs 350-520 ppm de Mo en moyenne (Turekian, 1976). La figure 1 illustre le diagramme Eh-pH des composés du Mo.

METALLOGENIE

DISTRIBUTION

Au point de vue géologie et géographie, le Mo n'est pas distribué uniformément dans le monde. Il est surtout concentré dans les intrusions acides des chaînes de montagnes relativement jeunes (d'âge

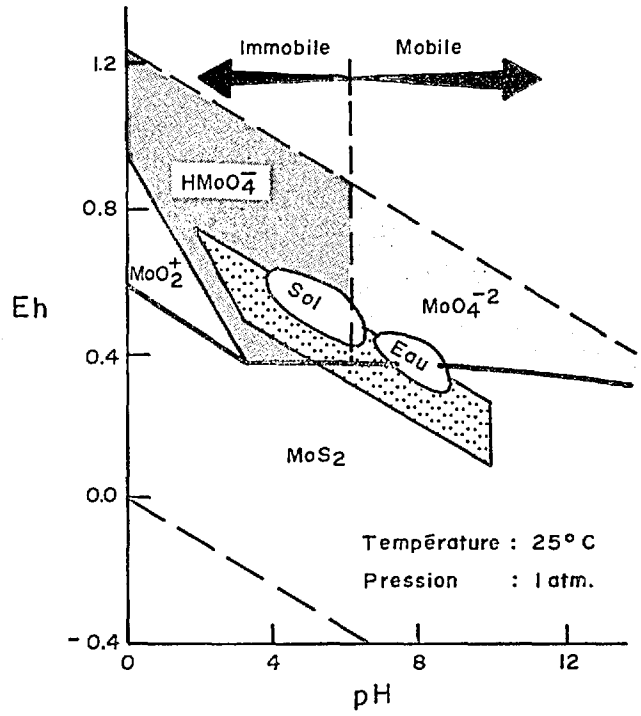


FIGURE 1 - Champs de stabilité des composés du Mo dans le système molybdénite - eau (d'après Hansuld, 1967).

Mésozoïque à Cénozoïque). Actuellement, la presque totalité de la production mondiale provient d'une zone qui commence sur la côte ouest de l'Amérique du Sud, se poursuit dans la partie ouest de l'Amérique du Nord, coupe à travers l'Asie pour se terminer dans la mer Caspienne.

CLASSIFICATION DES GISEMENTS

Plusieurs classifications des gisements de Mo ont été publiées; citons, entre autres, celles de Routhier (1963), Schneider (1963), Vokes (1963), Scholz (1969) et Sutulov (1976). Même si ces classifications diffèrent légèrement entre elles, tous les chercheurs s'accordent sur l'origine orthomagmatique des gisements.

La classification de Sutulov résume le mieux, à notre avis, les caractéristiques géologiques des différents types de

gisements. Sutulov distingue cinq types principaux:

. **Les gisements porphyriques**, dans lesquels la minéralisation est finement disséminée dans de grandes masses de roches intrusives acides intensément fracturées et altérées. Le minerai se présente sous forme de brèche ou de remplissage de petites fractures (stockwerk). On distingue, en ce qui concerne le Mo, deux sortes de gisements porphyriques:
  - Ceux où le Mo est le principal métal exploité; la teneur moyenne est de l'ordre de 0.05 à 0.15% Mo, mais peut atteindre 0.30% dans certains gisements. Il existe de nombreux gisements de ce type: Climax, Henderson, Urad, Endako, Questa, etc.
  - Ceux où le Mo est exploité comme sous-produit (gisements porphyriques de cuivre). La teneur en Mo de ces gisements peut être aussi faible que 0.015%. Malgré leur faible teneur, ceux-ci représentent 35-40% de la production mondiale de Mo.

. **Les gisements de métamorphisme de contact**, qui se trouvent dans les calcaires siliceux auxquels sont associés des roches intrusives acides. Ces gisements sont en général beaucoup plus petits que les gisements porphyriques. Citons parmi les plus connus, ceux de Pine Creek, en Californie, et de Knaben, en Norvège. Plusieurs minéralisations de ce type sont présentes dans le Grenville du Québec, en particulier, dans la région de Hull-Gatineau.

. **Les veines de quartz**, qui renferment de la molybdénite et qui sont largement répandues à travers le monde. Ces veines peuvent indiquer la présence de gisements porphyriques plus importants, avec lesquels elles sont génétiquement associées. A la mine Questa, par exemple, on a d'abord exploité un petit gisement dans des veines de quartz, avant la découverte du grand gisement porphyrique associé.

. **Les dykes de pegmatite et d'aplite**, qui forment, en général, des gisements de petites dimensions et dont la teneur en Mo est irrégulière, ce qui rend l'exploitation difficile. Le Mo produit affiche toutefois un haut degré de qualité et de pureté. Les exemples classiques de ce type de gisement se retrouvent dans le Nord-Ouest du Québec: mines Lacorne, Cadillac Moly et Preissac, dans lesquelles le Bi est intimement associé au Mo.

. **Les gisements sédimentaires**, dont les teneurs en Mo sont très faibles et qui sont relativement peu importants. L'exemple classique de ce type de gisement est le Kupperschiefer d'Europe Centrale, lequel contient une minéralisation de Mo répartie sur une très grande étendue, mais d'une teneur suffisante pour permettre son exploitation comme sous-produit du cuivre. Certains gisements d'uranium en Arizona, au Nouveau-Mexique, en Utah, au Wyoming et au Dakota du Sud contiennent également assez de Mo pour permettre la récupération de celui-ci comme sous-produit.

L'importance relative de ces différents types de gisements est loin d'être la même. Les gisements porphyriques représentent, en effet, 95%, environ, de la production mondiale passée et actuelle de Mo ainsi que 95% des réserves mondiales présentement connues (Sutulov, 1976). Les quatre autres types de gisements ont donc une importance passablement restreinte.

CARACTERISTIQUES GEOLOGIQUES DE CERTAINS IMPORTANTS GISEMENTS

Le tableau B-3, en annexe, résume ces principales caractéristiques. Il four-

nit également des données sur les gisements canadiens et, en particulier, sur ceux du Québec, même si ces derniers (à l'exception de celui des Mines de Cuivre Gaspé) sont loin d'avoir l'importance des autres gisements. Ce tableau a été élaboré à partir de plusieurs études, dont les principales ont été préparées par Sabina (1974), Sutulov (1976), Drummond et Godwin (1976), Schmidt (1978), Hollister (1978) et Exploratech Limitée (1979).

L'examen de ce tableau révèle que, mis à part les trois gisements précités du Nord-Ouest du Québec, tous les gisements importants de Mo exploités dans le monde sont des gisements de type porphyrique.

Malgré la faible proportion de gisements porphyriques dans la carte métallogénique du Québec, toute étude sur la métallogénie du Mo se doit, en premier lieu, de considérer les caractéristiques et le mode de formation de tels gisements. Vu leur âge géologique relativement jeune et leur caractère épizonal à subvolcanique, ces gisements montrent, en effet, les relations les plus claires entre le magmatisme et la minéralisation. De plus, vu l'absence de métamorphisme et de déformation tectonique, ils présentent les meilleurs cas de zonalité et de types caractéristiques d'altération.

Il nous semble opportun, à ce point-ci, de préciser la nature d'un gisement porphyrique. Pour ce faire, nous utiliserons la définition proposée par Kirkham (1972c): **un gisement porphyrique est un grand gisement, à faible ou moyenne teneur, dans lequel les sulfures hypogènes possèdent un contrôle structural primaire, et sont spatialement et génétiquement reliés à des intrusions épizonales à subvolcaniques de composition felsique à intermédiaire.** De fait, la plupart des gisements porphyriques de Mo sont associés à des roches qui ont l'apparence de rhyolites porphyriques intrusives ou à des porphyres quartzo-feldspathiques, dont l'indice de coloration est extrêmement faible.

Plusieurs études ont décrit les caractéristiques géologiques et le mode de formation de ces gisements. Parmi les plus importantes, citons celles de Wallace et al. (1968b), Lowell et Guilbert (1970), Nielsen (1968), Sillitoe (1972), Mutschler (1976), Soregaroli et Sutherland-Brown (1976), Woodcock et Hollister (1978), Wallace et al. (1978), Sharp (1978) et Hollister (1978). Une synthèse de ces travaux, combinée aux renseignements fournis au tableau B-3, permet de dégager les sept principales caractéristiques suivantes:

- Les intrusions acides qui renferment ces gisements sont concentrées dans des chaînes de montagnes allongées, à la limite entre deux plaques tectoniques qui se rencontrent (par exemple, dans des zones de subduction comme la Cordillère des Amériques du Nord et du Sud). Ces chaînes de montagnes sont relativement jeunes - d'âge Mésozoïque ou Cénozoïque (moins de 230 millions d'années). Selon Titley et Hicks (1966), les gisements les plus importants sont d'âge Tertiaire.
- Les minéralisations de Mo sont spatialement et génétiquement associées à des complexes intrusifs acides de composition plutôt potassique (granodiorite ou monzonite quartzique). Ceux-ci comportent toujours une ou plusieurs phases de faible profondeur (épizonales), caractérisées par une texture porphyrique. Les critères d'épizonalité sont nombreux: intrusions circonscrites possédant des contacts nets, faisceaux de dykes radiaux, abondance de brèches intrusives. Plusieurs périodes successives d'intru-

sions sont généralement présentes, comme à Climax et à Urad-Henderson (Wallace et al., 1968b et 1978).

- La majeure partie de la minéralisation est associée aux phases subvolcaniques (porphyres) du complexe intrusif, tandis que les phases de plus grande profondeur (granite et pegmatite) sont pratiquement stériles. A Climax et à Urad-Henderson, par exemple, le granite et les dykes de pegmatite en profondeur ne contiennent qu'un peu de molybdénite disséminée, en quantités subéconomiques (Wallace et al., 1978). La molybdénite de ces deux phases montre également un aspect différent; dans les porphyres, elle est disséminée et très finement grenue, conférant à la roche une teinte bleutée, alors que dans les granites et pegmatites, elle se présente sous forme de gros cristaux ou feuillets isolés.
- Plusieurs générations successives d'intrusions subvolcaniques peuvent être ou stériles ou faiblement minéralisées ou fortement minéralisées. Règle générale, dans la Cordillère d'Amérique du Nord, les premières venues sont stériles, celles d'âge intermédiaire contiennent la minéralisation économique (dans certains cas, plusieurs périodes de minéralisations peuvent être superposées) et les venues tardives sont stériles et recoupent la minéralisation. Les gîtes de Climax et de Urad-Henderson illustrent bien ces cas de minéralisations répétées, lesquelles sont séparées par des intrusions acides ayant pris la forme de dykes "inter-minéralisation".
- La mise en place des gisements s'est accompagnée d'une fracturation et d'une altération hydrothermale intenses de la roche encaissante. La distribution de la minéralisation a été rigoureusement contrôlée par cette fracturation. La minéralisation peut être de type stockwerk ou de brèche. Dans les stockwerks, les sulfures remplissent plusieurs systèmes de petites fractures. Les brèches ont été formées par des processus plus explosifs; les fragments de roche sont alors cimentés par les sulfures et par des minéraux de gangue comme la tourmaline, la fluorine et l'anhydrite. La présence de fragments de porphyres minéralisés dans ces brèches intrusives est utilisée comme indice dans la recherche d'amas minéralisés en profondeur.
- Ces gisements sont caractérisés par des zones d'altération concentriques, dont la séquence théorique, du centre du gisement vers la périphérie, se présente comme suit: altération potassique - altération phyllique - altération argileuse - altération propylitique. Les assemblages minéralogiques notés dans chacune des zones sont les suivants:

- Abondance de quartz et d'orthose avec ou sans biotite d'origine hydrothermale, dans la zone d'altération potassique. Celle-ci contient toujours la plus grande partie de la minéralisation économique.
- Grande quantité de quartz, séricite et pyrite dans la zone d'altération phyllique. La pyrite est concentrée dans cette zone et y constitue fréquemment 20% du volume, formant ainsi une véritable auréole pyriteuse autour du gisement. La présence d'une telle auréole est effectivement l'une des caractéristiques des gisements porphyriques (Hollister, 1978).
- Kaolin, illite, montmorillonnite et pyrophyllite dans la zone d'altération argileuse.
- Chlorite, épidote, calcite et magnétite dans la zone d'altération propylitique.

- Les minéraux métalliques montrent également une zonalité: la molybdénite et les sulfures de cuivre sont concentrés dans la zone potassique, la pyrite, dans la zone phyllique, la sphalérite et la galè-

ne, dans les zones argileuse et propylitique, à l'extérieur du gisement.

Bien qu'ils partagent plusieurs caractéristiques avec ceux produisant du Mo (de type Cu-Mo ou Mo seulement), les gisements porphyriques exploités pour le cuivre seulement montrent également des différences significatives justifiant une division en deux classes distinctes:

Gisements porphyriques ne produisant que du Cu et pouvant être associés à des roches intrusives d'affinité alcaline ne contenant pas de quartz (modèle dioritique) ou à des roches intrusives d'affinité calco-alcaline contenant du quartz (modèle monzonite quartzique). Dans le premier cas, seules les zones d'altération potassique et propylitique sont développées (Hollister, 1978). Les minéraux fluorés sont absents ou très rares dans de tels gisements et les minéraux de tungstène et d'étain sont en quantités très faibles.

Gisements porphyriques, qui produisent du Mo et semblent toujours associés à des roches granitiques d'affinité calco-alcaline. Celles-ci sont en général plus felsiques que celles renfermant les gisements porphyriques de cuivre seulement et se caractérisent par un indice de coloration très faible (Hollister, 1978). Les quatre zones d'altération précitées sont ordinairement présentes. Les minéraux fluorés (fluorine et topaze, surtout) sont courants dans la gangue; des minéraux d'étain et de tungstène sont également présents.

GISEMENTS PORPHYRIQUES

MODE DE FORMATION

L'origine orthomagmatique des gisements porphyriques est unanimement admise par ceux qui ont étudié ceux-ci (entre autres: Nielsen, 1968; Lowell et Guilbert, 1970; Sillitoe, 1972; Mutschler, 1976; Wallace et al, 1968). Un gisement orthomagmatique est ici défini comme un gisement dont la mise en place est génétiquement liée à la cristallisation d'un magma.

La cristallisation du magma granitique en profondeur commence dans la zone du toit de l'appareil magmatique, dans les coupoles et irrégularités du toit, là où le refroidissement est le plus rapide. Elle s'y traduit par la formation d'une croûte solide, résultat de la cristallisation de phases anhydres - quartz et feldspaths, surtout. Cette cristallisation abondante de phases anhydres provoque un enrichissement en eau dans le liquide résiduel, amenant ainsi une augmentation de la pression d'eau du système. Celle-ci peut atteindre, même dépasser la pression hydrostatique et vaincre la résistance du contenant, d'où la rupture de l'enveloppe et la fuite des solutions hydrothermales dans le réseau de fractures ainsi formé. Plusieurs variantes de ce mécanisme peuvent se produire. Ainsi, des mouvements tectoniques, des failles et fractures peuvent faciliter la fuite, dans la couverture, des solutions minéralisantes. La cimentation des fractures par les solutions minéralisantes peut également refermer le système ainsi que le cycle; le processus initial (cristallisation de phases anhydres - augmentation de la pression d'eau du système) peut se produire à nouveau. La répétition du cycle se traduit par des venues de porphyres qui recoupent les corps minéralisés; ces venues plus jeunes peuvent elles-mêmes être minéralisées en vertu de phénomènes hydrothermaux subséquents.

Ce mécanisme peut ainsi drainer la majeure partie de l'eau et des métaux de l'appareil magmatique, vers un point, où

même une cristallisation avancée ne peut plus générer des surpressions suffisantes pour fracturer l'enveloppe. Ce stade culmine par la cristallisation complète du granite en profondeur, lequel, à sa phase terminale, peut donner naissance à des pegmatites, largement dépourvues des métaux qui ont caractérisé les stades hydrothermaux précédents.

La fracturation dans la zone du toit a contrôlé le type de minéralisation et le degré d'altération des roches. Les stockwerks résultent d'une forte fracturation de la roche de couverture près des zones de pression intense; cette fracturation résulte probablement de phénomènes pulsatoires. Les systèmes de veines minéralisées bien définies peuvent résulter d'un mode particulier de fracturation de l'enveloppe, de pressions moins élevées ou de fractures développées dans l'enveloppe, au-delà des foyers de haute pression.

La précipitation des solutions hydrothermales résulte principalement d'une baisse de pression et de température. L'accès de solutions dans les roches fracturées s'accompagne, en effet, d'une importante baisse de pression; les solutions, vu leur contact avec les roches plus froides de la couverture ainsi que leur rencontre éventuelle avec les eaux météoriques, connaissent un abaissement de leur température. La précipitation des solutions hydrothermales et l'altération des roches encaissantes sont des phénomènes intimement reliés. Burnham (1967) pense que la silicification résulte d'un régime de basse pression et que la feldspathisation est liée à un régime de haute pression.

Les gisements porphyriques sont clairement d'origine orthomagmatique; autrement dit, ils s'inscrivent dans un processus continu de cristallisation et de différenciation d'un magma, d'où résultent les stades hydrothermaux minéralisants et les phénomènes d'altération qui leur sont associés. Dans l'ensemble, cette évolution se fait à faible profondeur, dans la partie supérieure et la bordure d'appareils magmatiques de grandes dimensions. Elle se traduit par la venue de stocks, de cheminées et de dykes de porphyres quartzo-feldspathiques, où les phénocristaux formés au stade intratellurique contrastent de façon marquée avec leur matrice quartzo-feldspathique quasi aphanitique. Plusieurs générations de porphyres d'aspect semblable peuvent ainsi avoir été produites. La minéralisation peut être limitée à certains porphyres; elle peut même, dans certains cas, envahir les roches de l'enveloppe, si la fracturation est suffisamment intense.

AGE

L'âge des gisements porphyriques est encore au coeur de nombreuses controverses. La très grande majorité des gisements porphyriques actuellement exploités sont, bien entendu, situés dans des chaînes de montagnes jeunes, d'âge Mésozoïque ou Cénozoïque (tableau B-3) comme, par exemple, les gisements de la Cordillère bordant la côte ouest des Amériques du Nord et du Sud. Selon Titley et Hicks (1966), les gisements les plus importants au point de vue économique seraient surtout d'âge Tertiaire.

Les gisements porphyriques de Copper Hill, Cadia et Cargo en Nouvelle Galles du Sud (Australie) sont, cependant, d'âge Dévonien (Felton, 1974), tandis que celui de Ruddygore, dans le Queensland, est d'âge Carbonifère (Branch, 1960). Les gisements de Kounrad et d'Almalyk en URSS sont également d'âge Carbonifère (Meshchaninov et

Azin, 1974). Les gisements de type porphyrique de Haute-Volta sont d'âge Protérozoïque (Sillitoe, 1979).

De nombreux gisements de type porphyrique ont été identifiés dans les Appalaches, depuis le Maine jusqu'à Terre-Neuve (Hollister et al., 1974; Schmidt, 1978). Ils datent tous du Paléozoïque, leur âge variant du Cambrien au Dévonien. Le plus important est sans aucun doute celui des Mines de Cuivre Gaspé; il constitue le plus grand gisement de type porphyrique en production dans l'Est de l'Amérique du Nord et est le plus grand d'âge Paléozoïque que l'on connaisse dans les Amériques. Le gisement de Mount Pleasant, au Nouveau-Brunswick, est d'âge Carbonifère (Schmidt, 1978).

On commence également à identifiée des gisements de type porphyrique d'âge Précambrien dans le Bouclier canadien. De tels gisements ont été décrits en Ontario, par Blecha (1974), Ayres et Findlay (1976) et Sinclair (1979). Des gisements de type porphyrique ont été reconnus dans la région de Chibougamau (Kirkham, 1972b; Cimon, 1973; Allard et al., 1979; Kavanagh, 1979) ainsi qu'à la mine Don Rouyn, près de Rouyn-Noranda (Goldie et Kotila, 1979).

Plusieurs facteurs peuvent expliquer la rareté (réelle ou apparente) des gisements porphyriques anciens. Par exemple, même s'ils ont déjà existé, de tels gisements, ont eu, en raison de leur ancienneté, beaucoup plus de chances d'être érodés que les gisements porphyriques récents. Dans les gisements récents, en effet, la plus grande partie de la minéralisation de Mo se situe, en association avec les phases subvolcaniques (porphyres), dans la partie supérieure (coupole) des complexes intrusifs acides. Lors de l'érosion, elle sera évidemment la première à disparaître. Si de tels gisements ont pu être conservés, leurs caractéristiques primaires peuvent aussi avoir connu de profondes modifications à la suite du métamorphisme et de la déformation pénétrante. Ils seraient maintenant associés à des roches foliées dans lesquelles les assemblages caractéristiques d'altération ont été détruits ou profondément changés. De tels gisements pourraient donc être très difficiles à identifier. Citons, en guise d'exemple, le gisement Pamour, dans la région de Timmins en Ontario (Davies et Lutha, 1978).

Il faut remarquer cependant que l'on n'a pratiquement jamais cherché de gisements porphyriques dans les roches anciennes. Plusieurs gisements porphyriques énormes étant situés, en effet, dans des chaînes de montagnes d'âge Mésozoïque et Cénozoïque et étant connus depuis très longtemps (Chuquicamata, El Teniente, Climax, etc.), l'exploration pour le Mo a toujours été concentré dans ces roches relativement jeunes.

Même si on n'a découvert, jusqu'à présent, que peu de gisements porphyriques d'importance économique dans les roches anciennes, on ne doit pas, pour autant, cesser la recherche; il faut, en effet, tenir compte du fait que - même dans la Cordillère de l'Ouest de l'Amérique - pour chaque gisement exploitable découvert, plusieurs gisements à teneur subéconomique ont dû être abandonnés.

En conclusion, il semble que, même s'ils sont plus abondants dans les chaînes de montagnes récentes, les gisements porphyriques existent dans les roches de tout âge. Selon Kirkham (1972b), les gisements de type porphyrique, s'ils ne sont pas rares dans le Bouclier canadien, ont un po-

tentiel économique encore loin d'être établi.

MODELE TECTONIQUE GLOBAL

Sillitoe (1972) a été le premier à proposer que les gisements porphyriques sont génétiquement associés à des zones de subduction. Dans le modèle qu'il a fourni, les gisements porphyriques sont formés par la fusion partielle de la partie supérieure d'une croûte océanique s'enfonçant sous un bloc continental. Ce modèle est intéressant,en ce qu'il rend compte de plusieurs caractéristiques des gisements porphyriques:

- La plupart de ceux-ci sont concentrés dans des chaînes de montagnes allongées, toutes situées à la rencontre de deux plaques tectoniques;
- Des métaux comme le Cu et le Mo sont enrichis dans les basaltes des fonds océaniques, les nodules de Mn, les boues pélagiques et les fosses salines, telles la Mer Rouge. Des granites formés par l'anatexie partielle précitée seraient donc pré-enrichis en métaux et susceptibles de renfermer des minéralisations économiques;
- Dans le cycle géochimique, le Cu et le Mo sont continuellement concentrés dans les sédiments des fonds marins, par suite de plusieurs périodes successives de magmatisme, d'érosion, de transport et de redépôt. Cet enrichissement progressif explique peut-être pourquoi les gisements porphyriques récents contiennent, par rapport aux gisements plus anciens, beaucoup plus souvent des concentrations économiques de métaux.

Le modèle proposé par Sillitoe (1972) a cependant fait l'objet de nombreuses critiques. On a notamment fait valoir que:

- La distribution - spatiale et temporelle - aléatoire des gisements porphyriques le long de la côte ouest des Amériques ne favorise pas une origine par l'entremise d'une zone de subduction. Lowell (1974b) considère donc que la formation des gisements porphyriques n'a aucune relation réelle avec la subduction et n'a pas été contrôlée par celle-ci;
- Des zones de subduction reconnues (Japon, par exemple) ne contiennent aucun gisement de type porphyrique;
- Des gisements de type porphyrique très anciens ont maintenant été identifiés, mais rien ne porte à croire que les mécanismes de la tectonique globale communément admis de nos jours (entre autres, la présence de zones de subduction) aient pu fonctionner à ces époques reculées;
- Un modèle génétique orthomagmatique (tel que décrit aux pages 8-9) ne nécessite pas la présence d'une zone de subduction;
- Le volume de roches intrusives à la mine Climax est nettement insuffisant pour expliquer la concentration de Mo présente (Wallace et al., 1978). Ceux-ci proposent plutôt que le gisement a été formé lorsque le complexe intrusif a traversé un ensemble de rohes déjà enrichis en Mo. Le Mo aurait alors été extrait des roches encaissantes par lessivage, puis transporté par les solutions hydrothermales et enfin concentré dans le gisement. A l'appui de leur hypothèse, Wallace et al. soulignent que le socle granitique, d'âge Précambrien, qui contient le gisement de Climax possède une concentration en Mo trois fois plus élevée que la concentration moyenne des granites.

L'association des gisements porphyriques avec une zone de subduction n'est donc pas unanimement acceptée; il est peut-être préférable d'adopter l'hypothèse, pro-

posée par Hollister (1978), de gisements porphyriques pouvant se former dans n'importe quelle région où des failles profondes donnent accès à des zones de fusion partielle. Cette hypothèse se fonde sur le fait que, dans les chaînes de montagnes plissées, les gisements porphyriques sont ordinairement alignés le long de failles majeures correspondant au grain tectonique de l'orogenèse. Après le développement de la phase compressive ayant donné lieu au plissement, il s'est produit une détente accompagnée de fractures de tension pouvant atteindre des zones de fusion partielle.

Dans ce modèle génétique plus général, la zone de failles profondes peut correspondre à une zone de subduction, bien que la présence de celle-ci ne soit plus nécessaire à la mise en place d'un gisement de type porphyrique.

En somme, bien qu'ils ne sauraient être appliqués de façon généralisée, les modèles invoquant le contrôle de la tectonique globale offrent des avenues intéressantes. Il nous semble plus significatif de retenir que les minéralisations de type porphyrique se sont formées lors des périodes de magmatisme acide caractérisant l'évolution des géosynclinaux. Ces minéralisations semblent coïncider avec les phases de détente où se situe le magmatisme épizonal.

METHODES DE PROSPECTION

La prospection des gisements porphyriques récents utilise les données de plusieurs sources. Au début de la phase stratégique de l'exploration, le choix de régions qui ont été le site d'un magmatisme acide, d'âge relativement récent, paraît évident. Lors des levés géologiques, les guides ou indices pétrographiques ainsi que la géochimie des roches, suivie ou non d'une géochimie stratégique (sols et sédiments), permettent de préciser les cibles intéressantes. Ces régions font ensuite l'objet de travaux tactiques où peuvent s'intégrer levés géophysiques et géochimiques, ainsi que forages. Le succès d'une campagne réside dans l'adéquation des méthodes et indices utilisés pour une région donnée.

Dans un premier temps, nous élaborerons sur les guides et méthodes utilisés dans la prospection des gîtes d'âge relativement récent; c'est dans ces gîtes, en effet, que sont les mieux conservées et exposées les diverses caractéristiques. Dans un deuxième temps, nous examinerons les contraintes et modifications qu'impose le contexte géologique du Québec et nous proposerons un schéma général de prospection pour le molybdène au Québec.

GUIDES PETROGRAPHIQUES ET MINERALOGIQUES

Les principaux guides pétrographiques et minéralogiques sont les suivants:

- Présence de complexes intrusifs acides renfermant des phases porphyriques. La minéralisation est associée à des roches subvolcaniques, généralement des rhyolites porphyriques à quartz et feldspath. Ces roches présentent une composition voisine de celle du point minimum des granites, un caractère plutôt potassique, une teneur élevée en SiO_2 (souvent plus de 75%) et un indice de coloration très faible. L'abondance de veines de quartz, la présence de pyrite disséminée et d'indices connus de molybdène peuvent également s'avérer de bons indicateurs.
- Présence de zones d'altération bien développées. Dans des terrains faiblement métamorphisés, comme ceux formés par les

formations du Tertiaire, les zones d'altération propylitique, argileuse, phyllique et potassique, peuvent être identifiées. Ces types d'altération, ainsi que la distribution des métaux, montrent une zonalité.

L'identification de la zone d'altération potassique est particulièrement importante, puisque cette zone contient généralement la majeure partie de la minéralisation économique. En général, plus l'altération potassique est intense, plus la minéralisation est forte (Jambor et Beaulne, 1978).

Cette zone d'altération potassique est caractérisée par l'abondance de feldspath potassique, avec, ici et là, de la biotite secondaire. Dans certains gisements de l'Ouest des Etats-Unis, le pourcentage d'orthose du feldspath potassique est utilisé comme critère d'altération: il varie entre 60 et 90% dans les roches stériles et entre 95 et 97% dans les zones minéralisées, par suite d'un apport de potassium et d'une perte de sodium (Kuellmer, 1960).

. Présence d'une fracturation très intense. Les différents systèmes de veines ou de fractures doivent être soigneusement relevés ainsi que leurs éléments suivants: direction et pendage, ordre chronologique, espacement, largeur et intérêt économique (minéralisés ou stériles.)

Une attention spéciale doit être portée sur la délimitation des endroits où plusieurs systèmes de veines minéralisées peuvent s'entrecroiser pour former un stockwerk; il y aurait alors possibilité d'obtenir un minerai à plus haute teneur. A cause de la fracturation très intense, de telles zones ont souvent été érodées plus facilement; elles sont alors recouvertes par du mort-terrain ou se retrouvent même sous un marécage ou un lac. Il faut alors compléter le travail de cartographie par des levés géochimiques et/ou géophysiques.

. Présence de minéraux contenant du bore (tourmaline) ou du fluor (fluorine, topaze); ces éléments, en effet, accompagnent couramment les minéralisations de Mo.

METHODES GEOPHYSIQUES

La polarisation induite est la méthode géophysique la plus utilisée dans la recherche des gisements porphyriques de Mo, parce qu'elle peut déceler des sulfures même disséminés. Cette méthode s'est montrée la plus efficace dans la découverte de plusieurs gisements de Mo en Colombie Britannique (Fountain, 1968), les méthodes magnétiques et électromagnétiques n'ayant, dans la plupart des cas, que des applications indirectes. Quant à la gravimétrie, elle s'est généralement avérée inutile (Fountain, 1968), les contrastes de densité entre roches minéralisées et encaissantes étant trop faibles.

La méthode de polarisation induite est cependant coûteuse; de plus, elle ne permet pas de distinguer une minéralisation économique d'une simple minéralisation de pyrite. De ce fait, elle donne souvent des anomalies très étendues qui doivent par la suite être précisées par d'autres méthodes (géochimiques, par exemple).

METHODES GEOCHIMIQUES

Nous soulignons ce qui suit au sujet de la prospection géochimique:

. L'effet de l'altération hydrothermale (voir page 12) sur la composition chimique des roches encaissantes dans les gisements de Mo est bien connu (Neuerburg

et al., 1976; Olade et Fletcher, 1975; Timson et Pride, 1978); il y a là un excellent critère de prospection. Dans la zone minéralisée, les roches sont fortement enrichies en K_2O, SiO_2, TiO_2 et Rb, tandis qu'elles sont appauvries en Na_2O, CaO, MgO et Sr.

- Des éléments comme le chlore, le bore et le fluor sont également enrichis dans les roches minéralisées, ainsi que dans les sols recouvrant celles-ci; ils peuvent donc constituer des guides.
- Les inclusions fluides dans la zone minéralisée sont beaucoup plus salines que celles à l'extérieur de celle-ci (Kamilli, 1978).
- La composition chimique des biotites (Jambor et Beaulne, 1978) et l'état structural de la séricite (Berzina et al., 1973) varient également depuis la zone stérile jusqu'à la zone minéralisée; elles constituent ainsi des critères pour la prospection.
- Dans les régions possédant un bon drainage, les sédiments de ruisseau peuvent montrer de bonnes teneurs en Mo (Kelly, 1975).
- Dans les régions recouvertes de matériaux glaciaires, ce qui est le cas de la quasi-totalité du Bouclier canadien, l'échantillonnage des sols doit être utilisé avec discernement, car les anomalies géochimiques peuvent se trouver à des distances appréciables de la source. Dans le Bouclier canadien, le prélèvement, à des fins d'analyse, d'échantillons du till de base sous la couverture d'argile, a donné les meilleurs résultats (Smee et Sinha, 1979). D'autres méthodes, telles l'analyse pour les minéraux lourds dans les eskers, l'étude du réseau de dispersion des blocs erratiques minéralisés et l'échantillonnage des sédiments de fonds de lacs peuvent également s'avérer efficaces. Ces méthodes peuvent nécessiter, cependant, le recours à des spécialistes en géologie du Pléistocène lors de l'interprétation des données.
- Ginzburg (1960) mentionne que l'eau dans les fractures des roches riches en Mo recèle des concentrations anormales de Mo en solution. Les teneurs, toutefois, n'atteignent que quelques ppb, ce qui rend ce critère difficilement applicable.

METHODES BIOGEOCHIMIQUES

Le Mo ne se concentre dans aucun type de végétation en particulier; toute concentration anormale dans les végétaux peut donc être utilisée comme guide en exploration (Hawkes et Weeb, 1962; Ginzburg, 1960).

Les branches et les aiguilles des conifères poussant au-dessus des gisements de Mo, en Colombie Britannique et dans le Maine, contiennent une quantité anormale de Mo; ce guide a également été appliqué avec succès dans le cas du gisement de Setting Net Lake, en Ontario (Wolfe, 1976).

APPLICATION POSSIBLE AU QUEBEC

Les critères de prospection utilisés dans la recherche des gisements porphyriques récents ne peuvent être appliqués intégralement au Québec pour les raisons suivantes:

- Les roches du Québec sont en général beaucoup plus anciennes que celles qui contiennent la plupart des gisements porphyriques exploités dans le monde. A part les Basses Terres du St-Laurent, où l'on retrouve les intrusions montérégiennes (d'âge Crétacé), et les Appalaches, dont les roches les plus jeunes sont d'âge Carbonifère, la plus grande partie du Québec (Bouclier canadien) est recou-

verte de roches d'âge Précambrien. Ces roches ont connu une longue période d'érosion; les gisements porphyriques qu'elles ont pu renfermer présentent sans doute un niveau d'érosion beaucoup plus profond que les gisements récents. Il existe donc peu de probabilités de retrouver intacte la partie sommitale (subvolcanique) des complexes intrusifs acides.

- Le métamorphisme et la déformation ont pu modifier considérablement les caractéristiques primaires de tels gisements hypothétiques. Ainsi les assemblages minéralogiques caractéristiques des différentes zones d'altération ont pu être complètement transformés.
- L'ensemble du Québec, sauf une très petite partie des Appalaches, a subi les effets de la glaciation. De ce fait, les méthodes conventionnelles de prospection géochimique ne sont pas faciles d'application et doivent être utilisées avec circonspection, vu que la majeure partie des sols sont allochtones.
- Un modèle génétique des gisements porphyriques basé sur la tectonique des plaques s'applique difficilement au Québec; il n'est pas démontré, en effet, que les mécanismes de tectonique globale reconnus de nos jours fonctionnaient au Précambrien.

Il ne faut donc pas s'attendre à retrouver intégralement toutes les caractéristiques propres aux gisements porphyriques récents. Tout au plus pouvons-nous espérer que certains vestiges ont été conservés. L'identification de cibles géologiques dans l'exploration pour les gisements porphyriques anciens pourrait se fonder sur les guides suivants:

- Présence - sous forme de stocks, de cheminées ou de dykes - de porphyres quartzo-feldspathiques génétiquement reliés à des complexes intrusifs acides. Des filons de pegmatite porteurs de molybdénite peuvent également représenter une phase tardive dans l'évolution de ces complexes.
- Abondance de veines de quartz; présence, dans celles-ci, de métaux typiquement associés au Mo dans les minéralisations de départ acide (Cu, Bi, W, Sn); pyrite disséminée dans les roches acides et, tout particulièrement, dans les porphyres; brèches intrusives minéralisées.
- Certains types d'altération comme la silicification et le caractère potassique de roches intrusives. La zone d'altération potassique devrait être conservée, vu la stabilité du feldspath potassique, même dans des conditions de métamorphisme élevé.
- Zonalité dans les types d'altération; cette zonalité peut constituer un indice valable, même si certaines zones d'altération ont été oblitérées par le métamorphisme et la déformation. De même, une zonalité dans la distribution des métaux constitue une caractéristique primaire des gisements porphyriques qui devrait être conservée en dépit du métamorphisme et de l'altération.

SCHEMA D'UNE CAMPAGNE D'EXPLORATION AU QUEBEC

Toute campagne d'exploration visant à découvrir des gisements de Mo au Québec devrait d'abord inclure une phase stratégique. Dans celle-ci, sont rassemblés tous les critères pour fixer le choix d'une région dans la recherche des gisements. Ces critères pourraient être les suivants:

- Présence de complexes intrusifs acides contenant des phases subvolcaniques (porphyres) ou auxquels sont rattachés des indices tels que la proximité de minéralisations connues de Mo, l'abondance de

veines de quartz, la pyritisation, la présence de métaux associés (Bi, W, Sn, Cu). Minéraux tels que tourmaline, fluorine, topaze, magnétite, hématite spéculaire.

. Type de minéralisation (associée à des porphyres, à des dykes de pegmatite, à des phénomènes de métamorphisme de contact, etc.). Par la suite, les minéralisations connues sont interprétées en fonction du modèle génétique établi. Elles seront classifiées par ordre de priorité, en fonction de leur pertinence au modèle recherché.
Géochimie primaire: l'examen des teneurs en Rb, Sr ou en éléments des terres rares peut permettre d'associer ou non certaines phases (porphyres, pegmatites) à des complexes intrusifs qui leur sont génétiquement reliés.

. Présence, à l'échelle régionale, de teneurs en Mo supérieures à la moyenne dans les sols ou les sédiments de ruisseau.

Après le choix d'une région favorable, vient la phase tactique, laquelle consiste en l'ensemble des mesures à prendre pour démontrer ou non la présence de minéralisations de Mo d'intérêt économique dans cette région. Cette phase peut inclure les étapes suivantes:

. Cartographie détaillée d'un site favorable, avec accent sur la recherche des indices pétrographiques précités.

. Géochimie plus détaillée des sédiments de ruisseau. Dans une région ayant connu la glaciation, on peut inclure l'échantillonnage du till de base, l'étude des minéraux lourds dans les eskers, l'analyse des sédiments de fonds de lacs, le retraçage de blocs minéralisés à leur source, etc.

. Géophysique: des levés par polarisation provoquée ou par magnétisme au sol peuvent permettre de définir des cibles potentielles de façon plus précise.

. Forage: le forage n'a pas seulement pour but d'établir ou non la présence de minéralisations d'intérêt économique. Il peut également - même s'il ne recoupe pas de minéralisations - révéler les indices permettant de soupçonner la proximité d'une minéralisation: degré croissant d'altération, abondance de pyrite, teneur en Mo des roches supérieure à la normale, etc.

INDICES DE MOLYBDENE AU QUEBEC: PROSPECTION ET EVALUATION

Nous nous proposons, dans cette partie, d'évaluer, en fonction des guides et critères présentés ci-dessus, le cadre génétique ainsi que le potentiel économique des minéralisations de Mo connues au Québec.

Exploratech Ltée (1979) a retenu cinq secteurs d'intérêt premier pour la recherche du molybdène au Québec. Ce sont les régions suivantes:

- batholites de Preissac et de Lacorne,
- Senneterre,
- Hull-Gatineau,
- Portneuf,
- Sainte-Cécile (cantons de Dorset, Gayhurst et Whitton).

Trois autres secteurs d'intérêt secondaire ont également été retenus:

- région de Chibougamau,
- secteur des lacs Frotet et Troïlus (canton 1323),
- région de la faille de Grand Pabos (cantons de Robidoux et Reboul).

Ces huit secteurs d'intérêt peuvent être regroupés, au point de vue géologique, en trois provinces: Supérieur, Grenville et Appalaches.

Nous examinerons, aux pages suivantes, les possibilités de découvrir, dans chacune de ces provinces, des gisements de Mo d'importance économique; nous ferons également des recommandations sur la nature des travaux à effectuer et les méthodes de prospection à utiliser pour une meilleure définition du potentiel en Mo de chacune des provinces. Nous ferons ressortir (d'un point de vue géologique), pour chaque région où des minéralisations de Mo sont connues, les similitudes ou les différences qui existent avec le modèle proposé aux pages précédentes.

SUPERIEUR

BATHOLITES DE PREISSAC ET DE LACORNE

Ces batholites consistent en deux complexes intrusifs acides recoupant les roches métasédimentaires et métavolcaniques, d'âge Archéen, de l'Abitibi (figure 2). Ces intrusions sont elles-mêmes d'âge Archéen; Dawson (1966) leur a assigné un âge variant entre 2310 et 2735 Ma.

Toujours selon Dawson, les roches granitiques dont sont constituées ces intrusions présentent les proportions suivantes: leucoadamellite, 33%; syénodiorite, 31%; granodiorite, 28%; monzonite, 8%. Leur composition minéralogique moyenne est donnée au tableau 4. Ces roches sont recoupées par des dykes de pegmatite, d'aplite et de porphyre feldspathique.

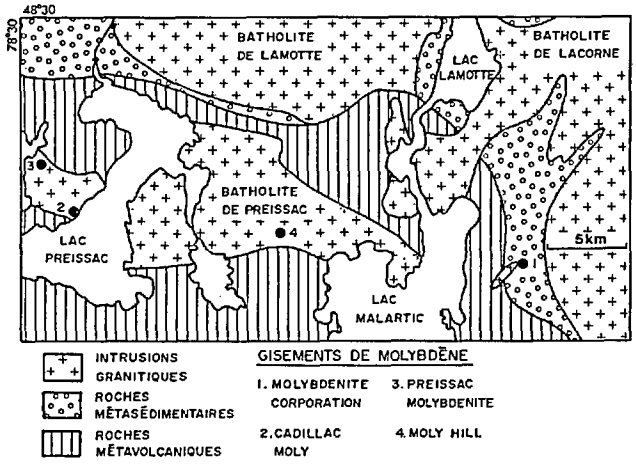


FIGURE 2 - Cadre géologique de la région des batholites de Preissac et de Lacorne (d'après Dugas et Gilbert, 1953).

TABLEAU 4 - Composition minéralogique moyenne des roches des batholites de Preissac et de Lacorne.

	Plagioclase	Microcline	Quartz	Minéraux mafiques
Leucoadamellite	38.4% (An_{12})	27.5%	27.3%	6.8%
Syénodiorite	44.6 (An_{23})	9.5	2.4	43.5
Granodiorite	53.6 (An_{19})	10.1	22.5	13.8
Monzonite	40.3 (An_{24})	26.8	4.5	28.4

Plusieurs minéralisations de Mo ont été découvertes dans les batholites de Preissac et de Lacorne; on compte, parmi les plus importantes, celles qui furent exploitées par Molybdenite Corporation of Canada, Cadillac Moly et Preissac Molybdenite (anciens producteurs) et celles du gisement de Moly Hill, non encore exploité, mais dont les réserves sont connues. Les données relatives à ces quatre gisements sont fournies au tableau 5.

TABLEAU 5 - Production et réserves des gisements de Mo de la région de Preissac et de Lacorne (en tonnes courtes).

GISEMENT	ANNÉES D'OPÉRATION	PRODUCTION TOTALE	RÉSERVES
1. MOLYBDENITE CORPORATION OF CANADA (MINE LACORNE)	1942-1947 1949-1953 1954-1972	8 000 TONNES DE MOLYBDÈNE MÉTAL ET DU BISMUTH	200 000 TONNES À 0.07 % Mo ET 0.019 % Bi
2. CADILLAC MOLY (ANGLO AMERICAN MOLYBDENITE CO)	1965-1970	4 000 TONNES DE MOLYBDÈNE MÉTAL +BISMUTH+ARGENT	507 000 TONNES À 0.11 % Mo ET 0.030 % Bi
3. PREISSAC MOLYBDENITE (INDIAN MOLYBDENUM)	1942-1944 1964-1971	7 000 TONNES DE MOLYBDÈNE MÉTAL ET DU BISMUTH	1 530 000 TONNES À 0.19 % Mo ET 0.024 % Bi
4. MOLY HILL (UTUFORA-DUPAS)	———	———	272 400 TONNES À 0.13 % Mo ET 0.079 % Bi

Les trois anciens producteurs ont cessé leurs activités entre 1970 et 1972, alors que le marché du molybdène était très faible. Il y a eu, cependant, une reprise du marché depuis ce temps: Les Mines Duma-

gami Limitée (principal actionnaire: Les Mines Noranda Limitée) étudient la possibilité de reprendre l'exploitation à la Cadillac Moly et à la Preissac Molybdenite. Dumagami a acquis les droits miniers sur ces deux propriétés; elle se propose d'entreprendre une campagne de forage pour tenter d'augmenter les réserves déjà connues. Une reprise de la production pourrait alors être envisagée (Northern Miner du 15 avril 1979, pages 1 et 2).

Toutes les minéralisations de Mo notées dans les batholites de Preissac et de Lacorne sont associées à des dykes de pegmatite ou de quartz pegmatitique qui recoupent les roches granitiques. Ces dykes de pegmatite sont composés principalement de quartz et de microcline, avec des quantités accessoires de muscovite, fluorine et minéraux métalliques (molybdénite, bismuthinite, bismuth natif et pyrite). Dans tous ces gisements, le Bi est intimement associé au Mo et peut ainsi être exploité comme sous-produit. Mentionnons, en plus des minéraux précités, le béryl, commun à la mine Molybdenite Corporation.

Le fait que ces minéralisations de molybdénite grenue soient localisées dans des pegmatites et des veines de quartz pegmatitique, qu'elles soient restreintes à des fractures bien définies, qu'elles soient situées, dans plusieurs cas, à la bordure des batholites et qu'il y ait absence de pyritisation et d'altération du granite encaissant, évoque fortement, à notre avis, des liquides résiduels tardifs mis en place lors du stade terminal de l'évolution des batholites granitiques. Ces minéralisations pourraient représenter les racines d'anciens gisements porphyriques maintenant profondément érodés. Cette hypothèse semblerait corroborer celle de Dawson (1966), lequel incline à croire que l'épaisseur de roches granitiques ainsi érodées peut atteindre 1500 m environ. Les pegmatites minéralisées de Preissac et de Lacorne partagent le caractère potassique (abondance de microcline et de muscovite) des gisements porphyriques; tout comme ceux-ci, elles comptent de la fluorine comme minéral de gangue. Dans les gisements porphyriques récents, cette phase pegmatitique n'est généralement pas exploitée.

En dépit du caractère résiduel probable de ces minéralisations, il faut encourager la poursuite des récents travaux entrepris par Dumagami. Nous constatons, à ce sujet, le peu de renseignements géologiques et géochimiques sur les minéralisations et les gisements de Preissac et de Lacorne. Vu que ces minéralisations pegmatitiques ont déjà donné lieu à des exploitations rentables, nous sommes justifié, croyons-nous, de recommander des travaux qui pourraient préciser la nature et le contexte structural de ces gisements; le cadre géologique étant bien connu, on pourrait rechercher d'autres concentrations du même genre dans ces massifs granitiques. Ainsi, nous recommandons les travaux stratégiques suivants:

- **Géochimie des roches.** L'analyse pour certains éléments en traces (Mo, Sr, Ba, Rb, Cs, Li et terres rares), dans le granite et les pegmatites, pourrait confirmer la nature résiduelle de celles-ci. Les pegmatites stériles pourraient peut-être se distinguer des pegmatites minéralisées en Mo par une composition géochimique particulière. Ces travaux pourraient également suggérer l'appartenance des pegmatites à une phase ou à une zone particulière du massif granitique.
- **Etude structurale de l'emplacement des pegmatites et des veines de quartz.** Une étude des documents miniers, complétée par des levés de surface où les dykes, les veines et les diaclases feront

l'objet d'analyses statistiques, pourrait permettre de prévoir l'orientation et le pendage des corps minéralisés, là où le mort-terrain constitue un obstacle à la cartographie.

. **Etude des phases porphyriques.** La documentation consultée fait peu état de phases porphyriques (porphyres quartzo-feldspathiques) dans la régon des batholites de Preissac et de Lacorne. Dawson (1966) a cependant signalé des dykes de porphyre feldspathique à l'extrémité est du massif de Lamotte, de même que sur les bordures ouest et sud-ouest du massif de Lacorne. Il a mentionné, également, que ce porphyre est porteur de pyrite. Il s'agit, à note avis, d'un indice intéressant qui mériterait d'être suivi. Les relations génétiques de ce porphyre devraient être approfondies; une attention particulière devrait également être portée à tous les autres porphyres rencontrés dans le secteur avoisinant les batholites de Preissac et de Lacorne.

Nous recommandons, comme travaux tactiques, un échantillonnage des sédiments de ruisseau et de sols, afin de définir des cibles pour l'exploration. Le mort-terrain dans cette région est relativement peu épais; l'analyse du till de base devrait donc donner de bons résultats.

En résumé, nous croyons que les minéralisations de Mo dans les batholites de Preissac et de Lacorne sont de type résiduel et que leur localisation est contrôlée par la structure (fracturation de la roche). Le potentiel de cette région se résume à de petits gisements. On doit regarder celle-ci, cependant, comme une aire d'intérêt premier, vu les exploitations rentables (susmentionnées) qu'elle contient et le potentiel qu'elle offre.

CANTON DE SENNETERRE

Une minéralisation intéressante de Mo a été découverte sur les claims Lavoie-Simard (figure 3). Ces claims comprennent la moitié nord des lots 32 à 37 du rang V et les lots 32 à 37 du rang VI. La minéralisation se situe dans une bande de tuf altéré, broyé et pyritisé, lequel est lardé de veines de quartz minéralisées en molybdénite, chalcopyrite et sphalérite. Les analyses ont également révélé des teneurs importantes en or et en argent. La bande de tuf, qui montre une épaisseur d'au moins 100 m, s'étend sur une distance considérable. Certains échantillons de surface sont spectaculaires; ils ont donné 2.50% Mo, 2.06% Zn, 0.20% Cu ainsi que 0.03 oz.Ag/t. et 0.15 oz.Au/t. (Exploratech, 1979).

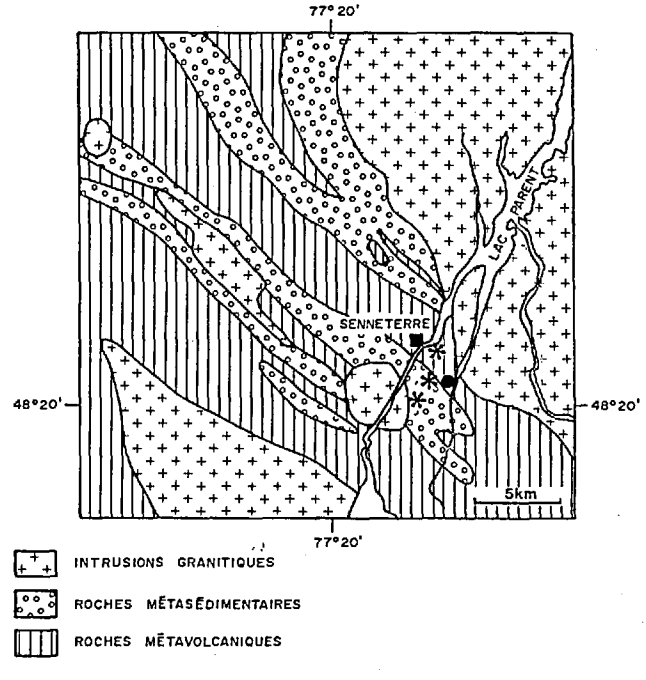


FIGURE 3 - Cadre géologique de la région de Senneterre (d'après Dugas et Gilbert, 1953).

Les derniers travaux effectués, qui remontent à 1951, se limitent à deux tranchées et deux trous de forage de faible profondeur (90 et 94 m). Le meilleur recoupement a donné 1.99% Mo sur 33 cm. L'environnement géologique de cette minéralisation n'est que très peu connu. Celle-ci présente une paragénèse de départ acide et se situe à proximité d'un grand batholite granitique (figure 3) dont la nature est à peu près inconnue. Le manque de données géologiques ne nous permet pas d'aller au-delà de simples conjectures sur la nature de cette minéralisation. Ainsi, la roche encaissante, qu'on présume être un tuf altéré, pourrait représenter un dyke de porphyre cisaillé et altéré. Il semble évident que la nature de cette minéralisation doit être établie avant de pouvoir apprécier son importance correctement. Les travaux qui, à notre avis, permettraient, dans un premier temps, d'avoir une idée de cette minéralisation, comporteraient:

- Une cartographie détaillée de la zone, suivie d'études pétrographiques, ceci afin d'établir la nature de la roche encaissante et les relations de celle-ci avec la minéralisation;
- L'étude et la cartographie du massif granitique avoisinant et de son enveloppe, afin de déceler d'autres indices (pegmatites, veines de quartz, phases porphyriques, etc.).

Nous sommes d'avis que les travaux déjà effectués sont largement insuffisants pour permettre une évaluation réaliste de l'étendue et de la teneur de la zone minéralisée. Des levés géochimiques (till de base) ainsi que des levés de polarisation provoquée, suivis de forages, permettraient de juger du potentiel de cette minéralisation. Nous considérons cette zone comme intéressante, vu que celle-ci offre la possibilité d'une minéralisation polymétallique répartie sur une étendue appréciable. Cette région, cependant, doit être regardée comme possédant un intérêt secondaire, tant que son potentiel n'aura pas été établi de façon plus précise.

REGION DE CHIBOUGAMAU

Cette région présente un intérêt nouveau, car on y a récemment découvert, dans des roches d'âge Archéen, plusieurs minéralisations qui pourraient être de type porphyrique (Kirkham, 1972b; Cimon, 1973; Allard et al., 1979). Les découvertes les plus importantes à ce jour sont les suivantes (figure 4):

- **Gîte de Grandroy.** Il s'agit d'un gîte de Cu avec un peu de Mo, situé dans un petit stock de granodiorite qui recoupe les roches volcaniques. La minéralisation, qui consiste en chalcopyrite, magnétite, hématite, molybdénite et pyrite, forme un stockwerk dans des zones fortement fracturées. Les types d'altération associés à la minéralisation sont la chloritisation, l'épidotisation et l'altération potassique. Ce gîte a été l'objet d'une exploitation à ciel ouvert par la Compagnie minière Campbell Chibougamau Ltée.
- **Gîte de Bruneau.** La minéralisation de Cu et de Mo de ce gîte est associée à de nombreux dykes porphyriques logés dans un système de fractures recoupant les roches volcaniques. Elle est semblable à celle de Grandroy et s'accompagne d'une altération intense: silicification, épidotisation et chloritisation.
- **Dôme du Radar.** A cet endroit, le filon-couche de Roberge (composé de métapéridotite et de dunite serpentinisée) est recoupé par des dykes de porphyre quartzo-feldspathique imprégnés d'une fine minéralisation de Cu et de Mo. La formation de Blondeau (roches volcaniques felsi-

ques), qui constitue l'encaissant du filon-couche, contient également des veines minéralisées en chalcopyrite, magnétite, pyrite et molybdénite.

- **Zone de Rio Tinto.** La société Rio Tinto vient de faire état d'un petit gisement de type porphyrique dont les réserves sont estimées à un million de tonnes, d'une teneur de 2.45% Cu. Ce gisement est situé dans le pluton de Chibougamau (Kavanagh, 1979). La minéralisation, de type stockwerk, est logée dans une cheminée bréchique recoupant des amas de porphyres quartzo-feldspathiques; ceux-ci sont interprétés comme faisant partie du pluton de Chibougamau. La silicification et l'altération potassique accompagnent la minéralisation.
- **Brèche de Queylus.** Plusieurs affleurements de brèches intrusives ont été signalés dans une zone de 30 sur 6 km le long de la bordure sud du pluton de Chibougamau (Allard et al., 1979). Cimon (1973) a décrit en détail la brèche située dans le canton de Queylus. Celle-ci renferme de nombreux fragments de tonalite et de porphyre acide que l'on croit dérivés du pluton de Chibougamau. La minéralisation consiste en chalcopyrite, molybdénite et magnétite dans de multiples réseaux de fractures. Une altération potassique intense est liée à la minéralisation: alors que dans les roches à l'extérieur de la zone minéralisée, la teneur en K_2O est voisine de 1.5%, elle dépasse souvent 5.0% dans la zone bréchifiée. Cette altération se manifeste par le remplacement du plagioclase primaire par du microcline et de la séricite et par la croissance de biotite le long des plans de fractures. Bien qu'on n'ait encore découvert aucune minéralisation économique dans cette zone de brèche, qui couvre près de 3 km^2, les roches qui constituent celle-ci, renferment une teneur moyenne en Cu variant entre 500 et 1000 ppm.

Toutes ces zones minéralisées, selon Cimon (in Allard et al., 1979), appartiennent au même système et ont probablement une origine commune. Elles se situent à l'intérieur ou en bordure du pluton de Chibougamau et sont peut-être reliées génétiquement à celui-ci.

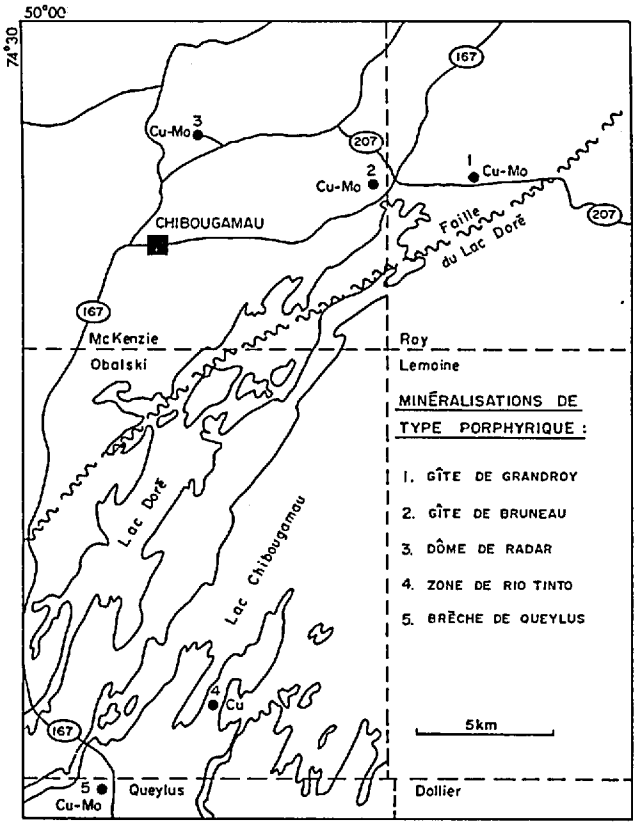


FIGURE 4 - Localisation des minéralisations de type porphyrique dans la région de Chibougamau (d'après Allard *et al.*, 1979).

En résumé, les minéralisations de la région de Chibougamau sont intéressantes parce qu'elles montrent plusieurs similitudes avec les gisements porphyriques récents. Ainsi:

- Le pluton de Chibougamau est constitué d'un ensemble de roches granitoïdes mises en place à la suite de plusieurs périodes d'intrusions successives. On observe,

dans la région, des phases porphyriques intimement reliées à la minéralisation;

- La roche minéralisée est intensément fracturée et la distribution des minéraux métalliques est contrôlée par cette fracturation (minerai de type stockwerk);
- L'abondance de cheminées de brèches intrusives indique un milieu épizonal;
- La minéralisation s'accompagne d'une altération hydrothermale intense: altération potassique, silicification, épidotisation et chloritisation.

Vu ces intéressantes données, la recherche de gisements de Cu et de Mo de type porphyrique dans la région de Chibougamau devrait être fortement encouragée. Afin de guider l'exploration, il faut, dans un premier temps, établir un modèle génétique pour ces minéralisations.

Le caractère du pluton de Chibougamau et ses relations avec les petites intrusions acides à sa périphérie constituent le coeur du problème génétique. Par exemple, la masse granitique où se situe la zone minéralisée de Grandroy représente-t-elle une phase dérivée du pluton de Chibougamau, ou est-elle indépendante de celui-ci et due à un magmatisme subséquent? L'abondance de dykes et de filons de porphyre quartzo-feldspathique - dont certains sont minéralisés en Mo - entre le lac Bourbeau et le granite de Grandroy, doit-elle être reliée au granite de Grandroy, au pluton de Chibougamau ou au volcanisme acide subséquent?

A notre avis, la région de Chibougamau recèle suffisamment d'indices prometteurs pour justifier des travaux stratégiques, qui viseraient à définir un modèle génétique, et des travaux tactiques, qui tenteraient de préciser et d'évaluer les indices minéralisés déjà connus.

Nous recommandons donc une cartographie détaillée des localités les plus intéressantes, suivie de l'étude géochimique des roches et des isotopes, afin que soient clarifiées les relations entre les venues acides, porteuses de minéralisations de Cu et de Mo, et le pluton de Chibougamau. Une attention particulière doit être portée aux filons de porphyres quartzo-feldspathiques, à la distribution, la fréquence, le chimisme et, principalement, la teneur en métaux (Cu, Mo) de ceux-ci.

Nous recommandons également des travaux tactiques afin de définir et d'évaluer les indices déjà connus; l'étude géochimique des sols devrait être faite en premier lieu. Par la suite, selon les résultats obtenus, la polarisation provoquée et les levés magnétiques au sol pourraient être utilisés (la minéralisation étant fréquemment associée à de la magnétite).

En résumé, la région de Chibougamau recèle des minéralisations qui montrent suffisamment de similitudes avec les gisements porphyriques récents, pour qu'on la considère d'intérêt premier - au même titre que la région des batholites de Preissac et de Lacorne.

REGION DES LACS FROTET ET TROILUS

La découverte, dans le canton 1323, au nord de Chibougamau, de deux blocs erratiques richement minéralisés en molybdénite - l'un, sur la rive du lac Frotet, l'autre, sur la rive du lac Troïlus (figure 5) - a suscité beaucoup d'intérêt. On ne sait pas encore, cependant, d'où proviennent ces blocs.

Ceux-ci sont constitués d'une diorite quartzique à grain fin, dans laquelle la molybdénite est, de façon homogène, fi-

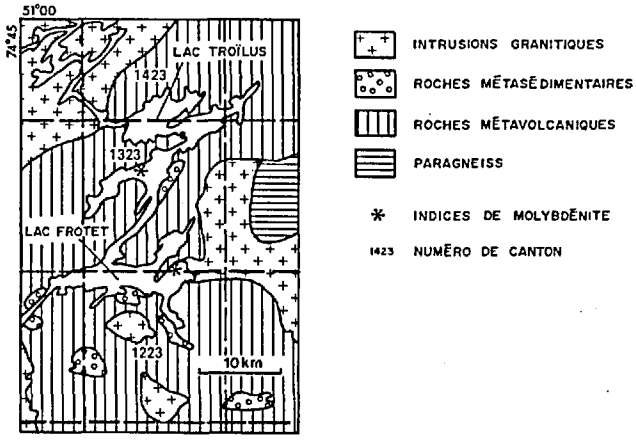


FIGURE 5 - Cadre géologique de la région des lacs Frotet et Troïlus (d'après Murphy, 1966).

nement disséminée. Les roches intrusives acides, qui sont abondantes dans la région, montrent une grande diversité de composition: diorite quartzique, granodiorite, monzonite quartzique, granite, gneiss granitique, pegmatite et aplite. Murphy (1966) a également mentionné des porphyres à phénocristaux de quartz et d'orthose; il n'a cependant pas fait état de minéralisation associée à ces porphyres.

Ces blocs minéralisés sont intéressants; la molybdénite y est distribuée de sorte à entrevoir la possibilité d'une minéralisation importante. Nous proposons, comme première étape dans le traçage des blocs à leur source, une étude - en s'aidant de la direction des stries glaciaires - de la nature et de la fréquence des galets des bords de lac dans la région. Des levés géochimiques des sédiments de ruisseau et/ou du till de base pourraient, par la suite, contribuer à préciser la provenance des blocs. La géochimie primaire (éléments en traces et éléments des terres rares) pourrait également concourir à établir une filiation entre les blocs minéralisés et l'un des plutons granitiques de la région.

Bien qu'intéressant, cet indice doit être considéré d'intérêt secondaire, étant donné que son potentiel est encore totalement inconnu.

MINE DON ROUYN

Il s'agit d'une exploitation à ciel ouvert située dans le pluton granitique de Powell, tout près de Rouyn-Noranda (figure 6). Vu sa forte teneur en SiO_2, le minerai de cette exploitation sert de fondant siliceux pour la fonderie de Noranda. De faibles quantités de cuivre et d'or sont récupérées au cours du procédé d'affinage.

Ce gisement ne pourrait être exploité pour le cuivre et l'or et n'aurait que peu d'importance, si, selon Goldie et Kotila (1979), il n'était un gisement porphyrique d'âge Archéen. En effet, la distribution des métaux dans le pluton de Powell montre une zonalité similaire à celle des gisements porphyriques récents; de plus, les métaux sont localisés dans de petites fractures du granite.

Goldie et Kotila (1979) ont décrit une zonalité minéralogique dans ce pluton. Depuis le centre jusqu'à la bordure, on note: une zone à chalcopyrite et bornite, une zone à chalcopyrite et pyrite, et une zone périphérique à pyrite et hématite spéculaire.

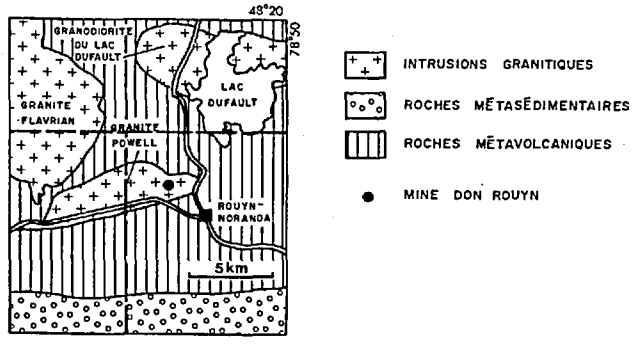


FIGURE 6 - Localisation et cadre géologique de la mine Don Rouyn (d'après Dugas et Gilbert, 1953).

La teneur en Cu montre également un zonalité; elle passe de plus de 0.25%, dans la partie centrale du pluton, à moins de 0.10% en bordure. Goldie et Kotila n'ont pu cependant observer de zonalité dans la distribution des silicates, à cause, peut-être, du métamorphisme régressif. La molybdénite est présente en faibles quantités dans ce gisement.

CONCLUSIONS

La présence de gisements porphyriques d'âge Précambrien commence à peine à être reconnue dans le Bouclier canadien. Ceux-ci, jusqu'à présent, ont été localisés principalement en Ontario et au Québec. Leur potentiel minéral est encore mal défini, bien que ceux qui ont été identifiés à ce jour aient généralement des teneurs subéconomiques.

Au Québec, dans la province du Supérieur, certaines régions qui sont les sites d'imposantes masses granitiques présentent des indices militant en faveur d'une exploration pour le Mo: régions des batholites de Preissac et Lacorne, et de Chibougamau et canton de Senneterre.

La région de Chibougamau mérite, à notre avis, une attention spéciale. La découverte d'un petit gisement porphyrique de Cu près de la bordure sud du pluton de Chibougamau (Kavanagh, 1979) nous apparaît significative; ce gisement représente, en effet, un des premiers gisements porphyriques exploitables à être découvert dans le Bouclier canadien du Québec. Les indices de Mo associés aux dykes de porphyres quartzo-feldspathiques dans les parties nord et ouest de cette région revêtent également une importance particulière. D'autres découvertes pourraient suivre, une fois le cadre génétique de ces minéralisations mieux défini. La région de Chibougamau semble tout indiquée pour la recherche de gisements de Cu et de Mo de type porphyrique.

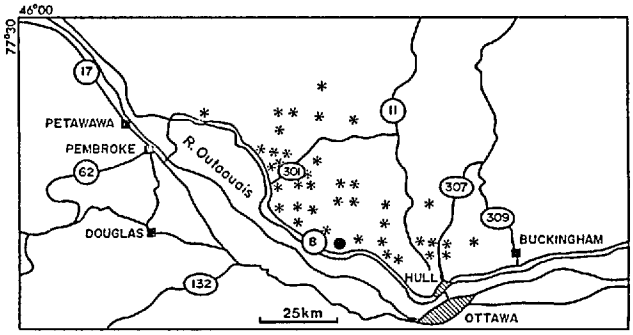
Nous devons faire remarquer que nos diverses interprétations et recommandations se fondent sur une documentation limitée. Il va de soi que tout travail à entreprendre devrait être fait sous la supervision d'un géologue familier avec la géologie de la région donnée; le géologue résident du ministère de l'Energie et des Ressources nous semble indispensable et tout indiqué. Il nous faut aussi rappeler que l'interprétation des données géochimiques en terrains recouverts de dépôts glaciaires est souvent difficile et capricieuse. Les services d'un géochimiste familier avec ces terrains nous semble nécessaire pour guider l'interprétation des données.

GRENVILLE

REGION DE HULL-GATINEAU

Plusieurs petits gisements de Mo ont été exploités dans cette région au cours des guerres de 1914-18 et 1939-45, vu la très forte demande pour ce métal. Il s'agissait, en général, de gisements de petites dimensions; le minerai était trié à la main. La plupart de ceux-ci n'ont fourni que quelques tonnes de minerai. Pour une liste détaillée de ces gisements, se reporter à Vokes (1963) et Exploratech (1979). Les plus importants sont localisés à la figure 7.

Le principal producteur a été la mine Moss, située près de Quyon, dans le canton d'Onslow. Celle-ci fut exploitée de 1916 à 1919, puis de 1924 à 1926 et, finalement, de 1939 à 1944. La production totale a été de l'ordre de 400 tonnes de molybdène.



MINÉRALISATIONS DE MOLYBDÈNE:

● MINE MOSS

* AUTRES INDICES

FIGURE 7 - Localisation des minéralisations de Mo dans la région de Hull-Gatineau (d'après Exploratech, 1979).

On pense qu'il s'agit de gîtes pyrométasomatiques (formés par métamorphisme de contact). La molybdénite, associée avec la pyrite et la pyrrhotine, se trouve dans des roches calcosilicatées, au contact avec des roches intrusives acides. La roche-hôte est généralement une roche à diopside (pyroxénite métamorphique), formée par la réaction entre les roches carbonatées et les roches intrusives acides.

Vu la faible importance des gîtes connus et leur mode de formation, nous considérons cette région comme peu favorable à la découverte de gisements importants. En effet, les gisements pyrométasomatiques de Mo ont généralement de petites dimensions; d'ailleurs, il n'existe, à notre connaissance, aucun gisement pyrométasomatique important de Mo, exploité présentement dans le monde.

En résumé, nous croyons que la région de Hull-Gatineau n'offre pas de critères suffisants pour justifier une campagne d'exploration pour le Mo. Tout ce que nous avons à suggérer concernant la production de Mo dans cette région, c'est d'étudier la possibilité d'exploiter collectivement ces petits gisements en période de prix particulièrement avantageux (comme c'est le cas présentement). Le minerai ainsi extrait pourrait être traité dans une usine de concentration déjà en marche ou, encore, dans une petite usine construite en un endroit central ou, même, dans une usine mobile qui pourrait être transportée d'un gisement à l'autre.

GITE DE PORTNEUF MINERAL CORPORATION

Ce gîte est situé dans la paroisse Saint-Joseph-de-Deschambault, sur les lots 292-2 et 293-3 de la concession 11 (figure 8). La minéralisation de Mo se présente dans des gneiss à biotite, au contact avec des dykes de pegmatite. La zone minéralisée, qui s'étend sur une longueur de 600 m, possède une largeur moyenne d'environ 15 m.

En 1964, la société Portneuf Mineral Corporation, se basant sur seulement

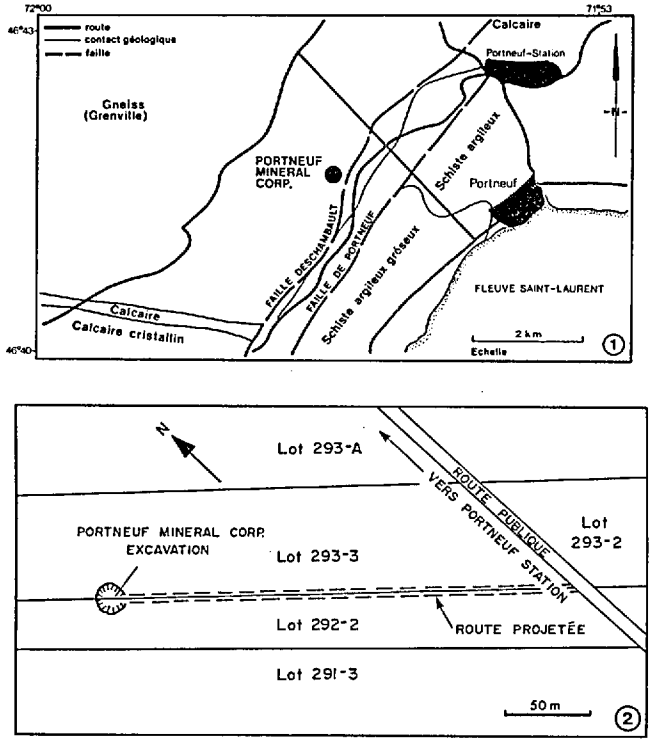


FIGURE 8 - Localisation de la concession minière de Portneuf Mineral Corporation.
1 - D'après Clark et Globensky, 1973 (carte 1715).
2 - D'après GM-16340 (M.E.R.).

560 m de forage, faisait état de réserves probables de 4 500 000 tonnes à 0.18% Mo. En 1965, les experts du ministère des Richesses naturelles, après une visite à la propriété, ont jugé ces réserves nettement exagérées; on est même allé jusqu'à proposer l'abandon complet des travaux. Dans une déclaration parue dans le Northern Miner du 7 décembre 1967, les autorités de la société admettaient que le tonnage probable du gisement était beaucoup moins considérable que celui d'abord établi et que des travaux supplémentaires étaient nécessaires. A notre connaissance, aucun travail d'importance n'a été effectué depuis.

Etant donné le contexte géologique du gîte, nous considérons celui-ci comme un secteur d'intérêt secondaire. A notre avis, le type de minéralisation de cette propriété n'est pas susceptible de former des gisements d'importance.

CONCLUSIONS

Les minéralisations de Mo dans le Grenville sont généralement de type pyrométasomatique. Elles sont limitées au contact de roches intrusives acides et peu susceptibles de former des gisements importants - c'est-à-dire, des gisements pouvant faire durer une exploitation continue pendant au moins une dizaine d'années. Il ne nous apparaît donc pas justifié de concentrer les efforts dans une exploration poussée des indices identifiés dans cette province géologique.

Tout au plus, pouvons-nous suggérer, si le marché l'autorisait, qu'une étude de rentabilité soit entreprise afin d'établir la possibilité d'exploiter collectivement les nombreux petits gîtes de la région de Hull- Gatineau. L'acquisition des droits miniers des diverses propriétés pourrait cependant poser des problèmes insurmontables; il faudrait tenir compte de ce fait dans une telle étude de rentabilité.

APPALACHES

LES MINES DE CUIVRE GASPE

La mine de cette société, située à Murdochville et appartenant aux Mines Noranda Limitée, est actuellement le seul producteur de Mo au Québec. Elle représente également le plus grand gisement porphyrique d'âge Paléozoïque connu en Amérique.

Elle consiste en deux gisements (Copper Mountain et Needle Moutain) dont la géologie est passablement différente. Ceux-ci sont situés à l'intérieur d'une zone d'altération hydrothermale intense, qui couvre 6.5 km^2 et est reliée à des intrusions de porphyre quartzo-feldspathique (McAllister et Lamarche, 1972).

Le gisement de Copper Mountain montre une vaste minéralisation de type stockwerk associée à des intrusions de porphyre quartzo-feldspathique: il s'agit d'un exemple typique de gisement porphyrique. Celui de Needle Mountain affiche plutôt une minéralisation de type skarn; les roches sédimentaires adjacentes aux intrusions acides ont subi un métasomatisme profond. La minéralisation s'est formée par remplacement sélectif de quatre niveaux de sédiments calcareux, séparés par des unités moins calcareuses. Des failles, qui ont permis aux solutions minéralisantes d'atteindre les niveaux favorables, ont joué un rôle important dans le contrôle de la minéralisation (Schmidt, 1978).

La récupération du Mo aux Mines de Cuivre Gaspé a débuté en 1963, bien qu'on y

produisait du Cu depuis 1955. On y récupère également de l'or, de l'argent, du bismuth, du sélénium et du tellure comme sous-produits.

Cette partie de la Gaspésie est intéressante, non seulement en raison de la mine précitée, mais aussi à cause des nombreux dykes et filons de porphyre quartzo-feldspathique qu'elle recèle; ceux-ci laissent entrevoir la possibilité de découvrir d'autres gisements du même type. La carte géologique de Brumer (1966) montre un grand nombre de ces intrusions. Le gisement Pekan est un autre cas de minéralisation de Cu et de Mo associée à des intrusions felsiques subvolcaniques (Schmidt, 1978). Les roches minéralisées consistent en une variété de stocks, dykes et filons de porphyres felsiques différant par la texture, la couleur et la composition des phénocristaux. La minéralisation de Mo est associée à des veines de quartz et à des fractures dans les porphyres.

Ces nombreuses intrusions de porphyre quartzo-feldspathique sont importantes en ce qu'elles laissent entrevoir la possibilité de découvrir, dans cette partie de la Gaspésie, un centre de magmatisme épizonal non décoiffé auquel peuvent être associées des minéralisations de Cu et de Mo. Nous recommandons, dans un premier temps, l'analyse de ces porphyres pour le Cu et le Mo. Des teneurs en Mo supérieures à 5 ppm doivent être considérées comme très fortes et devraient faire l'objet d'une recherche plus approfondie.

REGION DES MONTS SAINTE-CECILE ET SAINT-SEBASTIEN

Ces monts font partie d'une intrusion granitique allongée, mesurant 8 km de longueur sur 2 km de largeur. Le granite, d'âge Dévonien supérieur, recoupe les roches sédimentaires de la formation de Compton, d'âge Dévonien inférieur ou moyen (Kelly, 1975). Des minéralisations intéressantes de Mo se rencontrent à l'extrémité nord, de même qu'à l'extrémité sud de cette intrusion (figure 9).

La mine Copperstream-Frontenac est située à l'extrémité nord du mont Saint-Sébastien, dans les cantons de Dorset et de Gayhurst. Le molybdénite est intimement associée à des dykes de porphyre quartzo-feldspathique recoupant les roches sédimentaires près de leur contact avec le stock granitique. Des sondages effectués par Rio Tinto en 1964 ont permis de délimiter un petit gisement de 640 000 tonnes à 0.19% Mo.

La propriété Maheu est située à l'extrémité sud du mont Sainte-Cécile, dans le canton de Whitton. La minéralisation est du même type que celle de la mine Copperstream-Frontenac; faible, mais étendue, elle contient des valeurs significatives en Mo, Bi, Ag, Pb et Zn. Les travaux effectués à ce jour ne permettent pas encore d'avancer un tonnage et une teneur.

Dans le but de stimuler la recherche du Mo dans cette région, le ministère des Richesses natuelles a entrepris, au cours des étés 1963 et 1964, une campagne de prospection géochimique. Un total de 825 échantillons de sédiments de ruisseau, 97 échantillons de sols et 66 échantillons de végétation (feuilles d'érable) ont été analysés pour le Mo. Kelly (1975) a donné les résultats des analyses.

L'analyse des sédiments de ruisseau a permis, en particulier, de définir une zone d'anomalie géochimique le long du contact est de l'intrusion granitique (fi-

gure 9). Cette zone est particulièrement intéressante en ce qu'une teneur de 180 ppm en Mo a été obtenue dans les sédiments de ruisseau, alors que les teneurs ne dépassent pas 25 ppm au-dessus des gîtes Maheu et Copperstream-Frontenac et se situent entre 1 et 5 ppm dans les terrains stériles. La cause de cette anomalie n'a pas été expliquée; celle-ci pourrait cependant indiquer la présence de minéralisations encore plus importantes que celles déjà connues.

Dans cette région, la disposition des dykes de porphyre quartzo-feldspathique à la bordure de l'intrusion évoque une association génétique. L'association de la minéralisation avec les phases porphyriques est également bien démontrée, alors que, à notre connaissance, le granite est lui-même dépourvu d'indices de Mo. Tout ceci tend à montrer que les porphyres et la minéralisation associée résultent d'une phase épizonale du granite.

Ainsi, la présence et la fréquence des porphyres représentent une indication favorable et sont un premier critère de prospection. Il y aurait lieu d'étudier les méthodes qui pourraient mettre en évidence ces dykes, là où ceux-ci ne sont pas dégagés, particulièrement dans les secteurs pauvres en affleurement. Le magnétisme au sol pourrait indiquer de la pyrrhotine ou de la magnétite. La photo-interprétation pourrait également permettre d'identifier des zones de fracturation favorables à la mise en place de dykes de porphyre. La carte magnétique régionale pourrait également suggérer la présence de cheminées intrusives non affleurantes, surtout dans le prolongement de l'axe du massif granitique. Les zones d'anomalies ainsi définies pourraient éventuellement être évaluées par des études géochimiques ou par polarisation induite.

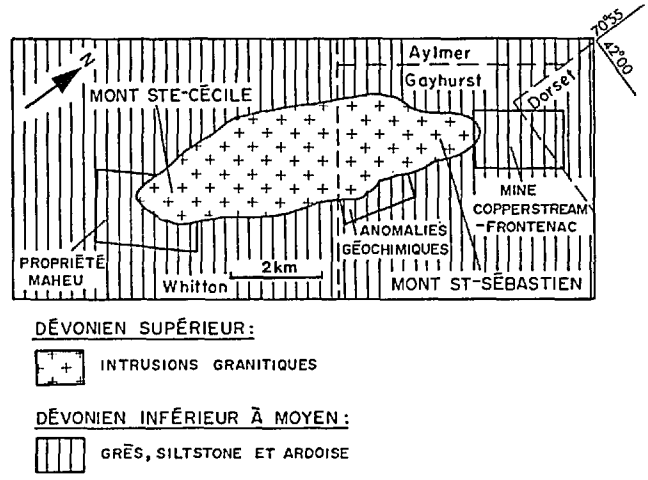


FIGURE 9 - Cadre géologique de la région des monts Sainte-Cécile et Saint-Sébastien (d'après Kelly, 1975).

REGION DE SAINT-ROBERT

La propriété de Nouvelle Mining Co. Ltd est située près du village de Saint-Robert, à la limite entre les cantons de Risborough et Marlow (figure 10). Le contexte géologique est comparable à celui des monts Sainte-Cécile et Saint-Sébastien: la minéralisation est associée à des dykes de porphyre quartzifère qui recoupent les roches sédimentaires de la formation de Compton (Faessler, 1939). On n'a pu cependant relier les dykes de porphyre à des intrusions acides d'importance, à cause principalement du manque d'affleurements. Il est intéressant de noter que, en dépit de cette lacune, le secteur entre le massif granitique du lac aux Araignées et la localité de Saint-Robert renferme plusieurs dykes de porphyre. Encore une fois, l'importance de localiser ceux-ci est manifeste.

Cette propriété, connue autrefois sous le nom de St-Robert Metals Corporation, a surtout été explorée pour le tungstène et l'or, bien qu'elle renferme également un peu de molybdénite. La minéralisation, finement disséminée dans le porphyre ou dans des veines de quartz génétiquement

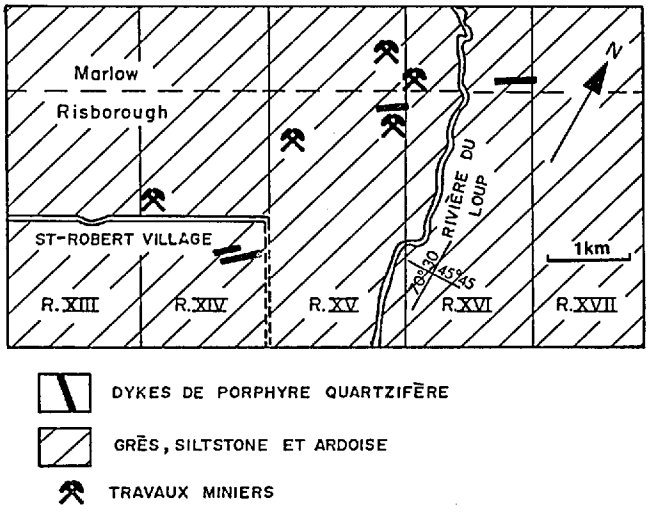


FIGURE 10 - Cadre géologique de la région de Saint-Robert (d'après Faessler, 1939).

associées à celui-ci, consiste en scheelite, chalcopyrite, pyrite, pyrrhotine, galène, cosalite et sphalérite avec des quantités variables d'or et d'argent (Harron, 1976).

Cette minéralisation est intéressante parce qu'elle est associée à des porphyres quartzifères altérés et pyritisés qui, au point de vue pétrologique, s'apparentent à ceux des gisements porphyriques plus récents. Le gisement est cependant difficile à prospecter en raison d'une épaisse couche de dépôts glaciaires (d'une soixantaine de mètres, en moyenne) et de la rareté des affleurements.

Un levé magnétique au sol pourrait permettre de délimiter le contact entre les roches sédimentaires et le porphyre - si ce dernier contient de la magnétite, ce qui n'est pas rare dans ce type de minéralisation. Un levé géophysique par polarisation induite pourrait également rendre possible une distinction entre le porphyre contenant des sulfures disséminés et les roches sédimentaires encaissantes. Enfin, l'échantillonnage du till de base pourrait servir à délimiter des cibles pour le forage.

SECTEUR DE LA FAILLE DU GRAND PABOS

Cette zone de failles, située dans la Gaspésie, peut être suivie sur plus de 100 km; elle a plusieurs centaines de mètres de largeur (figure 11). Soquem a fait état d'une faible minéralisation - de molybdénite, chalcopyrite et pyrite - associée à de petits amas de rhyolite, dans les cantons de Robidoux et de Reboul (Exploratech, 1979).

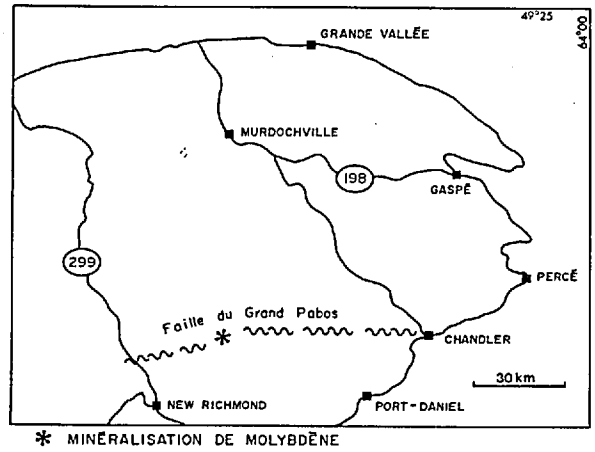


FIGURE 11 - Localisation de la faille du Grand Pabos (d'après Exploratech, 1979).

Ce secteur renferme également des intrusions de porphyre, interprétées comme des dykes nourriciers des roches volcaniques de l'anticlinorium de Aroostook-Percé (C. Hubert, communication personnelle). Il s'agit donc d'un secteur qui ne manque pas d'intérêt, bien qu'on possède très peu de renseignements sur les minéralisations découvertes jusqu'à présent.

Il ne fait aucun doute qu'une cartographie géologique détaillée de la zone de failles et un levé géochimique pourraient conduire à la reconnaissance de cibles intéressantes pour la prospection.

CONCLUSIONS

Plusieurs gisements de type porphyrique sont distribués ici et là dans les

Appalaches, depuis le Maine jusqu'à Terre-Neuve (Hollister et al., 1974; Kirkham et Soregaroli, 1975; Schmidt, 1978; Hollister, 1978). Les plus importants sont celui de Catheart (Cu-Mo), dans le Maine, à tout au plus quelques dizaines de kilomètres de la frontière du Québec et qui sera bientôt exploité, celui de Mines de Cuivre Gaspé (Cu-Mo) et celui de Mount Pleasant (W-Mo), au Nouveau-Brunswick. Il faut noter, cependant, que le dernier est d'âge plus récent (Mississipien) que les gîtes ou indices des Appalaches du Québec (Dévonien).

Ne serait-ce qu'à cause de la découverte de ces trois gisements d'importance majeure, les Appalaches constituent un terrain où la recherche du Mo et du Cu devrait être encouragée. De plus, les probabilités de découvrir des gisements porphyriques à caractéristiques se rapprochant des gisements porphyriques récents, devraient être meilleures dans les Appalaches que dans le Supérieur; vu que nous avons affaire, dans les Appalaches, à des roches plus jeunes et d'un niveau d'érosion moins profond.

Hollister (1978) est cependant porté à croire que la dizaine de gisements porphyriques actuellement reconnus dans les Appalaches montrent des indications d'un niveau d'érosion beaucoup plus profond que celui des gisements porphyriques récents; il se fonde sur les caractéristiques suivantes:

. L'absence, dans la plupart de ces gisements, de roches volcaniques génétiquement associées au pluton minéralisé;
. L'absence, dans la moité des cas, de textures porphyriques dans les roches intrusives acides;
. L'absence d'une zone périphérique à sulfures de Pb et de Zn, laquelle, dans les gisements récents, ne se prolonge pas à une aussi grande profondeur que la zone de Cu et de Mo. L'explication la plus simple, serait que cette zone a été retranchée par l'érosion.
. Le faible développement de la zone d'altération phyllique et de l'auréole de pyrite autour des gisements, de même que la présence de silicates plus ordonnés (microcline au lieu d'orthose).

En résumé, les Appalaches montrent sûrement des indications de minéralisations porphyriques de Mo. Le problème est de découvrir des intrusions non décoiffées, dont la présence est évoquée par des porphyres. La plupart des indices de Mo des Appalaches sont associés à des venues de porphyres acides; dans certains cas, l'association des porphyres avec des masses granitiques est assez évidente (Sainte-Cécile), alors que dans d'autres, il n'y a pas de granite à proximité (Saint-Robert, faille de Grand Pabos). Il semble que, dans les Appalaches du Québec, la présence de dykes de porphyre peut être une indication de phases épizonales reliées à des masses granitiques situées en profondeur; toute concentration de ces venues porphyriques devrait éveiller l'attention. Dans le premier temps d'une recherche pour le Mo dans les Appalaches, les teneurs en Cu et Mo des porphyres devraient être déterminées de façon méthodique. Ainsi, toute teneur en Mo supérieure à 5 ppm pourrait constituer une première indication favorable.

CONCLUSION

POTENTIEL EN MOLYBDENE DU QUEBEC

Une revue de la métallogénie du Mo révèle rapidement que le potentiel de ce métal au Québec est certes très inférieur à celui de la Cordillère bordant la côte ouest des Amériques. Le Québec recèle,

toutefois, plusieurs minéralisations significatives et présente localement des cadres géologiques favorables qui peuvent permettre la découverte de nouvelles et de plus importantes venues. Notre étude a démontré que, même si les terrains du Québec sont considérablement plus anciens que ceux de la Cordillère, il est possible d'orienter la prospection si l'on se fonde sur un modèle génétique dérivé de l'étude des gisements porphyriques récents.

La province géologique du Supérieur possède un potentiel certain. Tout d'abord, elle a été le site des premières exploitations d'importance de Mo au Québec (région des batholites de Preissac et de Lacorne); mais, surtout, on commence à y reconnaître des minéralisations de Cu et de Mo de type porphyrique, lesquelles laissent entrevoir la possibilité de découvrir des gisements d'importance majeure. A ce sujet, la région de Chibougamau semble un secteur d'intérêt premier; elle montre en effet plusieurs similitudes avec les gisements porphyriques récents: présence de complexes intrusifs acides caractérisés par plusieurs phases d'intrusion, caractère épizonal marqué par des brèches intrusives, minéralisation associée à des prophyres quartzo-feldspathiques, altération hydrothermale intense, et localisation des venues dans des réseaux de fractures (type stockwerk).

Les Appalaches présentent également un potentiel intéressant. On y a déjà découvert un gisement de type porphyrique d'importance majeure (Mines de Cuivre Gaspé). Il s'agit d'un exemple classique de gisement porphyrique ancien (Dévonien). D'autres minéralisations de Mo associées à des porphyres quartzofeldspathiques sont également présentes: Sainte-Cécile, Saint-Robert et gisement Pekan près des Mines de Cuivre Gaspé. Nous croyons que ces indices minéralisés sont des manifestations d'un magmatisme épizonal ancien relié à des masses granitiques d'envergure. Certaines portions de ces granites ont pu être décoiffées par l'érosion; d'autres, par contre, sont encore recouvertes par les roches encaissantes, et trahissent leur présence par des injections de porphyres quartzofelspathiques dans les roches sus-jacentes. A notre avis, le fait qu'on n'ait découvert jusqu'à présent que peu de minéralisations dans les Appalaches du Québec s'explique en partie par les importants dépôts glaciaires qui masquent le socle rocheux. Nous croyons donc qu'un effort spécial doit être fourni pour localiser ces masses de porphyres sous la couverture de mort-terrain.

Quant aux minéralisations dans le Grenville, qui sont généralement de type pyrométasomatique, elles n'ont donné lieu qu'à de petits gisements. De plus, les roches fortement plissées et métamorphisées représentent un niveau tectonique catazonal peu propice à la découverte de gisements de type porphyrique. Pour toutes ces raisons, nous ne recommandons pas de concentrer les efforts de recherche dans cette province géologique.

En conclusion, les conditions très favorables du marché actuel du molybdène (voir annexes A et B), ainsi que la concordance de certaines minéralisations avec le modèle génétique reconnu pour les gisements porphyriques récents, devraient encourager une recherche active au Québec. Certaines régions du Supérieur et des Appalaches présentent, à notre avis, suffisamment d'indices pour justifier des travaux d'exploration basés sur les guides et critères proposés.

CONSIDERATIONS ECONOMIQUES

Au Québec, la recherche de gisements de molybdène doit tenir compte de certaines considérations économiques. Ainsi, dans le contexte actuel, malgré la faiblesse du marché du cuivre, les gisements porphyriques de ce métal fournissent encore 35-40% de la production mondiale de molybdène. Ils jouissent de deux avantages importants par rapport à ceux qui ne produisent que du Mo:

. Le prix élevé du Mo fait de celui-ci un sous-produit rapportant un bénéfice appréciable;

. Le Mo, qui est concentré par flottation en même temps que le Cu, peut être produit à un coût beaucoup plus bas que dans les gisements ne produisant que du Mo.

Au début des années 1970, le faible prix du Mo et la production de plus en plus importante des gisements porphyriques de Cu ont été néfastes aux petits producteurs primaires de Mo. Le prix, qui était de $1.55 la livre en 1965, n'avait atteint que $1.72 en 1973. C'est ainsi que la mine Cadillac Moly, au Québec, a cessé ses activités en 1970; firent de même en 1971, les mines Preissac Molybdenite, au Québec, et Boss Mountain, en Colombie Britannique, et en 1972, les mines Molybdenite Corporation, au Québec, et B.C. Molybdenum, en Colombie Britannique. Le Québec perdait donc trois de ses quatre mines productrices, lesquelles sont encore fermées. Seuls les très gros producteurs primaires, comme Climax, Questa et Endako ont pu traverser cette période difficile.

Actuellement, le prix est élevé et les stocks sont bas; de petits gisements pourraient être exploités avec profit, mais les exploitations seraient vouées à la fermeture à plus ou moins brève échéance. Tôt ou tard, en effet, le marché du Cu devra s'améliorer; la production de Mo des gisements porphyriques de Cu augmentera à nouveau, les stocks seront reconstitués et le prix se stabilisera.

C'est pourquoi, à moins de découvrir un gisement d'importance majeure, les gisements viables de Mo produiront probablement du Cu et du Mo à la fois. La récupération possible de sous-produits - argent, bismuth, tellure et sélénium (p. ex. Mines de Cuivre Gaspé) ou rhénium (p. ex. mine Island Copper, en Colombie Britannique, seul producteur au Canada) - pourra également s'avérer un atout précieux.

La prospection devrait être orientée vers les minéralisations de type porphyrique; les gisements que celles-ci forment, offrent des avantages considérables: tonnages importants, longévité d'exploitation, teneurs homogènes, exploitation moins coûteuse et récupération possible de sous-produits.

Dans le but de situer notre recherche dans le contexte économique et technologique actuel, nous avons ajouté les annexes A et B. L'annexe A décrit la technologie et les aspects économiques du Mo; l'annexe B traite de la production et de l'évaluation des marchés et des réserves. Le tableau B-3 résume les principales caractéristiques géologiques de certains des principaux gisements de molybdène dans le monde.

REFERENCES

ALLARD, G-O.
1970 - Complexe de lac Doré in Travaux sur le terrain; ministère de l'Energie et des Ressources; rapport S-121, page 41.

ALLARD, G-O.- CATY, J-L.- CHOWN, E.H.- CIMON, J.- GOBEIL, A.- BAKER, D.
1979 - Stratigraphie et métallogénie de la région de Chibougamau; réunion annuelle de l'Association géologique du Canada et de l'Association minéralogique du Canada, Québec, mai 1979; livret-guide, excursion B-1.

ANOMYME
1971-1975 - Annuaire des minéraux du Canada; ministère de l'Energie, des Mines et des Ressources, Ottawa.

1976-1977 - Monographies sur le molybdène; Annuaire des minéraux du Canada; ministère de l'Energie, des Mines et des Ressources, Ottawa.

AYRES, L.D. - FINDLAY, D.J.
1976 - Precambrian porphyry copper and molybdenum deposits in Ontario and Saskatchewan; Commission géologique du Canada; étude préliminaire 76-1B, pages 39-41.

BERZINA, A.P.- GRIGORYEVA, T.N.- SATNIKOV, S.I.
1973 - Polymorphic modification of sericite in some copper-molybdenum deposits; International Geology Review; volume 16, No. 6, pages 647-649.

BLECHA, M.
1974 - Batchawana area - a possible precambrian porphyry copper district; CIM Bulletin; août 1974, pages 71-76

BRANCH, C.D.
1960 - Geology of the Ruddygore and Zillmanton copper mine areas near Chillagoe, North Queensland; Australian Bureau of mineral Resources; report No. 1960-51.

BRUMMER, J.J.
1966 - Quart nord-ouest du canton de Holland; ministère de l'Energie et des Ressources; rapport géologique 125.

BURNHAM, W.C.
1967 - Hydrothermal fluids at the magmatic stage in Geochemistry of hydrothermal ore deposits (H.L. Barnes, éditeur).

CIMON, J.
1970 - Quart NW du canton de Queylus et quart NE du canton de Haüy in Travaux sur le terrain; ministère de l'Energie et des Ressources; rapport S-121, pages 26-27.

1973 - Possibility of an Archean porphyry copper in Quebec; Canadian Mining Journal; volume 94, No. 4, page 97.

1976a - Canton de Queylus (NW) et Haüy (NE); ministère de l'Energie et des Ressources; rapport préliminaire 613.

1976 - Géologie du canton de Queylus (NE), Abitibi-Est; ministère de l'Energie et des Ressources; rapport préliminaire, DPV-439.

1977a - Quart sud-est du canton de Queylus; ministère de l'Energie et des Ressources; rapport préliminaire, DPV-448.

1977b - Quart nord-ouest du canton de Dollier; ministère de l'Energie et des Ressources; rapport préliminaire, DPV-504.

1979 - Age relatif de la mise en place de la minéralisation de type cuivre porphyrique par rapport à la stratification locale dans la région de Chibougamau, Québec; Réunion annuelle de l'Association géologique du Canada et de l'Association minéralogique du Canada, programme et résumés; volume 4, page 43.

CIMON, J. - GOBEIL, A.
1976 - The Stella Formation: its implication for the genesis and the relative age of the mineralization in the Chibougamau mining camp; CIM Bulletin; volume 69, No. 767, page 96.

1978 - Forages stratigraphiques dans les cantons de Lemoine, Dollier et Queylus, district de Chibougamau; ministère de l'Energie et des Ressources; DP-607.

CLARK, K.F.
1972 - Stockwork molybdenum deposits in western Cordillera of North America; Economic Geology; volume 67, pages 731-758.

CLARK, T.H. - GLOBENSKY, Y.
1973 - Géologie des régions de Portneuf et partie de St-Raymond et de Lyster; ministère de l'Energie et des Ressources; rapport géologique 148.

COLVINE, A.C.- McCARTER, P.
1977 - Geology and mineralization of the Lateral Lake stock, district of Kenora; Summary of field work 1977; Geological Branch, Ontario Geological Survey; miscellaneous paper 75, pages 205-208.

DAVIES, J.F. - LUHTA, L.E.
1978 - An Archean "porphyry-type" disseminated copper deposit, Timmins, Ontario; Economic Geology; volume 73, pages 383-396.

DAWSON, K.R.
1966 - A comprehensive study of the Preissac-Lacorne batholith, Abitibi County, Quebec; Commission géologique du Canada; bulletin 142.

DRUMMOND, A.D. - GODWIN, C.I.
1976 - Hypogene mineralization - an empirical evaluation of alteration zoning. Porphyry deposits of the Canadian Cordillera; Institut canadien des Mines et de la Métallurgie; volume spécial 15.

DUGAS, J. - GILBERT, J-E.
1953 - Zone minière Noranda-Senneterre; ministère de l'Energie et des Ressources; carte 1388.

DUQUETTE, G.
1970 - Archean stratigraphy and ore relastionships in the Chibougamau district; ministère de l'Energie et des Ressources; étude spéciale 8.

EXPLORATECH LTEE
1979 - Evaluation du potentiel en molybdène au Québec; ministère de l'Energie et des Ressources; évaluation sommaire, DPV-619.

FAESSLER, C.
1939 - Région de Risborough-Marlow; ministère de l'Energie et des Ressources; rapport géologique 3.

FELTON, E.A.
1974 - Molong-South Coast anticlinorial zone, northern section; New South Wales Geological Survey, Department of Mines; Mineral deposits of New South Wales, pages 232-244.

FINDLAY, D.J. - AYRES, L.D.
1977 - Lang Lake - an early Precambrian porphyry copper-molybdenum in Northwestern Ontario; Commission géologique du Canada; étude préliminaire 77-1B, pages 25- 28.

FOUNTAIN, D.K.
1968 - Geophysics applied to the exploration and development of copper and molybdenum deposits in British Columbia; CIM Bulletin; octobre 1968, pages 1199-1206.

GINZBURG, I.I.
1960 - Principles of geochemical prospecting; International series of monographs on Earth Sciences; Pergamon Press.

GOLDIE, R.J. - KOTILA, B.
1979 - The Don Rouyn porphyry copper deposit, Noranda, Quebec; Réunion annuelle de l'Association géologique du Canada et de l'Association minéralogique du Canada, programme et résumés; volume 4, page 54.

GUILBERT, J.M.
1971 - Known interactions of tectonics and ore deposits in the context of new global tectonics; American Institute of Mining Engineers; annual meeting, New York, March 1971.

GUILBERT, J.M. - LOWELL, J.D.
1974 - Variations in zoning patterns in porphyry ore deposits; CIM Bulletin, volume 67, No. 742, pages 269-279.

GUILBERT, J.M. - SUMMER, J.S.
1968 - Distribution of porphyry copper deposits in the light of recent tectonic advances (S.R. Titley, editor); Arizona Geological Society; Southern Arizona Guidebook III, pages 97-112.

GUNOW, A.J. - MUNOZ, J.L.
1977 - Evidence for high fluorine activity in magmatic and hydrothermal fluids at the Henderson molybdenite deposit, Colorado; Boulder conference, 1977; programme et résumés; page 1000.

HANSULD, J.A.
1967 - Eh and pH in geochemical prospecting; Proceedings symposium on geochemical prospecting, Ottawa, Canada, April 1966; Commission géologique du Canada; étude préliminaire 16-54, pages 172-187.

HARRON, G.A.
1976 - Metallogénèse des gîtes de sulfures des Cantons de l'Est; ministère de l'Energie et des Ressources; étude spéciale 27.

HAWKES, H.E. - WEBB, J.S.
1962 - Geochemistry in mineral exploration; Harper and Row, publishers, New York and Evanston.

HODDER, R.W. - HOLLISTER, V.F.
1972 - Structural features of porphyry copper deposits and the tectonic evolution of continents; CIM Bulletin; February 1972, pages 41-45.

HOLLISTER, V.F.
1970 - Discussion of manganese-iron ratios in wolframite, south Crafty mine, Cornwall; Economic Geology; volume 65, page 592.

1973 - Regional characteristics of porphyry copper deposits of South America; Mining Engineering; volume 25, No. 8, pages 51-56.

1974 - Regional characteristics of porphyry copper deposits of South America; Transactions; Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers; volume 256, page 45.

1975a - An appraisal of the nature and source of porphyry copper deposits; Minerals Science and Engineering; volume 7, No. 3, pages 225-233.

1975b - The porphyry molybdenum deposit of Compaccha, Peru, and its geologic setting; Mineralium Deposita; volume 10, pages 141-151.

1976 - Evolution of the porphyry copper province of the northern Cordilleran Orogen; Proceedings, Ist Circum - Pacific Energy and Mineral Resources Conference, American Association of Petroleum Geologists.

1978 - Geology of the porphyry copper deposits of the western hemisphere; Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers.

HOLLISTER, V.F. - SIRVAS, E.
1974 - The Michiquillay porphyry copper; Mineralium Deposita, volume 9, No. 4, page 261.

HOLLISTER, V.F.- BARKER, A.L.- POTTER, R.R.
1974 - Porphyry deposits of the Appalachians; Economic Geology; volume 69, No. 5, pages 618-630.

HOLLISTER, V.F.- et al.
1975a - Structural evolution of porphyry mineralization at Highland Valley; Journal canadien des sciences de la terre; volume 12, no 5, page 579.

HOLLISTER,V.F.- ANZALONE,S.A.-RICHTER,D.H.
1975b - Porphyry copper belts of southern Alaska and contiguous Yukon Territory; réunion annuelle de l'Institut canadien des Mines et de la Métallurgie; technical paper 22.

HOLLISTER, V.F. - BERNSTEIN, M.
1975 - Copaquire, Chile: its geological setting and porphyry copper deposit; Transactions, Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, volume 258, page 160.

HOLLISTER, V.F. - SERAPHIM, R.H.
1976 - Intrusive rocks associated with porphyry copper mineralization in island arc areas - a comment; Economic Geology, volume 71, pages 678-679.

JAMBOR, J.L. - BEAULNE, J-M.
1978 - Sulphide zones and hydrothermal biotite alteration in porphyry copper-molybdenum deposits, Highland Valley, British Columbia; Commission géologique du Canada; étude préliminaire 77-12.

KAMILLI, R.J.
1978 - The genesis of stockwork molybdenum deposits: implications from fluid inclusion studies at the Henderson Mine; Boulder conference, 1978; programme et résumés.

KAVANAGH, P.E.
1979 - The group 3 porphyry copper-type occurrence within the Archean Chibougamau pluton; Réunion annuelle de l'Association géologique du Canada et de l'Association minéralogique du Canada; programme et résumés, volume 4, page 60.

KELLY, R.
1975 - Région des monts Saint-Cécile et Saint-Sébastien; ministère de l'Energie et des Ressources; rapport géologique 176.

KING, R.U. - SHAWE, R.R. - MacKEVETT, E.M.
1973 - Molybdenum. United States Mineral Resources; United States Geological Survey; professional paper 820, pages 425-435.

KIRKHAM, R.V.
1965 - **Molly, Moly, Red Canyon, Tom, Len (Mount Thomlinson);** British Columbia Ministry of Mines and Petroleum Resources; annual report, 1964, pages 48-50.

1967 - **Glacier Gulch;** British Columbia Ministry of Mines and Petroleum Resources; annual report, 1966, pages 86-90.

1969 - **A mineralogical and geochemical study of the zonal distribution of ores in the Hudson Bay Range, British Columbia;** University of Wisconsin, Madison, Wisconsin; thèse de maîtrise.

1971 - **Intermineral intrusions and their bearing on the origin of porphyry copper and molybdenum deposits;** Economic Geology; volume 66, pages 1244-1249.

1972a - **Tectonism, volcanism and copper deposits. Volcanism and volcanic rocks;** Commission géologique du Canada; document public 164, pages 129-161.

1972b - **Geology of copper and molybdenum deposits;** Commission géologique du Canada; étude préliminaire 72-1A, pages 82-87.

1972c - **Porphyry deposits;** Commission géologique du Canada; étude préliminaire 72-1B, pages 62-64.

1973 - **Porphyry deposits in the Canadian Shield - a preliminary evaluation;** CIM bulletin; volume 66, page 48.

1974 - **Geology of copper and molybdenum deposits in Canada;** Commission géologique du Canada; rapport préliminaire 74-1A.

KIRKHAM, R.V. - SOREGAROLI, A.E.
1975 - **Preliminary assessment of porphyry deposits in the Canadian Appalachians;** Commission géologique du Canada; étude préliminaire 75-1, partie A, pages 249-252.

KUELLMER, F.J.
1960 - **Compositional variation of alkali feldspars in some intrusive rocks near Globe-Miami, Arizona;** Economic Geology; volume 55, pages 557-562.

LAMEY, C.A.
1966 - **Metallic and industrial mineral deposits;** McGraw-Hill, New-York.

LOWELL, J.D.
1968 - **Geology of the Kalamazoo orebody, San Manuel district, Arizona;** Economic Geology; volume 63, pages 645-654.

1970 - **Copper resources in 1970;** Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers; volume 22, No. 4, pages 67-73.

1973a - **Porphyry copper deposits of the Southwest;** Economic Geology; volume 68, page 139.

1973b - **Regional characteristics of southwestern North America porphyry copper deposits;** Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers; Preprint 73S12; réunion annuelle 1973, Chicago.

1974a - **Three new porphyry copper mines for Chile;** Mining Engineering; volume 26, No. 11, page 22.

1974b - **Regional characteristics of the Southwest;** Economic Geology; volume 69, page 601.

1976 - **Trends and techniques in Southwest porphyry exploration;** World Mining; volume 34, page 55.

LOWELL, J.D. - GUILBERT, J-M.
1970 - **Lateral and vertical alteration - mineralization zoning in porphyry ore deposits;** Economic Geology; volume 65, pages 373-408.

MacKENZIE, W.B.
1968 - Red Mountain molybdenum deposits; University of Michigan; thèse de maîtrise.

1970 - Hydrothermal alteration associated with the Urad and Henderson molybdenite deposits, Clear Creek County, Colorado; University of Michigan; thèse de doctorat.

McALLISTER, A.L. - LAMARCHE, R-Y.
1972 - Mineral deposits of southern Quebec and New Brunswick; Congrès géologique international (24ème), Montréal, 1972; livret-guide de l'excursion A-58-C-58.

MESHCHANINOV, Y.Z. - AZIN, V.N.
1974 - Distribution of gold in a copper porphyry deposit, Almalyk region; International Geological Review; volume 15, pages 660-663.

MOORBATH,S. - HURLEY,P.M. - FAIRBAIRN,H.W.
1967 - Evidence for the origin and age of some mineralized Laramide intrusives in the southwestern United Stated from Strontium isotope and rubidium-strontium measurement; Economic Geology; volume 62, pages 228-236.

MURPHY, D.L.
1966 - Région des lac Frotet et Troïlus, territoires d'Abitibi et de Mistassini; ministère de l'Energie et des Ressources; rapport géologique 123.

MUTSCHLER, F.E.
1976 - Crystallization of a soda granite, Treasure Mountain Dome, Colorado, and the genesis of stockwork molybdenite deposits; New Mexico Geological Society; special publication 6, pages 199-205.

NEUERBURG, G.J.- BARTON, H.N.- WATTERSON, J.R.- WELSCH, E.P.
1976 - A comparison of rocks and soil samples in characterizing and prospecting two porphyry-metal systems in Colorado; Boulder Conference, 1976; programme et résumés; page 1028.

NEY, C.S. - HOLLISTER, V.F.
1976 - Geological setting of the porphyry deposits of the Canadian Cordillera. Porphyry deposits of the Canadian Cordillera; Institut Canadien des Mines et de la Métallurgie; volume spécial 15.

NIELSEN, R.L.
1968 - Hypogene texture and mineral zoning in a copper-bearing granodiorite porphyry stock, Santa Rita, New Mexico; Economic Geology; volume 63, pages 37-50.

1976 - Recent developments in the study of porphyry copper geology - a review. Porphyry deposits of the Canadian Cordillera; Institut canadien des Mines et de la Métallurgie; volume spécial 15, pages 487-500.

OLADE, M.A. - FLETCHER, W.K.
1975 - Primary dispersion of rubidium and strontium around porphyry copper deposits, Highland Valley, B.C.; Economic Geology; volume 70, page 15.

O'REILLY, G.A.
1977 - Field relations and mineral potential of the granitoïd rocks of southeast Cape Breton Island; Nova Scotia Department of Mines; report 77-1, pages 81-87.

ROUTHIER, P.
1963 - Les gisements métallifères, Tome 1; Masson et Cie, Paris.

SABINA, A.P.
1974 - **Rocks and minerals for the collector; Kirkland Lake - Noranda - Val-d'Or, Ontario and Quebec;** Commission géologique du Canada; étude préliminaire 73-30.

SCHILLING, J.H.
1956 - **Geology of the Questa molybdenum mine area, Taox County, New Mexico;** New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources; Bulletin 51.

SCHMIDT, R.G.
1978 - **The potential for porphyry copper-molybdenum deposits in the eastern United States;** United States Geological Survey; professional paper 907-E.

SCHNEIDER, V.B.
1963 - **Molybdenum;** ministère de l'Energie, des Mines et Ressources, division des ressources minérales, Ottawa; rapport minéral no. 6.

SCHOLZ, E.A.
1969 - **Molybdenum in the world today;** CIM Bulletin, janvier 1969, pages 21-25.

SERAPHIM, R.H. - HOLLISTER, V.F.
1976 - **Structural Settings. Porphyry deposits of the Canadian Cordillera;** Institut canadien des Mines et de la Métallurgie; volume spécial 15.

SILLITOE, R.H.
1972 - **A plate tectonic model for the origin of prophyry copper deposits;** Economic Geology; volume 67, pages 184-197.

1973a - **The top and bottom of porphyry copper deposits;** Economic Geology; volume 68, page 799.

1973b - **Geology of the Los Pelambres porphyry copper deposits, Chile;** Economic Geology; volume 68, page 1.

1974 - **Tectonic segmentation of the Andes, implications for magmatism and metallogeny;** Nature; volume 250.

1979 - **Porphyry copper-type mineralization in early Proterozoic greenstone belts, Upper Volta, West Africa;** Réunion annuelle de l'Association géologique du Canada et de l'Association minéralogique du Canada; programme et résumés, volume 4, page 78.

SILLITOE, R.H.- MORTIMER, C.- CLARK, A.H.
1968 - **A chronology of landform evolution and supergene mineral alteration, southern Atacama desert, Chile;** Institute of Mining and Metallurgy, Transactions, section B; volume 77, pages 166-169.

SILLITOE, R.H. - CLARK, A.H.
1969 - **Copper and copper-iron sulfides as the initial products of supergene oxidation, Copiapo Mining District, northern Chile;** American Mineralogist; volume 54, pages 1684-1710.

SILLITOE, R.H. - SAWKINS, F.J.
1971 - **Geologic, mineralogic and fluid inclusion studies relating to the origin of copper-bearing tourmaline breccia pipes, Chile;** Economic Geology; volume 65, pages 1028-1041.

SILLITOE, R.H. - HALLS, C. - GRANT, J.N.
1975 - **Porphyry tin deposits in Bolivia;** Economic Geology; volume 70, pages 913-927.

SINCLAIR, W.D.
1979 - **Copper-molybdenum occurrences of the Matachewan area, Ontario;** Commission géologique du Canada; étude préliminaire 79-1A, pages 253-258.

SMEE, B.W. - SINHA, A.K.
1979 - **Geological, geophysical and geochemical considerations for exploration in clay-covered areas: a review;** Institut canadien des Mines et de la Métallurgie; avril 1979, pages 67-32.

SOREGAROLI, A.E.
1968 - Geology of the Boss Mountain mine, British Columbia; University of British Columbia; thèse de doctorat.

1971 - Geology of the Brenda copper-molybdenum deposit; Institut canadien des Mines et de la Métallurgie; TP-18, 73e réunion annuelle, page 17.

1974 - Geology of the Brenda copper-molybdenum deposit in British Columbia; CIM Bulletin, pages 76-83.

1975a - Geology of porphyry copper and molybdenum deposits; Commission géologique du Canada; étude préliminaire 75-1.

1975b - Geology and genesis of the Boss Mountain molybdenum deposit in the southern Rocky Mountain Molybdenum Province; Abstracts, Geological Society of America; volume 7, page 646.

1975c - Geology and genesis of the Boss Mountain molybdenum deposits, British Columbia; Economic Geology; volume 70, pages 4-14.

1975d - Important characteristics of some Canadian Cordillera porphyry deposits; Commission géologique du Canada; étude préliminaire 75-A, partie B, pages 59-62.

SOREGAROLI, A.E. - KIRKHAM, R.V.
1975 - Nature and distribution of porphyry deposits in the Canadian Cordillera; Association géologique du Canada; symposium on intrusive rocks and related mineralization of the Canadian Cordillera, Vancouver (abstracts), page 22.

SOREGAROLI, A.E. - WHITFORD, D.F.
1976 - Brenda. Porphyry deposits of the Canadian Cordillera; Institut canadien des Mines et de la Métallurgie; volume spécial 15.

SOREGAROLI, A.E. - SUTHERLAND-BROWN, A.
1976 - Characteristics of Canadian Cordilleran molybdenum deposits. Porphyry deposits of the Canadian Cordillera; Institut canadien des Mines et de la Métallurgie; volume spécial 15.

SOREGAROLI, A.E. - NELSON, W.I.
1976 - Boss Mountain. Porphyry deposits of the Canadian Cordillera; Institut canadien des Mines et de la Métallurgie; volume spécial 15.

STANTON, R.L.
1972 - Ore petrology; McGraw-Hill, New-York.

STRINGHAM, B.
1966 - Igneous rock types and host rocks associated with porphyry copper deposits. Geology of the porphyry copper deposits, southwestern North America; University of Arizona Press, Tucson, page 35.

STUDEMEISTER, P. - COLVINE, A.C.
1977 - Geology and mineralization of the Gutcher Lake stock; Summary of field work 1977; Geological Branch, Ontario Geological Survey; miscellaneous paper 75, pages 218-221.

SUTHERLAND, I.G.
1977 - Molybdenum mineralization in the Slate Falls area; Summary of field work 1977; Geological Branch, Ontario Geological Survey; miscellaneous paper 75, pages 9-12

SUTHERLAND-BROWN, A.
1969 - Mineralization in British Columbia and the copper and molybdenum deposits; Institut canadien des Mines et de la Métallurgie; Transactions, volume 72, pages 1-15.

1974 - Metallogeny, Canadian Cordillera; Pacific Rim Resources Conference; Honolulu, Hawaii, août 1974.

SUTHERLAND-BROWN, A. - CATHRO, R.J.
1976 - A perspective of porphyry deposits. Porphyry deposits of the Canadian Cordillera; Institut Canadien des Mines et de la Métallurgie; volume spécial 15.

SUTULOV, A.
1976 - Molybdenum and rhenium, 1778-1977; Université de Concepcion, Chili.

TIMSON, G.H. - PRIDE, D.E.
1978 - CaO and Na_2O related to hydrothermal alteration of a porphyry molybdenum prospect; Boulder conference, 1978; programme et résumés, page 286.

TITLEY, S.R. - HICKS, C.L.
1966 - Geology of the porphyry copper deposits, southwestern North America; University of Arizona Press, Tucson.

TRAILL, R.J.
1970 - A catalogue of canadian minerals; Commission géologique du Canada; étude préliminaire 69-45.

TUREKIAN, K.K.
1976 - Oceans; Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.

UNITED STATES BUREAU OF MINES
1971-1975 - Minerals Yearbooks.

VOKES, F.M.
1963 - Molybdenum deposits of Canada; Commission géologique du Canada; rapport 20 sur la géologie économique.

WALLACE, H.
1977 - Slate Falls area, district of Kenora; Summary of field work 1977; Geological Branch, Ontario Geological Survey; miscellaneous paper 75, pages 4-9.

WALLACE, S.R.
1974 - The Henderson orebody - elements of discovery, reflections; Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers; volume 256, pages 216-227.

WALLACE, S.R.- MacKENZIE, W.B.- BLAIR, R.G.
1968a - Preliminary report on the geology of the molybdenite deposits at Red Mountain, Dailey mining district, Colorado; Economic Geology, volume 63, pages 87-88.

WALLACE,S.R.- MUNCASTER,N.K.- JONSON,D.C. - MacKENZIE,W.B.- BOOKSTROM,A.A.-SURFACE,V.E.
1968b - Multiple intrusion and mineralization at Climax, Colorado. in Ore deposits of the United States, 1933-1967 (J.D. Ridger, editor); American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers; Graton-Sales volume, pages 605-640.

WALLACE, S.R.- MacKENZIE, W.B.- BLAIR,R.G.- MUNCASTER, N.K.
1978 - Geology of the Urad and Henderson molybdenite deposits, Clear Creek County, Colorado, with a section on a comparison of these deposits with those at Climax, Colorado; Economic Geology; volume 73, pages 325-368.

WHITE, W.H. - MacKENZIE, W.B.
1973 - Hydrothermal alteration associated with the Henderson molybdenite deposit; Economic Geology; volume 68, page 142.

WOLFE, W.J.
1976 - Geochemical and biogeochemical exploration of molybdenum-copper mineralization at Setting Net Lake, district of Kenora; Ontario Division of Mines; Geosciences report 156.

WOODCOCK, J.R. - HOLLISTER, V.F.
1978 - Porphyry molybdenite deposits of the North American Cordillera; Minerals Science and Engineering; volume 10, No. 1, pages 3-18.

ANNEXE A

TECHNOLOGIE ET ASPECTS ECONOMIQUES DU MOLYBDENE

USAGES

Le molybdène est un métal réfractaire qui confère d'excellentes propriétés aux aciers et aux alliages. Il est l'un des métaux les plus importants à être utilisés dans l'industrie sidérurgique: il entre dans la fabrication des alliages d'acier, de l'acier inoxydable, des aciers pour la machinerie, de la fonte et des alliages de haute température. A l'état pur, le molybdène est utilisé dans l'industrie électronique à cause de son point de fusion élevé et de ses bonnes propriétés électriques. La molybdénite, un excellent lubrifiant, est utilisé dans l'industrie chimique comme additif dans les huiles à moteur, les graisses et les films solides. C'est toujours l'industrie sidérurgique, cependant, qui est le plus grand consommateur de molybdène. Le tableau A-1 illustre la répartition de la consommation de molybdène aux Etats-Unis.

TABLEAU A-1 - Répartition de la consommation de molybdène aux Etats-Unis, 1971-1975 (en %)*.

	1971	1972	1973	1974	1975
Aciers d'alliage	47	44	40	42	49
Acier inoxydable	12	14	15	16	12
Aciers pour la machinerie	5	7	9	8	4
Fonte	9	9	8	7	8
Alliages de haute température	7	8	14	13	13
Sous-total, industrie sidérurgique	*80*	*82*	*86*	*86*	*86*
Molybdène métal	5	6	5	5	4
Produits chimiques et lubrifiants	8	9	7	7	7
Divers	7	3	2	2	3
Total	*100*	*100*	*100*	*100*	*100*

* *Source: Annuaire des minéraux du Canada; 1971 - 1975*

PRODUCTION ET CONSOMMATION

Au cours des dernières années, la demande pour le Mo a continuellement surpassé la production (tableau A-2), causant ainsi une sérieuse baisse des réserves et une forte augmentation des prix. Ce phénomène s'explique du fait qu'une partie importante de la production mondiale (35-40%) est un sous-produit des exploitations de gisements porphyriques de Cu. Le marché des dernières années ayant été faible, plusieurs producteurs de Cu ont été contraints de réduire leur production, occasionnant par le fait même une diminution de leur production de Mo. Comme on ne prévoit pas d'amélioration à court terme dans le marché du Cu, la situation risque de se détériorer au cours des prochaines années. Au début de 1977, les réserves de Mo ne représentaient plus que l'équivalent de la consommation de deux mois au Canada et aux Etats-Unis.

TABLEAU A-2 - Balance: production et consommation mondiales de molybdène, 1973-1976 (en milliers de tonnes courtes)*.

	1973	1974	1975	1976
Production:				
Etats-Unis	53	51	49	50
Canada	14	13	15	15
Chili	6	8	10	11
Autres pays du marché libre	1	1	1	1
Total :	*74*	*73*	*75*	*77*
Consommation:				
Etats-Unis	32	34	26	28
Europe de l'Ouest	35	42	30	31
Europe de l'Est	-	-	7	7
Japon	10	12	10	11
Autres	5	6	5	6
Total	*82*	*94*	*78*	*83*
Balance: réserves mondiales	-8	-21	-3	-6

* *Source : AMAX Inc.; rapport annuel pour 1976.*

PRIX

Par suite d'un déséquilibre entre la production et la consommation, le prix a augmenté considérablement au cours des dernières années (tableau A-3). Comme on ne prévoit pas la mise en production d'importants nouveaux gisements avant le début des années 1980, on peut s'attendre à ce que les prix continuent leur ascension, du moins jusqu'en 1980-81.

TABLEAU A-3 - Prix de la livre de molybdène, 1973-1976*.

	1973	1974	1975	1976
Concentré de la mine (95% MoS_2)	$1.72	$2.43	$2.62	$3.45
Oxyde de molybdène (MoO_3),en boîtes	1.92	2.69	2.90	3.90
Ferromolybdène (en poudre)	2.27	2.98	3.50	4.43

* *Source : Annuaire des minéraux du Canada, 1973 - 1976.*

Le prix actuel du concentré de molybdénite (95% MoS_2) est de $US $8.84 la livre (Northern Miner du 19 juillet 1979). Le prix, qui était de $1.05 en 1923, a diminué de façon importante après la guerre de 14. Il a été réduit à $0.70 en 1925 puis à $0.50 en 1931; il demeura stable à $0.45 de 1931 à 1948. Cette baisse de prix a été décidée par le gouvernement américain de concert avec Climax Molybdenum, afin que l'industrie sidérurgique accorde sa préférence au molybdène sur le tungstène, dont les approvisionnements étaient insuffisants. Le molybdène, à qualités comparables, était beaucoup moins dispendieux que le tungstène.

Le prix a pu être contrôlé de façon rigoureuse et efficace, puisque, à ce moment, 75% de la production mondiale étant fournie par Climax Molybdenum, cette société pouvait fixer le prix à sa guise. Une fois l'usage du molybdène fermement implanté dans l'industrie, le prix du concentré est revenu à $1.05 en 1954, puis s'est élevé à $1.25 en 1960, à $1.55 en 1965 et à $1.72 en 1973 pour atteindre $US $8.84 en 1979.

Cette hausse des prix, qui peut sembler énorme, est cependant beaucoup moindre si elle est exprimée en dollars constants. La hausse spectaculaire du prix serait principalement due aux conditions économiques actuelles: récession mondiale, crise du pétrole, augmentation du prix de l'or combinée à l'effondrement du dollar américain (et par ricochet, du dollar canadien).

PRINCIPAUX PRODUCTEURS

La production mondiale est contrôlée par un très petit nombre de producteurs (tableau A-4), dont le plus important au monde, depuis 1924, Amax Incorporated, possède encore les plus grandes réserves avec ses deux énormes gisements de Climax et de Henderson. Amax, qui contrôle donc encore en grande partie le marché, en fixe le prix de façon pratiquement unilatérale.

TABLEAU A-4 - Part des principaux producteurs de molybdène dans la production mondiale (en %)*.

Amax Incorporated	*(Etats-Unis)*	: 38
Duval Sierrita Corporation	*(Etats-Unis)*	: 12
Corporation del Cobre de Chile	*(Chili)*	: 10
Placer Development	*(Canada)*	: 10
Noranda Mines Limited	*(Canada)*	: 7
Moly Corp Incorporated	*(Etats-Unis)*	: 6
Kennecott Copper Corporation	*(Etats-Unis)*	: 4
Autres		: 13
	TOTAL	:100

* *Source: Annuaire des minéraux du Canada; monographie sur le molybdène (1976)*

PERSPECTIVES

Contrairement à la plupart des autres métaux, le molybdène n'a pas vu sa demande affectée par la récession mondiale et, en particulier, par le ralentissement

dans l'industrie de l'acier. Avec la crise actuelle de l'énergie, ce fait s'explique par les nouvelles applications du molybdène dans le domaine de l'énergie. La construction de pipelines à grand diamètre, pour le transport de l'huile et du gaz naturel, exige une grande quantité d'acier au molybdène. La plus récente utilisation de celui-ci est dans les gaines des puits profonds de gaz naturel. Cet acier résiste à la corrosion causée par l'hydrogène sulfuré à haute température habituellement rencontré dans ces puits.

Avec le niveau actuel, très bas, des stocks et les usages de plus en plus importants dans l'industrie, les prix vont continuer d'augmenter, ce qui favorisera l'exploration au cours des prochaines années. La construction du pipeline de l'Alaska exigera, dans sa partie canadienne seulement, entre 10 et 14 millions de livres de molybdène, qui devront être fournies entre 1979 et 1981. Il semble donc assuré que la demande demeurera forte au cours des prochaines années.

ANNEXE B

PRODUCTION ET EVOLUTION DES MARCHES ET DES RESERVES

PRODUCTION MONDIALE

La production de molybdène, par pays, apparaît au tableau B-1. L'examen du tableau révèle que, si l'on excepte les pays communistes, trois pays, seulement, (Etats-Unis, Canada et Chili) ont fourni entre 98 et 99% de la production mondiale de 1971 à 1975.

TABLEAU B-1 - Production mondiale de molybdène, 1971-1975 (en milliers de livres)*.

	1971	1972	1973	1974	1975
Australie	2	9	2	25	25
Bulgarie **	0	310	310	310	310
Canada	22 663	28 493	30 391	30 736	27 414
Chili	13 935	13 045	12 974	21 466	20 042
République populaire de Chine **	3 300	3 300	3.300	3 300	3.300
Japon	613	494	345	235	309
République de Corée	231	111	112	166	166
Mexique	174	172	90	95	37
Norvège	811	562	220	0	0
Pérou	1 782	1 689	1 395	1 530	1 300
U.R.S.S. **	17 600	18 100	18 700	19 400	20 000
Etats-Unis	109 592	112 138	115 859	112 011	105 980
Total :	170 703	178 423	183 698	189 274	178 883

* *Source: Annuaire des minéraux du Canada, 1971 - 1975.*
** *Estimation*

HISTORIQUE ET EVOLUTION DE LA PRODUCTION MONDIALE

La molybdénite, longtemps confondue avec le graphite, n'a été identifiée comme minéral qu'en 1778, par Karl Wilhelm Scheele. On croyait à ce moment qu'il s'agissait d'un minéral de plomb; ce n'est qu'en 1790 que P.J. Hjelm a isolé le molybdène à partir de la molybdénite et l'a identifié comme nouvel élément.

La première production enregistrée dans le monde provenait de la mine Knaben, en Norvège, en 1880. De 1880 à 1914, la production mondiale fut très limitée, ne provenant que de quelques petits gisements dispersés en Norvège, en Suède, en Espagne, au Japon, en Australie, en Yougoslavie et aux Etats-Unis. Les gisements exploités avaient cependant une teneur beaucoup plus élevée que celle des mines actuelles - en général entre 3 et 12% Mo.

Le molybdène servait alors à la fabrication de teintures et de certains produits chimiques. Les premiers essais d'utilisation dans les alliages datent de 1898; ils furent effectués par Sanderson Steel Company aux Etat-Unis. Il convient

de mentionner que, au cours de cette période, la plus grande partie de la production américaine provenait de la wulfénite, minéral qui n'est plus exploité de nos jours.

Le déclenchement de la guerre de 14 fut un stimulant pour la recherche du molybdène. Les réserves de tungstène étant à leur plus bas niveau, les Etats-Unis, qui étaient alors le plus important producteur de matériel d'armements, ont eu recours au molybdène pour un substitut dans les alliages. L'exploration intense a amené, en 1917, la mise en production de la fameuse mine Climax.

Les années d'après-guerre ont été pénibles pour les producteurs qui ont accumulé des déficits de 1919 à 1933. La mine Climax a même cessé toute production entre 1919 et 1924. Le marché s'était effondré; les premiers essais d'alliages avec les aciers n'ayant pas été concluants, l'industrie avait perdu confiance dans le métal.

C'est alors que le gouvernement américain est intervenu directement en abaissant le prix et en permettant de le garder stable sur une grande période de temps, tout en favorisant la recherche de nouvelles applications dans l'industrie.

La technologie s'est intensifiée à un rhythme rapide; de nombreuses applications dans l'industrie sidérurgique ont été découvertes. Un prix beaucoup moins élevé que celui du tungstène et un approvisionnement stable ayant été assurés, le molybdène s'est implanté solidement comme métal essentiel dans l'industrie de l'acier. L'année 1933 marque une date importante dans l'histoire de l'essor de ce métal; c'est alors, en effet, que la société Anaconda a récupéré, pour la première fois, la molybdénite comme sous-produit d'une mine de cuivre porphyrique, à Green Cananea au Mexique. Le Mexique devint alors, pour une courte période, le plus important producteur au monde, après les Etats-Unis. De nos jours, 35 à 40% de la production mondiale provient des exploitations de cuivre porphyrique.

Dans les années 1934-35, le molybdène était devenu un métal essentiel dans l'industrie et la production mondiale atteignait de nouveaux sommets. Le marché était à ce moment entièrement dominé par l'énorme mine de Climax, qui fournissait 75% de la production mondiale.

Le déclenchement de la guerre de 39 a amené la production mondiale à un niveau encore plus élevé. Entre 1939 et 1945, 170 000 tonnes métriques de molybdène ont été utilisées pour la fabrication d'armements - quantité beaucoup plus considérable que celle produite jusqu'alors dans le monde. Kennecott Copper a commencé, en 1939, à récupérer de la molybdénite comme sous-produit de son énorme gisement de cuivre d'El Teniente, au Chili, qui est devenu dès lors le deuxième plus grand producteur au monde.

L'effondrement du marché qui est survenu à la fin de la guerre de 14 ne s'est pas reproduit après 1945. Le maintien de bas prix par le gouvernement américain et Climax a fait que le marché s'est accru dans l'industrie de l'automobile. Par la suite, avec l'avènement des industries aérospatiale et nucléaire, le molybdène s'est véritablement affirmé comme l'un des métaux essentiels de l'ère moderne. Ses nouveaux usages dans le domaine de l'énergie (transport du pétrole et du gaz naturel par pipelines, forages à grande profondeur) confirment cet état de choses.

De 1924 jusque vers 1965, Climax a largement dominé le marché. Celui-ci s'est diversifié depuis, avec la mise en production de plusieurs importants gisements au Canada, aux Etats-Unis et au Chili; Climax demeure tout de même encore le plus grand producteur au monde.

RESERVES MONDIALES

Les réserves mondiales de molybdène, par pays, sont données au tableau B-2. L'examen du tableau permet de dégager les conclusions suivantes:

- 87% des réserves (incluant les réserves potentielles) sont situées sur le continent américain;
- Trois pays seulement (Etats-Unis, Canada et Chili) possèdent 80% des réserves. Il est donc à prévoir que la Cordillère de la côte ouest des Amériques du Sud et du Nord continuera, pendant encore longtemps, à fournir la plus grande partie de la production mondiale.

TABLEAU B-2 - Réserves mondiales de molybdène (en milliers de tonnes métriques)*.

	Réserves identifiées	Réserves potentielles	Réserves totales
Hémisphère Ouest :			
Etats-Unis	3 800	12 200	16 000
Canada	750	3 750	4 500
Chili	2 045	2 455	4 500
Pérou	230	370	600
Autres	100	1 400	1 500
	6 925	20 175	27 100
Hémisphère Est :			
Union Soviétique	1 000	1 500	2 500
Europe	50	450	500
Afrique	0	50	50
Asie	250	500	750
Océanie	15	150	165
	1 315	2 650	3 965
Total mondial :	*8 240*	*22 825*	*31 065*

* *Source : Sutulov (1976).*

Nous traitons, dans les pages suivantes, des principaux pays producteurs et des plus importants gisements. Les caractéristiques géologiques de ceux-ci sont données au tableau B-3.

CANADA

SITUATION ACTUELLE

Le Canada est actuellement, après les Etats-Unis, le plus important producteur de molybdène au monde. De 1971 à 1975, la production a représenté entre 15 et 19% de la production totale des pays libres. Le Canada compte actuellement sept producteurs, dont six en Colombie Britannique: Lornex, Brenda, Gibraltar, Island Copper, Boss Mountain et Endako. Le seul autre producteur est situé au Québec (Les Mines de Cuivre Gaspé). Tous ces producteurs exploitent des gisements de type porphyrique. Deux d'entre eux ne produisent que du molybdène: Boss Mountain et Endako. Dans les cinq autres, le molybdène est exploité comme sous-produit de gisements porphyriques de cuivre.

HISTORIQUE DE LA PRODUCTION

La production canadienne a suivi à peu près les mêmes tendances que la production mondiale dans son ensemble et, comme celle-ci, elle a été profondément marquée par les deux guerres mondiales. Les premiers travaux d'exploration sont issus de la guerre de 14. Avec la découverte et la mise en production de la mine Moss à Quyon, dans la région de Hull-Gatineau, le Canada est devenu le deuxième plus grand producteur au monde. La mine Moss a même été, pendant une courte période de temps, le plus important producteur mondial. Au cours de la guerre, 110 gisements, situés surtout au Québec et en Ontario, ont produit du molybdène. Il s'agissait en général de très petits gisements; le minerai était trié à la main et seulement 30 d'entre eux ont fourni 5 tonnes ou plus de minerai. Le marché s'est s'effondré à la fin de la guerre et, jusqu'en 1941, la seule

production (assez peu importante) qu'a connue le Canada venait de la mine Moss (entre 1924 et 1926).

L'exploration s'est intensifiée avec le début de la guerre de 39. En 1942, la Wartime Metals Corporation, une société de la Couronne, mettait en production la mine de la Molybdenite Corporation à Lacorne, dans le Nord-Ouest du Québec, ainsi que quelques autres petits gisements au Québec et en Ontario.

Le Québec - avec Molybdenite Corporation, Cadillac Moly et Preissac Molybdenite, ainsi qu'avec Les Mines de Cuivre Gaspé qui ont commencé à récupérer du Mo en 1963 - est demeuré le plus important producteur canadien jusqu'en 1965. En 1965, la Colombie Britannique est cependant devenue le plus important producteur canadien avec la mise en exploitation des gisements porphyriques d'Endako et de Boss Mountain. Depuis ce temps, la Colombie Britannique est de loin le plus important producteur au Canada; c'est aussi la province qui renferme les plus grandes réserves et le plus grand nombre de gisements susceptibles d'être mis en exploitation dans un avenir rapproché.

COLOMBIE BRITANNIQUE

En 1977, la Colombie Britannique fournissait 93% de la production canadienne de molybdène. Sa production provenait de six gisements de type porphyrique: les mines Endako et Boss Mountain furent mises en production en 1965, la mine Brenda en 1970, la mine Island Copper en 1971, et les mines Gibraltar et Lornex en 1972. La mine Endako est de loin la plus importante, avec 45% de la production canadienne; la mine Brenda suit avec 25%.

Les perspectives sont exceptionnellement bonnes en ce qui concerne la production. Plusieurs gisements potentiels sont également connus; pour une liste complète de ceux-ci, se reporter à Drummond et Godwin (1976) et Soregaroli et Sutherland-Brown (1976). Les développements les plus importants prévus à brève échéance sont les suivants:

- Les réserves de la mine Boss Mountain seront épuisées à la fin de 1979, mais des forages ont permis de délimiter de fortes réserves à basse teneur qui seraient exploitables à ciel ouvert au début de 1980;
- La mine British Columbia Molybdenum, appartenant à AMAX Incorporated et qui fut exploitée de 1967 à 1972, devrait reprendre sa production en 1982. Les réserves sont estimées à 100 millions de tonnes à 0.09% Mo dont 36.3 millions à 0.20% Mo;
- La mine Iona, appartenant à Bethleem Copper Corporation, devrait fournir entre 450 et 500 tonnes métriques de Mo comme sous-produit en 1979; après épuisement, à la fin de 1979, elle sera remplacée par la mine Jersey, qui devrait produire annuellement environ 200 tonnes métriques de molybdène.

ONTARIO

L'Ontario ne possède actuellement aucune mine productrice de molybdène. Plusieurs prospects ont cependant été reconnus dans le Bouclier canadien, entre autres, à Lateral Lake, Bamaji Lake, Gutcher Lake, Setting Net Lake, Long Lake, et dans les régions de Matachewan et de Batchawana (Blecha, 1974; Findlay et Ayres, 1977; Colvine et McCarter, 1977; Studemeister et Colvine, 1977; Sutherland, 1977; Wallace, 1977; Ayres et Findlay, 1976; Sinclair, 1979).

La caractéristique la plus intéressante de ces prospects est qu'ils sont,

TABLEAU B-3 - Caractéristiques géologiques de certains importants gisements de Mo.

Nom du gisement	Type de gisement	Etat actuel	Tonnage (10^6 tonnes) et teneur	Age (10^6 années)	Roche encaissante	Type d'altération	Remarques
CANADA Colombie-Britannique :							
1. Lornex Mining Corporation Limited	Porphyrique	Producteur	425 à 0.41 % Cu et 0.014% Mo	Jurassique (198 ± 6)	Diorite quartzique	Phyllique, argileuse, propylitique.	Cinq épisodes de minéralisation ont été reconnues.
2. Brenda Mines Limited	Porphyrique	Producteur	159 à 0.18% Cu et 0.048% Mo	Jurassique (146)	Diorite quartzique	Potassique, propylitique.	Cinq systèmes de fractures ont été reconnus.
3. Gibraltar Mines Limited	Porphyrique	Producteur	327 à 0.37% Cu et 0.010% Mo	Jurassique (204 ± 6)	Diorite quartzique	Potassique, propylitique.	Quatre systèmes de fractures ont été reconnus
4. Island Copper (Utah Mines Limited)	Porphyrique	Producteur	257 à 0.52% Cu et 0.018 % Mo	Jurassique (154 ± 6)	Porphyre quartzo - feldspathique	Phyllique , argileuse , propylitique.	Brèches très abondantes.
5. Boss Mountain (Noranda Mines Limited)	Porphyrique	Producteur	Réserves : 1.2 à 0.43% Mo	Crétacé (102 ± 4)	Monzonite quartzique	Phyllique , potassique, propylitique.	Huit systèmes de fractures ont été reconnus.
6. Endako (Canex Placer Limited)	Porphyrique	Producteur	194 à 0.14 % Mo	Jurassique (141 ± 5)	Monzonite quartzique	Potassique, phyllique.	Six systèmes de fractures ont été reconnus
7. B. C. Molybdenum (Amax Incorporated)	Porphyrique	Ancien producteur	Réserves : 36.3 à 0.20% Mo	Tertiaire (51.1)	Monzonite quartzique	Potassique, phyllique.	Quatre épisodes de minéralisation ont été reconnues.
Québec :							
1. Gaspé Copper Mines (Noranda Mines Limited)	Porphyrique	Producteur	232 à 0.50% Cu et 0.010 % Mo	Dévonien (346)	Porphyre quartzo-feldspathique.	Argileuse, potassique, propylitique.	Bi , Ag , Au , Se et Te sont également récupérés.
2. Preissac Molybdenite Mines Limited	Dykes de pegmatite	Ancien producteur	Réserves : 1.53 à 0.19% Mo et 0.024% Bi	Archéen (2,525±225)	Granite	———	Mo est associé au Bi dans des veines de quartz.
3. Cadillac Moly Mines Limited	Dykes de pegmatite	Ancien producteur	Réserves : 0.51 à 0.11 % Mo et 0.030% Bi	Archéen (2,525±225)	Granite	———	Bi et Ag ont également été récupérés.
4. Mine Lacorne (Molybdenite Corporation of Canada Limited)	Dykes de pegmatite	Ancien producteur	Réserves : 0.20 à 0.07 % Mo et 0.019% Bi	Archéen (2,525±225)	Granodiorite	———	Mo est associé au Bi dans des veines de quartz.

TABLEAU B-3 - (Fin)

ETATS-UNIS							
1. Mine Climax (Amax Incorporated)	Porphyrique	Producteur	> 500 à 0.20 % Mo	Tertiaire (30)	Porphyre quartzo-feldspathique.	Potassique, phyllique, propylitique.	Pyrite, Wet Sn sont également récupérés.
2. Mine Henderson (Amax Incorporated)	Porphyrique	Producteur	330 à 0.30% Mo	Tertiaire (24.4± 2.6)	Porphyre quartzique.	Phyllique, propylitique, argileuse.	Trois systèmes de fractures ont été reconnus.
3. Mine Questa (Molybdenum Corporation of America)	Porphyrique	Producteur	150 à 0.10% Mo	Tertiaire (22 ± 1)	Porphyre quartzo-feldspathique	Potassique, phyllique, propylitique.	Gisement original du type veines de quartz.
4. Utah Mines (Kennecott Copper Corporation)	Porphyrique	Producteur	>1,000 à 0.7% Cu et 0.030% Mo	Tertiaire (37)	Porphyre granitique	Potassique, phyllique, argileuse.	Minerai de type stockwork
5. San Manuel (Magma Copper)	Porphyrique	Producteur	1,000 à 0.7% Cu et 0.015% Mo	Crétacé (67)	Monzonite quartzique	Potassique, phyllique, argileuse.	Minerai de type stockwork
6. Twin Buttes (ANAMAX)	Porphyrique	Producteur	800 à 0.6% Cu et 0.020% Mo	Crétacé (69)	Monzonite quartzique	Potassique, phyllique, argileuse.	Minerai de type stockwork
7. Ray Mines (Kennecott Copper Corporation)	Porphyrique	Producteur	500 à 1.0% Cu et 0.015 % Mo	Tertiaire (63)	Monzonite quartzique	Potassique, phyllique, argileuse.	Minerai de type stockwork
CHILI							
1. Chuquicamata (CODELCO-Chili)	Porphyrique	Producteur	2,500 à 2.5% Cu et 0.040% Mo	Tertiaire (29.2)	Porphyre monzonitique	Phyllique (séricitisation)	Minerai de type stockwork
2. EL Teniente (CODELCO-Chili)	Porphyrique	Producteur	3,500 à 1.5% Cu et 0.040% Mo	Tertiaire (4.3)	Dacite	Potassique, phyllique	Minerai bréchiforme, tourmaline abondante.
PEROU							
Toquepala (Southern Peru Corporation)	Porphyrique	Producteur	400 à 1.1% Cu et 0.018% Mo	Tertiaire (58.7)	Porphyre dacitique	Phyllique (séricitisation)	Présence d'une pipe de brèche

selon les auteurs susmentionnés, des gisements de type porphyrique d'âge Précambrien. Une brèche minéralisée dans la région de Batchawana contient 125 millions de tonnes à 0.13% Cu et 0.018% Mo, tandis que Pidgeon Molybdenum Mines (appartenant à Rio Canex), dans la région de Lateral Lake, montre des réserves de 250 000 tonnes à 0.30% Mo. Tous ces prospects sont cependant considérés comme subéconomiques à l'heure actuelle.

QUEBEC

Le molybdène n'est produit qu'aux Mines de Cuivre Gaspé il est extrait comme sous-produit du cuivre, ainsi que le bismuth, l'or, l'argent, le sélénium et le tellure. La récupération du Mo à cette mine a commencé en 1963. En 1977, elle a été de 1040 tonnes - 7% de la production canadienne.

NOUVEAU-BRUNSWICK

Le Nouveau-Brunswick ne compte présentement aucune mine productrice de molybdène. L'énorme gisement polymétallique de Mount Pleasant doit cependant être mis en production très bientôt et il ne fait aucun doute qu'il deviendra rapidement un producteur important de molybdène, de tungstène et de bismuth. La minéralisation, logée dans des intrusions felsiques bréchifiées, est associée avec une importante zone d'altération de type "greisen", composée de quartz, fluorine, kaolin, topaze, hématite et chlorite.

D'autres gisements subéconomiques de cuivre et de molybdène, de type porphyrique et d'âge Dévonien, ont également été identifiés. Les plus importants sont ceux de Clarks Lake, Woodstock, Evandale et Eagle Lake (Hollister, 1978; Schmidt, 1978).

NOUVELLE-ECOSSE

Des minéralisations subéconomiques de cuivre et de molybdène, de type porphyrique et d'âge Cambrien à Précambrien, ont été reconnues à Coxheath, Gillis Mountain et Deep Cove. A Coxheath, la minéralisation se situe dans un stock de monzonite quartzifère intrusive injectant des roches volcaniques (Hollister, 1978 et O'Reilly, 1977).

ETATS-UNIS

Les Etats-Unis sont de loin le plus important producteur de molybdène au monde. De 1971 à 1975, ils ont fourni entre 67 et 73% de la production mondiale (marché libre seulement). Les Etats-Unis comptent trois importants producteurs primaires (Climax, Henderson et Questa), de même qu'une douzaine de mines où le molybdène est récupéré comme sous-produit du cuivre. Tous les gisements sont de type porphyrique.

La mine Climax (appartenant à Amax Incorporated) est encore un géant parmi les producteurs de molybdène au monde. Entre 1971 et 1975, elle a fourni à elle seule 30-35% de la production mondiale. Les réserves (un million de tonnes de Mo, en 1976) sont, avec celles de la mine Henderson et de la mine El Teniente (celle-ci au Chili), les plus grandes au monde. La mine Climax produit, en plus de molybdène, des concentrés de tungstène, d'étain, de pyrite et de monazite.

La mine Urad-Henderson appartient également à Amax Incorporated. La mine Urad est un petit gisement de 12 millions de tonnes à 0.22% Mo, qui fut exploité de 1967 à 1974. Alors que l'exploitation tirait à sa fin, des forages profonds ont permis de découvrir la mine Henderson,

un gisement géant, dont les réserves sont égales à celles de la mine Climax et qui, sous peu, feront de Urad-Henderson l'un des plus importants producteurs de molybdène au monde. La production a commencé en 1976 et, dès 1977, le gisement Henderson supplantait celui de Questa comme deuxième plus important producteur au monde. Avec les gisements de Climax et de Henderson, Amax Incorporated a affermi son emprise sur le contrôle du marché.

La mine Questa (appartenant à Molybdenum Corporation of America) est exploitée depuis 1964. Le gisement original contenait du minerai à haute teneur dans des veines de quartz; alors que les réserves diminuaient, des forages ont permis d'établir que la minéralisation filonienne était génétiquement reliée à un énorme gisement porphyrique à basse teneur. Avec cette découverte, Questa était assurée de demeurer, pour encore plusieurs années, l'un des plus importants producteurs au monde. Cependant, en juin 1977, la production a été réduite par suite de dommages causés aux installations par une tempête; en juillet de la même année, elle a cessé complètement après un glissement de roches dans la carrière principale. L'usine continue de traiter du minerai en stock, mais on doute que la mine soit réouverte un jour.

En 1976, les Etats-Unis comptaient, en plus de ces trois producteurs primaires, douze mines de cuivre porphyrique produisant du molybdène comme sous-produit. Il s'agit des mines Utah, Ray, Chino et Nevada (Kennecott Copper Corporation), Sierrita, Mineral Park et Esperanza (Duval Corporation), San Manuel (Magma Copper), Mission (Asarco), Twin Buttes (Anamax), Pima et Bagdad (Cyprus Mines Corporation).

Cependant, en raison de la faiblesse du marché du cuivre, toute production a cessé en 1977 à deux de ces gisements (Pima et Esperanza) tandis que deux autres mines fonctionnaient au ralenti (Sierrita et Mineral Park).

La découverte la plus significative au cours des dernières années a été celle de la U.S. Borax and Chemical Corporation (filiale de Rio Tinto Zinc Corporation Limited) en Alaska, où on a délimité un gisement de 100 millions de tonnes à 0.18% Mo. Les écologistes s'opposent cependant à une mise en exploitation parce que, selon eux, celle-ci causerait un tort irréparable à l'environnement.

CHILI

Le Chili est le troisième plus grand producteur de molybdène au monde; il a fourni, de 1971 à 1975, 8-13% de la production mondiale. La National Copper Corporation of Chile (CODELCO-Chile), une société d'Etat, est le plus important producteur de cuivre et de molybdène (comme sous-produit) au monde. Elle possède les plus importantes réserves de cuivre au monde; elle exploite le molybdène comme sous-produit dans les quatre énormes gisements porphyriques suivants:

- **Mine Chuquicamata**, connue depuis au moins 600 ans et que les Indiens Chuco ont exploitée pour le cuivre. L'exploitation à ciel ouvert du minerai disséminé, qui a débuté en 1915 se poursuit toujours; la récupération du molybdène n'a cependant commencé qu'en 1958. La partie supérieure du gisement a subi un enrichissement supergène; la minéralisation consiste en chalcosine, antlérite et plusieurs autres minéraux oxydés de Cu. En profondeur, la minéralisation hypogène est constituée de chalcopyrite, tennantite et tétraédrite. Les réserves, en 1976, étaient encore énormes: 2500 millions de tonnes

contenant 30 millions de tonnes de Cu et 800 000 tonnes de Mo.

. **Mine El Teniente,** exploitée pour le cuivre depuis 1906 et où la récupération du molybdène a débuté dès 1939. La minéralisation est située dans une pipe dont la matrice contient une grande quantité de tourmaline. Tout comme à la mine Chuquicamata, l'enrichissement supergène en chalcosine dans la partie supérieure du gisement est importante et a localement porté au double la teneur du minerai. En profondeur, la minéralisation hypogène consiste en bornite et chalcopyrite. C'est la plus grande mine souterraine au monde. Les réserves, en 1976, étaient encore énormes: 3500 millions de tonnes contenant 32 millions de tonnes de Cu et un million de tonnes de Mo.

. **Mine El Salvador,** qui récupère le Mo depuis 1960. Les réserves, en 1976, étaient de 300 millions de tonnes contenant 5.5 millions de tonnes de Cu et 120 000 tonnes de Mo.

. **Mine Andina,** qui possédait en 1976 des réserves de 120 millions de tonnes contenant 1.9 million de tonnes de Cu et 18 000 tonnes de Mo.

PEROU

Le Pérou ne compte actuellement qu'un seul gisement de cuivre porphyrique d'où on extrait le molybdène comme sous-produit - la mine Toquepala (appartenant à Southern Peru Corporation). La production de molybdène y a débuté en 1963; les réserves sont de 400 millions de tonnes contenant 4 millions de tonnes de Cu et 80 000 tonnes de Mo.

Un deuxième gisement - Cuajone - devrait être mis en production très bientôt. Les réserves établies sont de 500 millions de tonnes contenant 5.5 millions de tonnes de Cu et 150 000 tonnes de Mo.

AUTRES PAYS

On possède très peu de renseignements sur la production de molybdène dans les pays communistes. On sait seulement que l'U.R.S.S. et la Chine possèdent d'importantes réserves de molybdène comme sous-produit d'énormes gisements porphyriques de cuivre. En U.R.S.S., les principaux gisements de ce type seraient ceux de Balkhash, Almalyk, Kounrad et Bozshchakul.

Ailleurs, les prochains gisements à être mis en exploitation seront des gisements porphyriques de cuivre avec du molybdène comme sous-produit; La Caridad, au Mexique, et Sar Cheshmeh, en Iran.

Depuis la fermeture de la mine Knaben en Norvège, l'Europe ne compte plus aucune mine importante de molybdène depuis 1973. Ce gisement était connu et exploité depuis 1880.

