GM 66051

GUIDE DE LA PROSPECTION

Documents complémentaires

Additional Files

Licence

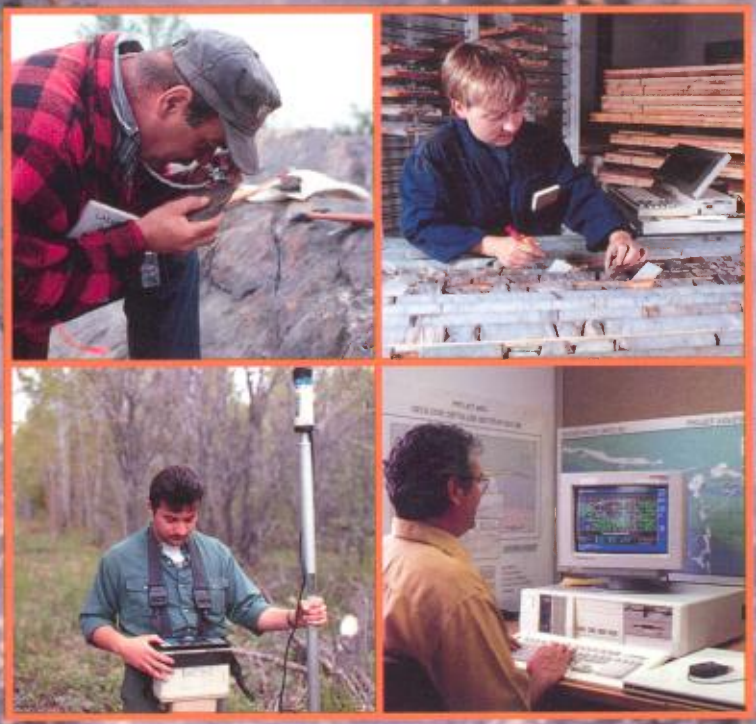
License

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

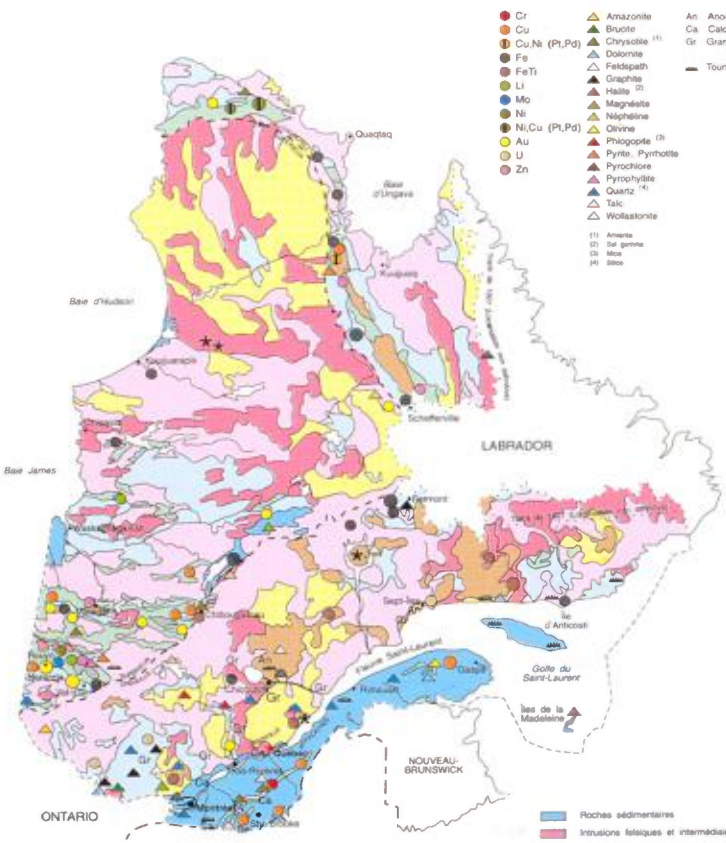
GUIDE DE LA PROSPECTION



CÉGEP ÉDITEUR

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

CARTE MINÉRALE DU QUÉBEC, CANADA
MINERAL MAP OF QUÉBEC, CANADA



Représentation simplifiée de la carte originale à l'échelle de 1 : 1 500 000

Centre de diffusion
5700, 4e Avenue ouest, local A-201
Charlesbourg (Québec) G1H 6R1
Téléphone: (418) 643-4601
Télécopieur: (418) 644-3814

Québec

Compilé par L. Avramtchev
Service d'information et de soutien à l'exploration minière

PRO 93-06
(Remplace le PRO 87-01)

GUIDE DE LA PROSPECTION

Rédacteur en chef:
RAYMOND GAULIN

C É G E P É D I T E U R

Cet ouvrage est publié par:
Le Groupe de communication PAT
La Corporation de formation et de développement en exploration minière
Le Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue

Avec la collaboration de:
Cambior
Les Mines Selbaie
Minnova
Serem Québec
Exploration VSM
SOQUEM
Ministère Énergie et Ressources du Québec
Énergie, Mines et Ressources Canada
Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science
(programme "*Étalez votre science*")

Directeur de l'édition:
Jacques Marcotte

Rédacteur en chef:
Raymond Gaulin

Collaboration à la recherche et à l'écriture:
Marie-France Bugnon
Pierre Gagnon
Yves Gagnon
Gérard Lambert
Denis Raymond
Nicole Rioux
Gérald Riverin
André Tremblay

Comité de lecture:
Jean-Jacques Bouillon
Chantal Dussault
Michel Gilbert
Jean Girard
Gérald Riverin
Gérald Thériault

Collaboration spéciale:
Pierre Verpaelst
Mario Bouchard

Conception graphique et production:
Groupe de communication PAT

Photographies de la couverture:
Maurice Boudreau

PRÉFACE

L'être humain est naturellement poussé par une irrésistible curiosité à explorer son environnement et à éventuellement l'aménager pour assurer sa survie et son bien-être. Nous souhaitons tous qu'il le fasse dans un contexte de développement durable; c'est en extrayant les métaux et les minéraux utiles du sous-sol qu'il fabrique les outils et les produits nécessaires pour atteindre cet objectif. La prospection minière est la première expression de cette tendance et la première étape du processus de son développement à travers l'histoire. Les substances minérales sont utilisées dans des domaines aussi variés que l'habitation, l'automobile, l'électronique, la joaillerie et les cosmétiques. L'industrie minérale occupe donc dans notre vie quotidienne une place incontestable.

Le prospecteur recherche des concentrations minérales en quantités suffisamment importantes pour qu'elles soient exploitables avec profit. Sans aucun doute, ce guide de la prospection est un volume qui aidera le prospecteur et le professionnel de l'exploration lors de leurs campagnes de prospection. La description des diverses méthodes de prospection constitue une excellente mise à jour, en termes simples; elle revêt une valeur éducative indéniable. Sans être une vulgarisation du sujet, ce guide est éminemment pratique grâce aux nombreux tableaux et graphiques qui en facilitent la consultation. C'est pourquoi cet ouvrage mérite une large diffusion dans nos maisons d'enseignement.

L'originalité de ce volume émane du fait qu'il contient, en plus de la description des principales méthodes de prospection et d'un résumé de la loi sur les mines, des notions fondamentales de géologie, gîtes minéraux, économie minérale et financement de l'exploration. L'historique de la découverte de quelques gisements québécois contribuera à réchauffer l'enthousiasme et ali-

menter le feu sacré pour cette activité passionnante qu'est la prospection minière.

La mise en oeuvre d'un tel guide suppose la collaboration et l'implication de plusieurs individus qui ont su transmettre leurs connaissances de façon ingénieuse. Bravo et merci pour votre contribution au développement de l'exploration minière.

Côme Carbonneau
Premier président de SOQUEM (1965-1977)

Dernier président de
Corporation Falconbridge Copper (1981-1986)

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION

La pratique de la prospection minière requiert une somme de connaissances qui sont rarement concentrées dans un seul volume. Le défi à relever, lors de la réalisation de ce guide, fut de rassembler en des termes clairs et succincts l'ensemble des méthodes de prospection minière pratiquées au Québec et ailleurs au Canada, tout en y rattachant les connaissances théoriques essentielles à la compréhension des principes qui régissent ces différentes méthodes. Il ne s'agit pas d'un livre de recettes énumérant les instructions à suivre pour l'exécution des différentes méthodes de prospection, mais plutôt d'un manuel pratique décrivant les principes et les applications de ces méthodes. De plus, ce guide traite de tous les aspects du secteur minéral reliés à la prospection.

Le guide se divise en trois parties. La première décrit les éléments essentiels à connaître pour faire de la prospection; ces éléments comprennent des notions de géologie, de minéralogie, de pétrographie (étude des roches), de gîtologie (étude des gîtes minéraux) et les principales lois qui régissent l'exploration minière. La deuxième partie définit, d'une façon pratique, les principales méthodes de prospection, soit les prospections conventionnelle, géophysique, géochimique et par forage au diamant. Plusieurs découvertes de gîtes attribuées à chacune de ces méthodes sont signalées dans cette section. Enfin, la dernière partie aborde les notions d'économie minérale et de financement de l'exploration. Ces notions sont primordiales pour le prospecteur qui désire gérer ses propriétés d'une façon rentable.

Ce guide a aussi la particularité de présenter, entre certains chapitres, l'historique de quelques découvertes effectuées en territoire québécois. Ces exemples démontrent que la réussite en exploration minière n'est pas l'effet du hasard, mais plutôt le résultat d'une multitude de travaux planifiés et choisis en fonction de la substance recherchée.

CHAPITRE I

NOTIONS DE GÉOLOGIE

1.1 INTRODUCTION

La **géologie** est la science qui traite des structures internes et externes de la terre ainsi que des matériaux qui la composent. Ces matériaux sont constitués de minéraux, de roches et de sédiments qui peuvent contenir des substances utiles à valeur commerciale. Pour effectuer de l'exploration minière, le prospecteur doit posséder des notions de base sur les minéraux et les roches, et savoir identifier les environnements et les structures géologiques favorables à la minéralisation.

1.2 LES MINÉRAUX

La croûte terrestre est constituée d'une grande diversité de roches composées d'un assemblage hétérogène de **minéraux** ayant une composition chimique et une structure cristalline spécifiques. Ces minéraux se composent soit d'un seul élément chimique (élément natif), soit de plusieurs éléments. Les minéraux sont omniprésents dans la vie de tous les jours; ils sont utilisés, entre autres, dans les industries de l'automobile, de l'aviation, de la construction et de la joaillerie. Ces industries utilisent les minéraux contenant du fer, du cuivre, du zinc, du chrome, de l'aluminium, de la silice, de l'or et de l'argent pour fabriquer leurs produits.

1.2.1 Classes minéralogiques

Il existe au-delà de 2 500 minéraux formant huit classes minéralogiques: éléments natifs, sulfures et sulfosels, oxydes et hydroxydes, halogénures, carbonates, sulfates, phosphates et silicates.

Éléments natifs
Ce sont tous les minéraux formés d'éléments non combinés chimiquement. Exemples: or (Au), cuivre (Cu), graphite (C) et diamant (C).

Sulfures et sulfosels
Ces minéraux sont constitués d'un ou plusieurs éléments liés au soufre ou à l'arsenic (chalcopyrite: $CuFeS_2$; arsénopyrite: FeAsS). Plusieurs métaux usuels (Cu, Zn, Pb...) proviennent de cette classe minéralogique. Les métaux précieux comme l'or et l'argent sont souvent associés aux métaux usuels dans les gisements polymétalliques.

Oxydes et hydroxydes
Ces minéraux se composent d'un ou plusieurs éléments liés à l'oxygène ou au radical OH^-. Ils sont importants comme sources de fer (hématite: Fe_2O_3), de titane (ilménite: $FeTiO_3$), d'étain (cassitérite: SnO_2) et d'aluminium (bauxite: $Al(OH)_3$).

Halogénures
Ces minéraux se composent d'un ou plusieurs éléments liés au fluor ou au chlore. Le sel gemme (halite: NaCl) et la potasse (sylvite: KCl), utilisée dans les engrais chimiques, sont des halogénures.

Carbonates

Ces minéraux contiennent le radical $(CO_3)^{-2}$; ils sont principalement associés au calcium, au magnésium et au fer. Ils forment les constituants majeurs de certaines roches sédimentaires dont les calcaires et les dolomies, exploités pour la fabrication de la chaux et du ciment. La calcite ($CaCO_3$) et l'ankérite ($(Ca, Mg, Fe)(CO_3)_2$) sont des minéraux d'altération fréquemment rencontrés dans les zones minéralisées aurifères. D'autres carbonates (cérusite: $PbCO_3$; malachite: $Cu_2(OH)_3CO_3$) sont exploités pour le plomb et le cuivre.

Sulfates

Les sulfates sont formés d'un élément (Ca, Ba...) et du radical $(XO_4)^{-2}$ dans lequel "X" peut être le soufre (sulfate), le molybdène (molybdate), le chrome (chromate) ou le tungstène (tungstate). Le gypse ($CaSO_42H_2O$) est un sulfate hydraté utilisé pour la fabrication de panneaux de gypse. La scheelite ($CaWO_4$) est un tungstate parfois associé aux veines de quartz aurifères.

Phosphates

Cette classe contient le radical $(XO_4)^{-3}$ dans lequel "X" peut être le phosphore, l'arsenic ou le vanadium. L'apatite ($Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$) et ses dérivés sont utilisés pour la fabrication des engrais.

Silicates

Plus de 95% de la croûte terrestre est constituée de silicates qui regroupent le tiers de toutes les espèces minérales. Les silicates sont formés du radical

$(SiO_4)^{-4}$ et d'un ou plusieurs éléments métalliques ou non métalliques. Leur abondance dans la croûte terrestre et leurs multiples utilisations confirment leur importance. Les feldspaths et le quartz sont utilisés pour la fabrication de la céramique et du verre. L'amiante chrysotile (silicate de magnésium) est aussi un minéral industriel important.

1.2.2 Critères d'identification des minéraux

Les minéraux possèdent des propriétés physiques diagnostiques. En général, l'identification d'un minéral est basée sur deux ou trois caractéristiques.

Les principales propriétés physiques observables sur un minéral sont les suivantes: l'éclat, la couleur, la forme, la dureté, le clivage et la densité.

L'**éclat**: l'éclat d'un minéral est l'aspect qu'il présente lorsqu'il est exposé à la lumière. Un minéral brillant comme la pyrite définit bien l'éclat métallique. Les éclats vitreux (quartz), gras (talc), terreux (limonite), soyeux (chrysotile) et nacré (chlorite) sont non métalliques.

La **couleur**: il faut utiliser cette propriété avec prudence, puisqu'un même minéral peut présenter des couleurs différentes; par contre, **la couleur du trait** d'un minéral sur une plaque de porcelaine est invariable et fiable.

La **forme**: chaque minéral a une structure interne particulière qui engendre des formes cristallines caractéristiques. Les minéraux peuvent présenter des formes en cube, en prisme, en feuillet, etc. (photo 1.1).


Maurice Boudreau

Cube de halite


Maurice Boudreau

Dodécaèdre de grenat


Maurice Boudreau

Prismes hexagonaux d'apatite


Maurice Boudreau

Feuillets de mica


Maurice Boudreau

Aiguilles de tourmaline


Maurice Boudreau

Fibres de chrysotile

PHOTO 1.1 ***QUELQUES FORMES DE MINÉRAUX.***

TABLEAU 1.1
ÉCHELLE DE DURETÉ DE MOHS

Minéraux standards	Éch.	Dureté relative	Outils de référence
Diamant		⇐ 10	
Corindon		⇐ 9	
Topaze		⇐ 8	
Quartz		⇐ 7	
Felspath		⇐ 6	⇐ verre ⇐ canif
Apatite		⇐ 5	
Fluorine		⇐ 4	
Calcite		⇐ 3	⇐ pièce de un cent ⇐ ongle
Gypse		⇐ 2	
Talc		⇐ 1	

La **dureté**: la dureté d'un minéral est établie d'après une échelle de dix minéraux, appelée échelle de Mohs (du nom du minéralogiste Friedrich Mohs). On utilise couramment un morceau de verre, une lame de canif, une pièce d'un cent ou l'ongle pour évaluer la dureté approximative du minéral à identifier. Par exemple, tous les minéraux ayant une dureté inférieure à 5,5 seront rayés par un canif; ceux ayant une dureté supérieure à 5,5 rayent le canif. On peut également utiliser un minéral de dureté connue pour en rayer un autre. Dans tous les cas, il faut s'assurer que la surface rayée ne contient pas d'impureté provenant d'un autre minéral, ce qui pourrait fausser la valeur obtenue (tableau 1.1).

Le **clivage**: le clivage est un plan facile de fracture qui brille à la lumière; la galène possède de beaux clivages alors que le quartz n'en possède pas. Il ne faut pas confondre les plans de clivage avec les faces cristallines d'un minéral (photo 1.2).

Maurice Boudreau

Clivage cubique de la galène

Maurice Boudreau

Cassure conchoïdale du quartz

PHOTO 1.2 ***CLIVAGE ET CASSURE.***

La **densité**: la densité est le rapport de la masse d'un certain volume d'une substance à celle du même volume d'eau. Dans certains cas, la densité permettra de distinguer deux minéraux de même couleur: la densité élevée de la galène la différencie du graphite.

D'autres propriétés comme le **magnétisme** et l'**effervescence à l'acide chlorhydrique (HCl)** sont utiles pour identifier certains minéraux (tableaux 1.2 et 1.3).

Des collections de roches et de minéraux sont disponibles aux bureaux régionaux du MERQ. De plus, le MERQ et plusieurs CÉGEP possèdent des présentoirs d'échantillons accessibles au public.

TABLEAU 1.2
LES MINÉRAUX MÉTALLIQUES ET SUBMÉTALLIQUES ET LEURS PROPRIÉTÉS.

Minéral Classe - % métal	Dureté	Densité	Couleur	Trait	Particularités
molybdénite sulfure 60 Mo	1-1,5	élevée	gris plomb bleuté	gris noir	clivage, tache les doigts
graphite él. natif	1-1,5	faible	gris plomb	gris plomb	toucher gras, tache les doigts
stibine sulfure 36 Sb	2	élevée	gris plomb	gris plomb	cristaux aciculaires
or natif él. natif	2,5-3	très élevée	doré	doré	éclat mat
cuivre natif él. natif	2,5-3	très élevée	rouge cuivre	rouge cuivre	forme dendritique
galène sulfure 87 Pb	2,5-3	très élevée	gris plomb	noir	clivage, forme cubique
argent él. natif	2,5-3	très élevée	blanc argenté	blanc argenté	souvent en fils ou feuillets
chalcosite sulfure 80 Cu	2,5-3	élevée	gris plomb foncé	noir	ternissure noire
bornite sulfure 63 Cu	3	élevée	bronze à rouge cuivré	gris foncé à noir	ternissure pourpre
chalcopyrite sulfure 35 Cu	3,5-4	élevée	jaune laiton	noir verdâtre	trait
sphalérite sulfure 52 Zn	3,5-4	élevée	brun rougeâtre à noir	beige brunâtre	clivage, forme cubique

pentlandite sulfure 34 Ni	3,5-4,5	élevée	jaune bronze	gris	rouge au diméthylglyoxime
pyrrhotite sulfure	3,5-4,5	élevée	bronze	gris foncé à noir	légèrement magnétique
hématite spéculaire oxyde 70 Fe	5-6	élevée	gris foncé	brun rougeâtre	très brillant
chromite oxyde 68 Cr_2O_3	5,5	élevée	noir à brun	brun	trait
magnétite oxyde 72 Fe	5,5	élevée	noir	noir	magnétique
arsénopyrite sulfure	5,5-6	élevée	blanc gris argenté	noir	forme allongée, couleur
ilménite oxyde 32 Ti	5,5-6	élevée	noir	noir brunâtre	impureté magnétique, trait
pyrite sulfure	6-6,5	élevée	jaune pâle	noir brunâtre	cristaux cubiques et dureté

TABLEAU 1.3
LES MINÉRAUX NON-MÉTALLIQUES ET LEURS PROPRIÉTÉS

Minéral Classe - % métal	Éclat	Dureté	Densité	Couleur	Particularités
talc silicate	gras	1	moyenne	blanc verdâtre à gris	toucher onctueux
halite halogénure	vitreux	2	faible	incolore, blanc, rosé	goût salé, forme cubique
chlorite silicate	nacré	2	moyenne	vert moyen à vert foncé	clivage en feuillets

bauxite oxyde	terreux	1-3	faible	blanc, rouge brunâtre	éclat
gypse sulfate	vitreux, perlé	2	faible	translucide	dureté, clivage
sylvite halogénure	vitreux	2	faible	incolore, rouge, variable	translucide, goût
fuchsite silicate	soyeux	2,5	moyenne	vert menthe	couleur
biotite silicate	nacré	2,5-3	moyenne	noir	clivage en feuillets
muscovite silicate	nacré	2,5-3	moyenne	ambre	clivage en feuillets
séricite silicate	soyeux	2,5-3	moyenne	beige	doux au toucher
hématite terreuse oxyde 70 Fe	terreux	3	élevée	rouge brunâtre	tache les doigts, trait brun rougeâtre
calcite carbonate	vitreux	3	moyenne	variable	clivage rhomboédrique, réaction au HCl
cérusite carbonate 78 Pb	adamantin	3-3,5	élevée	incolore, blanc, gris	densité élevée, couleur blanche
barite sulfate	adamantin	3-3,5	élevée	blanc rosé	densité élevée
chrysotile silicate	soyeux	3-4	moyenne	blanc, vert pâle	fibres flexibles
sidérite carbonate	adamantin, vitreux	3,5-4	élevée	brun beige	clivage rhomboédrique, trait beige
ankérite carbonate	vitreux	3,5-4	moyenne	brun pâle	clivage rhomboédrique
malachite carbonate 57 Cu	soyeux, mat	3,5-4	moyenne	vert pâle	couleur
scheelite tungstate 64 W	vitreux	4,5-5	élevée	blanc	forme bipyramidale, fluorescent

limonite oxyde 63 Fe	terreux	4-5,5	moyenne	rouille	tache les doigts, trait, rouille
fluorine halogénure	vitreux	4	moyenne	variable	clivage parfait
apatite phosphate	vitreux, résineux	5	moyenne	vert, variable	prisme hexagonal
pyroxènes silicate	vitreux	5-6	moyenne	vert pâle à vert foncé	clivage à 90°, forme prismatique
amphiboles silicate	vitreux	5-6	moyenne	noir à vert	forme en aiguilles
felsdpaths plagioclases silicate	vitreux, nacré	6	moyenne	blanc, gris bleuté	clivage à 90°, macles
felsdpaths alcalins silicate	vitreux, nacré	6	moyenne	blanc rosé	clivage à 90°
spodumène silicate	vitreux	6,5-7	élevée	blanc, blanc grisâtre	forme tabulaire
épidote silicate	nacré	6-7	moyenne	vert pistache	couleur
olivine silicate	vitreux, résineux	6,5-7	moyenne	vert olive	cassure conchoïdale
cassitérite oxyde 79 Sn	adamantin	6-7	élevée	jaune, rouge brunâtre, noir	dureté et densité
quartz silicate	vitreux	7	moyenne	incolore, blanc, variable	cassure conchoïdale, prismes hexagonaux
grenat silicate	vitreux, adamantin	6,5-7,5	moyenne	rouge vin, beige, vert	cassure conchoïdale, forme dodécaédrique
tourmaline silicate	vitreux	7-7,5	moyenne	noir	prismes triangulaires, cassure conchoïdale
béryl silicate	vitreux	7,5-8	moyenne	vert émeraude	prisme hexagonal, dureté
diamant él. natif	adamantin	10	moyenne	incolore, variable	dureté

1.3 LES ROCHES

Une **roche** est un agrégat de minéraux possédant une homogénéité de composition. Une roche peut être formée par une multitude de fragments d'anciennes roches cimentés entre eux. Il existe trois familles de roches qui se définissent par leur origine et leur mode de formation: les roches ignées, sédimentaires et métamorphiques.

A la surface de la terre, les roches sont soumises aux conditions de météorisation qui les désagrègent. Les particules sont transportées vers un milieu de sédimentation où, après compaction et cimentation, elles deviendront roches sédimentaires. Des accumulations importantes amèneront les roches sédimentaires en grande profondeur où elles deviendront roches métamorphiques. A la base de l'écorce terrestre, les roches peuvent fondre, redevenir magmas et ensuite migrer vers la surface formant les roches ignées plutoniques et volcaniques. Ce processus de formation répétitif forme le **cycle des roches** (figure 1.1).

1.3.1 Les roches ignées

Les roches ignées ou magmatiques proviennent de roches en fusion contenant un mélange de liquide et de gaz appelé magma. Lorsque le magma se solidifie dans la croûte terrestre avant d'atteindre la surface, celui-ci forme des roches **plutoniques** ou **intrusives**. Ce type de roche atteint la surface par le truchement de déformations et de surrections de la croûte suivies d'une dénudation par l'érosion. Les roches plutoniques se composent de grains visibles à l'oeil nu (photo 1.3).

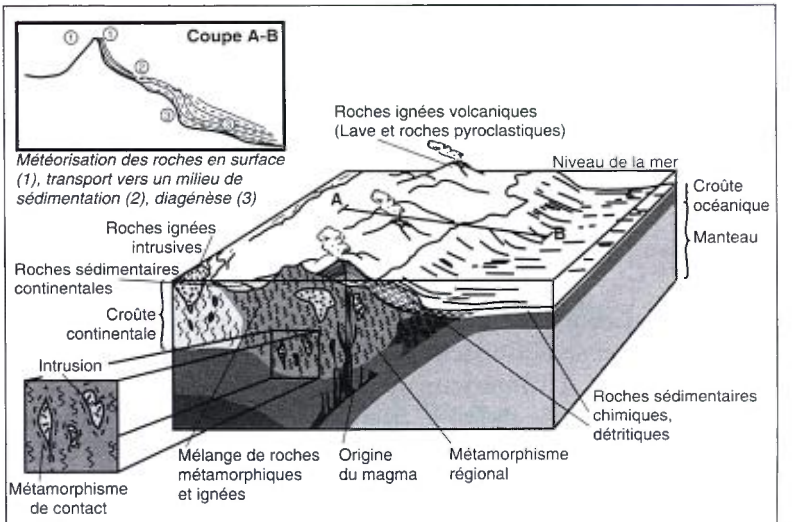


FIGURE 1.1
CYCLE DES ROCHES ET PROCESSUS DE FORMATION.

Par contre, si le magma s'infiltre dans les fractures de la croûte jusqu'à la surface, il produit des coulées de laves à l'origine des roches **volcaniques** ou **extrusives**. Le refroidissement rapide de ce type de roches forme du

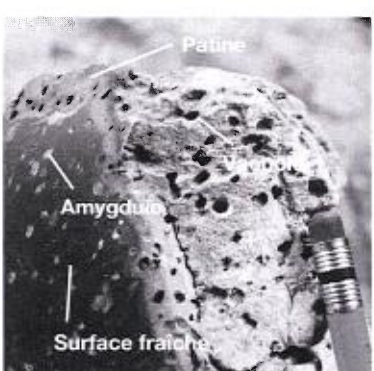
Maurice Boudreau

PHOTO 1.3 ***ROCHE PLUTONIQUE (GRANITE) À GRAINS MOYENS (DIAMETRE DE 1 À 5 MM).***

verre ou des grains très fins et microscopiques (photo 1.4).

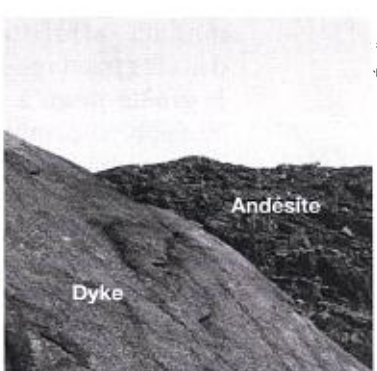
Des explosions volcaniques, expulsant des fragments de roches et de lave dans l'atmosphère, forment des **roches fragmentaires de type pyroclastique**. Ces roches se caractérisent par leur litage et par la diversité de leurs fragments.

Les roches intrusives se divisent en plusieurs types qui se définissent par leur dimension et leur disposition à l'intérieur des roches encaissantes; on distingue le **dyke**, le **filon-couche** ou **sill**, le **batholite** (pluton) et le **stock** (photo 1.5). Les dykes et les filons-couches sont des masses tabulaires et minces pouvant varier d'un mètre à quelques centaines de mètres de largeur par plusieurs kilomètres de longueur. Le dyke est discordant (oblique) aux couches géologiques alors que le filon-couche est con-



Maurice Boudreau

PHOTO 1.4 ***ROCHE VOLCANIQUE (ANDÉSITE) À GRAINS MICROSCOPIQUES.***



Étudiant

PHOTO 1.5 ***DYKE DE DIORITE MASSIF AU CONTACT D'UNE ANDÉSITE FRACTURÉE.***

cordant (parallèle). Le batholite, qui occupe une superficie supérieure à 100 km^2, et le stock sont discordants aux couches environnantes (figure 1.2).

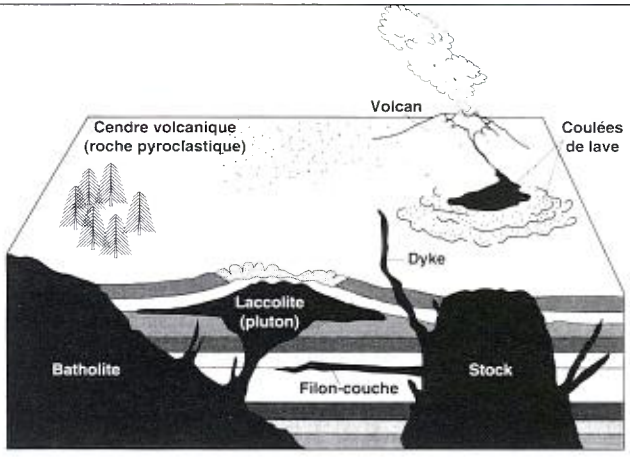


FIGURE 1.2 ***STRUCTURES INTRUSIVES ET EXTRUSIVES DES ROCHES IGNÉES (D'APRES ZUMBERGE ET RUTFORD).***

La classification des roches ignées est basée sur la composition minéralogique et chimique. Idéalement, l'identification précise des roches ignées se fait par un examen en lame mince pour bien définir la minéralogie et par une analyse chimique pour connaître la teneur en éléments majeurs (voir le chap. 6). Par contre, la nomenclature des roches pyroclastiques est basée sur la dimension des fragments qui les composent; les principales classes sont la brèche (fragments de d>64 mm), le lapillistone (fragments de 64>d>2 mm) et le tuf (fragments de d<2mm).

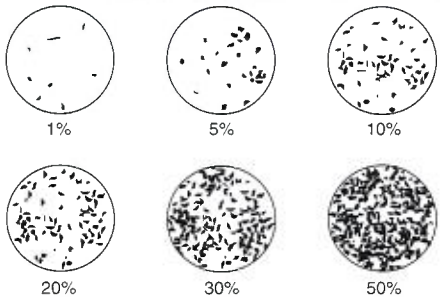


FIGURE 1.3 ***CHARTE D'ÉVALUATION DES POURCENTAGES MINÉRALOGIQUES.***

La **classification minéralogique** est basée sur la proportion des minéraux pâles et foncés constituant la roche et sur la dimension des grains. (figures 1.3 et 1.4). Les minéraux pâles les plus communs sont le quartz et les feldspaths alcalins et les plagioclases; les minéraux foncés sont les pyroxènes, les amphiboles et les micas (biotite et muscovite) (tableau 1.4). Les autres constituants de la roche sont des minéraux accessoires ou d'altération comme la chlorite, la calcite, la magnétite et la pyrite. Il existe des **roches monominérales** qui se

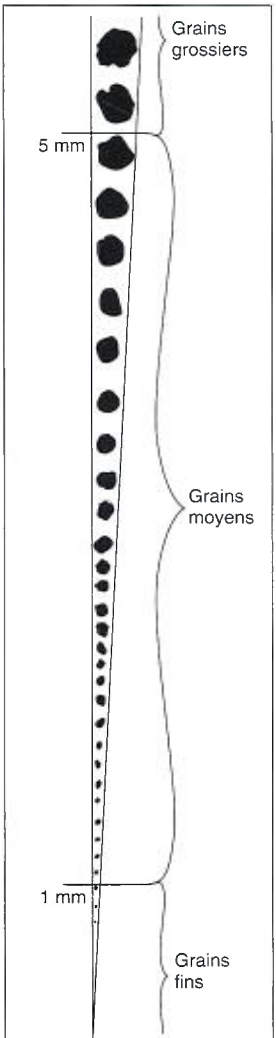


FIGURE 1.4
CHARTE DE DIMENSION DES GRAINS.

TABLEAU 1.4
CLASSIFICATION MINÉRALOGIQUE DES ROCHES IGNÉES.

Profondeur de formation	Apparence de la roche	Quartz	Nom de la roche — Minéraux foncés 0 à 20%	20 à 40%	40 à 75%
grande profondeur (roche plutonique)	cristaux grossiers	>10%	granite	diorite quartzique (tonalite)	gabbro quartzique
		<10%	syénite	diorite	gabbro
en surface (roche volcanique)	cristaux très fins, minéraux non identifiables à l'oeil nu	>10%	rhyolite	dacite	basalte quartzique
		<10%	trachyte	andésite	basalte

composent d'au moins 70% d'un même minéral; ce sont les types de roches suivants:

Types de roches	Minéraux
pyroxénite	pyroxène
hornblendite	hornblende *(type d'amphibole)*
péridotite	olivine et pyroxène
dunite	olivine
anorthosite	plagioclase
carbonatite	carbonates

Aspect général des roches ignées sur le terrain.

Pour produire une description complète d'une roche ignée, il faut considérer les éléments descriptifs suivants: le faciès, la structure, la texture, la couleur, la composition minéralogique, l'altération et la minéralisation (tableau 1.5).

Le **faciès** est l'allure générale de la roche; il existe des roches volcaniques à faciès à coussins, bréchique (roches fragmentaires) et massif. Une roche peut présenter des **structures** massive ou schisteuse et homogène ou hétérogène. La **texture** d'une roche se définit par la taille, la forme et l'agencement des grains qui la composent (photos 1.3, 1.4, 1.5 et 1.6).

Sonia Audet

PHOTO 1.6 ***ROCHE VOLCANIQUE (ANDÉSITE) À FACIES À COUSSINS.***

La **couleur** d'une roche est souvent représentative de sa composition. Par exemple, une roche riche en quartz et en feldspath comme le granite ou la rhyolite a une surface altérée (patine) gris blanchâtre alors qu'une andésite ou une diorite pauvre en

quartz et riche en minéraux foncés possède une patine grise ou vert foncé. La couleur en cassure fraîche est aussi caractéristique de chaque type de roche.

Sur le terrain, les termes felsique (roche pâle) et mafique (roche foncée) sont souvent utilisés pour exprimer la **composition** d'une roche. Les **roches felsiques** sont souvent riches en quartz et en feldspath alors que les **roches mafiques** sont riches en minéraux foncés comme les pyroxènes, les amphiboles et la biotite. La dureté d'une roche est aussi une propriété qui dépend de la composition; contrairement aux roches mafiques, les roches felsiques sont difficilement rayables par un canif ou un marteau (tableaux 1.4 et 1.5).

L'altération et la **minéralisation** présentes dans les roches sont des éléments importants à identifier sur les affleurements. Les solutions hydrothermales responsables de la minéralisation peuvent, en plus de déposer des minéraux économiques, provoquer une altération des roches hôtes. Cette altération se manifeste par des changements minéralogiques importants de la roche fraîche (tableau 1.6). Par exemple, les gîtes de sulfures massifs inclus dans les roches volcaniques sont souvent entourés d'une auréole riche en chlorite et en séricite. Il faut éviter de confondre les minéraux indicateurs de métamorphisme et les minéraux d'altération; ces derniers sont uniquement associés aux gîtes contrairement aux minéraux métamorphiques qui sont distribués sur de grands secteurs.

TABLEAU 1.5
LES PRINCIPALES ROCHES VOLCANIQUES ET LEURS CARACTÉRISTIQUES.

Nom (Roche non altérée)	Couleur en cassure fraîche	Couleur de la patine	Dureté relative	Structure et faciès	Particularités
rhyolite	gris clair à gris foncé	blanc, beige, grisâtre	non rayable au canif	massive bréchique rubanée	cristaux de quartz, cassure conchoïdale
andésite et basalte	gris verdâtre à gris foncé	gris foncé, teinte ocre	rayable au canif	massive bréchique coussinée	souvent altérés en chlorite
roche ultramafique	gris foncé, verdâtre	gris foncé, verdâtre à ocre	rayable au canif	massive bréchique coussinée	présence d'olivine et absence de quartz

TABLEAU 1.6
ALTÉRATION DES ROCHES

Types d'altération	Couleur	Caractéristiques
chloritisation	vert foncé	affecte les minéraux ferromagnésiens (foncés)
séricitisation	beige-verdâtre	affecte les feldspaths, toucher doux
silicification	incolore	roche dure, non rayable au canif
épidotisation	vert pistache	affecte les feldspaths
carbonatation	variable	calcite : réaction au HC1 sidérite et ankérite : couleur brunâtre
hématisation	rose ou rouge	teinte, affecte les feldspaths

1.3.2 Les roches sédimentaires

Tous les types de roches se désintègrent en fragments, en particules et en ions dans l'eau sous l'effet des agents atmosphériques: ce processus s'appelle la **météorisation**. Ces particules d'origines très variées sont transportées par les cours d'eau pour être déposées et accumulées sur de grandes épaisseurs dans des bassins de sédimentation. Ensuite, la compaction et la cimentation, qui constituent la diagénèse, forment les roches sédimentaires (figure 1.1). La majorité des roches sédimentaires se forment en milieu marin; par contre, certains types de roches comme les évaporites (gypse, halite et sylvite) se forment par précipitation en milieu continental ou en milieu marin peu profond.

Les roches sédimentaires sont composées de minéraux et de fragments de roches de natures différentes, variablement arrondis, liés ensemble par un ciment. On y rencontre fréquemment des fossiles qui sont des restes ou des empreintes d'animaux ou de végétaux. Les principaux constituants de ces roches sont le quartz, les feldspaths, les micas, les minéraux argileux et les carbonates.

La plupart des roches sédimentaires ont un aspect stratifié ou laminé; la stratification résulte des variations aux niveaux de la composition, de la couleur, de la texture et de la porosité.

On divise les roches sédimentaires en deux groupes: les **roches détritiques**, constituées de fragments de roches et de minéraux, et les **roches chimiques**, for-

mées par la précipitation des ions dans l'eau, par voie chimique ou par activité biologique.

Les roches sédimentaires détritiques

La classification des roches sédimentaires détritiques est basée sur la dimension des particules, la nature et la diversité des constituants (tableau 1.7). La fraction granulométrique dominante indique le nom de la roche alors que la partie minoritaire est exprimée par un qualificatif; par exemple, pour un grès congloméra-

Maurice Boudreau

PHOTO 1.7 ***CONGLOMÉRAT D'ORIGINE GLACIAIRE (TILLITE).***

TABLEAU 1.7
CLASSIFICATION DES ROCHES SÉDIMENTAIRES.

Dimension	Nom du sédiment		Nom de la roche
supérieure à 2mm	gravier, galet, bloc	arrondis à subanguleux	conglomérat
		anguleux	brèche
entre 0,062 et 2 mm	sable		grès
entre 0,062 et 0,004 mm	silt		silstone
inférieure à 0,004 mm	boue		shale

tique, la majorité des fragments sont des sables et la minorité du gravier (photo 1.7).

La grauwacke, l'arkose et le grès quartzeux sont des roches sédimentaires détritiques communes; cependant, sur les cartes géologiques récentes, ces termes sont peu utilisés. Une **grauwacke** est un grès de couleur gris verdâtre, composé de grains de quartz anguleux et d'une proportion à peu près égale de feldspath et de fragments de roches. Une matrice argileuse constitue 10 à 30% de la roche.

Une **arkose** est un grès de teinte claire, mal classé, composé d'au plus 60% de fragments de quartz et d'au moins 25% de feldspath. La matrice argileuse compose environ 15% de la roche. Le terme grès feldspathique est souvent utilisé pour exprimer une arkose.

Un **grès quartzeux** est une roche compacte composée presqu'exclusivement de grains de quartz arrondis ou anguleux et bien soudés entre eux. À l'échelle d'un échantillon, le grès quartzeux, d'origine sédimentaire, peut être facilement confondu avec la métaquartzite, qui est une roche métamorphique.

Les roches sédimentaires détritiques présentent parfois un granoclassement. Cette structure est formée de strates au sein desquelles on remarque un classement graduel avec des gros grains à la base et des grains très fins au sommet. Il existe plusieurs autres structures, entre autres les lits entrecroisés, les frac-

tures de dessiccation (fractures de retrait dans les argiles) et les rides (ripple-marks) semblables à celles qu'on observe sur les plages.

Les roches sédimentaires d'origine chimique

Contrairement aux roches détritiques, les roches d'origine chimique ne sont pas formées à partir de roches préexistantes, mais plutôt par précipitation d'ions dans l'eau et par accumulation de matière organique (pétrole, charbon...) dans l'océan ou dans les mers peu profondes. Les roches chimiques sont identifiées à partir des propriétés physiques des minéraux qui les composent. Ces roches présentent une porosité et une perméabilité variables, et elles possèdent des textures variant de grossièrement grenue à microscopique.

Les principales roches d'origine chimique sont les roches carbonatées, siliceuses, carbonées, salines et ferrugineuses.

Les roches carbonatées sont formées de certains minéraux de la classe des carbonates: la calcite, l'aragonite et la dolomite. Ces roches se divisent en deux groupes: les calcaires et les dolomies. Les calcaires contiennent au moins 50% de calcite; ils réagissent par effervescence à l'acide chlorhydrique. Les dolomies contiennent au moins 50% de dolomite; la réaction à l'acide se produit uniquement à chaud ou par frottement de la roche. Les roches carbonatées, qui sont généralement pâles, peuvent être foncées si elle contiennent des

impuretés de sable, d'argile ou d'autres sédiments détritiques.

Les roches siliceuses sont formées par la précipitation de la silice: le chert, le jaspe et le silex...

Les roches carbonées sont constituées de composés de carbone organique: charbon, bitume...

Les roches salines ou évaporites sont formées par la précipitation de sel (halogénure), sulfates et phosphates. Elles fournissent des produits industriels importants: la halite (sel), le gypse (plâtre) et la barytine (boues de forage, peinture,..)

Les **roches ferrugineuses** sont formées par la précipitation de composés de fer. Elles constituent les principales sources de minerais de fer: magnétite, hématite...

1.3.3 Les roches métamorphiques

Profondément sous la croûte terrestre, la température et la pression deviennent suffisamment élevées pour transformer les roches existantes en des roches appelées métamorphiques. Ces transformations se produisent à l'état solide, et elles entraînent des modifications minéralogiques et texturales (grosseur et disposition des grains) importantes de la roche originale. D'anciennes roches métamorphiques, ignées et sédimentaires peuvent subir du métamorphisme.

Le métamorphisme lié aux déformations continentales ou régionales de la croûte terrestre est du **type régional**, alors que le métamorphisme lié aux failles et aux intrusions est de **type cataclastique ou de contact**. Le métamorphisme qui caractérise les provinces géologiques comme celles du Supérieur, du Grenville et des Appalaches est régional (figure 1.1).

Le métamorphisme de contact se produit en bordure de la chambre magmatique, alors que les roches encaissantes sont soumises à l'effet de la haute température de la roche en fusion, créant ainsi une auréole de métamorphisme. L'intensité du métamorphisme décroît en s'éloignant de l'intrusion. Par exemple, des concentrations anormales de biotite et d'amphibole peuvent se former en bordure d'un stock de syénite en contact avec une roche volcanique.

Dans les failles et les zones de cisaillement, le métamorphisme se traduit par des transformations minéralogiques mineures, accompagnées d'une fragmentation variable de la roche. Le métamorphisme est local et restreint à la zone déformée.

Les **indicateurs de métamorphisme** sont des minéraux formés à des températures et pressions spécifiques. Même s'ils sont présents en faible quantité, ces indicateurs de métamorphisme permettent d'évaluer l'intensité du métamorphisme subi par la roche. L'apparition d'un minéral indicateur détermine un **isograde métamorphique**. La chlorite, la

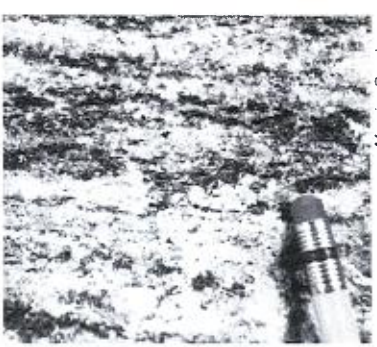
biotite et le grenat sont quelques-uns des minéraux indicateurs. L'espace entre deux isogrades est appelé un **faciès métamorphique**; par exemple, le faciès des schistes verts de la ceinture de roches vertes de l'Abitibi représente un faible degré de métamorphisme. Ce faciès de métamorphisme est caractérisé par la présence de chlorite, de séricite, de plagioclase (albite) et d'épidote (clinozoïsite); ces minéraux donnent sa teinte verte à la roche.

Types de roches métamorphiques

Plusieurs types de roches métamorphiques sont caractérisés par un alignement des minéraux en feuillets ou en aiguilles; cette disposition des grains constitue les textures foliées et rubanées. D'autres roches métamorphiques sont compactes ou massives, sans orientation préférentielle des minéraux. Certaines roches possèdent une structure schisteuse, qui provoque un débitage de la roche en feuilles ou en dalles (photos 1.8 et 1.9).

Nicole Floux

PHOTO 1.8 ***ROCHE MÉTAMORPHIQUE: SCHISTE À CHLORITE ET À SÉRICITE.***



Maurice Boudreau

PHOTO 1.9 ***ROCHE MÉTAMORPHIQUE: GNEISS À BIOTITE, À QUARTZ ET À FELDSPATHS.***

Les principales roches métamorphiques sont les suivantes:

Schiste ardoisier:
se débite en feuillets minces et réguliers, à grains très fins.

Schiste micacé:
se débite facilement en dalles; il montre une orientation planaire des micas.

Gneiss:
se débite en bandes plus épaisses que le schiste et les grains sont plus grossiers que ceux des schistes; les bandes de quartz et de feldspath et les lits de micas forment un rubanement.

Amphibolite:
cette roche est constituée essentiellement d'amphiboles et de micas; elle peut présenter des structures massive, schisteuse ou gneissique.

Marbre ou calcaire cristallin:
c'est une roche massive constituée de calcite ou de dolomite recristallisée; les marbres peuvent être impurs et contenir des amphiboles et des pyroxènes.

Métaquartzite:
cette roche est massive et composée de quartz; elle peut contenir des impuretés de micas, du grenat...

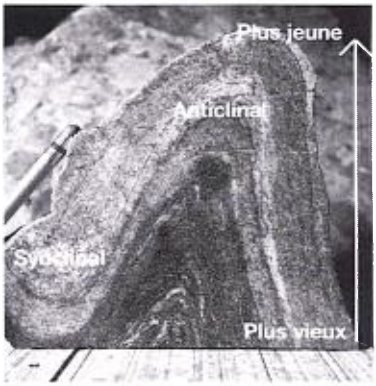
Serpentinite:
c'est une roche massive tendre composée majoritairement de serpentine et, en quantité mineure, de chlorite, de talc et de carbonates.

Le degré de métamorphisme apparaît dans le nom de la roche en y inscrivant le nom du minéral indicateur. Ainsi, dans le cas du gneiss à grenats et du schiste à chlorite, le grenat et la chlorite indiquent le plus haut degré de métamorphisme de chaque type de roche.

1.4 DÉFORMATIONS DE LA CROÛTE TERRESTRE

Une bonne compréhension de la géologie d'une région ne peut se faire sans connaître et comprendre les déformations affectant les couches géologiques. Lors de la formation des chaînes de montagnes, les roches subissent des contraintes suffisamment importantes pour causer des plissements et des failles majeures dans les formations rocheuses. Au Québec, la région des Appalaches est une zone fortement déformée. À l'échelle d'une propriété, l'interprétation des structures géologiques est très utile pour planifier l'attitude des forages au diamant. Les mesures de l'attitude des couches géologiques et l'étude des plis, des failles, des

Maurice Boudreau



Maurice Boudreau

PHOTO 1.10 *GNEISS DÉFORMÉ ET PLISSÉ.*

zones de cisaillement, des joints (des fractures) et des veines font partie des travaux effectués en exploration minière.

Les **plis** représentent des ondulations des formations rocheuses; leurs dimensions varient du millimètre au kilomètre. Les principaux éléments géométriques qui définissent les plis sont l'axe, le plan axial, les flancs et la plongée (photo 1.10).

Il existe deux grandes familles de plis: **l'anticlinal** et le **synclinal**. L'anticlinal est un pli dont le centre est occupé par les roches les plus anciennes, alors que le centre du synclinal est occupé par les roches les plus jeunes (photo 1.10).

Les **failles** sont des cassures de l'écorce terrestre le long desquelles il y a un déplacement relatif des deux blocs séparés. La longueur des failles est très variable, de métrique à kilométrique (photo 1.11). La faille de San Andréas en Californie, qui occupe une partie de la bordure ouest de l'Amérique du nord, est célèbre pour les tremblements de terre qu'elle engendre. Les failles sont classées selon le pendage du plan de faille et la nature du déplacement relatif des deux compartiments (figure 1.5).

Raymond Gaulin

PHOTO 1.11 ***VEINE DE QUARTZ DÉPLACÉE PAR UNE FAILLE.***

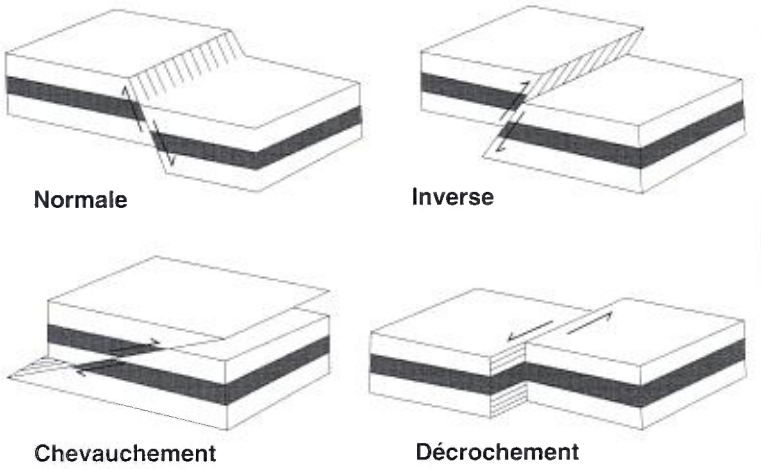


FIGURE 1.5 ***PRINCIPAUX TYPES DE FAILLES.***

Les contraintes à l'origine d'une faille provoquent une fragmentation de la roche de part et d'autre des blocs pour former des brèches de faille. Si l'intensité de la déformation est suffisamment grande pour entraîner une recristallisation partielle de la roche, celle-ci deviendra une mylonite. Une **zone de cisaillement** est une bande de roches fortement fracturées pouvant être associée à une faille.

Les failles et les zones de cisaillement sont des lieux favorables à l'infiltration des solutions hydrothermales minéralisantes; celles-ci sont à l'origine de plusieurs filons de quartz et carbonates aurifères de la région de l'Abitibi. Les failles de Larder-Lake-Cadillac, de Porcupine-Destor, de Casa Berardi et du Lac Doré en Abitibi sont reconnues pour les gîtes minéraux qui leur sont associés.

Les **joints** sont des cassures dans la roche le long desquelles il n'y a aucun déplacement. Un joint forme une veine lorsqu'il est rempli de minéraux secondaires ou de minéraux économiques. Les joints sont des structures associées aux plis et aux failles; leur orientation et leur distribution sont contrôlées par ces structures majeures. Pour cette raison, le prélèvement des joints lors de travaux de cartographie géologique peut être important pour la localisation de failles ou de zones cisaillées susceptibles de porter de la minéralisation.

1.5 CONCLUSION

La pratique de l'exploration minière ne saurait se faire sans posséder des notions de géologie. Il faut d'abord identifier et décrire succinctement les formations géologiques ou les types de roches qui pourraient contenir de la minéralisation. Le prospecteur doit de plus être capable d'évaluer les concentrations de minéraux économiques présentes dans la roche.

Le prospecteur intéressé à consolider ses connaissances dans les domaines de la géologie et de la minéralogie peut consulter les volumes mis en référence. Des renseignements concernant la géologie d'un territoire peuvent aussi être obtenus au bureau régional du MERQ.

BIBLIOGRAPHIE

BERRY, L.G. et B. MASSON, Mineralogy Concepts Descriptions Determinations, San Francisco, W.H. Freeman and Company, 1959, 630 p.

DAIGNEAULT, R., Déformation et cisaillement : concepts et applications, Québec, Ministère de l'Énergie et des Ressources, 1991, 49 p.

DANA, J., Manuel of Mineralogy, 19th edition, U.S.A., Cornelius S., Hurlbut, J.R. and Cornelis Klein, John Wiley and Sons Inc., 1977, 532 p.

FOUCAULT, A. et J.F. RAOULT, Dictionnaire de géologie, 2ième édition, Paris, Masson Éditeur, 1984, 345 p.

GIRAULT, J et R. LEDOUX, Guide pratique d'identification des minéraux du Québec, Publications du Québec, GT-91-01, Guide accompagnant la collection de minéraux du Ministère Énergie et Ressources, 1991, 114 p.

KIELLER, B.J., Éléments de pétrologie, Québec, Ministère Énergie et Ressources, 1989, Publication no S-217, 13 p.

LANDRY, B. et M. MERCIER, Notions de géologie, 3ième édition, Outremont, Modulo Éditeur, 1992, 566 p.

LAMEYRE, J., Roches et minéraux, Paris, Doin Éditeurs, 1986, 350 p.

MATTAUER, M., Les déformations des matériaux de l'écorce terrestre, Paris, Hermann, coll. Méthodes, 1973, 493 p.

SORRELL, C.A., Roches et minéraux. Guide d'identification, Laprairie, Éditions Marcel Broquet, 1981, 273 p.

CHAPITRE II

PROVINCES MINÉRALES ET GÎTES MINÉRAUX

2.1 PROVINCES MINÉRALES

Une entreprise ou un prospecteur, qui recherche une substance utile, doit orienter ses travaux vers le territoire qui offre le plus de potentiel pour cette substance. Un pays comme le Canada présente beaucoup de possibilités à cause de sa superficie et de la diversité de ses territoires géologiques. Le Canada se divise en seize régions géologiques, dont trois se retrouvent au Québec: le Bouclier canadien, les Basses Terres du St-Laurent et les Appalaches. Certaines de ces régions se subdivisent en sous-régions qui présentent un potentiel minéral particulier. Le Bouclier canadien occupe 90% du territoire québécois; au Québec, il comprend, par ordre chronologique, les provinces géologiques du Supérieur, de Churchill et du Grenville. Les régions géologiques du Canada sont expliquées en détail dans le volume "Géologie et ressources minérales du Canada", produit par la Commission géologique du Canada (C.G.C.).

La partie sud-est de la **province du Supérieur** comprend la **sous-province de l'Abitibi** qui est une large zone de roches volcaniques et sédimentaires ayant subi un métamorphisme du faciès des schistes verts. Cette partie englobe tous les gisements de cuivre-zinc et d'or de l'Abitibi et du Nord-est ontarien. Cette sous-province, d'âge précambrien (2,7 milliards d'années), est aussi appelée la ceinture volcano-sédimentaire de l'Abititi. Un territoire tel que la ceinture de l'Abitibi, qui possède des types de gisements particuliers liés à des formations et à des structures géologiques formées pendant une même période (même âge), constitue une **province minérale**.

Les provinces géologiques, les districts minéraux et les principaux gîtes de la province de Québec sont illustrés sur la carte minérale du Québec, publiée par le MERQ (voir au dos de la couverture).

La production minérale de la partie québécoise du Bouclier canadien provient principalement de huit **districts minéraux ou métallogéniques**, chacun d'eux étant défini par des associations métalliques, des roches hôtes particulières et des formes de gisements similaires. L'or des districts de Val-d'Or et de Rouyn-Noranda est extrait de gisements polymétalliques volcanogènes et de veines de quartz encaissées dans des roches plutoniques ou volcaniques; les métaux usuels des districts de Rouyn-Noranda et de Matagami proviennent des sulfures massifs (Cu, Zn) associés aux formations volcaniques (rhyolite-andésite).

La province géologique de Churchill possède également des districts minéraux de grande importance tels que la ceinture Cape Smith-Wakeham Bay et la Fosse du Labrador. La ceinture ultramafique de Cape Smith-

Wakeham Bay contient des dépôts d'amiante (gisement d'Asbestos Hill) et de cuivre-nickel (gîte Raglan) associés à des péridotite et dunite serpentinisées. La Fosse du Labrador est surtout reconnue pour ses gisements de fer (mine Mont Wright).

La province du Grenville se subdivise en trois districts minéraux. Un premier, au nord, dans la région de Fermont, contient des gîtes de fer et un gîte de graphite dans ses roches sédimentaires. Un deuxième district contient du Fe-Ti associé aux intrusions acides et basiques de la région de Port-Cartier. Enfin, un dernier district, au sud de la province, est exploité pour ses minéraux industriels: graphite, mica (phlogopite), silice et pierres de taille. D'autres gisements importants de la province du Grenville sont situés à l'extérieur des districts énumérés précédemment. Ce sont les gisements

- du lac Tio (Fe-Ti), compris dans les gneiss granitiques, près de Havre-Saint-Pierre;
- de Montauban les Mines (Au, Cu, Zn), encaissé dans les roches volcaniques, dans la région de Québec;
- de l'ancienne mine New Calumet (Zn-Pb), située au contact d'un gneiss à biotite et d'une amphibolite, près d'Ottawa;
- de l'ancienne mine Renzy Lake (Ni, Cu), comprise dans une péridotite, au nord de Maniwaki;
- de la mine Niobec (Niobium) dans la carbonatite de Saint-Honoré au Saguenay.

En bordure du Bouclier canadien se sont superposées des roches plus jeunes, les roches sédimentaires des Basses Terres du St-Laurent. Ces roches sont exploitées pour les matériaux industriels et de construction: la chaux dolomitique, le ciment, les granulats, le calcaire et la silice.

Dans la partie sud-est du Québec, la région géologique des Appalaches contient trois districts minéraux principaux: les Îles-de-la-Madeleine pour ses gisements de halite (sel gemme), le district de Gaspé pour ses gisements de cuivre associés aux porphyres (mine Murdoch) et aux schistes calcareux (mines Madeleine), et le district de l'Estrie-Beauce pour ses gisements d'amiante et de chrome associés aux roches ultramafiques de la ligne Brompton-Baie verte et pour ses gîtes de cuivre associés aux roches volcaniques. Ce district comprend de plus plusieurs placers d'or provenant de l'érosion des schistes argileux pyriteux. La région des Appalaches est aussi exploitée pour ses tourbières situées dans le sud de Montréal et dans la région de Rimouski.

Certaines régions du Québec (Témiscamingue, Desmaraisville, Montréal...), du nord-est de l'Ontario et des Territoires du Nord-ouest présentent un potentiel intéressant pour l'exploration du diamant lié aux kimberlites. Quelques cheminées de kimberlite de ces régions ont en effet révélé la présence de diamants.

2.2 GÎTES MINÉRAUX

L'étude des gîtes minéraux ou **gîtologie** consiste à définir l'origine, le mode de formation, la forme et l'étendue des concentrations minérales et à comprendre l'environnement géologique des gisements.

Les notions de minerai et de gisement font partie intégrante de la gîtologie. Un **minerai** ("ore" en anglais) est un agrégat de minéraux ou de roches contenant une certaine quantité de substances utiles exploitables avec profit. L'amas de minerai exploitable forme un **gisement**. La **substance utile** d'un minerai peut être soit métallique, telle le fer et le cuivre, soit non métallique, comme le sel et l'amiante. Dans le minerai, la substance utile est intimement liée à des minéraux sans valeur qui forment la **gangue**. Par exemple, un minerai de quartz aurifère est composé d'or et d'une gangue de quartz. Dans une exploitation minière, le minerai est séparé de la roche stérile (waste) pendant ou après l'abattage du roc; puis la substance utile est libérée de la gangue dans l'usine de traitement.

En exploration minière, deux autres termes sont utilisés pour exprimer des concentrations variables de substance utile, soit indice et gîte. Un **indice** (showing) est une indication de minéralisation dont l'étendue et la valeur économique sont inconnues; un indice peut correspondre à une simple observation de minéraux économiques. Un **gîte** est un indice qui a été défini par des forages ou des analyses chimiques d'échantillons minéralisés; cependant, les travaux de prospection sur un gîte ne démontrent pas la rentabilité d'une exploitation.

La forme d'un gisement dépend de la nature de la substance utile et du contexte géologique dans lequel le minerai s'est mis en place. Les principales formes de gisement sont les suivantes: en lentille, en filon ou veine, et en colonne ou cheminée (figure 2.1). Les gisements de sulfures massifs sont souvent sous forme de lentilles alors que les gisements d'or sont en filons ou disséminés; certains gîtes de diamants sont disséminés dans des cheminées de kimberlite.

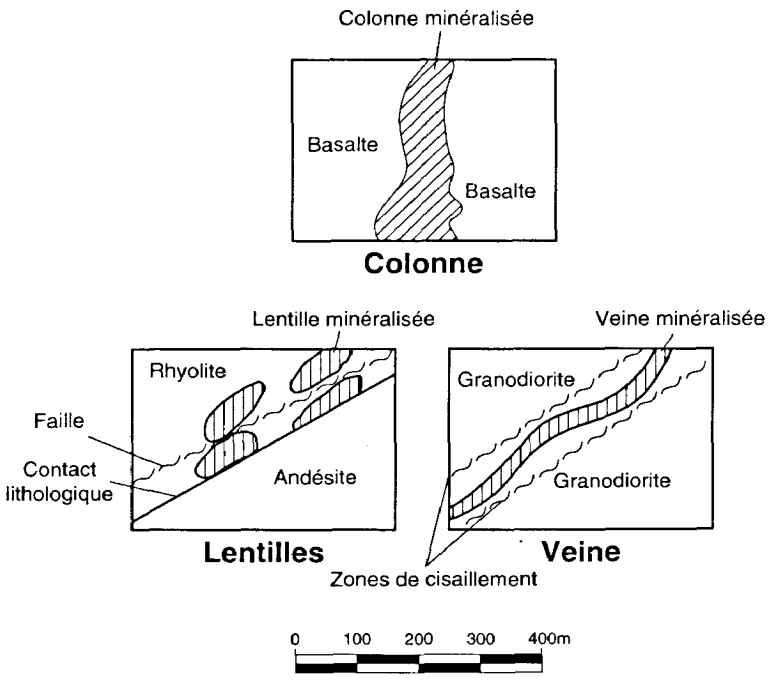


FIGURE 2.1 *FORMES DE GISEMENTS.*

2.2.1 Classification des gîtes

Il existe deux modes de classement des gîtes minéraux: la classification génétique basée sur l'origine des gisements et la classification par type de gîtes qui consiste en une description détaillée du minerai et de son environnement géologique. Au Québec, les principaux gisements sont :

Magmatique
Les gîtes magmatiques résultent de la cristallisation de magmas. La minéralisation se forme à l'intérieur de l'intrusif par infiltration dans les fractures ou par ségrégation.

Pyrométasomatique
Les gîtes pyrométasomatiques se forment par le métamorphisme de contact; ils se développent en bordure des intrusifs acides ou intermédiaires et des roches carbonatées.

Volcanogène
Les gîtes volcanogènes sont mis en place par exhalaison lors du volcanisme. Ce type de gîte comprend surtout les sulfures massifs polymétalliques.

Filonien
Les gîtes filoniens sont mis en place par des fluides hydrothermaux dans des zones de faiblesses de la croûte terrestre: fractures, failles, zones de cisaillement et contacts lithologiques. Les gisements d'or de l'Abitibi sont de ce type.

Sédimentaire
Ces gîtes sont formés par sédimentation en même temps que les roches sédimentaires encaissantes; de type chimique ou détritique, ils sont laminés ou concentrés dans certains lits.

Métamorphogénétique
Les gîtes métamorphogénétiques sont des concentrations minérales produites pendant le métamorphisme. Les changements minéralogiques provoqués lors du métamorphisme ont favorisé la concentration de substance utile. Ce type de gisement regroupe principalement des minéraux industriels: talc, amiante, graphite. La nature des gisements dépend de la roche originale.

Un **métallotecte** est un objet ou un cadre géologique qui est responsable ou associé à la minéralisation. La notion de métallotecte peut être traitée à l'échelle continentale comme à l'échelle d'une propriété. Par exemple, les plutons de granodiorite contenant des filons d'or sont des métallotectes à l'échelle régionale alors que les dykes mafiques associés aux filons sont des métallotectes locaux.

Le tableau 2.1 est construit à partir d'une combinaison des deux modes de classement; ce tableau montre les principales substances utiles exploitées au Québec en relation avec leur origine et leur métallotecte.

TABLEAU 2.1
PRINCIPAUX TYPES DE GITES AU QUÉBEC (D'APRES LANDRY, 1992).

Métallotectes	Substances utiles	Exemples
GITES MAGMATIQUES		
Complexe ophiolitique	Cr	Estrie (Coleraine)
Batholite anorthositique	Fe-Ti	Lac Tio
Carbonatite	Nb-Ta, terres rares	Complexes Oka et St-Honoré
GÎTES PYROMÉTASOMATIQUES		
Roches calco-silicatées en contact avec une intrusion	Cu-Mo-W	Mont Aiguille à Murdochville
GÎTES VOLCANOGÈNES		
Exhalaison dans un environnement volcanogène	Cu-Zn	Millenbach, Rouyn-Noranda, Mine Isle-Dieu, Matagami
GÎTES FILONIENS		
Zones de cisaillement	Au Cu-Au Cu-Zn-Au-Ag	Mines Doyon et Bousquet Camp de Chibougamau Mine Selbaie
Dans l'intrusion ou en périphérie	Au Cu-Au-Ag	Mine Sigma, Val-d'Or Camp de Chibougamau
GÎTES SÉDIMENTAIRES		
Formations de fer litées	Fe	Schefferville
Évaporites marines	NaCl-KCl	Îles-de-la-Madeleine
Lithologie fracturée présentant un contraste d'oxydo-réduction	U (Ni-Co-Cu-Pb)	Monts Otish
Dépôts glaciaires remaniés (placers alluviaux)	Au	Rivière Gilbert (Beauce)
GÎTES MÉTAMORPHOGÉNÉTIQUES		
Roches métamorphiques (placers alluviaux)	C (graphite)	Lac des Îles, Mont-Laurier
Métamorphisme de roches ultramafiques	Amiante	Thetford Mines

2.3 CONCLUSION

En exploration minière, il est important d'orienter la recherche d'indices et de gisements en considérant les contextes géologiques (type de roches, présence de failles...) et gîtologiques (association typique: minéraux économiques-roches hôtes) du territoire. Ainsi, chaque province ou district minéral présente un potentiel pour certaines substances. Par exemple, la prospection pour le graphite s'effectuera dans un contexte géologique différent de celui des métaux usuels. De plus, les méthodes de prospection seront choisies en fonction de la substance utile recherchée.

BIBLIOGRAPHIE

BARNES, H.L., Geochemistry of Hydrothermal Ore deposits, New-York, Édition John Wiley and Sons, 1979, 798 p.

DOUGLAS, R.J.W.et L.P. TREMBLAY, Géologie et ressources minéales du Canada, Parties a,b et c, Commission géologique du Canada, Ministère de l'Énergie, Mines et Ressources, Canada, 1972, 566 p.

EDWARDS, R. et K. ATKINSON, Ore Deposit Geology, New York, Edition Chapman and Hall, 1986, 466 p.

LANDRY, B. et M. MERCIER, Notions de géologie, 3ième édition, Outremont, Modulo Éditeur, 1992, 566 p.

NICCOLINI, P., Gîtologie et exploration minière, Paris, Lavoisier Éditeur, 1990, 590 p.

ROBERTS, R.G. et P.A. SHEAHAN, Ore Deposit Model, Reprint series 3, St-Johns, Geoscience Canada, 1989, 194 p.

ROUTHIER, P., Les gisements métallifères, Géologie et principes de recherche, Tomes I et II, Paris, Masson et cie, 1963, 1282 p.

ROUTHIER, P., Où sont les métaux pour l'avenir? Mémoire du BRGM no 105, Orléans, Éditions du BRGM, France, 1980, 410 p.

LA PROSPECTION ET LA LOI

3.1 INTRODUCTION

La prospection minière est régie par la **loi sur les mines**, qui est de juridiction provinciale. Des lois équivalentes à la loi sur les mines du Québec existent dans chaque province du Canada. Puisque le prospecteur effectue ses travaux d'exploration en milieu naturel, il doit tenir compte des lois sur les forêts, l'environnement, etc. (tableau 3.1).

3.2 LA LOI SUR LES MINES

La loi sur les mines **"porte sur la gestion des ressources minérales et l'allocation des droits de recherche des substances minérales à la phase de l'exploration minière; elle précise les droits d'usage de ces substances à la phase de l'exploitation minière. Elle fixe aussi les privilèges et les obligations des titulaires de droits miniers afin de développer au maximum les ressources minérales québécoises."** La loi sur les mines est gérée par le MERQ.

TABLEAU 3.1
LOIS ET REGLEMENTS.

Loi sur les mines	**L.R.Q. Chapitre M-13.1**
Règlement sur les substances minérales autres que le pétrole, le gaz naturel et la saumure.	M-13.1, R.1
Règlement sur les travaux d'exploration minière acceptables comme travaux requis.	M-13, R.12
Projet de loi touchant l'environnement minier	Projet de loi 130
Loi sur les forêts	**L.R.Q. Chapitre F-4.1**
Règlement sur les redevances forestières.	F-4.1, R.1
Règlement sur les normes d'intervention dans les forêts du domaine public.	F-4.1,R.1001
Règlement sur la protection des forêts.	F-4.1, R.1.1
Loi sur la qualité de l'environnement	**L.R.Q. Chapitre Q-2**
Règlement relatif à l'administration de la loi sur la qualité de l'environnement.	Q-2,R.1
Règlement sur les carrières et sablières.	Q-2, R.2
Règlement sur les conditions sanitaires des campements industriels ou autres.	Q-2, R.3
Règlement sur les eaux souterraines.	Q-2, R.5.1
Règlement sur l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement.	Q-2,R.9
Règlement sur l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement dans une partie du nord-est québécois.	Q-2, R.10
Règlement sur l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement et le milieu social dans le territoire de la Baie James et du nord québécois.	Q-2, R.11
Règlement sur les déchets dangereux.	Q-2, R.12.1

Règlement sur les déchets solides.	Q-2, R.14
Loi sur les accidents du travail	**L.R.Q. Chapitre A-3**
Règlement sur les normes minimales de premiers secours et de premiers soins.	A-3, R.8.2
Loi sur la santé et la sécurité au travail	**L.R.Q. Chapitre S-2.1**
Règlement sur la qualité du milieu de travail.	S-2.1, R.15
Règlement.	R.6, R.11 et R.19
Code de la sécurité routière	**L.R.Q. Chapitre C-24.2**
Règlement sur le transport des matières dangereuses.	C-24.2, R.4.2
Loi sur la protection du territoire agricole	**L.R.Q. Chapitre P-41.1**
Loi sur les normes du travail	**L.R.Q. Chapitre N-1.1**
Loi sur les explosifs	**L.R.Q. Chapitre E-22**
Loi sur les explosifs	**L.R.C. Chapitre E-17**
Loi sur les chemins de fer	**L.R.C. Chapitre R-3 art. 335 et 336**
Règlement sur le transport par mer de matières dangereuses.	**C.R.C. Chapitre 1419**
Règlement de l'air	**C.R.C. Chapitre 2**
Code criminel du Canada	**L.R.C. C-46 art. 79 à 82**

3.2.1 Le permis de prospection

L'individu qui, pour son compte ou celui d'autrui, prospecte ou jalonne un terrain au Québec doit être titulaire d'un **permis de prospection** délivré par le ministre (articles 20, 23, 24 et 25 de la loi sur les mines du Québec) (M-13.1). Le prospecteur doit avoir son permis en sa possession en tout temps lorsqu'il prospecte ou jalonne (M-13.1, article 25). Le permis de prospection est valide pour une durée de 5 ans et est renouvelable sur demande; il est disponible dans tous les bureaux du MERQ, secteur mines, au coût de 27,50$ (coût de 1992) (photo 3.1).

Maurice Boudreau

PHOTO 3.1
PERMIS DE PROSPECTION.

Sur certains territoires, le permis de prospection n'est pas nécessaire. Par exemple, on peut désigner sur carte un claim dans le territoire limité au nord par la rive sud du fleuve Saint-Laurent, au sud par la frontière des Etats-Unis et au nord-est par la limite des municipalités régionales de comté de l'Islet et de Kamouraska (M-13.1, article 22), ou dans un terrain visé aux articles 123, 267 ou 288.

3.2.2 Les claims

Le **claim** est un droit minier qui donne à son titulaire le privilège de rechercher de façon exclusive, sur un territoire délimité, toute substance minérale à l'exception des suivantes: tourbe, sable, gravier, argile, hydrocarbures, saumure et pierre utilisée pour la construction et à certaines fins industrielles. Les claims peuvent être acquis par jalonnement sur carte, par jalonnement sur le terrain ou par transfert. Il y a certains territoires où l'acquisition d'un claim doit se faire après autorisation par le ministre (M-13.1, articles 28 à 35 et 38). Pour jalonner sur le terrain, il faut se procurer des plaques qui sont disponibles aux bureaux du MERQ, au coût de 4,00$ (coût de 1992) par jeu de 4 plaques. Le délai d'utilisation de ces plaques est de 2 ans.

Le **jalonnement** peut s'effectuer en tout temps, sauf si le terrain est devenu jalonnable à la suite de l'expiration, de l'abandon, de la révocation ou du refus d'enregistrer un claim; dans ces cas, le jalonnement ne peut commencer avant 7 heures la trente-et-unième journée suivant l'événement (M-13.1, articles 38 et 288). Il y a un délai additionnel de 30 jours pour l'ancien titulaire ou toute personne qui avait un intérêt dans le claim déchu. En terrain arpenté, aux endroits où les lots sont définis, la superficie d'un claim correspond à un lot entier ou à une partie de lot; en terrain non arpenté, la superficie est de 16 hectares (ha), soit un carré de 400 m de côté.

Le jalonnement doit être conforme à la loi. Les piquets de jalonnement doivent avoir une longueur de 1 m à 1,50 m et un diamètre de 10 cm lorsqu'ils sont en bois, ou de 2 cm lorsqu'ils sont en métal. Les sommets des piquets en bois doivent être équarris sur les quatre côtés sur au moins 30 cm (M-13.1, article 44) (photo 3.2). Les piquets doivent être plantés à chaque sommet du

Maurice Boudreau

PHOTO 3.2 ***PIQUET DE JALONNEMENT.***

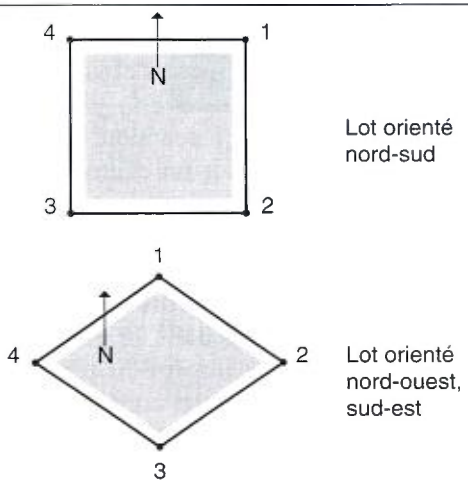


FIGURE 3.1 ***DISPOSITION DES PIQUETS DE CLAIM (SOURCE: DOCUMENT NO 2, LOI SUR LES MINES DU QUÉBEC, "L'ACQUISITION DU CLAIM").***

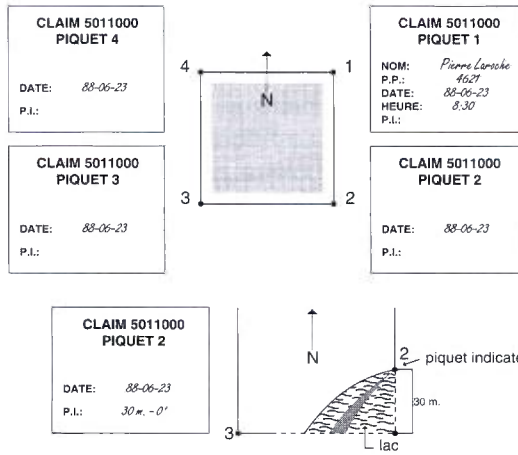


FIGURE 3.2 ***DESCRIPTION DES PLAQUES PAR PIQUET (SOURCE: DOCUMENT NO 2, LOI SUR LES MINES DU QUÉBEC, "L'ACQUISITION DU CLAIM").***

claim et en ordre, en se dirigeant de la gauche vers la droite, en commençant par le piquet 1 situé dans le coin nord-est. Lorsque les lots ne suivent pas une orientation générale nord-sud, le piquet 1 peut être fixé à l'angle le plus au nord ou le plus à l'est (figure 3.1). S'il est impossible d'installer un piquet au sommet d'un des angles du claim, celui-ci doit être planté le plus près possible de sa position théorique. Ce piquet est appelé "piquet indicateur" (P.I.). Sur chacun des piquets, une plaque est apposée sur laquelle on inscrit la distance entre le piquet et le sommet véritable de l'angle, ainsi que la direction de ce sommet par rapport au piquet (figure 3.2).

Dès la fin du jalonnement, le prospecteur doit remplir le formulaire "**Avis de jalonnement**". Par la

suite, les claims doivent être enregistrés au bureau du registraire à Québec ou dans un bureau régional du MERQ, et ceci dans un délai de 20 jours; cependant, pour un terrain situé au nord du 52e degré de latitude, le délai est de 30 jours suivant la date de jalonnement. Le claim peut être enregistré au nom du jalonneur, d'un autre individu ou d'une compagnie. L'avis de jalonnement doit être accompagné d'une carte à l'échelle de 1:50 000 sur laquelle sont inscrits le périmètre du terrain jalonné et un croquis des limites des aménagements publics et des sites d'exploitation anciens ou actuels. Des droits de 22$, 44$ ou 66$ (coûts de 1992) doivent être payés selon la superficie jalonnée (Tableau 3.2).

La **période de validité** du claim est de 2 ans à partir de la date de l'enregistrement; le claim peut être

TABLEAU 3.2
DROITS ET TRAVAUX OBLIGATOIRES PAR CLAIM EN 1992.

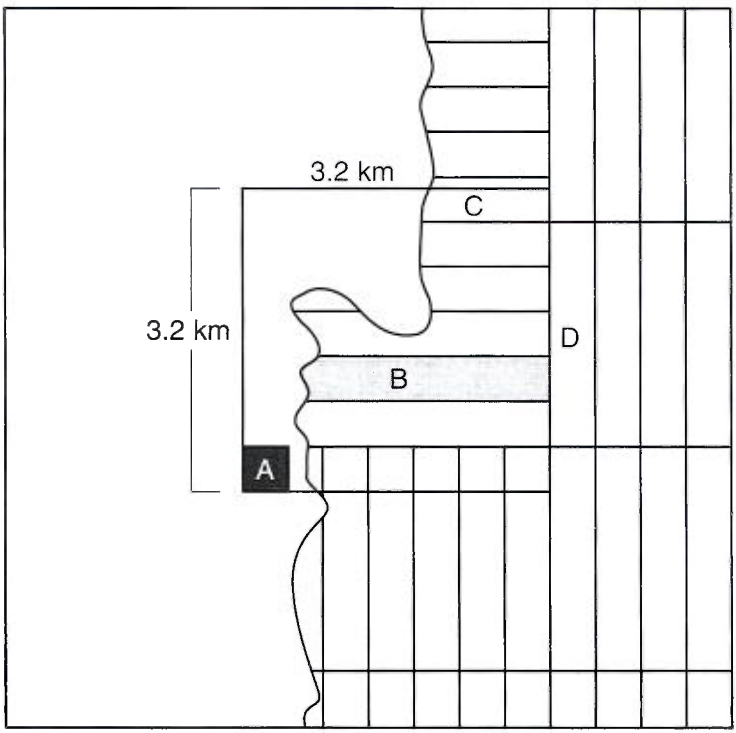
Période	Ans	Droits (Taxes) par Claim ($)			Travaux par Claim ($)		
		<25 ha	>25 ha<100 ha	>100 ha	<25 ha	>25 ha <100ha	>100ha
1	1 et 2	22	44	66	500	1 200	2 000
2	3 et 4	22	44	66	500	1 200	2 000
3	5 et 6	22	44	66	500	1 200	2 000
4	7 et 8	22	44	66	750	1 800	3 000
5	9 et 10	22	44	66	750	1 800	3 000
6	11 et 12	22	44	66	750	1 800	3 000
7 et +	13 et +	22	44	66	1 000	2 500	4 000

conservé en remplissant une demande de renouvellement et en payant les droits exigibles avant la date d'expiration. De plus, le titulaire de claims doit obligatoirement effectuer, sur sa propriété, des travaux d'exploration minière avant le 60e jour qui précède la date d'expiration de son titre. Les travaux suivants sont conformes aux exigences de la loi:

- décapage et excavation de roc et de dépôts meubles;
- prélèvement, préparation et analyse d'échantillons;
- examen de propriété;
- forages;
- levés géologiques, géochimiques et géophysiques;
- recherches et essais effectués en laboratoire ou sur le terrain.

Il est spécifié que la plupart des travaux doivent être sous la responsabilité d'un professionnel qualifié: une personne diplômée d'une université en sciences physiques, géophysiques, géologiques ou encore un membre de l'ordre des ingénieurs du Québec. Les travaux effectués excédant les montants spécifiés au tableau 3.2 peuvent être appliqués au renouvellement futur. En cas d'insuffisance de crédits, il est permis de retirer d'un claim voisin les crédits nécessaires au renouvellement. Les crédits doivent être demandés avant la 60e journée qui précède l'expiration du claim. Cette opération peut avoir lieu seulement lorsque les deux claims sont entièrement com-

pris dans un carré de 3,2 km de côté (figure 3.3). Il est possible de demander au ministre une dispense des travaux, en totalité ou en partie (M-13.1, article 73).



L'excédent accumulé sur le claim A peut être comptabilisé pour le renouvellement du claim B mais non pour celui du claim D. En effet, le claim D n'est pas compris dans le carré de 3,2 km de côté dans lequel s'inscrit le claim A. Le claim C ne peut non plus être renouvelé à partir de l'excédent du claim A car il n'est pas entièrement compris à l'intérieur de ce même carré de 3,2 km.

FIGURE 3.3 ***TERRITOIRE EXCÉDANT UN CLAIM. (SOURCE: DOCUMENT NO 5, LOI SUR LES MINES DU QUÉBEC ,"LES DROITS ET LES OBLIGATIONS INHÉRENTS AU CLAIM").***

Le titulaire d'un claim doit, avant la date d'expiration, soumettre au MERQ un **rapport des travaux effectués**. Ce rapport doit être préparé selon les normes énoncées dans le **règlement sur les substances minérales autres que le pétrole, le gaz naturel et la saumure (M-13.1, R.1 chapitre VII sections I à V, articles 46 à 77);** il doit comprendre les formulaires relatifs aux travaux et les pièces justificatives des dépenses effectuées. Les formulaires sont disponibles aux bureaux du MERQ.

3.2.3 Le permis d'exploration

Ce permis donne un droit exclusif de recherche des substances minérales sur un territoire situé au nord du 52e parallèle, sauf pour le pétrole, le gaz naturel, la saumure, les substances minérales de surface et la stéatite des terres de catégorie 1 (M-13.1., articles 84 à 99).

Le **permis d'exploration** minière est émis pour une période de 5 ans; un seul renouvellement pour une même période est possible. La superficie doit être égale au moins à 50 km^2 et au plus à 400 km^2. Les droits annuels et le montant minimal des travaux requis sont illustrés au tableau 3.3.

D'autres sections de la loi sur les mines sont importantes:

- bail minier et concession minière, section V, articles 100 à 126;

- bail d'exploitation de substances minérales de surface, section VIII, articles 140 à 156;

- recherche de pétrole, gaz naturel, saumure ou d'un réservoir souterrain, sections IX à XIII, articles 165 à 192.

Les prospecteurs peuvent obtenir des informations supplémentaires concernant la loi sur les mines aux bureaux du MERQ.

TABLEAU 3.3
DROITS ET TRAVAUX PAR PERMIS D'EXPLORATION EN 1992.

	Ans	Droits $/km^2	Travaux $/km^2
Permis	1	100	100
	2	100	200
	3	100	500
	4	100	500
	5	100	1 000
Renouvellement	6	100	1 000
	7	100	1 500
	8	100	1 500
	9	100	2 000
	10	100	2 000

3.3 CONCLUSION

Avant de prospecter ou d'acheter une propriété minière, il est fortement recommandé de prendre connaissance des différentes lois qui sont énumérées au tableau 3.1, en particulier la loi sur les mines, la loi sur les forêts et la loi sur la qualité de l'environnement. Pour obtenir de l'information concernant les mines et la forêt, un guide intitulé "L'exploration minière et la forêt" est disponible au MERQ. Dans le but de protéger l'environnement, le gouvernement a présenté le **projet de loi 130** qui modifiera la loi sur les mines et exigera un plan d'aménagement et de restauration des terrains affectés par les activités d'exploration et d'exploitation minières.

Sur des terrains privés ou des territoires autochtones, il est très important d'obtenir des droits de passage du ou des propriétaires. De plus, il est obligatoire de détenir des autorisations et des permis pour réaliser certains travaux de prospection (tableau 3.4). Le prospecteur peut obtenir ces permis auprès des différents ministères.

TABLEAU 3.4
AUTORISATION ET PERMIS REQUIS EN EXPLORATION MINIERE.

Organismes responsables	Propriétaire	MERQ		Ministère des Forêts			Ministère de l'environnement		CSST
Autorisation et permis	**Droit de passage**	**Permis de prospecteur**	**Loi des Mines**	**Permis d'intervention**	**Autorisation**	**Restauration**	**Eaux**	**Campement**	**Explosifs**
Types de travaux/activités									
Jalonnement	•	•	•					•	
Prospection géologique	•	•							
Cartographie géologique	•	•						•	
Échantillonnage	•	•							
Coupe de lignes	•	•						•	
Campement	•							•	
Accès à un lac	•			•					
Construction de chemins	•			•					
Tranchées, décapage, excavation	•	•		•			•	•	•
Prospection géophysique et géochimique	•	•						•	
Forage	•	•		•	•	•	•	•	
Travaux statutaires requis			•						

Ce tableau ne sert qu'à titre de référence.

BIBLIOGRAPHIE

Répertoire 1990 des publications géoscientifiques de la direction générale de l'exploration géologique et minérale, MERQ-MINES, 1990, 825 p.

Repères, bulletins signalétiques d'information géoscientifique, MERQ-MINES.

L'acquisition du claim, Document #2, MERQ-MINES, 1988.

Le bail minier et la concession minière, Document #3, MERQ-MINES, 1988.

La recherche et l'exploration des substances minérales de surface, Document #4, MERQ-MINES, 1988.

Les droits et les obligations inhérents au claim, Document #5, MERQ-MINES, 1988.

Le permis d'exploration minière, Document #6, MERQ-MINES, 1988.

L'exploration minière et la forêt, Guide, MERQ-MINES, 1988.

Modalités d'intervention en milieu forestier, MERQ-FORET, 1992, 81p.

Modalités d'intervention en milieu forestier, Guide de terrain, MERQ-FORET, 1991, 63 p.

VACHON, A. et G. AMYOT, Étude d'impact environnemental des projets miniers, Cours intensif 92-2, A.P.G.G.Q., 1992, 57 p.

CAMBIOR

CONTINUITÉ ET PERSÉVÉRANCE

Cambior est née de la privatisation partielle des actifs miniers et d'exploration de SOQUEM en 1986. Depuis, elle s'est développée rapidement avec la mise en production de plusieurs gisements : Lucien C. Béliveau (1989), Pierre Beauchemin (1989), Chimo (1989), Mouska (1991), Géant Dormant (1992), Omai (1993). Axées jusqu'à maintenant principalement vers l'or et le niobium, les activités de la compagnie tendent vers une diversification modérée dans les métaux de base, notamment le cuivre et le zinc. Dans les prochaines années, Cambior espère donc mettre en production deux (2) gisements de zinc (Grevet et Mobrun) ainsi que le gisement de cuivre oxydé de Carlota aux États-Unis.

Malgré son jeune âge, Cambior est déjà créditée de la découverte de deux (2) nouveaux gisements. À la suite de travaux effectués par SOQUEM au début des années 80, Cambior mettait à jour, en 1987, le dépôt Mouska. Quatre (4) ans plus tard, soit à l'hiver 1991, un des sondages croisa une des cinq (5) nouvelles lentilles découvertes sur le dépôt Géant Dormant.

Ces découvertes s'inscrivent avant tout dans la continuité des travaux antérieurs et dans l'intégration et la modélisation des données accumulées au cours des années par les prospecteurs et les compagnies d'exploration ayant travaillé sur ces propriétés.

Tous les travaux effectués antérieurement ont grandement contribué à accroître leur potentiel. Les travaux plus récents de géophysique, de lithogéochimie, de géochimie de till de base, initiés par Cambior, ont conduit à préciser plus spécifiquement la localisation de nouvelles lentilles. L'histoire retiendra sans doute de ces découvertes que Cambior a su travailler dans la continuité de ceux qui l'avaient précédée et a su innover en persévérant sur ses projets d'exploration.

"LE PROJET MOUSKA, OU L'APPLICATION DES CARTES MAGNÉTIQUES À LA PROSPECTION"

La propriété Mouska a été travaillée sporadiquement depuis 1937. Ces travaux ont mené à la découverte du dépôt aurifère de Mic Mac qui exploita 725 000 t à 4,6 g Au/t entre 1942 et 1947. SOQUEM retravailla périodiquement la propriété et mit à jour de nombreux indices aurifères le long de l'horizon Mic Mac, dans les volcaniques ou l'intrusif qui lui sont adjacents.

Site de la mine Mouska près de Cadillac en Abitibi.

Lorsque le projet s'est retrouvé dans le portefeuille de Cambior en 1986, il fut rapidement décidé de réinitier l'exploration sur la propriété. Cette décision fut grandement influencée par le fait qu'elle était localisée dans l'extension ouest de la propriété Doyon, principal actif de la compagnie. La présence de l'ancienne mine Mic Mac et des indices de SOQUEM rehaussaient encore davantage cet intérêt.

Puisque l'horizon hôte du dépôt Mic Mac était associé à des laves magnétiques, des cartes magnétiques devinrent l'outil de référence de travail. La corrélation entre les anomalies magnétiques et les indices connus a incité à forer en premier lieu l'horizon Mic Mac le long d'une anomalie bordant le contact nord d'un intrusif.

Il faut souligner que l'horizon avait déjà été investigué dans les 100 premiers mètres par SOQUEM. Les intersections justifiaient amplement de forer plus en profondeur. Le cinquième sondage, implanté à quelque 200 mètres à l'ouest des indices connus et à l'extrémité d'une anomalie magnétique, recoupa la meilleure intersection de toute la campagne de forage qui s'ensuivit, soit 19,2 g Au/t/6,25 mètres.

Il ne suffisait que de poursuivre les forages et d'amorcer le programme souterrain d'exploration qui conduisirent à une décision de mise en production en 1991.

L'utilisation des cartes magnétiques est donc devenue un outil complémentaire pour chacun des projets. L'expérience a démontré qu'une nouvelle approche peut permettre de continuer et persévérer.

"LE PROJET GÉANT DORMANT, OU L'APPLICATION DE LA LITHOGÉOCHIMIE À LA PROSPECTION"

Étude des carottes de forage du dépôt Géant Dormant.

Intriguée par le fait que le dépôt était l'un des rares à ne pas être localisés le long des axes aurifères connus, Cambior s'intéressa progressivement à la propriété en 1990. Une entente intervint alors avec les Mines Aurizon, pour entreprendre un vaste programme de cueillette de données dans le but de vérifier le potentiel effectif du secteur.

L'historique de la propriété demeure assez récent. Il débuta avec le groupe Noranda, qui était à la recherche de nouveaux dépôts de métaux usuels riches en cuivre et zinc. Suite à un levé régional géophysique aéroporté, quelques conducteurs isolés furent identifiés dans le secteur. Le forage d'un de ceux-ci intersecta une zone aurifère fortement enrichie en pyrite et chalcopyrite. Quoiqu'intéressante, la cible ne répondait pas aux résultats escomptés.

Les travaux subséquents de Mines Perron, actuellement Mines Aurizon, permirent de localiser de nouvelles veines et conduisirent à la mise en production du dépôt. Quelque 93 154 onces furent produites entre 1988 et 1991.

Cambior décida donc de s'appuyer sur des données existantes et récolta une banque d'analyses lithogéochimiques à partir des accès souterrains et des forages disponibles. L'essai de la lithogéochimie était rendu nécessaire à cause des particularités du projet; le socle rocheux était généralement recouvert par 30 à 100 mètres de sable et de gravier, ce qui permettait difficilement l'utilisation des méthodes de prospection conventionnelles et géophysiques.

Ces travaux reflétèrent rapidement le caractère distinct du dépôt, mettant particulièrement en évidence une anomalie aurifère lithogéochimique de près de 1km^2, intimement liée à la proximité d'un intrusif plus felsique. L'importance de cette anomalie ne pouvait qu'être difficilement expliquée par la taille du dépôt telle que connue à l'époque.

Puisque déjà plusieurs lentilles étaient identifiées au sud de l'intérieur des limites de cette anomalie, il fut décidé de forer plus au nord, à proximité des infrastructures de la mine. Ces forages conduisirent à la découverte d'au moins cinq (5) lentilles minéralisées.

Moins de deux (2) ans après le début des travaux, la zone 20 justifiait une mise en production.

Cambior peut donc déjà tirer des leçons de ces deux expériences:

> ***" La découverte de nouveaux dépôts sur les projets présentement détenus par la compagnie sera grandement influencée par l'intégration de toutes les données de base à la prospection (cartographie, géochimie, géophysique...) "***

> ***" Travailler dans la continuité des travaux antérieurs et persévérer avec de nouvelles approches ne pourront que rehausser les chances de découvertes futures. "***

CHAPITRE IV

PROSPECTION CONVENTIONNELLE

La **prospection conventionnelle** consiste à examiner des affleurements rocheux et des blocs erratiques dans le but de trouver des indices minéralisés pouvant mener à la découverte de gisements. Cette méthode se caractérise par son efficacité en terrain sub-affleurant et par son coût de réalisation relativement bas. Contrairement aux autres méthodes de prospection, qui font l'objet des chapitres suivants, la prospection conventionnelle est facilement accessible à tous les prospecteurs, expérimentés ou non. Certaines connaissances sont cependant requises pour effectuer adéquatement les travaux de prospection. Ce chapitre décrit les principales étapes à suivre pour exécuter de la prospection conventionnelle.

4.1 TRAVAUX PRÉLIMINAIRES

Une des étapes les plus importantes d'une campagne de prospection conventionnelle est le **choix d'un territoire**. Ce choix est basé, entre autres, sur les critères suivants:

- la nature du gîte ou des minéraux économiques recherchés;

- le potentiel du territoire; celui-ci se définit par la présence d'indices ou de gisements épuisés ou en exploitation, d'anomalies géophysiques détectées par des levés terrestres ou aéroportés (levés Mag et Input), d'anomalies géochimiques, de formations et de structures géologiques favorables;

- l'accessibilité du territoire;

- la présence d'affleurements rocheux;

- les ressources humaines, financières et matérielles disponibles.

La grande majorité des informations ci-haut mentionnées sont disponibles auprès du Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec (MERQ); on peut y consulter les publications gouvernementales, certains rapports privés, les cartes de compilation géoscientifique et aéromagnétique, les cartes minérales ou des gîtes minéraux, les cartes topographiques et forestières, les photographies aériennes, les fiches de gîtes... De plus, le MERQ met à la disposition du public des banques de données traitant des travaux statutaires, thèses et mémoires (**Examine**), des gîtes (**Cogîte**), de la géochimie des roches (**Baroq**), de la géochimie des sédiments (**Badgeq**) et une banque qui intègre l'ensemble des données géoscientifiques (**Sigéom**). La revue **"Repère"** du MERQ indique tous les nouveaux indices répertoriés, par canton, sur le territoire québécois. L'abonnement à cette revue est gratuit.

Les **cartes de compilation géoscientifique** contiennent l'ensemble des données géologiques dérivant des divers levés effectués sur le territoire; on y retrouve par exemple

les types de formation géologique, les levés géochimiques et géophysiques, la localisation des trous de forage (figure 4.1). Les informations concernant les indices et les gîtes minéraux (localisation, type de gîte, type de roche hôte du gîte, dimension...) apparaissent sur les cartes minérales.

Pour prospecter sur un territoire, un individu doit détenir un **permis de prospection**. Les cartes de claims déposées à tous les bureaux régionaux du MERQ indiquent les terrains disponibles pour la prospection.

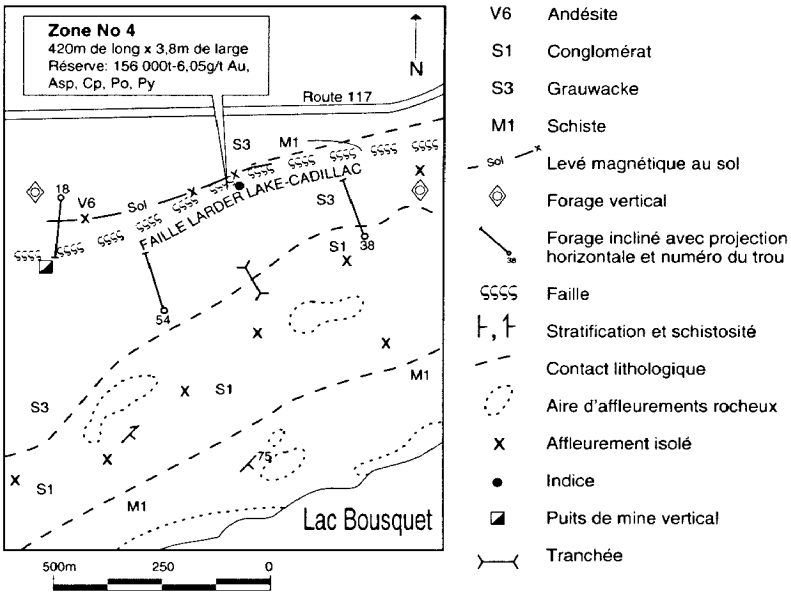


FIGURE 4.1 ***CARTE DE COMPILATION GÉOSCIENTIFIQUE DU MERQ, MODIFIÉE PAR L'AUTEUR (32D/2-0404).***

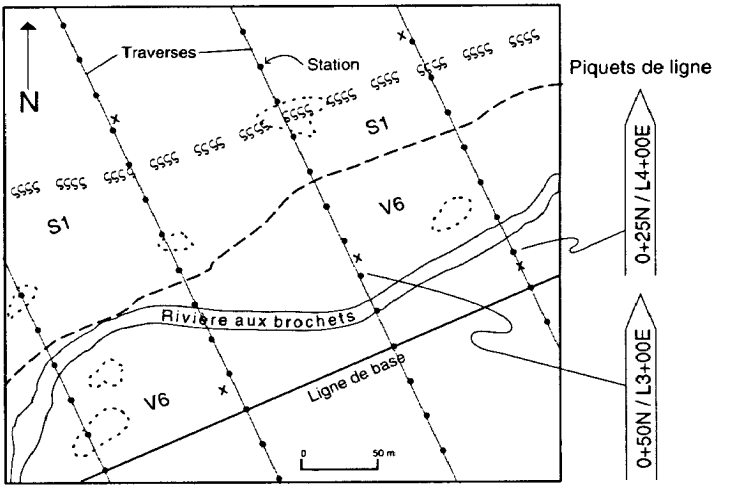
4.2 TECHNIQUES DE TERRAIN ET TRAVERSES

Pour s'orienter et pour localiser les affleurements rocheux, le prospecteur peut suivre un réseau de lignes coupées ou utiliser une boussole, des cartes forestières, des photographies aériennes au 1:15 000 ou des cartes de compilation géoscientifique au 1:10 000. De plus, les cartes de compilation et les photographies aériennes sont très utiles pour repérer les contacts géologiques et les indices minéralisés, ainsi que pour connaître le relief du territoire. Des stéréoscopes de poche, facilement transportables dans un sac à dos, permettent d'observer en trois dimensions une photographie aérienne.

La première visite sur le terrain consiste à se familiariser avec les types de roches, les structures géologiques (failles, zones de cisaillement) et les zones minéralisées préalablement identifiées sur les cartes. Une **zone minéralisée** est un secteur bien délimité qui contient des indices minéralisés; elle se compose de minéraux économiques (chalcopyrite, galène...) et de minéraux d'altération indicateurs de minéralisation tels que pyrite, limonite (rouille), quartz, calcite, tourmaline... Les zones rouillées ou oxydées sont importantes puisqu'elles révèlent souvent la présence de sulfures. Dans une mine, la zone minéralisée correspond à l'enveloppe qui comprend le minerai. Une zone minéralisée peut être de formes diverses: allongée et rectiligne, en amas et disséminée.

Par la suite, tous les affleurements du territoire étudié sont examinés d'une façon systématique en effectuant des traverses en bordure des ruisseaux et des rivières, des routes et des chemins forestiers, et perpendiculairement aux con-

tacts ou aux structures géologiques (figure 4.2). L'identification de blocs minéralisés peut indiquer la présence de zones minéralisées importantes dans les environs; pour cette raison, les **blocs erratiques** situés entre les affleurements doivent être répertoriés et identifiés. Les stries glaciaires incrustées dans les roches des affleurements peuvent indiquer la provenance des blocs. Sous une couverture



V6	Andésite		Faille
S1	Conglomérat		Stratification et schistosité
S3	Grauwacke		Contact lithologique
M1	Schiste		Aire d'affleurements rocheux
sol	Levé magnétique au sol	X	Affleurement isolé
	Forage vertical	•	Indice
38	Forage incliné avec projection horizontale et numéro du trou		Puits de mine vertical
			Tranchée

FIGURE 4.2 ***RÉSEAUX DE LIGNES (TRAVERSES) PERPENDICULAIRES AUX CONTACTS ET AUX STRUCTURES GÉOLOGIQUES.***

végétale mince, les blocs et les affleurements minéralisés sont parfois détectables à l'aide d'une tige métallique ou d'un tapis-prospecteur.

Lorsque de multiples travaux de prospection (échantillonnage, cartographie, levés géophysiques...) doivent être effectués sur un territoire, il peut s'avérer utile de couper et de piqueter une **grille de lignes**. Ces lignes doivent généralement traverser perpendiculairement les contacts et les structures géologiques. L'espacement entre les lignes varie en fonction du type de levé: 200 m pour un levé de reconnaissance, 100 m pour une étude détaillée d'une propriété et 50 m, 25 m ou 10 m pour la définition d'un indice minéralisé. Les lignes sont divisées en stations espacées de 25 m. Ces stations sont indiquées par des piquets auxquels on attache idéalement des plaques métalliques sur lesquelles sont gravées les coordonnées de la station (figure 4.2).

Aux endroits où l'épaisseur de mort-terrain est faible, des zones minéralisées peuvent être atteintes par décapage d'affleurements et par creusage de tranchées. Ces travaux s'effectuent au pic et à la pelle ou à l'aide d'une rétroexcavatrice (back-hoe) ou d'un bélier mécanique (bulldozer). Pour faciliter l'observation du roc ainsi dégagé, les affleurements peuvent être nettoyés avec une pompe et un boyau lorsqu'une source d'eau est accessible.

Les endroits à bas relief (vallées, ruisseaux) indiquent parfois des zones de fractures ou de failles auxquelles sont souvent associées des zones minéralisées. Ces dépressions remplies de matériel non consolidé sont des lieux de prospection intéressants.

4.3 MATÉRIEL DE TERRAIN

Voici une liste du matériel de terrain essentiel et optionnel à utiliser sur le terrain (photo 4.1):

Essentiel

- sac à dos
- marteau de prospecteur
- lunettes de sécurité
- canif
- loupe de poche (10x ou 20x)
- aimant
- plaque de porcelaine
- HCl à 10%: pour identifier certains carbonates
- boussole à clinomètre
- compte-pas, topofil
- porte-carte à l'épreuve de l'eau
- rapporteur d'angle et règle graduée à échelles multiples
- carte topographique, photographie aérienne
- carte géologique
- ruban à mesurer résistant
- sacs à échantillons
- ruban marqueur de couleur et crayons-feutres
- carnet de notes et crayons de plomb
- trousse de premiers soins
- huile à mouches
- imperméable
- allumettes
- collation
- Guide de la prospection

Maurice Boudreau

PHOTO 4.1 *MATÉRIEL DE TERRAIN.*

Optionnel

- hoyau (grub-hoe)
- hache
- masse et poinçon
- battée (gold pan)
- tige métallique (sounding bar)
- tapis-prospecteur.
- appareil GPS (système de localisation par satellite): l'utilisation est en fonction du budget et du relief du secteur étudié.

Pour des séjours prolongés en forêt, des équipements supplémentaires (tente, sac de couchage...) doivent s'ajouter à la liste.

4.4 NOTES DE TERRAIN

La quantité d'informations prélevées sur le terrain est trop importante pour être gardée uniquement en mémoire. Pour cette raison, des notes de terrain accompagnées de croquis sont essentielles pour préserver toutes les informations recueillies (figure 4.3). De plus, le **carnet de notes** peut être réutilisé pour compléter ou vérifier des travaux déjà produits. Pour résister aux intempéries, le carnet doit être imperméable.

La présence de croquis dans un carnet de notes est primordiale pour résumer rapidement les données de terrain, et pour localiser les différents points d'observations et les échantillons. Des photographies peuvent compléter la description des affleurements.

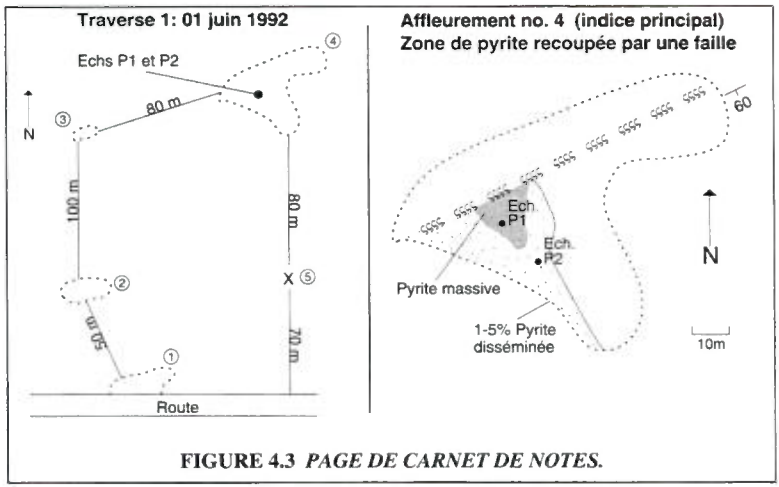


FIGURE 4.3 *PAGE DE CARNET DE NOTES.*

En plus des informations concernant l'accès, la localisation et l'identification des travaux, le **carnet de notes** doit contenir les données suivantes:

- les numéros des photographies aériennes ou des cartes utilisées;
- les trajets suivis lors des traverses;
- les croquis des affleurements rocheux;
- la localisation des blocs erratiques;
- la localisation et la description des indices minéralisés;
- la description sommaire de la géologie: type de roches, structure (failles, zones de cisaillement, veines et autres informations pertinentes);

- la direction et le pendage des zones minéralisées (figure 4.4);
- la localisation des échantillons de roche ou de sol;
- l'orientation des stries glaciaires;
- toute autre information pertinente: position des ruisseaux, des routes, des lignes hydroélectriques, etc.

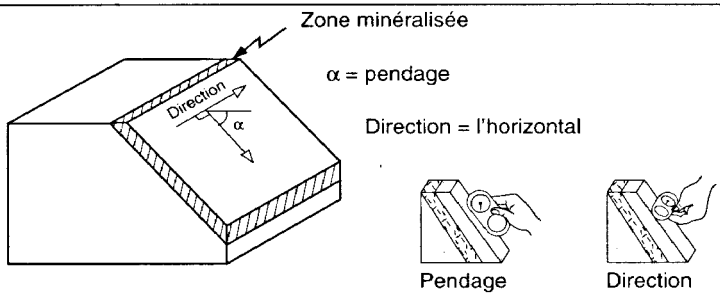


FIGURE 4.4 ***MESURES DE DIRECTION ET DE PENDAGE.***

Il est important de produire une description complète des indices minéralisés. Cette description comprend les éléments suivants:

- type d'indice: disséminé, amas, veines, veinules;
- dimension et forme de l'indice et des blocs erratiques;
- composition minéralogique: minéraux économiques et associés; exemple: la présence de chalcopyrite associée à de la pyrite;

- pourcentage de chacun des minéraux;
- le type d'altération associée à la zone minéralisée; exemple: la bordure de la zone est altérée en oxydes de fer et en carbonates;
- l'association géologique; exemple: "veine de quartz aurifère associée à des dykes de diorite situés dans une zone de cisaillement".

Il existe des carnets de notes électroniques qui permettent un transfert rapide des données de terrain sur un support informatique. Ces appareils sont utiles pour des campagnes d'exploration d'envergure.

4.5 ÉCHANTILLONNAGE

Les descriptions de terrain permettent, entre autres, d'évaluer approximativement les quantités de minéraux économiques composant les zones minéralisées observées sur les affleurements. Par contre, les substances utiles (les éléments natifs) présentes en traces sont difficilement identifiables, particulièrement les métaux précieux: Au, Ag, Pt. Les quantités exactes des éléments sont déterminées par des analyses en laboratoire. Des services d'analyse sont offerts par des laboratoires privés et par le Centre de Recherche minérale du Québec (CRM). Les compagnies minières s'offrent souvent pour analyser certains échantillons des prospecteurs. Le choix des éléments à analyser dépend des minéraux présents sur le terrain et de la nature des indices et des roches dans les environs.

L'échantillonnage doit s'effectuer dans les zones minéralisées et en bordure de celles-ci pour connaître l'étendue de la minéralisation dans les roches encaissantes (figure 4.5). Il est aussi important d'échantillonner les blocs erratiques minéralisés situés entre les affleurements.

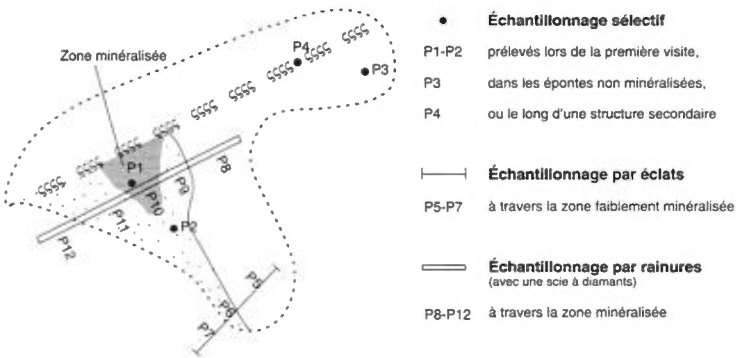


FIGURE 4.5 *TYPES D'ÉCHANTILLONNAGE.*

Les règles à suivre pour l'**échantillonnage d'une zone minéralisée** sont les suivantes:

- choisir des échantillons représentatifs des différentes parties composant la zone minéralisée;

- indiquer sur une carte géologique ou sur une photographie aérienne et dans le carnet de notes le lieu de prélèvement;

- prendre un échantillon de quelques kilogrammes ou d'au moins 10 cm de côté;

- laisser un échantillon-témoin sur l'affleurement ou sur le bloc erratique;

- mettre un échantillon par sac; pour éviter toute contamination, les sacs doivent être en plastique, propres et utilisés une seule fois;

- numéroter le sac, l'affleurement ou le bloc d'une façon permanente à l'aide de crayons-feutres indélébiles et de ruban;

- décrire succinctement dans le carnet de notes la zone échantillonnée;

- produire un croquis précis des points d'échantillonnage à une échelle pertinente.

Il existe plusieurs types d'échantillonnage, dont le choix repose sur la forme de la zone minéralisée, sur la distribution de la minéralisation et sur la taille de l'affleurement (figure 4.5).

Types d'échantillonnage:

- **choisi** (grab):
  échantillonnage au hasard;

  applications:
  pour de la minéralisation disséminée, des blocs ou des petits affleurements ;

- **par rainure** (channel):
  consiste à prélever des morceaux de roche en creusant une rainure de quelques centimètres sur l'affleurement; les rainures doivent être perpendiculaires à l'allongement de la zone minéralisée;

  applications:
  grands affleurements, minéralisation disséminée, massive, semi-massive et en veines;

- **par éclats** (chip):
  consiste à prendre des morceaux de roche de même dimension et également espacés à travers la zone minéralisée; les applications sont les mêmes que pour l'échantillonnage par rainure.

4.6 MISE EN PLAN

Certaines informations recueillies sur le terrain doivent être indiquées sur une carte géologique, entre autres les contours des affleurements, la localisation des zones minéralisées et des échantillons et, s'il y a lieu, les résultats des analyses. La mise en plan peut se faire à la main ou à l'ordinateur. La plupart des compagnies d'exploration utilisent des logiciels spécialisés pour compiler leurs données et pour effectuer leurs mises en plan. L'**échelle de la carte** est choisie en fonction de la quantité d'informations à mettre en plan, de la grandeur du territoire étudié et de la maille de travail. Les cartes à grandes échelles (moins que 1:1000) sont choisies pour les travaux de détails, alors que les cartes à échelles plus petites (1:5 000, 1:10 000...) sont utilisées pour des travaux couvrant une grande surface (par exemple, celle d'une propriété).

4.7 CONCLUSION

La prospection conventionnelle est efficace dans les territoires vierges, ou peu prospectés, et aux endroits où le socle rocheux affleure. Ces territoires deviennent de plus en plus rares. Pour cette raison, le prospecteur doit connaître les rudiments des nouvelles méthodes de prospection qui nous permettent d'identifier des zones minéralisées en dessous de la surface du sol. Ces méthodes sont abordées dans les chapitres qui suivent.

BIBLIOGRAPHIE

BARNES, J.W., Basic Geological Mapping, Open University Press, 1981, 112 p.

BATES, D.E.B. et J.F. KIRKALDY, La géologie de terrain, Paris, Fernand Nathan, 1976, 248 p.

LANG, A.H., La prospection au Canada, Ottawa, Commission géologique du Canada, Ministère des Mines, Énergie et Ressources, 1976, 336 p.

PETERS, W.C., Exploration and Mining geology, New-York, John Wiley and Sons, 1978, 696 p.

Les Mines Selbaie

Billiton

DE LA TÉNACITÉ

ET DE L'AUDACE

Les Mines Selbaie, propriété à 100% de Billiton Metals Canada Inc., sont localisées à 82 Km de Joutel dans le Nord-Ouest québécois. Avec ses 550 employés en 1993, la compagnie produit quotidiennement près de 8 000 tonnes métriques (tm) de minerai à partir de ses deux mines souterraines (zones B et A2) et de sa mine à ciel ouvert (zone A1).

Avant 1976, l'accès à ce coin de pays se faisait par eau ou par air. Vers la fin des années 60, une première reconnaissance géologique permit d'identifier, le long de la rivière Wawagosic, des affleurements de roches tufacées felsiques susceptibles de contenir du cuivre et du zinc.

En 1971-72, les compagnies Selco Mining Corp. Ltd et Pickands Mather and Co. ont décidé d'effectuer dans cette région un levé électromagnétique aéroporté de type Input Mark VI qui montra de nombreuses anomalies.

Suite à des levés EMH et Mag au sol, un petit groupe d'anomalies Input isolées caractérisées par de faibles réponses de 1 à 6 mhos sur 3 à 5 canaux fut localisé. Bien que les caractéristiques de telles anomalies aéroportées n'incitaient pas les géologues à poursuivre l'exploration, ceux-ci croyant que ces faibles anomalies isolées provenaient du mort-terrain conducteur, il fut tout de même décidé d'investiguer le secteur.

Les résultats d'analyse des deux premiers forages, effectués en juin 1974, confirmèrent de bonnes teneurs en cuivre, en zinc, en or et en argent. Ces forages recoupèrent d'épaisses sections de tuf felsique chloritisé, carbonatisé et silicifié contenant de la pyrite (Py), de la chalcopyrite (Cp), de la sphalérite (Sp) et de la galène (Ga) sous forme disséminée (veinules ou brèches). Ces premiers résultats prometteurs incitèrent les géologues de Selco à jalonner toute la formation potentiellement porteuse de sulfures. En quelques semaines, la propriété est passée de 15 à environ 1 000 claims.

Dès septembre suivant, les propriétaires décidèrent d'amorcer une importante campagne de forage dans le voisinage des deux premiers. Les soixante-treize trous suivants révélèrent l'exten-

sion de la zone minéralisée A1 et conduisirent à la découverte, plus à l'est, de la zone minéralisée A2 localisée sous une partie du batholite de Brouillan.

La reconnaissance d'une nouvelle anomalie géophysique de polarisation provoquée (PP), orientée suivant un azimut inhabituel pour la région soit nord-sud, débuta par le forage de 29 autres trous. Les carottes de forage permirent d'identifier sur plusieurs centaines de mètres une autre zone minéralisée, la zone B, constituée principalement de chalcosine (Cc), de Cp, de Sp et de cuivre natif (Cu).

En 1977-1978, on fonça une rampe de 850 mètres dans la zone A1 et un puits de 135 mètres avec des accès au minerai de la zone B au niveau 120m. Ces travaux permirent de confirmer la présence et l'attitude de ces zones minéralisées ainsi que les variations internes des teneurs. Par la suite, d'autres forages au diamant confirmèrent l'existence d'un minerai très complexe, réparti en plusieurs zones minéralisées. Toute la minéralisation se retrouve dans la séquence de tufs et de laves felsiques. Le minerai, avec un très fort contrôle structural, est constitué de quantités variables de Cp, Sp, Py, Cc, Cu et Ga.

La décision de mettre la zone B en production, malgré l'anticipation de deux importantes contraintes, fut prise à la fin de 1978, alors que Hudson Bay Oil and Gaz venait de s'associer à Selco Mining Corporation Ltd.

Exploitation à ciel ouvert de la zone A1.

Chevalement du puits de mine de la zone B et autres installations de Mines Selbaie.

L'alimentation du site en électricité posait un premier problème. Le seuil de rentabilité du gisement ne permettait pas de se raccorder au réseau d'Hydro-Québec en raison de son éloignement. Les nouveaux associés ont alors pris la décision d'installer six énormes génératrices pour fournir l'énergie nécessaire au bon fonctionnement de la mine. Et de un!

L'autre difficulté, plus technique celle-là, était liée à la structure même du roc qui était perméable à l'eau. Il fallait donc trouver une méthode pour assécher le minerai. On s'est servi des trous de forage de délimitation effectués à partir de l'éponte supérieure sur les niveaux 120 et 180 pour canaliser l'eau et pouvoir la pomper à l'extérieur de la mine. L'assèchement du minerai engendra la migration progressive de la nappe phréatique qui passa de deux mètres sous la surface en 1979 au niveau 180 mètres vers la fin de 1981. L'assèchement du minerai améliora grandement la stabilité des ouvertures et du même coup la sécurité des travailleurs. Et de deux!

L'ouverture officielle de la zone B, avec des réserves de 3,5 millions de tm de minerai, eut lieu en septembre 1981, après 87 000 000 $ d'investissement et une excellente coopération des employés de la compagnie.

En 1985, suite à des forages de délimitation très prometteurs, les nouveaux propriétaires [BP Canada (55%), Esso Minérals (35%) et Trans-Canada Pipelines (10%)] décidèrent de mettre en production la zone A1 avec des réserves probables de 20 millions de tm de minerai sulfuré. L'exploitation à ciel ouvert du gisement commandait cette fois le branchement au réseau d'Hydro-Québec. Après des travaux de 130 000 000 $, l'ouverture officielle de la zone A1 s'effectua en novembre 1986.

Après l'exécution de nombreux forages et des levés géophysiques de mise-à-la-masse, un nouvel investissement de 9 500 000 $ permit de débuter à la fin de 1988 l'exploitation souterraine de la zone A2, dont les réserves étaient à ce moment de 1,8 millions de tm de minerai.

Les Mines Selbaie produisent des concentrés de cuivre (26 à 30% Cu) contenant des métaux précieux (Au, Ag) et des concentrés de zinc (53 à 57% Zn) quand la teneur en Cc et en cuivre natif n'est pas trop élevée (lorsque la présence du Cc et du Cu est élevée, comme dans la zone B, un seul concentré contenant tous les sulfures est produit, ce qui engendre une étape supplémentaire de traitement au smeltage et augmente les coûts de raffinage.)

Pour explorer la propriété et délimiter les différents dépôts de sulfures, il a fallu effectuer au 31 décembre 1991, en surface et sous terre, un total de 465 km de forage au diamant. A cette même date, les zones A2 et B avaient produit un total de 5,8 millions de tm (titrant 3% Cu, 0,67% Zn, 30,6 g/t Ag et 1,30 g/t Au), tandis que la zone A1 avait produit 10,4 millions de tm (titrant 0,60 % Cu, 2,54% Zn, 60,18 g/t Ag et 0,27 g/t Au).

L'exploration sur la propriété se poursuit au moyen de levés géophysiques Pulse-EM et de forages au diamant afin d'identifier d'autres dépôts. Bien que les mines souterraines terminent leur production au début de 1994, le potentiel de la mine à ciel ouvert est énorme et très prometteur pour une exploitation dépassant l'an 2000.

CHAPITRE V

PROSPECTION GÉOPHYSIQUE

5.1 INTRODUCTION

La **prospection géophysique** consiste à utiliser des instruments qui permettent de mesurer certaines **propriétés physiques** du sol et du roc. Les levés géophysiques sont particulièrement utiles dans les secteurs contenant peu d'affleurements rocheux; ils permettent de détecter des zones minéralisées sous la surface du sol.

Les levés géophysiques peuvent être effectués en utilisant les champs naturels (champs magnétique, gravitationnel, électrique et de radioactivité) ou les champs artificiellement créés par des émetteurs. Les **méthodes géophysiques** les plus couramment utilisées sont les suivantes: les méthodes **magnétique**, **électromagnétiques** (TBF, EMH, EMV, PEM et MELIS), **électriques** (résistivité, P.P.) et **radiométrique**. La plupart des levés géophysiques peuvent s'effectuer soit au sol, soit en avion et en hélicoptère, ou encore en forage.

Le choix des méthodes de prospection géophysique et des approches (directe ou indirecte) utilisées dépend des cibles visées (tableau 5.1). La prospection pour trouver des dépôts de sulfures massifs ou d'uranium est une **approche**

TABLEAU 5.1
CHAMPS D'APPLICATION DES MÉTHODES GÉOPHYSIQUES.

Méthodes Géophysiques	Propriété physique (Unité)	Paramètre mesuré (Unité)	Applications	
			Détection directe	Détection indirecte
Magnétisme	Susceptibilité magnétique (S.I.)	Intensité du champ magnétique (gammas ou nT)	Magnétite, ilménite, chromite, pyrrhotite.	Interprétation géologique, roches intrusives, structures géologiques.
Électromagnétisme	Conductivité électrique (mhos/mètre)	Composantes du champ E.M. (% du champ primaire)	Sulfures massifs et semi-massifs : pyrrhotite, pyrite, chalcopyrite, pentlandite; graphite.	Structures géologiques, roche altérée, relief du socle rocheux, cartographie, géotechnique.
Résistivité	Résistivité électrique (ohm-mètre)	Voltage et ampérage (volts et ampères)	Minéralisations conductrices, eaux souterraines, minéraux résistifs, pergélisol.	Lithologies, structures, intrusifs, géotechnique, études environnementales.
Polarisation provoquée	Polarisation électrique (mv-sec/volt)	Voltage et ampérage (volts et ampères)	Minéralisations métalliques sous forme disséminée: pyrite, chalcopyrite, sphalérite, magnétite.	Environnements enrichis en sulfures disséminés.
Radiométrie	Radiation gamma (milliröentgens)	Radiation gamma (chocs/seconde)	Minéralisations uranifères et thorifères, phosphates.	Granite et autres intrusifs alcalins, halos d'altération.

directe, alors que la recherche d'intrusions felsiques susceptibles de contenir des zones minéralisées aurifères est une **approche indirecte**. Ces deux approches peuvent être combinées lors de la prospection pour les métaux usuels localisés dans un corridor structural (failles ou zones de cisaillement). La présence et la nature d'une cible peuvent être vérifiées en interprétant les résultats des différentes méthodes géophysiques.

5.2 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES

La prospection géophysique se base sur les **propriétés physiques** caractéristiques des minéraux dans le but de les repérer. Les principales propriétés sont la susceptibilité magnétique, la densité, la conductivité électrique, la polarisabilité et la radioactivité.

La **susceptibilité magnétique** est la capacité qu'a une substance d'être magnétisée lorsqu'elle est soumise à un champ magnétique. Dans la nature, les minéraux les plus communs qui possèdent cette propriété sont la magnétite et la maghémite (oxydes de fer), l'ilménite (oxyde de fer et de titane), la chromite (oxyde de fer et chrome) et la pyrrhotite (sulfure de fer).

La **densité** est le rapport de la masse d'un certain volume d'une substance à celle du même volume d'eau. Certaines substances minérales sont de faible densité, comme les sables siliceux, le recouvrement glaciaire, les argiles et les roches felsiques; d'autres minéraux sont par contre très denses: les sulfures métalliques, les oxydes de fer, les composés d'uranium, les métaux précieux ainsi que les roches mafiques et ultramafiques. Certaines de ces substances,

présentes dans la croûte terrestre en quantités appréciables, ont un effet minime mais mesurable sur le champ gravimétrique de la terre.

La **conductivité électrique** est la capacité que possède une substance de laisser circuler le courant électrique. Plusieurs minéraux parmi les sulfures et les éléments natifs (cuivre, pyrite, chalcopyrite, pyrrhotite, graphite,...) sont de très bons conducteurs électriques. D'autre part, la majorité des minéraux composant les classes des silicates, des oxydes, des carbonates, des sulfates et des phosphates sont au contraire des isolants électriques. La mesure systématique de la conductivité terrestre dans le sol ou le roc permet de détecter certains de ces minéraux.

La plupart des substances métalliques contenues dans les roches agissent comme des petites piles électriques rechargeables lorsqu'elles sont soumises à des conditions chimiques et électriques appropriées: c'est la **polarisabilité**. Même en très faibles quantités (0,5% à 5%), des minéraux comme la pyrite, la chalcopyrite, la pyrrhotite, la sphalérite et la molybdénite peuvent être détectés par des mesures de polarisation provoquée (PP).

Quelques éléments et leurs composés constituant certains minéraux, dont l'uranium, le thorium et une variété de potassium, émettent en se décomposant des radiations invisibles: cette propriété s'appelle la **radioactivité**. Ces radiations, nommées rayons gamma, sont détectables par des appareils de radiométrie qui mesurent l'intensité et l'énergie spécifiques émises par chacun de ces éléments, permettant ainsi de déceler la présence de minéraux radioactifs dans la roche.

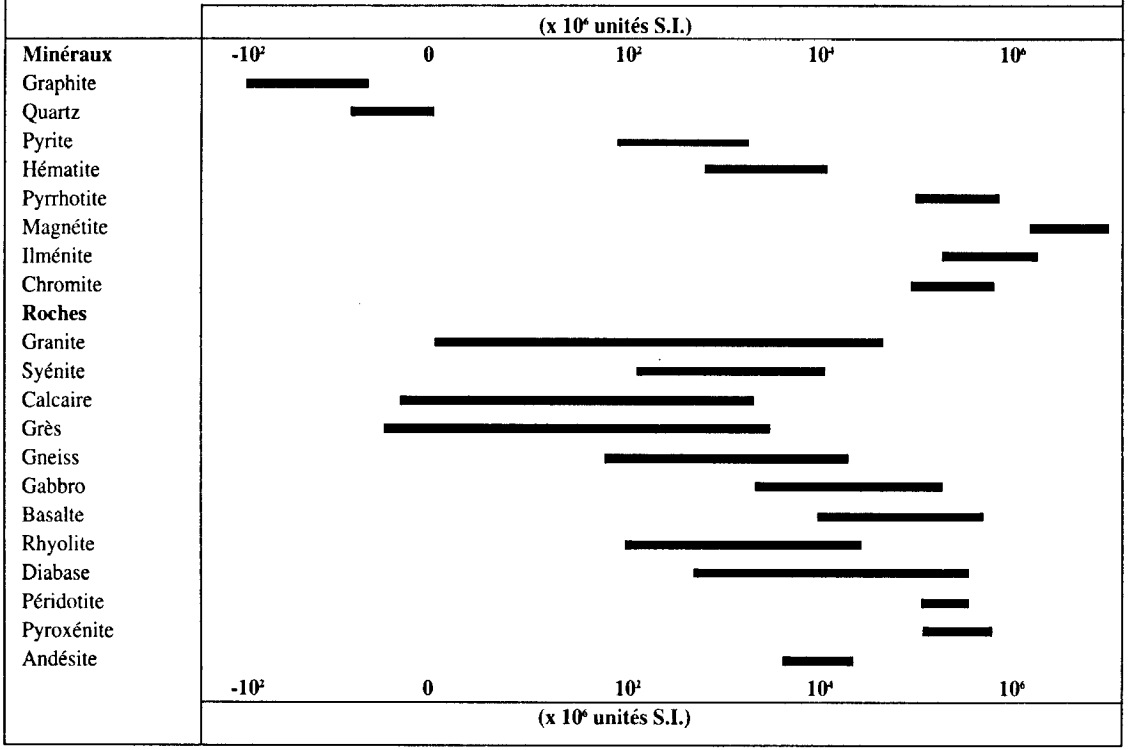
5.3 MÉTHODE MAGNÉTIQUE

La terre possède son champ magnétique propre; par conséquent, elle se comporte comme un immense aimant naturel ayant son pôle négatif près du pôle nord géographique et son pôle positif près du pôle sud. La terre fournit donc le champ nécessaire à l'induction magnétique des minéraux ferrimagnétiques (substances magnétisées en l'absence de champ magnétique externe: magnétite, ilménite, pyrrhotite, chromite et titanomagnétite...). Les lignes de champ magnétique terrestre sont déformées en amplitude et en direction aux endroits où les formations géologiques possèdent une susceptibilité magnétique. A ces endroits, les variations dans le champ magnétique créent une **anomalie magnétique** détectable et mesurable par un **magnétomètre**. Cet appareil mesure l'intensité absolue ou relative du champ magnétique. L'unité de mesure est le gamma ou le nanoTesla (1 gamma=1 nT). L'intensité moyenne du champ magnétique au Québec varie de 57 500 à 59 000 nT. L'estimation de la susceptibilité magnétique d'une roche ou d'un échantillon peut se faire avec un aimant (préférablement suspendu à une ficelle) ou bien, pour plus de précision, avec un susceptibilité-mètre.

La susceptibilité magnétique des roches est largement dépendante de leur contenu en magnétite, celle-ci étant le minéral magnétique le plus abondant dans les roches. Le tableau 5.2 montre la susceptibilité des roches et des minéraux les plus répandus.

Le **magnétomètre moderne** fonctionne selon le principe de la précession nucléaire (magnétomètre à protons), contrairement aux anciens magnétomètres à torsion ou à sursaturation ("fluxgate") (photo 5.1). Quelques appareils ont

TABLEAU 5.2
SUSCEPTIBILITÉ MAGNÉTIQUE DE CERTAINS MINÉRAUX ET ROCHES. (D'APRES TELFORD ET AL, 1976)



deux senseurs, distants de 0,5 m, afin de mesurer le **gradient vertical**, c'est-à-dire la différence d'intensité magnétique entre le senseur du bas et le senseur du haut, en plus du champ total.

Les mesures sont habituellement effectuées le long de lignes coupées et chaînées à des intervalles de 25 m. Il est cependant recommandé de prendre des lectures à intervalles de 12,5 m. La surface à couvrir par un levé magnétique dépend de l'objectif visé. Pour effectuer de la reconnaissance, le levé peut couvrir une surface de plusieurs kilomètres carrés, avec des lignes à tous les 200 m; pour localiser une anomalie, le levé peut ne comprendre que quelques courts profils rapprochés de 50 m. Dans tous les cas, on essaie d'effectuer les profils perpendiculairement à la cible géologique.


Maurice Boudreau

PHOTO 5.1 ***LEVÉ MAGNÉTIQUE AVEC UN MAGNÉTOMETRE À PROTONS.***

Le champ magnétique terrestre n'est pas une constante: l'intensité du champ magnétique fluctue avec le temps en tout point du globe; par conséquent, les mesures prises dans une période donnée seront toujours influencées non seulement par la susceptibilité des roches mais aussi par les variations temporelles du champ terrestre. Ces fluctuations temporelles se nomment **variations diurnes**. Les données

brutes de terrain doivent être ajustées en fonction de ces variations. Des tempêtes magnétiques provoquées par des activités électromagnétiques solaires entraînent des changements soudains et importants de l'intensité du champ magnétique terrestre. Ces changements sont souvent d'une ampleur telle qu'il est préférable d'arrêter de prendre des mesures pendant la tempête.

Il existe deux façons de représenter l'intensité du champ total d'un levé magnétique corrigé: en profils et en isocontours. Les **profils** sont des coupes verticales effectuées le long d'une ligne coupée, alors que les **isocontours** sont des courbes d'isovaleurs tracées sur un plan horizontal (figures 5.1 et 5.2). Après avoir choisi l'échelle horizontale appropriée, on reporte à chaque station (point de mesure) la valeur corrigée du champ total. L'échelle verticale du profil et l'intervalle des isocontours sont déterminés en fonction du relief magnétique. Pour rendre la carte d'isocontours plus visuelle, on peut colorier les intervalles de différentes couleurs.

Habituellement, si on passe au-dessus d'une formation ayant une susceptibilité plus forte que son entourage, tel qu'un dyke de diabase recoupant des roches sédimentaires, on remarque, en latitude nordique, une augmentation marquée du champ magnétique au-dessus du dyke (figure 5.2).

Les résultats d'un levé magnétique peuvent être interprétés d'une façon qualitative ou quantitative. L'interprétation qualitative permet de positionner approximativement la formation géologique causant l'anomalie, alors que l'analyse quantitative décrit de façon précise la forme, la pente, la profondeur et la susceptibilité de la formation.

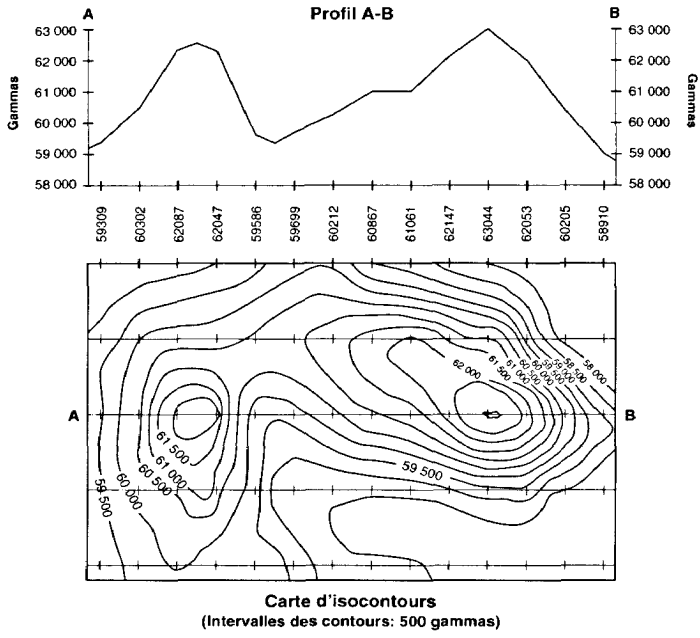


FIGURE 5.1 ***REPRÉSENTATION D'UNE ANOMALIE MAGNÉTIQUE EN PROFIL ET EN CONTOURS.***

La méthode magnétique peut être utilisée pour détecter les objets géologiques suivants:

- roches volcaniques mafiques;
- intrusifs felsiques ou mafiques;
- failles et zones de cisaillement;
- amas de magnétite et pyrrhotite;
- objets métalliques enterrés (collet de forage ...);
- minéraux industriels (amiante ...).

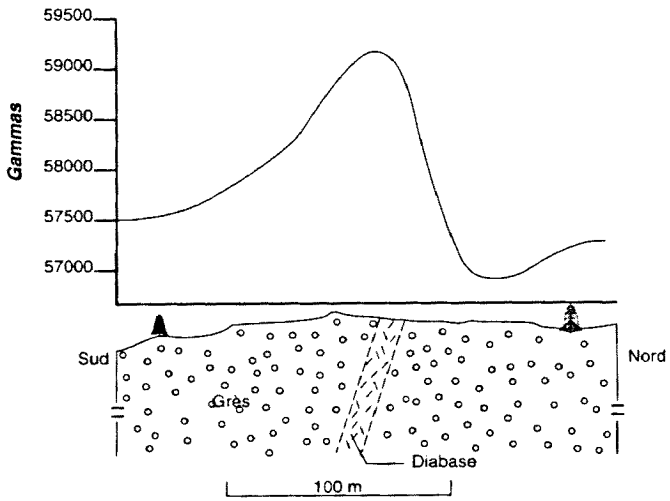


FIGURE 5.2 ***PROFIL D'UNE ANOMALIE MAGNÉTIQUE TYPIQUE.***

La méthode magnétique a conduit à la découverte des gîtes de fer de la Fosse du Labrador et des gisements d'amiante de l'Estrie; ces gisements contiennent des quantités importantes de magnétite.

La figure 5.3 montre des exemples d'anomalies magnétiques typiques.

Figure 5.3A. :	Relief du socle.
Figure 5.3B. :	Sill mafique ou coulée mafique horizontale.
Figure 5.3C. :	Dyke vertical.
Figure 5.3D. :	Dyke ou mince formation avec pendage nord.

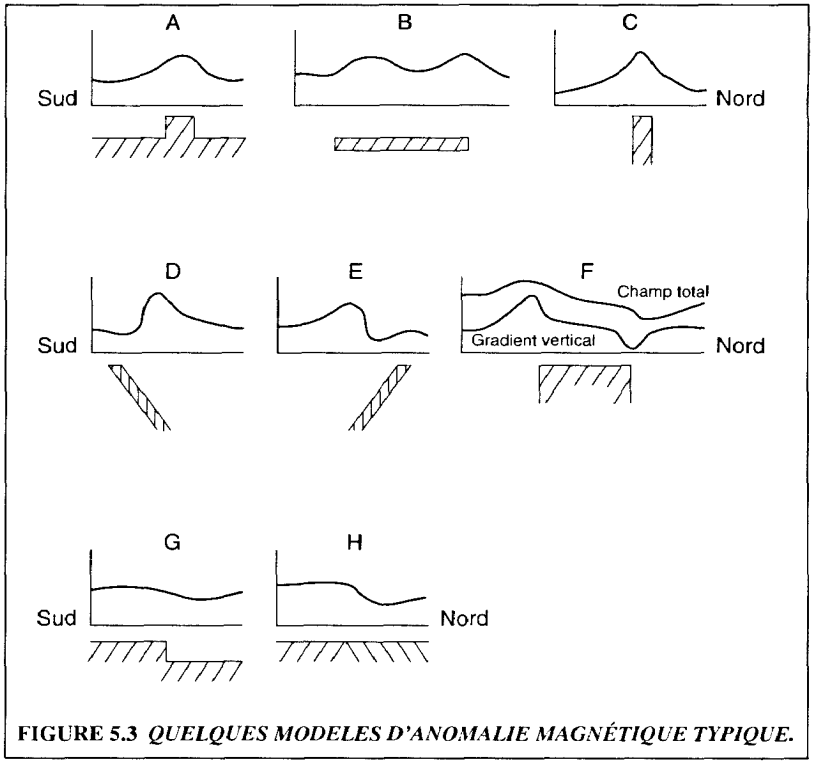


FIGURE 5.3 ***QUELQUES MODELES D'ANOMALIE MAGNÉTIQUE TYPIQUE.***

Figure 5.3E. :	Dyke ou mince formation avec pendage sud.
Figure 5.3F. :	Large formation magnétique: champ total et gradient vertical.
Figure 5.3G. :	Bloc magnétique faillé et déplacé.
Figure 5.3H. :	Contact entre deux formations de susceptibilités différentes.

5.4 MÉTHODES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Toutes les **méthodes électromagnétiques** sont basées sur le principe d'induction électromagnétique, qui se manifeste par la création d'un courant électrique secondaire induit dans un corps conducteur soumis à un champ magnétique primaire créé par un émetteur. La détection du champ magnétique secondaire par un récepteur permet de trouver le conducteur à l'origine de ce champ. Les minéraux suivants sont les plus conducteurs: pyrite, pyrrhotite, graphite, chalcopyrite et galène. Les méthodes électromagnétiques ont conduit à la découverte de gisements importants: Louvem (Cu, Zn), Kidd Creek (Cu, Zn, Au, Ag), Mattagami Lake (Zn, Ag, Cu), Fermont (graphite). Le tableau 5.3 montre la conductivité de quelques substances naturelles.

Les méthodes électromagnétiques couramment utilisées en prospection minière sont la méthode TBF (très basse fréquence; en anglais: "very low frequency" ou "VLF") et la méthode à bobines horizontales (EMH). On utilise un tapis-prospecteur pour la détection des concentrations de substances métalliques conductrices de surface (moins de 40 cm). Cet appareil fonctionne sur le principe des méthodes électromagnétiques.

La méthode TBF

Parmi toutes les méthodes électromagnétiques, la méthode TBF est l'une des plus utilisées. Le terme TBF réfère aux très forts signaux (ondes) radiophoniques émis par des stations-radios très puissantes situées un peu partout dans le monde.

Tel qu'énoncé précédemment, tout corps conducteur traversé par les lignes de champ primaire de l'émetteur TBF sera

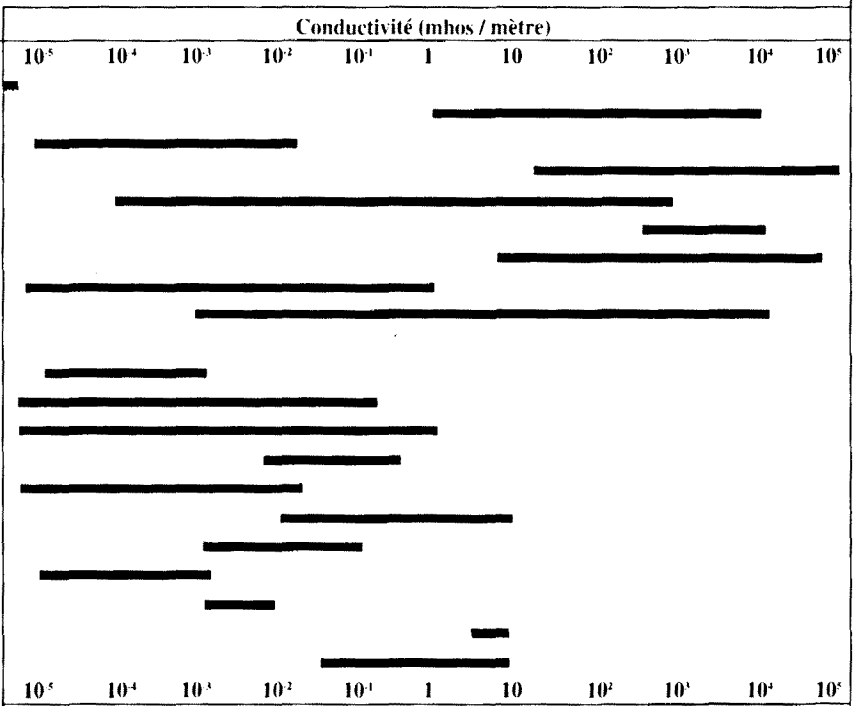
le siège de courants induits, qui auront la même fréquence. Ces courants donneront lieu à leur tour à un champ électromagnétique dont l'amplitude est directement liée à la conductivité, à la dimension et à la profondeur du conducteur. Un récepteur TBF typique mesure l'amplitude des **composantes en phase** ("In-Phase") et **en quadrature** ("Out of Phase") du champ secondaire; ces composantes sont exprimées en pourcentage.

En exploration minière, cette méthode est surtout utilisée pour des **levés de reconnaissance**, pour détecter autant des conducteurs de type métallique (sulfures en filonnets ou semi-massifs, graphite) que des zones à conductivité électrolytique (zones de faille, cisaillements poreux, variations de conductivité-épaisseur du mort-terrain, sulfures en filonnets). Le gisement aurifère de la mine Belmoral, situé dans une zone de cisaillement, a été découvert par la méthode TBF.

Le coût relativement bas, la grande rapidité de lecture et la simplicité du levé font du TBF un outil très populaire en prospection des métaux usuels et précieux. Cependant, l'interprétation d'un levé TBF est incertaine puisque des conducteurs de différentes conductivités peuvent donner des réponses similaires. De plus, la faible profondeur de pénétration et l'influence du mort-terrain rendent l'interprétation difficile.

Les **mesures TBF** sont normalement présentées sous forme d'une série de profils: il faut choisir une échelle convenable (1 cm = 10%, 1 cm = 20%) et montrer la position des points de mesure le long des lignes lues. Les composantes en phase et en quadrature sont respectivement dessinées en traits continus et tiretés (figure 5.4). Il existe

TABLEAU 5.3
CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE DE CERTAINS MINÉRAUX, ROCHES ET SUBSTANCES MINÉRALES.



une façon de diminuer en partie les effets indésirables de certaines sources de bruit, notamment en appliquant des filtres (par exemple: filtre Fraser) pour rendre les données plus utiles.

L'interprétation des données TBF s'effectue en comparant les réponses obtenues sur le terrain avec celles des modèles appropriés. Ces modèles permettent de localiser des conducteurs et d'estimer leur direction, leur pendage et leur profondeur. Des corps géométriques, tels que plaques minces et prismes, reproduisent assez fidèlement

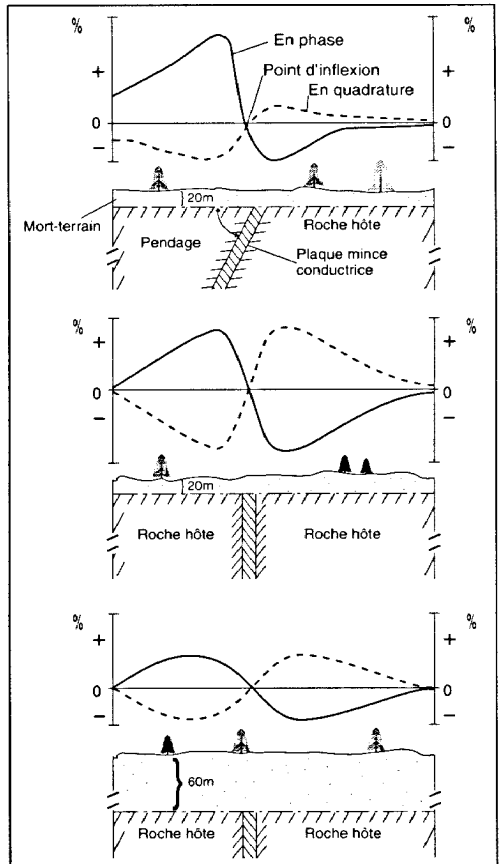


FIGURE 5.4
MODELES D'ANOMALIES TBF PROVOQUÉES PAR UNE PLAQUE MINCE CONDUCTRICE À PENDAGES ET À PROFONDEURS VARIABLES.

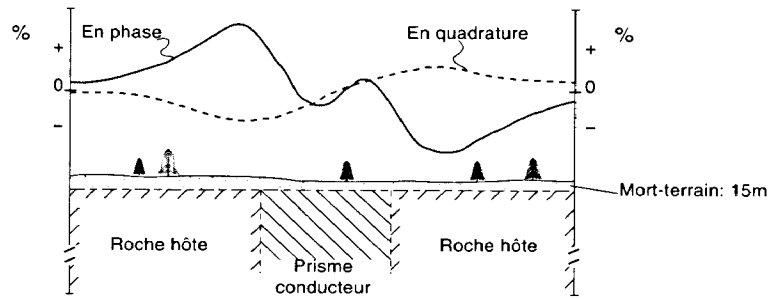


FIGURE 5.5 ***MODELE D'ANOMALIE TBF PROVOQUÉE PAR UN PRISME CONDUCTEUR.***

certains objets géologiques (figures 5.4 et 5.5). En général, **pour la prospection des métaux usuels** (Cu, Zn, Pb,...), on recherche des conducteurs de type métallique (sulfures) dont la forme et les paramètres géométriques sont semblables aux corps tabulaires et lenticulaires. **Pour l'exploration de l'or**, on recherche des zones de cisaillement, des contacts entre des unités de conductivités différentes (granite-grès) ou des zones de sulfures disséminés (figure 5.6). Outre les contacts lithologiques, les contacts entre un lac ou un marécage et un affleurement rocheux peuvent créer une anomalie. De plus, la présence de mort-terrain peut masquer l'anomalie en quadrature. Dans la nature, on peut rencontrer une bande de zones conductrices successives: les conducteurs multiples (figure 5.7). La réponse TBF d'un tel milieu est différente de celle d'un conducteur unique.

Les **bruits artificiels, de surface et géologiques** viennent parfois brouiller les signaux. Une multitude de **sources artificielles** peuvent éventuellement causer des réponses sur les levés VLF: les lignes électriques et téléphoniques, les conduits souterrains (tuyaux, ...), les clôtures

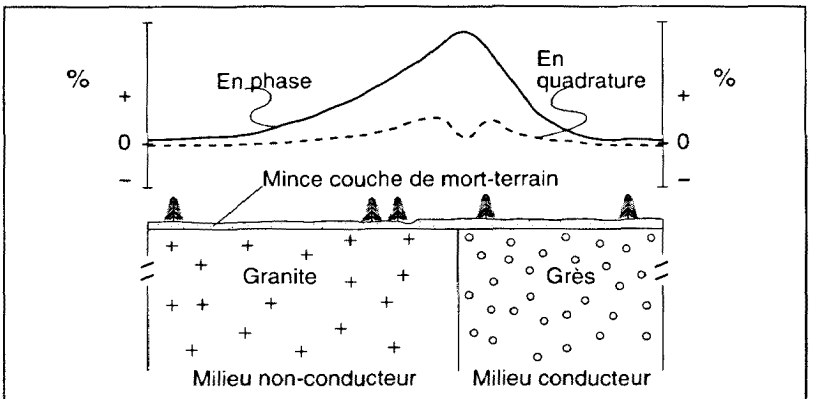


FIGURE 5.6
MODELE D'ANOMALIES TBF CAUSÉES PAR UN CONTACT LITHOLOGIQUE.

métalliques, les bâtiments, etc. Il importe de noter ces phénomènes lors de l'exécution du levé.

Le **mort-terrain** conducteur (lac, rivière, marécage, élévation de terrain, esker, affleurement...) et le changement de composition du sol créent une distorsion du signal.

Les **zones de faible résistivité** comme les failles, les cisaillements et les formations géologiques incompétentes (schiste, argilite,...) ont tendance à canaliser les courants ("Current channelling") qui circulent dans le sol. L'effet net de ces phénomènes est observable par la présence de points d'inflexion sur la composante en phase. L'utilisation d'autres méthodes géophysiques est alors essentielle pour clarifier ces situations.

En résumé, on utilise la méthode TBF pour les situations où l'on recherche:

- des conducteurs métalliques;

- des structures poreuses et des zones de cisaillement;
- des eaux souterraines;
- des contrastes de résistivité;
- des conducteurs détectés par un levé E.M. aérien (INPUT).

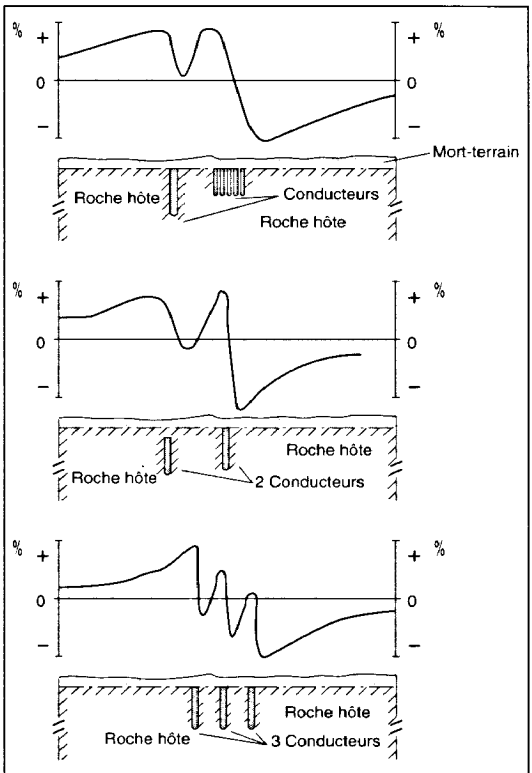


FIGURE 5.7 ***MODELES D'ANOMALIES TBF (COMPOSANTE EN PHASE) PRODUITES PAR DES CONDUCTEURS MULTIPLES.***

Méthode EMH

La méthode EMH (Electromagnétique à bobines horizontales) fait partie des méthodes électromagnétiques à compensation de phase; cette méthode possède une source (émetteur) mobile.

Les lectures EMH sont généralement présentées sous forme de profils, dessinés à une échelle convenable. Les caractéristiques d'un **profil EMH** sont les amplitudes des composantes en phase et en quadrature, la symétrie d'une

anomalie, le rapport d'amplitude entre les deux composantes, la distance entre les deux points d'inflexion et le changement d'amplitude de l'anomalie avec un changement de fréquence ou de séparation des bobines (figure 5.8). Il est en général préférable de faire un levé EMH en utilisant plusieurs fréquences (au moins deux, préférablement trois ou quatre) de façon à pouvoir différencier la nature de tous les corps conducteurs (métalliques versus électrolytiques).

Il est important de se rappeler que les paramètres d'un conducteur (la profondeur, le pendage, la conductivité et l'épaisseur) ont un effet sur la réponse EMH. De plus, lors de l'interprétation des profils, il faut s'assurer que le modèle utilisé est pertinent. Le modèle le plus courant est celui de la plaque mince.

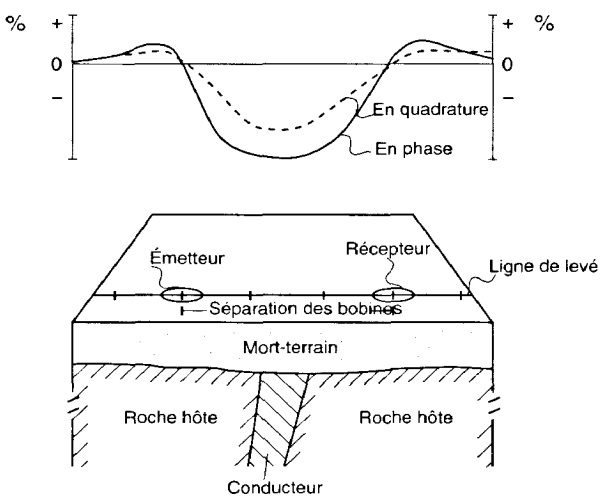


FIGURE 5.8 *MODELE D'ANOMALIE EMH TYPIQUE.*

D'autres facteurs sont à considérer lors de l'interprétation des profils EMH: le bruit topographique, la limite de détection en profondeur qui est égale à 0,6 fois la séparation des bobines et la présence de mort-terrain conducteur et de conducteurs multiples.

La méthode EMH est particulièrement bien adaptée pour la recherche des sulfures massifs et semi-massifs. Elle est aussi utilisée pour localiser des zones à résistivités variables: zones d'altération, contact du roc avec les sédiments, sources d'eau... La méthode EMH a contribué à de nombreuses découvertes de gisements de métaux usuels: par exemple, le gisement Estrades (Cu, Zn, Au, Ag). Cette méthode a aussi été déterminante pour la découverte du gisement aurifère de la mine Doyon (figure 5.9).

La bonne discrimination des objets géologiques, la localisation précise des différents types de conducteurs, la possibilité d'utiliser de nombreuses fréquences et séparations sont les principaux avantages de cette méthode. Par contre, la méthode EMH requiert des lignes coupées bien chaînées et des corrections pour le relief. Les coûts des levés EMH sont plus élevés que ceux de la méthode TBF.

5.5 MÉTHODES ÉLECTRIQUES

Les méthodes électriques sont basées essentiellement sur des mesures de résistivité et de polarisation dans le domaine du temps (chargeabilité) et dans le domaine des fréquences (phase ou effet de fréquence). La méthode de polarisation provoquée (PP), qui est la plus employée

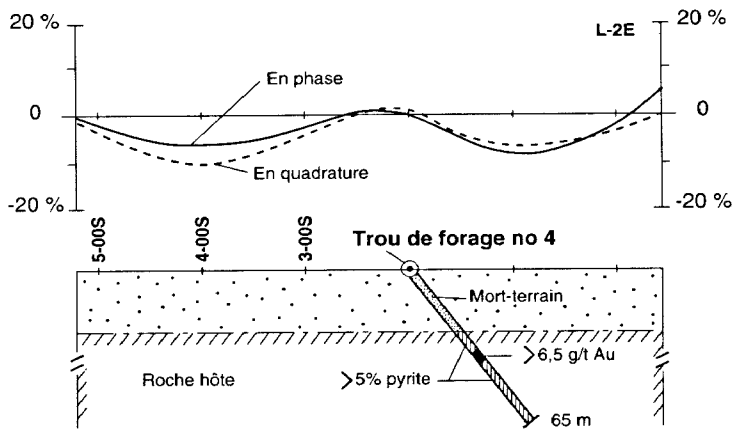


FIGURE 5.9 ***PROFIL EMH AU-DESSUS DE LA ZONE SUD DE LA MINE DOYON.***

parmi les méthodes électriques, utilise les deux types de mesures.

Les méthodes électriques permettent d'étudier le comportement d'un milieu soumis à un champ électrique produit par une différence de potentiel (voltage). Le champ électrique émis à travers certains matériaux (sulfures de Fe, Cu, Zn, Pb, graphite) subit des distorsions qui sont mesurées à partir de l'analyse de la distribution du potentiel et de ses variations dans le temps. Ces zones de distorsion peuvent conduire à la découverte de zones minéralisées:

- la zone 531 du gîte de Douay: or associé à la pyrite;
- la lentille 4 de l'ancienne mine Louvem: minerai de Zn, Ag, Au;

- la mine Bousquet: minerai d'or;
- la zone ouest de la mine Agnico-Eagle: minerai d'or.

Résistivité

La **résistivité** est la résistance qu'offre un matériau au passage d'un courant électrique. L'unité de mesure est le ohm-mètre. La résistivité est la réciproque de la conductivité: un matériau ayant une résistivité de 100 ohm-mètres a une conductivité de 0,01 mhos/m.

Il existe un appareil de résistivité peu coûteux, efficace et à la portée de tout prospecteur: le **multimètre**, utilisé en mode Ohm-mètre. Cet appareil permet de vérifier la continuité électrique et la présence d'anomalies de conductivité sur des zones minéralisées métalliques, à l'échelle d'un échantillon ou d'un affleurement.

La plupart des constituants de la croûte terrestre possèdent une grande résistivité et une faible conductivité. Les minéraux économiques ou associés qui possèdent une faible résistivité sont, entres autres, la pyrite, la pyrrhotite, la chalcopyrite, la bornite, le graphite, la chalcosite et l'arsénopyrite. A ces minéraux s'ajoutent les substances contenant une forte teneur en eau et riches en sels minéraux dissous. Contrairement aux zones riches en eau liquide, le sol et le roc glacés (pergélisol) sont très résistifs.

L'évaluation de la résistivité d'un milieu se fait en mesurant la différence de potentiel (voltage) entre deux points lorsque ce milieu est soumis à un champ électrique connu. Le voltage est proportionnel à la résistivité: plus le voltage est élevé, plus la résistivité du matériau étudié est

grande. Une **anomalie de résistivité** se manifeste par une réduction de voltage. Des facteurs comme la dimension de la zone minéralisée, le contenu en minéraux conducteurs, la profondeur d'enfouissement, ainsi que la disposition des électrodes servant à prendre les mesures, influencent l'envergure d'une anomalie.

Chargeabilité

La **chargeabilité** d'un matériau est directement liée à la présence de minéraux métalliques. Le principe de la chargeabilité est analogue à celui d'une batterie rechargeable où deux électrodes métalliques sont plongées dans un électrolyte. En injectant un voltage dans la terre avec un émetteur PP, la moindre présence de minéraux métalliques dans la roche crée le phénomène de chargeabilité; les faces de grains métalliques (pyrite, par exemple) se comportent comme des électrodes alors que l'eau interstitielle de la roche agit comme électrolyte. L'ensemble des grains métalliques, agissant comme une multitude de batteries miniatures, provoquent une accumulation appréciable de charges électriques. Lorsqu'on coupe le voltage en surface, la "batterie" commence immédiatement à se décharger dans le milieu environnant jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de charges accumulées. Le récepteur mesure la vitesse à laquelle la "batterie" se décharge. On recommence alors le cycle en appliquant à nouveau un voltage. Si des sulfures métalliques ou du graphite sont présents dans la roche étudiée, on devrait observer une augmentation de la chargeabilité.

Les résultats de levés PP et de résistivité se présentent sous forme de pseudo-sections contenant les mesures de polarisation et de résistivité en fonction de la profondeur

d'investigation (figure 5.10). Cette profondeur n'est pas nécessairement réelle.

En général, l'**interprétation** d'un levé PP se limite à reconnaître et à identifier les zones de comportement anormal en polarisation et en résistivité, à tracer les extensions latérales de ces zones et à évaluer leurs profondeurs. Lors

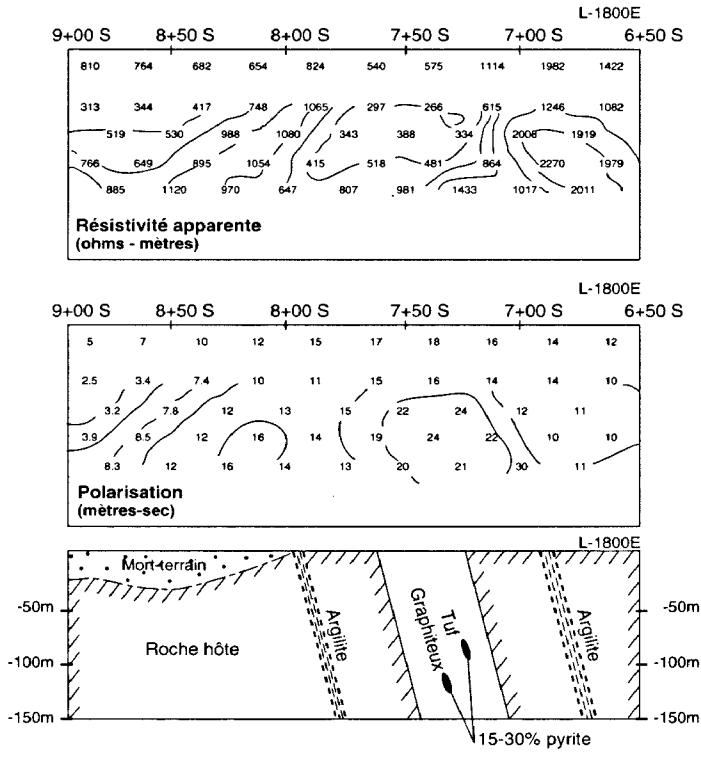


FIGURE 5.10 ***PSEUDO-SECTIONS DE RÉSISTIVITÉ ET DE POLARISATION CONTENANT UN TUF GRAPHITEUX PYRITISÉ.***

de l'interprétation, il faut s'assurer que les données sont fiables et exemptes de bruits naturels, artificiels et inhérents à l'appareil (problèmes de contact au sol, dérive de l'instrument). Il arrive parfois que les minéraux entourant les grains de sulfures massifs (>50% sulfures) soient tellement résistifs, tels que la silice et les carbonates, que la résistivité totale de la roche n'est pas réduite. Seule la PP permettra de détecter de telles zones minéralisées.

De nombreux corps conducteurs peuvent être détectés par la méthode PP: zones de graphite, sulfures massifs et semi-massifs et sulfures disséminés. Les levés PP sont utilisés surtout pour faire ressortir les zones de sulfures disséminés; ceux-ci sont difficilement captés par les méthodes électromagnétiques (TBF et EMH) à cause de leur faible conductivité. De plus, la PP est utilisée pour la recherche d'or associé à des enrichissements en pyrite et en arsénopyrite dans des zones structurales ayant subi de l'altération hydrothermale. L'avantage de la PP est sa capacité à détecter des sulfures non-conducteurs (par exemple: la sphalérite) et des sulfures en petites quantités. Cette méthode requiert souvent l'aide d'un géophysicien d'expérience pour l'interprétation.

5.6 MÉTHODE RADIOMÉTRIQUE

La décomposition radioactive de certains éléments produit des rayonnements gamma détectés par des appareils géophysiques. Les principaux éléments radioactifs (isotopes) sont l'uranium (U^{238} et U^{235}), le thorium (Th^{232}) et le potassium (K^{40}). Ces éléments sont normalement des constituants des minéralisations uranifères (pitchblende,

uraninite) et thorifères (thorite, thorianite, monazite, pyrochlore). Le gisement de niobium-tantale encaissé dans la carbonatite de St-Honoré, au Saguenay, a été découvert par la méthode radiométrique. Cette méthode est aussi utilisée pour la recherche de plutons de granite et de syénite.

Les premiers appareils de détection de radioactivité ont été les compteurs Geiger-Müller. Maintenant, ils sont rarement utilisés; ils sont remplacés par les scintillomètres et les spectromètres. Le **scintillomètre** est un détecteur de rayons gamma qui est généralement maniable à la main. Un cristal d'iodure de sodium produit des scintillations chaque fois qu'un rayon gamma le frappe. Ces scintillations sont amplifiées et comptées; le nombre de scintillations par seconde est affiché sur un compteur.

Le **spectromètre** est un scintillomètre qui permet non seulement de détecter les radiations gamma, mais aussi de différencier les sources des rayons gamma selon leur énergie: K: 1,46 MeV, U: 1,76 MeV et Th: 2,62 MeV.

Habituellement, on prend des mesures de radioactivité (c'est-à-dire l'intensité des rayons en chocs/seconde) à des points également espacés le long des lignes coupées. Il faut approcher le scintillomètre le plus près possible de la roche, car les rayons gamma sont rapidement atténués en circulant dans le sol, l'air et l'eau. La radioactivité peut être mesurée sur des affleurements, des blocs erratiques et des échantillons ou des morceaux de carotte. Les résultats peuvent être mis en contours ou en profils. L'interprétation se fait directement: une augmentation de la radiation gamma indique la présence de minéraux radioactifs.

La méthode radiométrique est efficace, peu coûteuse, et détecte directement la substance recherchée. Cependant, sa faible pénétration limite son utilisation à des secteurs où l'épaisseur du mort-terrain est faible.

5.7 GÉOPHYSIQUE AÉROPORTÉE ET GÉOPHYSIQUE EN FORAGE

La plupart des mesures géophysiques prises en surface peuvent aussi l'être en aéronef ou en forage. Les principes géophysiques de base sont généralement les mêmes dans les airs, au sol ou dans un trou de forage. Cependant, les techniques et appareils de mesures sont différents. Le but des levés aéroportés est de couvrir une grande région, afin d'identifier des zones d'intérêt qui permettront d'effectuer des levés de détail au sol. Les mesures aéroportées permettent d'interpréter rapidement les différents types lithologiques, même s'ils n'affleurent pas, d'identifier des structures (failles, plis...), des conducteurs et des domaines lithologiques et structuraux.

En forage, on utilise le plus souvent les méthodes électromagnétiques et électriques pour vérifier la présence d'une zone minéralisée conductrice située en profondeur, à proximité du trou; le rayon de détection est de 125 m. Cette méthode est aussi employée pour évaluer la dimension d'une zone minéralisée déjà identifiée. Les appareils les plus utilisés en forage sont des systèmes E.M. à grande puissance.

5.8 CONCLUSION

Les méthodes géophysiques sont choisies en fonction du type de gisement recherché. Par exemples, les méthodes électromagnétiques sont utilisées pour la recherche des sulfures massifs, les méthodes électriques pour les sulfures disséminés et la méthode radiométrique pour la localisation de gîtes d'uranium. Le tableau 5.1 résume les différentes applications des méthodes géophysiques. De plus en plus, les méthodes géophysiques sont utilisées pour détecter des zones minéralisées en profondeur. La géophysique est un complément à la prospection conventionnelle et à la prospection géochimique qui développent davantage l'exploration près de la surface.

L'accessibilité des micro-ordinateurs et leur capacité de traitement numérique facilitent grandement la correction, le traitement et la mise en plan des mesures géophysiques, contribuant ainsi à réduire substantiellement les coûts des levés et les erreurs de calcul.

BIBLIOGRAPHIE

BARICOM, A.O., Pratical Geophysics, North-West Mining Association, 1980, 303 p.

GRIFFITHS, D.H. et R.F. KING, Applied Geophysics for Engineers and Geologist, Oxford, Perganon Press, 1965, 223 p.

PARANIS, D.S., Principles of Applied Geophysics, New-York, John Wiley and sons, 1979, 273 p.

SÉQUIN, M.K., La géophysique et les propriétés physiques des roches, Québec, P.U.L., 1971, 562 p.

TELFORD, W.M. et al., Applied Geophysics, Cambridge University Press, 1976, 860 p.

MINNOVA

DE LA PROSPECTION DE SURFACE À L'EXPLORATION PROFONDE :

LES DÉCOUVERTES DES GISEMENTS OPÉMISKA ET ANSIL.

Depuis ses origines, qui remontent à 1928, Minnova* a eu le privilège de découvrir plusieurs gisements au Québec, en Ontario et en Colombie-Britannique. Chacune de ces découvertes a sa propre histoire fascinante dans laquelle la persévérance et le travail acharné ont joué un grand rôle. Les méthodes d'exploration ont évolué au fil de ces découvertes, alors que la plupart des gisements affleurants en surface ont vite été découverts par prospection conventionnelle; les connaissances géologiques ont ensuite permis la découverte de gisements profonds par des méthodes indirectes.

** Minnova, anciennement Falconbridge Copper, est amalgamée à Corporation Minière Metall depuis mai 1993*

Découverte d'Opémiska: l'aviation au service de la prospection.

La découverte du gisement Opémiska s'inscrit au coeur de deux événements fort importants dans l'histoire minière du Québec, soit la naissance du camp minier de Chapais-Chibougamau et aussi l'avènement de l'aviation de brousse au service de l'exploration minière.

La compagnie *Prospector Airways* était associée à la compagnie *Ventures Limited* dirigée par le célèbre Thayer Lindsley, fondateur de *Falconbridge Nickel Mines*. Dès sa création en 1928, la *Prospector Airways* fit l'acquisition d'avions de types Fairchild et Gipsy Moth afin de faciliter le déplacement de prospecteurs vers des régions jusque-là inaccessibles.

Suite à la découverte de nombreux indices de cuivre et d'or dans la région de Chibougamau autour des années 1900, Léo Springer se rendit à Chibougamau pour y travailler avec 2 prospecteurs de la *Prospector Airways*. Grâce à ses contacts avec des autochtones de Chibougamau, Léo Springer apprit qu'il y avait des indices de cuivre à l'ouest de Chibougamau, au sud du Lac Opémiska. Après quelques vols de reconnaissance, le trio de prospecteurs remarqua un affleurement de roche noire au sud du

Léo Springer sur le site de la découverte d'Opémiska en 1929.

Lac Opémiska, à un endroit qui pouvait correspondre à celui indiqué par les Indiens.

L'avion se posa au Lac Opémiska et ce n'est qu'après quelques jours de recherche qu'ils retrouvèrent au sol la colline repérée à partir des airs. Contrairement à la croyance populaire, c'est la couleur noire de la roche (contrastant avec celle du granite d'Opémiska) qui avait attiré leur attention, et non pas la minéralisation de cuivre qui en fait n'était pas visible de l'avion. Le pilote Llyod Rochester raconte que lui-même et Léo Springer, accompagnés des prospecteurs Robitaille et Perry, ont atteint la colline vers la fin de l'avant-midi du 19 août 1929. Le groupe s'est accordé une période de repos après le dîner, sauf Robitaille qui aurait déclaré à ses collègues qu'il voulait "trouver une mine avant de se reposer". Rochester rapporte que Robitaille serait revenu quelques minutes plus tard avec en main de superbes échantillons de chalcopyrite qui ne manquèrent pas de réveiller ses coéquipiers! Le célèbre gisement Opémiska était découvert, avec les veines 1 et 2 apparaissant directement en surface.

Des travaux additionnels de prospection et de forage ont été effectués entre 1929 et 1935, et un puits a été foncé en 1936 afin de confirmer l'extension de la minéralisation. Ce n'est cependant qu'en 1950 que la mise en valeur du gisement Opémiska a débuté, suite à la construction de la route St-Félicien-Chibougamau. Opémiska fut la première mine en production dans le camp Chapais-Chibougamau et, entre le début de la production en 1953 et sa fermeture en 1991, elle a produit environ 25 millions de tonnes de minerai contenant plus de 534 000 tonnes de cuivre et 800 000 onces d'or.

Léo Springer, à qui on crédite la découverte du gisement, a péri en 1936 dans l'écrasement d'un petit avion de brousse et n'a donc jamais pu connaître l'ampleur qu'a prise sa découverte. Quant à la compagnie *Opémiska Copper Mines*, elle donna naissance à Minnova lors d'une fusion en 1971.

Découverte d'Ansil: le modèle géologique remplace le marteau de géologue

La découverte d'Ansil, effectuée en 1981 à plus de 1,2 kilomètre de profondeur, demeure un record à plusieurs points de vue, dont la profondeur et la teneur exceptionnelle du gisement ainsi que la faible dimension de la cible visée.

La découverte d'Ansil a été faite à partir de méthodes modernes d'exploration.

Avant la découverte d'Ansil, la compagnie *Lake Dufault Mines* (elle aussi associée à *Ventures Ltd* et plus tard fusionnée pour former Minnova) avait déjà effectué pas moins de quatre découvertes profondes dans la partie centrale du camp minier de Noranda, là où d'autres compagnies avaient exploré sans succès. *Lake Dufault Mines* avait en effet découvert le gisement "Lower A" en 1938 (dont la majeure partie s'est avérée être sur les claims voisins!) à 300 m de profondeur, Norbec en 1961 à 275 m, Millenbach en 1968 à 550 m et finalement Corbet en 1974 à 900 m de profondeur.

Ces découvertes de gisements profonds et complètement cachés ont été faites strictement à partir de modèles géologiques qui se sont développés et raffinés au fur et à mesure que les gisements étaient trouvés, étudiés et exploités. Pour la découverte d'Ansil, les géologues de Minnova disposaient donc de modèles sophistiqués et d'une réputation qui n'avait d'égale que leur audace et leur détermination.

La découverte d'Ansil est attribuée à la prise en considération de trois éléments géologiques principaux.

Le premier est l'importance donnée à l'indice Decoeur-Garon. Une étude des dossiers antérieurs ainsi que l'examen direct de l'indice ont convaincu les géologues de Minnova que la minéralisation était le fruit des mêmes fluides et des mêmes processus que ceux à l'origine des gisements de sulfures massifs du camp central, soit Norbec, Millenbach et Corbet. Cette interprétation tenait compte, entre autres, de l'altération chloriteuse et de la signature géochimique des zones altérées à Decoeur-Garon, critères particulièrement révélateurs du type de minéralisation recherchée.

Le deuxième élément géologique d'importance a été la constatation que le gisement Corbet était situé dans l'unité volcanique la plus ancienne du camp central Noranda, alors que tous les autres gisements du secteur étaient situés dans une unité plus jeune (et connue sous le nom Horizon des Mines). Ceci indiquait que d'autres niveaux intermédiaires entre l'Horizon Corbet et l'Horizon des Mines avaient aussi du potentiel même si aucun gisement n'y avait été découvert.

Finalement, le dernier élément d'importance a été l'interprétation d'une structure géologique d'orientation nord-ouest reliant l'indice Decoeur-Garon au gisement Old Waite, et marquée par un alignement de zones altérées, d'indices minéralisés, de failles et de dykes. L'importance de telles structures nord-ouest avait été clairement démontrée lors d'études effectuées aux mines Millenbach et Corbet.

En s'appuyant sur les éléments décrits ci-dessus, il fut décidé d'acquérir la propriété d'*Ansil Mines Limited* dès 1974. Un programme de forages profonds fut alors entrepris avec l'objectif d'explorer tous les horizons potentiels dans le secteur de l'indice Decoeur-Garon. Un des premiers forages a recoupé un mince niveau très riche en cuivre au sommet de la rhyolite Nord-Ouest, un horizon jusqu'alors jugé non prometteur. Ce n'est cependant qu'en 1981, après 7 ans de travaux comprenant 42 trous de forage totalisant 26 000 m de carottes, que le gisement a été recoupé à plus de 1 200 m de profondeur, au sommet de la rhyolite Nord-Ouest.

Bien que relativement petit (soit environ 1,6 million de tonnes), le gisement Ansil était exceptionnel quant à sa teneur en cuivre (7.2% Cu). Ansil a été exploité de 1989 à 1993, alors qu'il constituait plus de 25% de la production de cuivre du Québec. Cette découverte spectaculaire a contribué grandement à la renommée des géologues de Minnova et demeure une preuve fort éloquente qu'il est possible de découvrir des gisements cachés à grande profondeur, en utilisant des concepts géologiques simples mais solides.

PROSPECTION GÉOCHIMIQUE

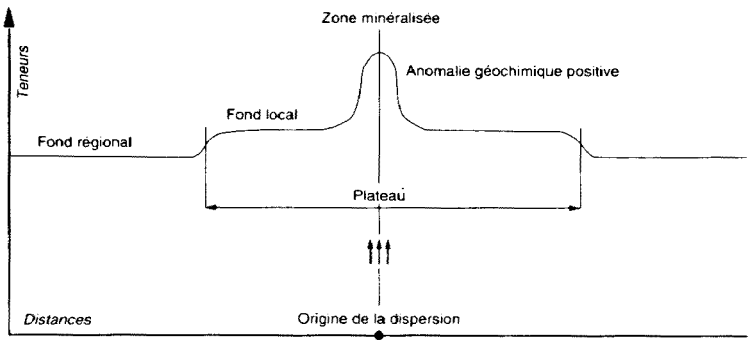
6.1 INTRODUCTION

La **géochimie** est l'étude de l'abondance, de la distribution et de la migration des éléments chimiques dans le roc, le sol, les sédiments et l'eau. La prospection géochimique est une méthode indirecte, utilisée pour mettre à jour un corps minéralisé.

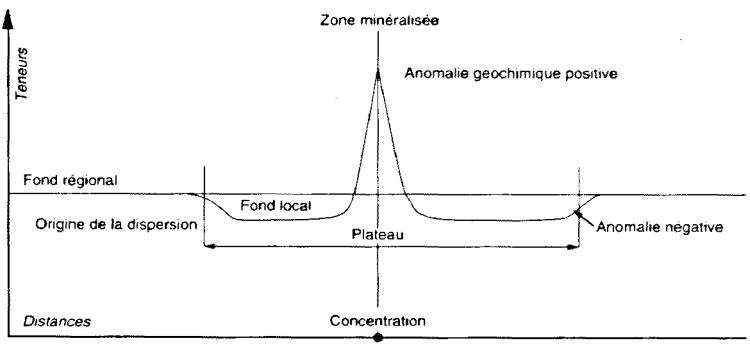
6.2 NOTIONS GÉNÉRALES

En périphérie des zones minéralisées, les roches fraîches subissent des modifications chimiques pour ainsi former des bordures de roches altérées appelées **halos d'altération**. Une **anomalie géochimique** est engendrée par la différence de composition entre les roches fraîches et altérées. Les anomalies ne peuvent être différenciées que si le fond de teneur régional ou local est bien connu et le milieu de différenciation suffisamment homogène. Il y a donc autant de fonds géochimiques et d'anomalies qu'il y a de milieux. Les résultats obtenus dans une roche pour un élément seront donc différents de ceux obtenus pour le même élément dans l'eau, les végétaux ou la roche altérée.

La dispersion d'éléments crée deux types d'anomalies: l'une négative, l'autre positive (figure 6.1). Une **anomalie négative** survient lorsque les teneurs du fond local sont plus faibles que celles du fond régional; ce type d'anomalie peut être le résultat d'un lessivage. Dans une **anomalie positive**, les teneurs du fond local sont plus élevées que celles du fond régional.



Anomalie géochimique de surimposition.



Anomalie géochimique de répartition.

FIGURE 6.1 ***REPRÉSENTATION D'UNE ANOMALIE POSITIVE ET D'UNE ANOMALIE NÉGATIVE (D'APRES GRANIER, 1973).***

Les gisements bordés par un halo d'altération peuvent contenir de faibles quantités (traces) de quelques éléments ou de tous les éléments faisant partie du gisement lui-même; ceux-ci sont appelés **éléments indicateurs** ("pathfinders"). La figure 6.2 montre l'étendue du halo d'enrichissement en or du gisement aurifère de l'ancienne mine Yvan Vézina.

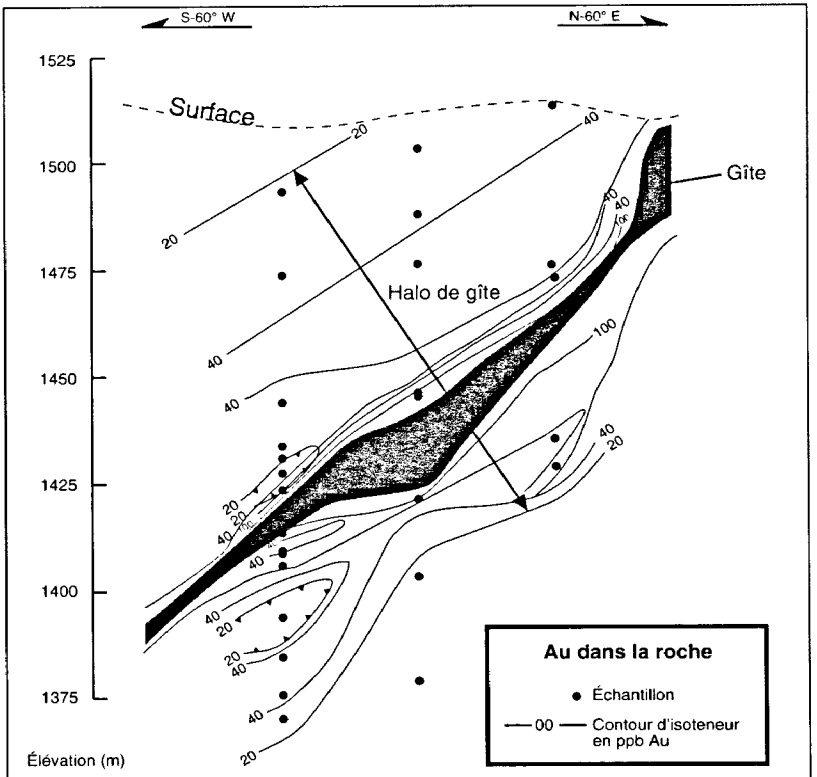


FIGURE 6.2
HALO DE GITE EN AU (ppb) DE L'ANCIENNE MINE YVAN VÉZINA, RÉGION DE DESTOR, QUÉBEC, SELON UNE SECTION TRANSVERSALE VERTICALE (SECTION 165 N) (D'APRES PERRAULT, 1985).

Les halos d'altération se développent dans les gisements syngénétiques, formés en même temps que la roche encaissante, aussi bien que dans les gisements épigénétiques, introduits de façon tardive dans l'encaissant. Ces halos sont appelés primaires car ils se sont formés en même temps que le dépôt et se trouvent dans le même environnement. Les **halos primaires** peuvent entourer le gisement ou se trouver le long d'une strate, d'une fracture, d'une faille ou de toute autre structure favorable à la migration des fluides transporteurs. Les **halos secondaires**, pour leur part, sont causés par la dispersion d'un ou de plusieurs éléments par l'action de l'altération de surface (weathering) comme les procédés de formation des sols, la circulation des eaux souterraines, les glaciers, etc.

6.3 MÉTHODES DE PROSPECTION GÉOCHIMIQUE

La nature des matériaux disponibles et le lieu d'échantillonnage déterminent en partie les différentes méthodes de prospection géochimique (figure 6.3). Les principales méthodes accessibles aux prospecteurs sont les suivantes:

géochimie des roches;

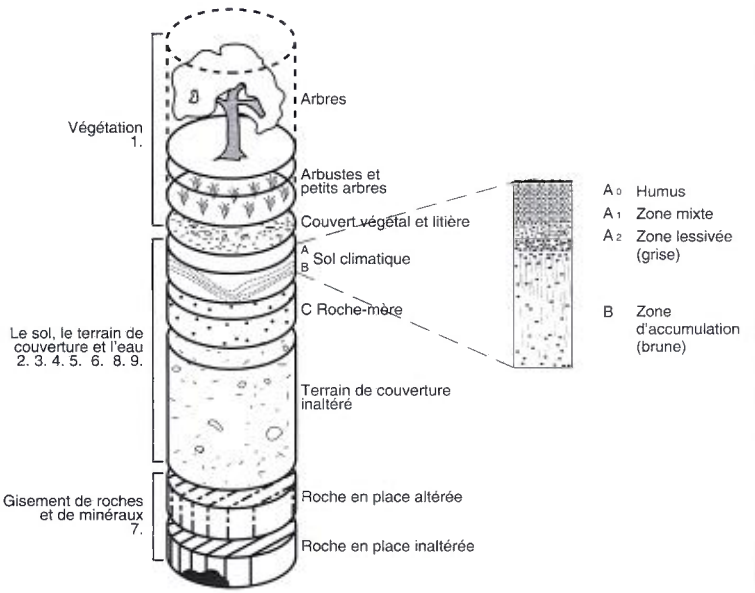
géochimie des tills glaciaires;

géochimie des sols;

géochimie des sédiments de ruisseaux;

géochimie des minéraux lourds.

Les milieux où sont applicables ces méthodes diffèrent d'une région à l'autre dépendamment des conditions de recouvrement des dépôts meubles en surface, de leur mode de formation et de leur épaisseur.



MÉTHODES DE PROSPECTION GÉOCHIMIQUE

1. Géochimie des plantes
2. Géochimie des sols
3. Géochimie des tourbières
4. Géochimie de l'eau
5. Géochimie des alluvions
6. Géochimie des terrains de couverture
7. Géochimie des roches
8. Étude des indicateurs de minéraux - dans tous les milieux
9. Repérage des boulders etc.

FIGURE 6.3
DESSIN SCHÉMATIQUE MONTRANT LES DIFFÉRENTS MILIEUX ÉTUDIÉS PAR LES MÉTHODES DE PROSPECTION GÉOCHIMIQUE (D'APRES LEVINSON, 1980 ET SAHEURS, 1990).

TABLEAU 6.1
TENEUR MOYENNE DES ÉLÉMENTS MAJEURS. LES TENEURS SONT EXPRIMÉES EN %.

Éléments majeurs (oxydes)	Roches ultrabasiques (dunite, péridotite, pyroxénite)	Roches basiques (basalte, gabbro, norite, diabase...)	Roches intermédiaires (andésite, diorite)	Roches acides (rhyolite, granite...)	Roches sédimentaires (argile et shale)
SiO_2	38,0 - 46,0	49,2 - 50,4	57,5 - 57,9	71,3 - 72,8	55,0 - 60,0
TiO_2	0,1 - 1,5	1,0 - 1,8	0,9 - 1,0	0,3	0,5 - 0,8
Al_2O_3	1,8 - 7,2	15,3 - 16,3	16,7 - 17,0	13,3 - 14,3	13,8 - 17,3
Fe_2O_3	3,6 - 4,3	2,2 - 3,8	2,5 - 3,3	1,2 - 1,5	3,0 - 4,0
FeO	6,6 - 9,4	7,1 - 8,1	4,0 - 4,9	1,1 - 1,6	1,7 - 4,4
MnO	0,2 - 0,7	0,1 - 0,2	0,1	0,05	Tr - 0,1
MgO	16,0 - 38,0	6,7 - 8,7	3,3 - 3,7	0,4 - 0,7	2,3 - 2,7
CaO	1,0 - 14,0	9,2 - 9,6	6,6 - 6,8	1,1 - 1,8	1,3 - 6,0
Na_2O	0,2 - 0,9	2,2 - 2,9	3,5 - 3,6	3,5 - 3,7	1,0 - 1,8
K_2O	0,1 - 0,6	0,7 - 1,1	1,6 - 1,8	4,1 - 4,3	2,7 - 3,7
H_2O+	1,0 - 4,6	0,7 - 1,5	0,8 - 1,2	0,6 - 1,1	3,9 - 5,0
H_2O-	0,1 - 0,3	0,1 - 0,4	0,2 - 0,3	0,1 - 0,3	——
P_2O_5	0,1 - 0,4	0,1 - 0,3	0,2 - 0,3	0,1	0,1 - 0,2
CO_2	0,1 - 0,4	0,1 - 0,2	0,05 - 0,1	0,05 - 0,1	0,7 - 1,2

Tiré et adapté de Cox, Bell et Pan Khurst (1979) pour les roches ignées, et de Blatt, Middleton et Murray (1972) pour les roches sédimentaires.

TABLEAU 6.2
TENEUR DE FOND DE CERTAINS ÉLÉMENTS MINEURS ET EN TRACES. LES TENEURS SONT EXPRIMÉES EN ppm.

Éléments	Roches ultrabasiques (dunite, péridotite, pyroxénite)	Roches basiques (basalte, gabbro, norite, diabase...)	Roches intermédiaires (andésite, diorite)	Roches acides (rhyolite, granite...)	Roches sédimentaires (argile et argile schisteuse)
S	3 000	2 000	1 000	400	3 000
Ti	3 000	9 000	8 000	2 300	4 500
Co	200	45	20	5	23
Ni	1 200	160	55	8	95
Cu	80	140	35	30	57
Zn	50	130	72	60	80
As	2,8	2	2,4	1,5	6,6
Mo	0,4	1,4	0,9	1,9	2
Ag	0,3	0,3	—	0,15	0,9
Sb	0,1	0,15	0,20	0,40	1

Tiré et modifié de Granier (1973)

6.3.1 Géochimie des roches (Lithogéochimie).

Les éléments majeurs et certains éléments mineurs et en traces des roches fraîches servent à identifier la nature des roches d'une formation géologique (tableaux 6.1 et 6.2). Les roches ignées se divisent en quatre catégories selon leur contenu en silice: ultrabasique (moins de 46% de SiO_2), basique (entre 46% et 52%), intermédiaire (entre 52% et 65%) et acide (plus de 65%). Il est à noter que le SiO_2 est un élément majeur de tous les silicates (feldspaths, pyroxènes, amphiboles...) et non pas seulement du quartz. D'autre part, la variation en éléments majeurs d'une roche peut être indicatrice de la présence d'une zone minéralisée à proximité. La figure 6.4 montre un exemple de variation importante en Na_2O associée au gisement de sulfures massifs (Zn, Cu) d'Isle-Dieu, mis en place dans un tuf au contact d'un basalte et d'une rhyolite. Ces variations chimiques reflètent des changements minéralogiques identifiables sur le terrain ou dans des carottes de forage.

Finalement, des quantités infimes des substances recherchées, de même que certains éléments-traces indicateurs, présentent parfois une dispersion importante en bordure des zones minéralisées. Dans plusieurs gîtes aurifères, comme ceux de Bousquet, Hollinger et Kerr-Addison, l'or est fréquemment associé aux éléments-traces As, Sb et W. La dispersion de l'or dans les roches encaissantes du gisement Yvan Vézina démontre bien la dispersion du minéral recherché (figure 6.2).

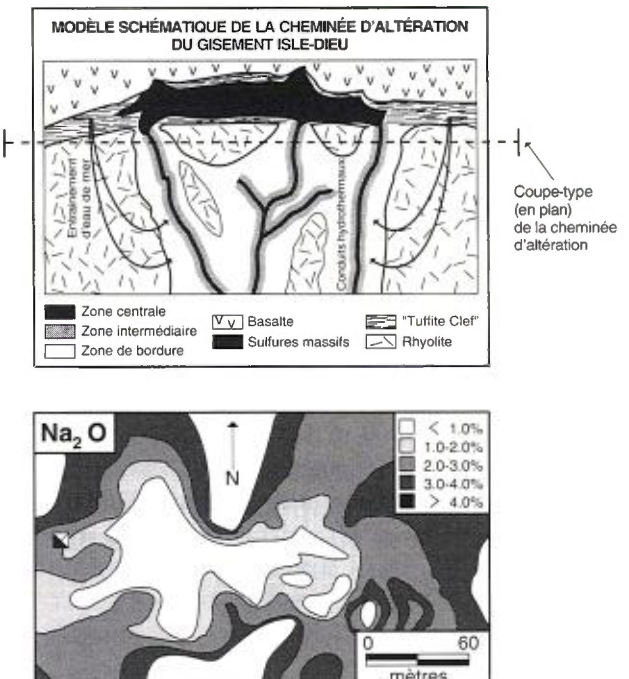


FIGURE 6.4 ***VARIATIONS GÉOCHIMIQUES DU NA_2O DES ZONES D'ALTÉRATION DU GISEMENT DE SULFURES MASSIFS ISLE-DIEU DE MATAGAMI, QUÉBEC (D'APRES TANGUAY ET AUTRES, 1990).***

La géochimie des roches est pratiquée partout où la roche est accessible: en affleurement de surface, dans les galeries souterraines et sur les carottes de forage. Cette méthode contribue largement à l'exploration de certains districts miniers comme ceux de Rouyn-Noranda, Val-d'Or et Matagami. Les résultats de géochimie des roches ont été significatifs pour la découverte des gisements d'Ansil, Louvicourt, Orchan Ouest et Bell Allard Sud.

Maille d'échantillonnage

L'échantillonnage lithogéochimique peut être réalisé à l'échelle d'une région, d'une propriété ou d'une zone minéralisée. Le nombre d'échantillons varie grandement en fonction des lithologies rencontrées et de leur altération visuelle.

Par exemple, lors d'un **levé régional** où les cheminements en forêt se font à tous les 0,5 ou 1 km, le prélèvement s'effectue à tous les 200 ou 300 m. Par contre, un **levé détaillé de surface** dans un secteur d'intérêt a une maille d'échantillonnage plus serrée, telle que 200 m x 50 m ou 100 m x 25 m. Cette maille est respectée dans la mesure où des affleurements sont présents. L'échantillonnage de trous de forage est généralement considéré comme un levé détaillé, car il permet de prélever des morceaux de roches à une profondeur ou à des intervalles précis et rapprochés (≤ 30 m).

Techniques d'échantillonnage

Plusieurs règles doivent être respectées pour produire un échantillonnage de bonne qualité. L'échantillonnage doit tenir compte des règles ou des facteurs suivants:

- être représentatif d'une seule entité, soit une couche de roches, une zone minéralisée ou une zone d'altération;

- dans le cas de la roche fraîche, l'échantillon doit être exempt de veines, de minéraux d'altération ou de minéralisation; la surface d'altération (la patine) doit être enlevée;

- dans le cas d'une zone d'altération, l'échantillon doit être représentatif de l'ensemble de la zone altérée; la méthode d'échantillonnage d'une zone minéralisée est décrite au chapitre 4;

- l'échantillon de surface doit être constitué de 3 à 5 morceaux de roches provenant de sites différents et il doit peser de 1 à 2 kg;

- l'échantillon provenant d'un forage doit être constitué de petits morceaux de carotte (5 cm) prélevés sur la longueur de l'intervalle analysé. L'échantillon peut aussi être formé par la demie ou le quart de la carotte prélevée, sur la longueur désirée.

Sur le terrain ou en forage, les fragments de roches doivent être mis dans un sac de plastique avec le coupon témoin du carnet d'échantillonnage.

6.3.2 Géochimie des tills glaciaires.

Lors des périodes glaciaires, les glaciers charrient des matériaux tels que l'argile, le sable et des fragments de roches, anguleux ou arrondis, qu'ils déposent sous forme de tills en nappes irrégulières et en crêtes appelées moraines. Les nombreuses

gravières ou sablières exploitées pour les travaux de construction sont des débris glaciaires.

En prospection minière, l'échantillonnage et l'analyse du till permettent de retracer la source des fragments minéralisés. L'échantillonnage du till s'appuie sur le principe suivant: le sommet des gisements affleurant sous la surface des dépôts glaciaires a été érodé par l'action des glaciers, et des fragments de roche arrachés du socle rocheux se sont dispersés dans le till. Cette dispersion est de dimension beaucoup plus importante que la taille même des gîtes; pour cette raison, il est parfois difficile de retracer l'origine des blocs (figure 6.5).

La méthode de prospection du till glaciaire est applicable dans les régions qui possèdent un épais recouvrement glaciaire, particulièrement dans le till situé à l'interface de la roche de fond, près de la source des fragments du socle rocheux. L'échantillonnage du till a contribué aux découvertes des gîtes de Casa-Bérardi et de Vezza, dans les secteurs de Casa-Bérardi et de Matagami en Abitibi.

Maille d'échantillonnage

Selon l'objectif visé, trois types de levés peuvent être effectués:

- le levé de reconnaissance: densité d'échantillonnage au km^2;

- le levé de vérification: maille d'échantillonnage de 400 à 600 m^2;

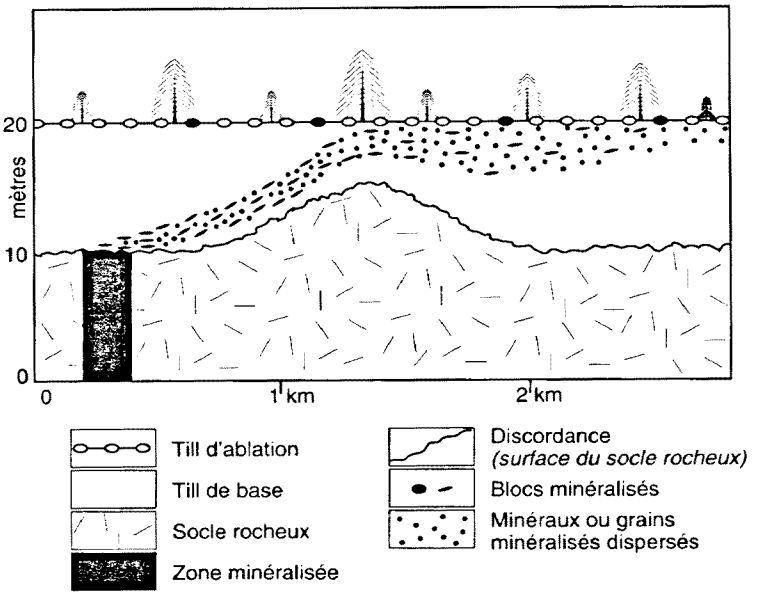


FIGURE 6.5 ***DESSIN SCHÉMATIQUE MONTRANT UNE TRAINÉE DE DISPERSION DE DÉBRIS MINÉRALISÉS DANS LE TILL GLACIAIRE (D'APRES AVERRILL, 1978).***

- le levé de détail (secteur anomalique): maille de 200 à 600 m^2.

Techniques d'échantillonnage

Quatre techniques sont utilisées pour prélever un échantillon de till:

- la prospection en surface par l'échantillonnage des blocs erratiques;

- le creusage à la pelle ou à la rétroexcavatrice lorsque le recouvrement est de faible épaisseur (moins de 4 m);

- l'utilisation d'une foreuse à percussion (Pion-Jar) pour prélever le till au-dessus du socle rocheux grâce à un échantillonneur de type cuillère fendue;

- la foreuse à circulation inversée: cet équipement utilise la pression de l'eau et de l'air injectés dans des tiges à double paroi pour faire remonter les fines particules et les fragments de roches broyées vers la surface, où ils sont récupérés.

Le forage à circulation inversée et le creusage manuel permettent un échantillonnage continu sur toute l'épaisseur du till. Chaque échantillon représente idéalement 1,5 m d'épaisseur verticale. Les échantillons doivent être ensachés, identifiés et localisés sur le terrain.

6.3.3 Géochimie des sols

Les sols sont formés à partir de la désagrégation des roches et des accumulations des substances organiques déposées ou vivant à la surface; leur composition peut être représentative de celle des roches sous-jacentes ou environnantes. Au Québec, la majorité des sols résiduels appartiennent à la catégorie des podzols (zones tempérées froides). Le profil de la figure 6.3 est celui qui représente le

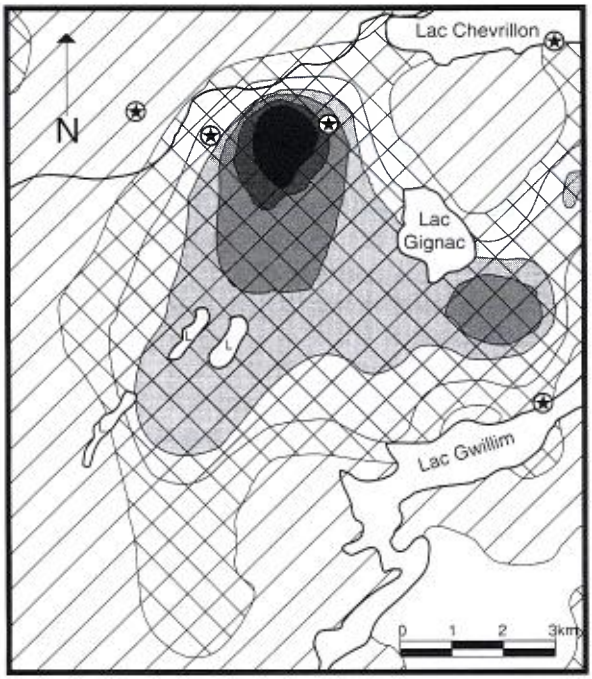
mieux le type de sol pouvant être rencontré sur nos territoires d'exploration. Les terrains de relief modéré à moyennement accidenté, à couverture végétale assez forte, sont les plus favorables à l'application de cette méthode géochimique; ces terrains sont situés dans la région géologique des Appalaches, la province géologique du Grenville et, localement, dans les régions du Témiscamingue et de l'Abitibi. Un exemple d'anomalie d'or, dans les sols du Lac Gwillim, est illustré à la figure 6.6.

Maille d'échantillonnage

La densité d'échantillonnage des **travaux de reconnaissance** est d'environ un échantillon par km^2. En **géochimie de détail**, la dimension de l'indice ou du gîte fixe la maille d'échantillonnage (exemples: 50 m x 200 m ou 25 m x 100 m). L'échantillonnage est généralement effectué sur un réseau de lignes coupées et, à l'occasion, sur des lignes de claims.

Techniques d'échantillonnage

Avant même d'effectuer un échantillonnage des sols, il est important de bien reconnaître l'horizon concerné par le levé géochimique. Dans le cadre des projets d'exploration au Québec, l'échantillonnage de sols s'effectue principalement sur le matériel des horizons A_0 et B_0. Quel que soit l'horizon échantillonné lors du levé, il est important d'être constant dans la sélection du matériel prélevé. Dans les secteurs où le matériel recherché est absent (horizon manquant dans le profil), aucun échantillon ne devra



⊛ Indices aurifères de type filonien

FIGURE 6.6
LEVÉ DE GÉOCHIMIE DES SOLS DU MERQ DANS LE SECTEUR DU LAC GWILLIM, RÉGION DE CHIBOUGAMAU, QUÉBEC. LES TENEURS EN AU (ppb) SONT PRÉSENTÉES SOUS FORME D'ISOCONTOURS (D'APRES BEAUMIER ET LEDUC, 1989 (MB 89-48 DU MERQ)).

être prélevé. En effet, pour un même site d'échantillonnage, les teneurs de certains éléments peuvent largement varier d'un horizon à l'autre. L'interprétation des résultats d'analyses pourrait donc être faussée par une variation dans la sélection de l'horizon.

Les méthodes d'échantillonnage varient selon la nature du mort-terrain et la profondeur de l'horizon recherché. L'**horizon A** (humus), généralement situé près de la surface, peut être atteint au moyen d'un marteau de prospecteur ou avec une petite pelle ("fox hole"). L'**horizon B** peut être dégagé de la même façon que l'horizon A. Une tarière est utilisée sur certains secteurs où l'horizon B se situe à plus de 20 cm de profondeur. Afin d'éviter toute contamination, l'échantillon est prélevé au moyen d'un sac de plastique couvrant la main. Les sédiments échantillonnés sont par la suite placés dans un sac de papier portant le numéro de l'échantillon. Il est à noter que les analyses sont effectuées sur les particules silteuses (-80 mailles).

6.3.4 Géochimie des sédiments de ruisseaux

Les eaux de ruissellement entraînent avec elles toutes sortes de particules fines provenant de la désagrégation des roches ou du lessivage des sols et du mort-terrain. Ces particules se déposent dans le lit des ruisseaux, des rivières ou au fond des lacs; leur composition chimique représente donc la composition de leur lieu d'origine.

Maille d'échantillonnage

Les **levés de reconnaissance** sont effectués pour de grands secteurs jugés favorables à la minéralisation. Ils ont généralement une densité d'échantillonnage de 2 échantillons par km^2. Par contre, les **levés de**

vérification d'anomalies et d'indices ont plutôt une densité d'échantillonnage de 4 à 40 échantillons par km^2. Un levé de reconnaissance de sédiments de ruisseaux, effectué dans les Appalaches au sud de la mine Weedon, a conduit à la découverte du gisement de cuivre-zinc de Lingwick. Dans la même région, dans le secteur de Coleraine, des gîtes de chrome et de platine ont laissé leurs traces dans les ruisseaux conduisant au lac du Caribou (figure 6.7).

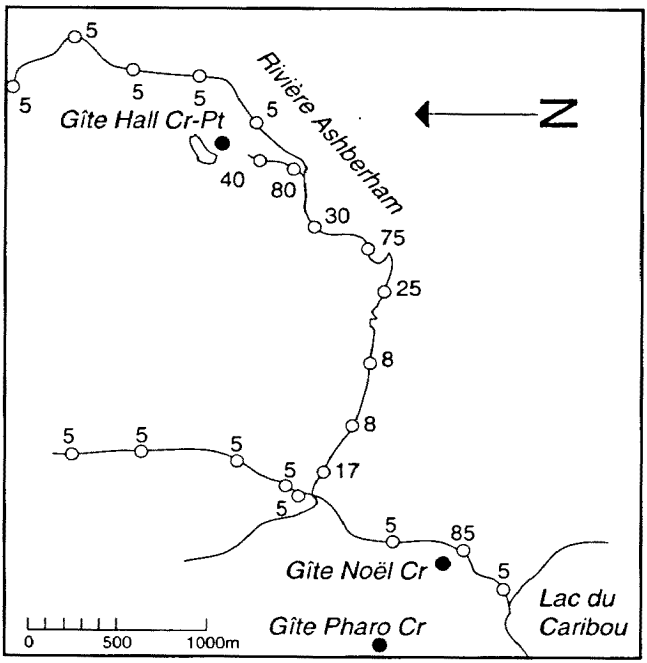


FIGURE 6.7
EXEMPLE DE LEVÉ DE SÉDIMENTS DE RUISSEAUX DANS LA RÉGION DE COLERAINE, QUÉBEC. LOCALISATION DES SITES ANORMAUX EN PT (≥ 5 ppb) (D'APRES BEAUMIER ET CHOINIERE, 1989).

Techniques d'échantillonnage

L'échantillon de sédiments doit, dans la mesure du possible, être prélevé dans le milieu du cours d'eau afin d'être représentatif de l'ensemble du drainage; il doit être constitué en majorité de particules silteuses (entre 1/16 mm et 1/256 mm).

Des échantillons doivent être prélevés dans tous les tributaires du ruisseau échantillonné. Le premier échantillon est pris à une dizaine de mètres en amont de l'intersection des 2 ruisseaux tandis que les autres sont prélevés selon la maille préétablie. Le site d'échantillonnage est marqué sur le terrain par un ruban portant le numéro de l'échantillon. Le **positionnement des échantillons** est fait de façon la plus précise possible sur une photo aérienne ou une carte topographique aux échelles choisies. Les **notes de terrain** contiennent des informations sur les caractéristiques du cours d'eau (direction de l'écoulement, vitesse du courant, largeur) et de l'échantillon (granulométrie, couleur). Il est également essentiel de noter la présence de **sources de contamination** situées à proximité du site d'échantillonnage (déchets miniers, rebuts métalliques, dépotoir).

Les sédiments de ruisseaux doivent être partiellement séchés avant la mise en boîte. Les boîtes servant à l'expédition doivent être clairement identifiées avec le nom du projet et les numéros de la série contenue dans chaque boîte. De plus, la boîte doit contenir une note indiquant les éléments à analyser.

6.3.5 Géochimie des minéraux lourds

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

Échantillonnage

La géochimie des minéraux lourds s'applique à des **levés de reconnaissance régionale** et à des **travaux de vérification** plus détaillés impliquant des densités d'échantillonnage comparables à celles des levés de sédiments de ruisseaux.

Contrairement à la géochimie de sédiments de ruisseaux, le choix du site d'échantillonnage de minéraux lourds doit faire l'objet d'une attention particulière. L'échantillonnage s'effectue dans les portions de ruisseaux où les conditions géomor-

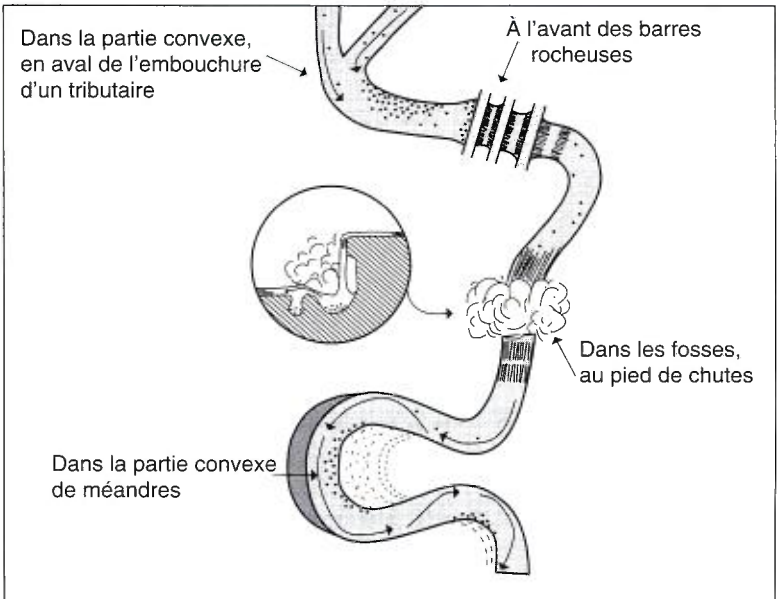


FIGURE 6.8
SITES D'ÉCHANTILLONNAGE POUR LES MINÉRAUX LOURDS.

phologiques forment des sièges naturels de concentration de minéraux lourds comme les grains de sulfures ou d'or (figure 6.8).

Plusieurs **techniques d'échantillonnage** peuvent s'appliquer lors de levés géochimiques de minéraux lourds. Les méthodes les plus utilisées sont le pan californien, la batée sud-américaine et les concentrateurs mécaniques (dont le séparateur à spirales et la drague à sluice). Une fois le concentré récupéré, il

doit être manipulé avec le même soin que les sédiments de ruisseaux, avant d'être expédié au laboratoire.

6.4 TECHNIQUES ANALYTIQUES

Le choix d'une technique pour déterminer la concentration d'un ou de plusieurs éléments (métaux, éléments majeurs...) s'effectue selon certains critères: limite de détection, fiabilité, précision, rapidité et coût. Il existe deux techniques principales d'analyse: géochimique et par essais (tableau 6.3).

Généralement, les **analyses géochimiques** présentent une limite de détection très basse, soit de l'ordre du ppb pour les métaux précieux ou du ppm pour les métaux usuels; ces types d'analyses sont utilisés pour la recherche de teneurs anomaliques, que ce soit dans les sols, les sédiments ou les roches. Les **analyses par essais** accordent une limite de détection plus élevée, soit de l'ordre d'une fraction de gramme (métaux précieux) ou du pourcentage (métaux usuels, éléments majeurs); ces analyses sont utilisées pour connaître avec précision les concentrations d'ordre économique ou les constituants majeurs d'une roche. Le CRM et les laboratoires privés offrent des services d'analyses.

Dans le choix d'une technique analytique, le prospecteur doit considérer le niveau de détection, le délai et le coût. Les analyses géochimiques se

TABLEAU 6.3
TECHNIQUES ANALYTIQUES UTILISÉES EN EXPLORATION MINIERE.

Techniques analytiques	Éléments analysés	Limite de détection	Avantages/coûts 1993
Pyroanalyse (Analyse par essais)	Métaux précieux (Au, Ag)	0,1 g	Rapide, pour teneurs économiques/10-13$ (l'ensemble)
Spectrométrie d'absorption atomique (SAA)	Métaux précieux (Au, Ag, Pt, Pd)	1-5 ppb	Rapide et économique/environ 15$ (l'ensemble)
	Métaux usuels (Cu, Pb, Zn, Ag, Co, Ni,...)	0,1-2 ppm	Rapide et économique/1$-1,50$ par élément
Activation neutronique	Métaux précieux (Au, Ag) Métaux usuels Terres rares (Eu, La, Sc,...)	2-5 ppb 2-100 ppm 0,2-2 ppm	Précise, avec faible limite de détection/12-20 (l'ensemble)
Spectrométrie d'émission atomique au plasma - I.C.P.	Éléments majeurs (SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3,...)	0,01%	Précise mais plus lente/15-25
	Éléments traces incluant les métaux usuels	0,5-25 ppm	Précise mais plus lente/1,25$-7,00$ par élément
Fluorescence X	Éléments majeurs (SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3,...)	0,01%	Précise mais plus lente/15-25
	Certains éléments traces (Rb, Zr, Y, Nb, Ba, La,...)	1-50 ppm	Précise mais plus lente/5-7 par élément

distinguent par leur faible coût, leur rapidité et la possibilité de déterminer un groupe d'éléments en simultané. Les analyses par essais sont plus coûteuses, mais par contre plus précises pour les teneurs élevées. Plusieurs techniques analytiques peuvent être utilisées pour un même élément.

6.5 REPRÉSENTATION DES DONNÉES

Lors des levés géochimiques, de nombreuses données sont obtenues; il existe plusieurs façons de les représenter:

Histogramme de fréquence:

c'est un diagramme qui permet de placer le nombre d'échantillons en ordonnée et la teneur en abscisse. Ce diagramme montre l'abondance des différentes classes de teneur qui peuvent être exprimées en valeur absolue, en pourcentage, en ppm ou en ppb (figure 6.9).

Carte d'isoteneurs ou d'isocontours:

cette carte permet de visualiser rapidement la localisation, l'importance et la dimension des anomalies; elle peut être produite en couleur, à l'ordinateur ou à la main. Les données des figures 6.2, 6.4 et 6.6 sont représentées sous forme d'isocontours.

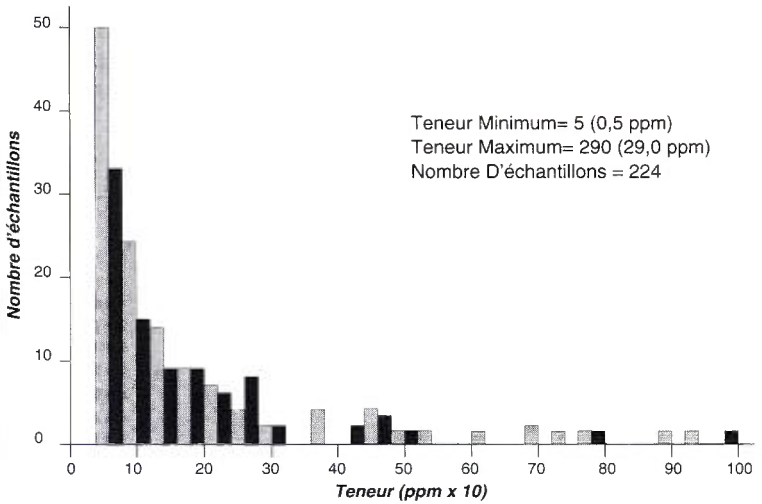


FIGURE 6.9 ***HISTOGRAMME DE LA DISTRIBUTION EN AS. LEVÉ DE GÉOCHIMIE DE SOLS DE LA RÉGION DE MONTAUBAN, QUÉBEC (D'APRES BEAUMIER, 1983 (DP-83-22 DU MERQ)).***

Cartes mono-élément ou multi-éléments:

ces cartes contiennent les résultats d'analyses d'un seul ou de plusieurs éléments. La figure 6.10 montre la distribution du Pt et du Ni sous la forme de cartes mono-élément. Les cartes multi-éléments sont pratiques: elles réunissent plusieurs éléments associés sur un même plan et donnent un aperçu rapide des halos importants.

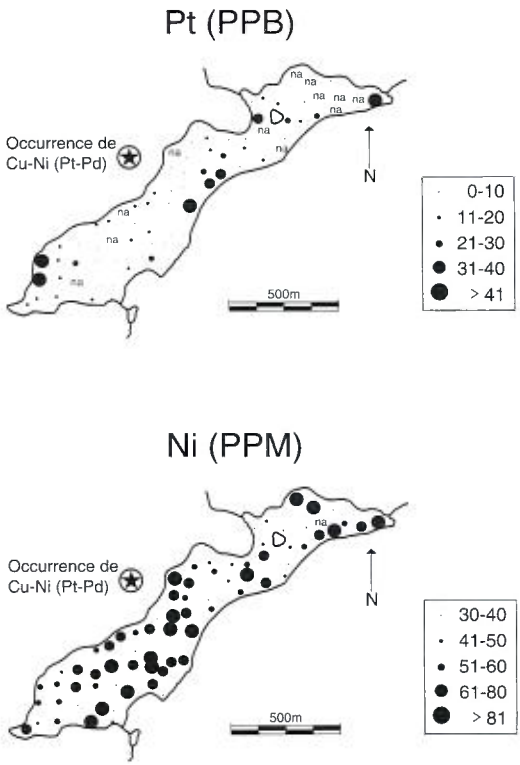


FIGURE 6.10
CARTE MONO-ÉLÉMENT ILLUSTRANT LA DISTRIBUTION DU PT ET DU NI DANS LES SÉDIMENTS DE FOND DE LAC DU LAC SHEEN, RÉGION DU TÉMISCAMINGUE, QUÉBEC (D'APRES COOK ET AUTRES, 1992).

Plans et sections:

les plans et les sections sont utilisés pour représenter les teneurs le long de trous de forage (figure 6.11). Ces plans peuvent être produits à l'ordinateur.

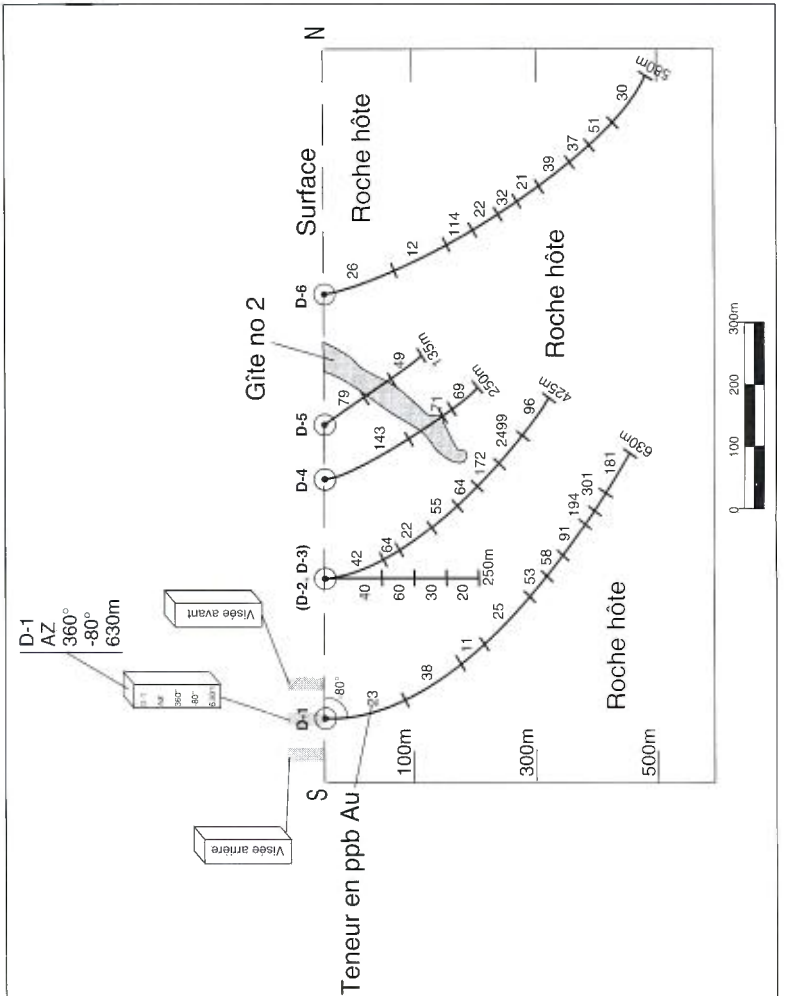


FIGURE 6.11 ***REPRÉSENTATION DES TENEURS LE LONG DE TROUS DE FORAGE. CAS-TYPE DE LA MINE DOYON, CADILLAC, QUÉBEC (D'APRES PERRAULT, 1985 (DV-85-11 DU MERQ)).***

6.6 CONCLUSION

Pour conclure ce chapitre, il est important d'indiquer que la prospection géochimique requiert un échantillonnage systématique, l'analyse d'un grand nombre d'échantillons avec des méthodes rapides, peu coûteuses mais efficaces, et une interprétation adéquate des résultats; ceux-ci peuvent être compilés et interprétés à l'ordinateur.

Les nombreux travaux et rapports réalisés par le MERQ dans le domaine de la géochimie dévoilent des cibles d'exploration intéressantes. La consultation de ces documents est facilitée par l'existence des différentes banques de données produites par le MERQ (Baroq, Badgeq).

BIBLIOGRAPHIE

BEAUMIER, M. et M. LEDUC, Géochimie des sols - Région de Chibougamau-Chapais, MERQ, MB-89-48, 1989, 29 p.

BRUMMER, J.J., C.F. GLEENSON et J.A. HANSULD, A historical perspective of exploration geochemistry in Canada - The first 30 years, Vol. 28, J. Geoch. Expl., 1987.

CHOINIERE,J. et M. BEAUMIER, "Apport des levés d'inventaires géochimiques dans la découverte de nouveaux gîtes au Québec : survol de quelques cas", dans Résumé des conférences du séminaire d'information, MERQ, DV 91-26, 1991, p. 45-48.

GRANIER, C.L., Introduction à la prospection géochimique des gîtes métallifères, Paris, Masson et cie, 1973, 143 p.

LEVINSON, AA., Introduction to Exploration Geochemistry, Second Edition, Applied Publishing Ltd., 1980, 924 p.

PERREAULT, G., "Prospection pour l'or dans la mesure des distributions or, région de Noranda - Val-d'Or, Québec", dans La Géochimie d'exploration au Québec, séminaire d'information, MERQ, DV-85-11, 1985, p. 51-66.

SAHEURS, J.-P. G., "La prospection géochimique, l'échantillonnage", Notes techniques pour démonstration au congrès annuel de l'Association des Prospecteurs Gaspésiens, Document édité par Chimitec, 1992, 112 p.

SEREM QUÉBEC

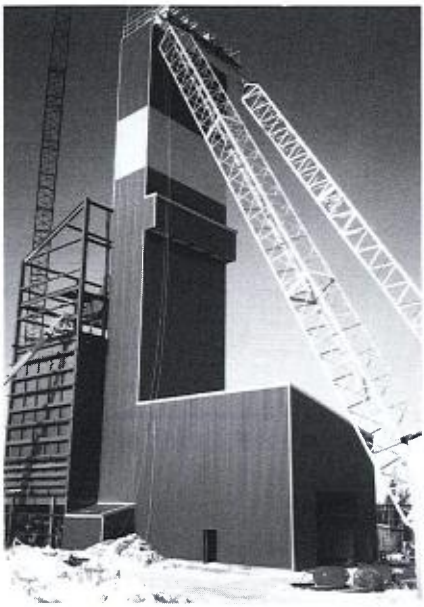
GROUPE BRGM

EXPLORATION VSM INC. EXPLORATION

GREVET: UN NOUVEAU CAMP MINIER ?

Le gisement de zinc de Grevet est situé à quelque 40km au NNE de la ville de Lebel-sur-Quévillon, dans l'une des ceintures volcano-sédimentaires de la province archéenne de l'Abitibi. Il est détenu en association par la société québécoise Exploration VSM Inc., elle-même détenue à 100% par Cambior Inc., et par Serem Québec Inc., filiale à 100% du BRGM.

L'identification de réserves minières sur le projet Grevet résulte d'une succession de phases d'exploration qui se sont étalées sur plus de 10 ans et qui témoignent toutes de la persévérance des géologues de Serem et d'une capacité de mobilisation de moyens financiers et techniques adaptés à l'évolution de la conjoncture et de la situation.



En mars 93, la construction de ce chevalement tire à sa fin et permettra le creusement d'un puits de plus de 900 mètres de profondeur.

HISTORIQUE

Les premiers travaux remontent en 1937 par la publication par le MERQ du rapport préliminaire de W. Longley sur la géologie de la région. Par la suite, et jusqu'à la fin des années 60, des travaux d'exploration sporadiques sont effectués par diverses compagnies. En 1969, Soquem sonde les terrains juste au nord du bloc B actuel de Serem et recoupe un horizon de sulfures massifs sub-économiques titrant 0,18% Cu, 3,28% Zn et 72 g/t Ag sur près de 2,0m.

Les travaux de Serem, quant à eux, débutent dans le cadre de la coopération minière entre la France et le Québec vers 1978, directement avec le MERQ au début et par la suite avec la SDBJ, son mandataire. Une compilation géoscientifique et un vol aéroporté de type INPUT mènent au jalonnement de

plusieurs blocs de claims dans les cantons de Grevet et Mountain.

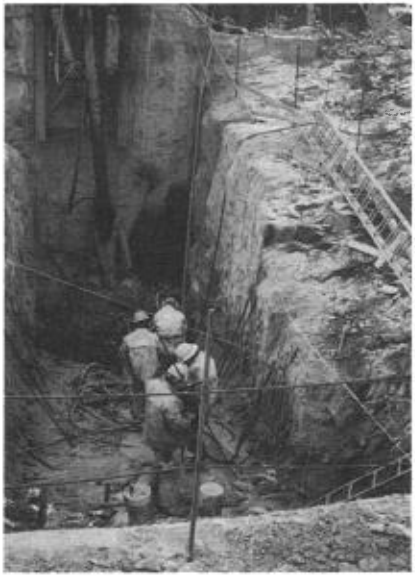
Ce jalonnement est suivi de levés EMH et Mag au sol, ainsi que de travaux de cartographie géologique. Une première découverte en métaux de base est effectuée à la fin de 1979 sur le bloc B du canton Grevet. Le forage de détail permet de délimiter une lentille d'environ 500 000 tm à 9% Zn. Ce volume s'avère trop petit pour le développement d'un projet minier, mais il est suffisamment significatif pour espérer la découverte d'un gisement d'importance.

Une politique d'acquisition de terrains, toujours maintenue au cours des années, permet le jalonnement de nouveaux blocs de claims, et en 1983 des intersections sub-économiques de sulfures massifs à Zn, Cu et Ag sont recoupées sur les zones 3 et 4 du bloc M dans le canton Grevet. Cependant, la conjoncture économique du début des années 80, ainsi que le faible prix des métaux de base, ralentissent les efforts d'exploration et voient même l'un des partenaires de l'époque, soit la SDBJ, se retirer progressivement du projet.

Se trouvant seules à financer les travaux, Serem Québec et sa maison-mère le BRGM se mettent à la recherche d'un nouveau partenaire. En mai 1987, Serem Québec signe une entente avec une PME d'exploration québécoise, Exploration VSM Inc. Malgré le "crash" boursier d'octobre 1987, cette dernière, en s'associant avec Placer Dome Inc., réussit un financement à la fin de 1988.

Dès janvier 1989, l'exploration reprend sur la propriété et le premier trou de forage implanté sur la zone 4, sous les forages antérieurs qui avaient rapporté les meilleurs résultats teneur-épaisseur, recoupe plus de 5m de sulfures massifs titrant près de

28% Zn. Dans les deux années subséquentes, les travaux de géophysique, de géologie, de décapage et de forage allaient permettre la délimitation des zones 3 et 4, la découverte et la délimitation partielle de la zone 97, la découverte de la zone Orphée et une meilleure compréhension de la géologie environnante. L'inventaire géologique, incluant les zones 3, 4, 97 et B, totalise 18,5Mt à 0,4% Cu, 7,22% Zn et 31,3 g/t Ag, tandis que des réserves minières exploitables sont évaluées entre 10 et 12 Mt à près de 0,5% Cu, 9% Zn et 36 g/t Ag. 1992 voit l'actionnaire majoritaire de VSM, Placer Dome, se retirer au profit d'un nouveau groupe, Cambior Inc. Dès l'automne de la même année, un programme d'exploration souterraine est engagé sous la férule de l'équipe minière de Cambior. Ce programme évalué à près de 26M $ comprendra le creusement d'un puits de plus de 900m de profondeur, le suivi de la minéralisation sur au moins deux niveaux, un programme de forage de définition sur les zones 3 et 4, des tests minérallurgiques et une étude de faisabilité. Les travaux devraient se terminer au premier trimestre de 1994 et permettront une prise de décision qui, si elle est positive, devrait mener à une production vers le milieu de l'année 1995.



Avant d'ériger le chevalement, ou creuse le puits d'une quinzaine de mètres.

TECHNIQUES D'EXPLORATION

Jusqu'à maintenant, ce sont surtout les méthodes géophysiques qui ont mené aux différentes découvertes minéralisées des projets Grevet et Orphée.

Des levés aéroportés de type INPUT ont bien localisé les lentilles 3, 4 et B et quelques autres lentilles de sulfures stériles. Ils n'ont toutefois pas décelé les lentilles 97 et Orphée.
Les levés EMH ont retracé au sol ces anormalies INPUT et ont même permis de découvrir d'autres zones conductrices (ex.: Orphée) parfois en réponse sur une ou deux lignes de levé seulement.

Les levés de type Pulse-DEEPEM de surface, quant à eux, ont tracé sur une plus grande longueur certains conducteurs EMH (ex.: Orphée) et ont mis en évidence de nouvelles zones conductrices plus profondes mais parfois mal définies (ex.: Zone 97).

L'utilisation des levés Mag au sol et P.P.-résistivité ont aidé à l'interprétation géologique et structurale. De plus, tous les horizons porteurs de sulfures massifs ou disséminés sont détectés par conductivité et chargeabilité.

Enfin, l'utilisation systématique de levés Pulse-EM en forage a grandement aidé à orienter le forage de détail des zones minéralisées et a conduit directement à la découverte de la lentille 97: la lecture d'un forage éloigné et profond, qui devait permettre d'évaluer l'extension latérale de la lentille 3, a décelé une forte anomalie indiquant la présence d'une masse conductrice importante centrée plus au nord-est de la lentille 3 et au-dessus du forage. Un second forage visant cette anomalie a recoupé plus de 8 mètres de carottes à près de 17% Zn.

Dans l'avenir, l'utilisation de ces méthodes et une compréhension accrue de la géologie locale et régionale devraient permettre de cibler des secteurs à potentiel élevé pour de nouvelles découvertes et aussi permettre le développement d'un nouveau camp minier.

FORAGE AU DIAMANT

Le **forage au diamant** permet de vérifier en profondeur des cibles géologiques, géophysiques ou géochimiques. Cette méthode permet de prélever des échantillons de roches en continu, sous la surface, à faible et à grande profondeur.

7.1 PLANIFICATION ET IMPLANTATION D'UN FORAGE

Sur une propriété minière, les travaux préliminaires de prospection permettent de définir des zones propices à la minéralisation. Ces zones minéralisées sont soit affleurantes et facilement observables, soit cachées profondément dans le roc ou sous une couverture plus ou moins épaisse de mort-terrain. Dans les deux cas, l'investigation en profondeur se fera par des forages au diamant.

Pour minimiser le nombre de pieds forés et pour maximiser les chances d'atteindre la cible, un forage est généralement planifié de manière à atteindre l'objet visé orthogonalement (figure 6.11). Le point de départ du forage (le collet) est déterminé par la profondeur de la cible visée et par l'angle du forage (la plongée). En surface, la capacité des

équipements ne permet pas de forer avec une plongée inférieure à 45^0.

Lorsque plusieurs forages sont nécessaires, l'espacement entre eux varie en fonction des besoins et de la profondeur d'investigation. La maille initiale doit être suffisamment large pour couvrir l'ensemble de l'anomalie ou de la cible à vérifier. Par la suite, selon les résultats obtenus, il pourra y avoir des forages additionnels suivant une maille plus serrée dans les secteurs d'intérêt . L'espacement final des forages de définition dépend de l'hétérogénéité du gisement.

Pour évaluer une zone en profondeur, sur une même section, il peut être avantageux et économique d'utiliser un même site et d'y forer plusieurs trous suivant un patron en éventail.

L'emplacement du trou est indiqué sur le terrain par un gros piquet de bois équarri sur lequel sont inscrits la direction, la longueur, le numéro et l'inclinaison du forage. D'autres piquets espacés d'environ 15 m à l'avant et à l'arrière orientent le forage (figure 6.11).

Les **coûts de forage** varient en fonction du contexte économique, de la localisation et de l'accessibilité de la propriété, du type de roche, de l'épaisseur et de la nature du mort-terrain, de la dimension de la carotte prélevée, du nombre de trous et de leurs longueurs, et de la facilité d'approvisionnement en eau.

7.2 ÉQUIPEMENTS ET MATÉRIEL

Plusieurs **types de foreuses** existent sur le marché; chacune présente des caractéristiques et des avantages selon l'usage auquel elle est destinée. Certaines foreuses sont à la portée des prospecteurs; d'autres, à cause de leurs coûts élevés, de la complexité d'opération et de l'envergure de l'équipement, ne sont accessibles qu'à des entrepreneurs spécialisés (tableau 7.1). Il est recommandé de consulter le volume "Diamond Drill Handbook" pour obtenir plus de détails sur les types de foreuses.

7.3 TESTS EN COURS D'OPÉRATION

Préalablement au forage, l'orientation de la foreuse et l'inclinaison de départ doivent être vérifiées et conformes au devis initial.

Plusieurs tests peuvent être effectués dans un trou de forage dans le but de mesurer sa déviation et de déterminer son tracé le plus précisément possible. Les tests les plus connus sont ceux à l'**acide fluorhydrique** et au **Tropari**. Le premier test détermine la plongée, alors que le deuxième permet de mesurer la plongée et l'azimut uniquement en présence de formations non magnétiques. L'attitude d'un trou traversant des roches magnétiques est déterminée par un **gyroscope**.

D'autres instruments ont été développés pour mesurer la déviation d'un forage d'une façon plus continue ou pour des besoins particuliers. Ces tests sont effectués par des techniciens qualifiés et sont plus coûteux. La plupart des

TABLEAU 7.1
QUELQUES TYPES DE FOREUSES ET LEURS CARACTÉRISTIQUES.

Type	Poids approximatif	Angle du forage	Profondeur limite	Avantages/Utilisation	Dimension carotte
Tarière (JKS-10)	15 - 25 kg	90^0	1 - 2 m	Portative, moteur de scie à chaîne, échantillonnage ponctuel de surface.	EX
Pion-Jar (packsack)	40 - 50 kg	$60 - 90^0$	30 m +	Portative, marteau pneumatique adapté, échantillonnage de mort-terrain.	EX
A cadre vertical (Winkie)	75 kg	$65 - 90^0$	70 - 130 m	Démontable (Winkie ou X-Ray), trou peu profond, évaluation d'indice.	EX
Auto-propulsée (Saverdrill)		90^0	120 m	Sur pneus ou chenilles, échantillonnage de mort-terrain ou de roc.	Ex - AQ
Diesel/ hydraulique		$45 - 90^0$	1 500 m +	Versatile, puissant, bonne récupération, mort-terrain et roche, demande main-d'oeuvre spécialisée	EX à HQ +

Diamètre de la carotte : EX : AQ : 26,9 mm; BQ : 36,4 mm; NQ : 47,6 mm; HQ : 63,5 mm

tests et des instruments sont décrits dans le "Diamond Drill Handbook".

On peut déterminer l'orientation, dans l'espace, des structures géologiques (veines de quartz, foliation, etc.) présentes dans une carotte en utilisant un **orienteur de carottes**. Cet instrument est particulièrement utile pour un trou de forage isolé.

7.4 DESCRIPTION DES CAROTTES DE FORAGE

Pour chaque forage, les lithologies et les intersections minéralisées sont décrites par intervalles, de façon détaillée, et sous forme de journal (figure 7.1).

La première page du **journal de sondage** doit contenir toutes les données d'identification, de localisation et de déviation du forage. La partie principale du journal présente la description de chaque lithologie en des termes géologiques clairs et simples, du début à la fin du forage. Une attention particulière est apportée à la description des intervalles altérés et minéralisés. La partie de droite est réservée à la liste des échantillons, à l'intervalle représenté par chaque échantillon, aux éléments analysés et aux résultats obtenus (figure 7.1).

Le journal doit être clair, succinct, complet et bien présenté. Il représente souvent la seule information disponible lorsque les carottes de forage sont détruites. Des photos peuvent être prises si les carottes ne sont pas préservées.

Des logiciels permettent d'informatiser le journal de forage. Ils offrent des avantages au niveau de l'entrée, de la manipulation et de la mise à jour des données. Une copie de sécurité des données doit être conservée en lieu sûr.

- JOURNAL de SONDAGE -

Compagnie : EXPLOR

N° D - 92 - 01

Projet : D x 1+00 E Ord. : 10 + 25 N Grosseur de la carotte : BQ Feuille N° 1 de 10

Claim : 307777 Section : Ord. : Profondeur : 20,0 m 61,5 m Dc 0 à 20,3 m

Canton : Beaupre Lat. : Long. : Pliongle : -48° -47° Profondeur totale : 152,5 m

Rang : II Élévation Orifice : Azimut : 000° 002°

Lot : 5 Azimut : 000° Commencé le : 19/11/92 Journal : Géo Logue

N.T.S. : 32 U.T.M. : Terminé le : 01/12/92 Date : 01/12/92

Contracteur : Forage X YZ

De m	A m	Description géologique	Croquis 1:200 — 10m	Échantillons N°	De m	A m	Long m	Analyses Au	Ag	Au g/t	Ag g/t	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm
0	10	Mort-terrain, tubage routé												
10	15,7	Basalte, vert, grains fins < 1 mm, chloritisé,		1	10	10,7	0,7			ND	0,05	50	< 5	< 5
		schistosité 40° AC		2	10,7	11,7	1,0			0,07	1,10	55	21	< 5
		11,7 - 12, 1 : altération en chlorite - quartz												
		12,2 : veine de quartz, blanc et		3	11,7	12,4	0,7			7,62	2,10	171	< 5	10
		pyrite grossière : 5-7 %, 45°		4	12,4	12,8	0,4			3,14	1,06	36	< 5	12
		AC : 12 cm, moins net												
				5	12,8	14,0	1,2			0,56	0,12	21	< 5	< 5
				6	14,0	15,5	1,5			0,01	0,01	10	< 5	6
15,7	20,3	Porphyre à quartz, gris, mass, matrice aphanitique												

7.5 ÉCHANTILLONNAGE

L'exécution de forages a pour but de prélever des échantillons représentatifs de la minéralisation ou des lithologies recoupées. L'analyse permet de quantifier les éléments économiques (Au, Ag, Cu, Zn, Ni et autres), les éléments majeurs, mineurs et en traces. Ces éléments sont énumérés au chapitre 6.

Pour les sections minéralisées ou susceptibles de l'être, les échantillons sont subdivisés selon les contacts des zones,

les variations minéralogiques ou la distribution de zones individuelles. L'échantillonnage doit être le plus représentatif possible.

Les **échantillons** sont prélevés les uns à la suite des autres; leurs longueurs varient généralement de 0,3 à 1,5 m. De façon courante, la carotte est divisée en deux suivant son axe longitudinal, avec l'aide d'un fendeur de carotte manuel ou hydraulique, ou avec une scie à diamants. Pour chaque échantillon, la moitié de la carotte est conservée dans la boîte comme échantillon-témoin. Chaque sac contient un numéro d'échantillon qui correspond à celui inscrit au tableau d'échantillonnage du journal de sondage. Une attention particulière doit être apportée afin de ne pas contaminer les échantillons, de ne pas les mélanger ou inverser les numéros.

7.6 GESTION DES CAROTTES DE FORAGE

Les carottes de forage représentent une source d'information précieuse pour l'exploration, la mise en valeur et le développement d'un gîte. Elles doivent être manipulées et rangées avec soin.

Sur le site de forage, les carottes extraites du tube carottier sont placées au fur et à mesure dans des boîtes, qui sont subdivisées en rangées et peuvent contenir de 4,5 à 7,5 m selon la dimension des carottes (figure 7.2). Les boîtes sont généralement fabriquées en bois, mais l'aluminium, le plastique et le carton ciré sont quelquefois utilisés. Lorsque les carottes sont décrites et échantillonnées, les boîtes de chaque forage doivent être placées en ordre sur des sup-

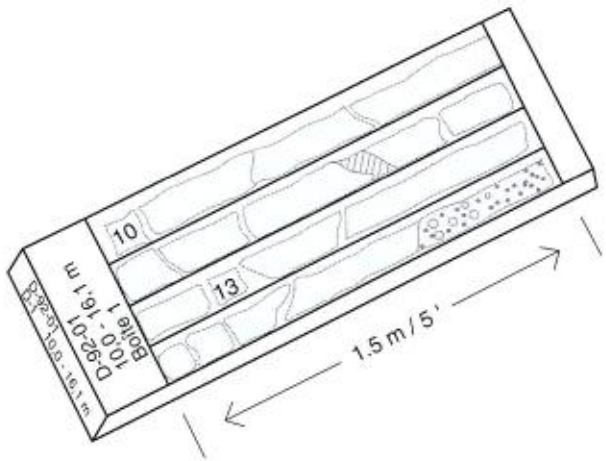


FIGURE 7.2 ***BOITE DE CAROTTES DE FORAGE.***

ports à carottes dans un entrepôt (carothèque) ou à l'abri des intempéries.

7.7 REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DES FORAGES

L'information recueillie dans le journal de sondage doit être présentée sous forme graphique, en coupe ou section verticale et en plan horizontal (figure 7.3).

A partir des coordonnées de départ et des mesures de déviation de chaque trou, une vue en section est tracée selon une échelle de travail appropriée (1 : 500, 1 : 2 000...). Cette section est généralement parallèle à la direction des forages; elle contient les informations géologiques et structurales pertinentes, de même que les résultats d'analyse. Il est souvent nécessaire d'indiquer uniquement les résultats

significatifs, le journal faisant office de référence complète. L'information en section peut être projetée orthogonalement en plan, de façon à élaborer un plan de surface ou un plan de niveau.

Des logiciels sont maintenant disponibles pour effectuer ces tâches de mise en plan. Ils sont généralement compatibles avec les journaux de sondage informatisés. Les logiciels permettent un traçage rapide des sections et des plans à diverses échelles sous différents azimuts, et ils facilitent la mise à jour et la manipulation des données. Une copie papier des sections et des plans horizontaux doit être conservée en lieu sûr.

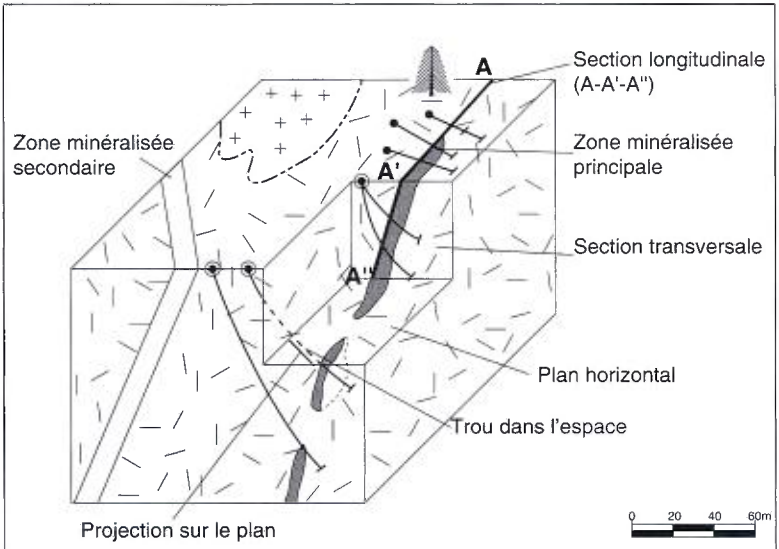


FIGURE 7.3 ***PROJECTIONS EN PLAN ET EN SECTION DES FORAGES ET DE LA LITHOLOGIE.***

7.8 CONCLUSION

La localisation exacte d'un gîte et l'évaluation des réserves d'un gisement (tonnage et teneur) ne peuvent être déterminées sans effectuer des forages au diamant. Les forages permettent de situer, sous la surface du sol et du roc, les contacts géologiques et les indices minéralisés. Puisque cette méthode d'exploration est dispendieuse, elle doit être exercée uniquement après avoir pratiqué les autres méthodes de prospection de surface.

BIBLIOGRAPHIE

CUMMING, J.D. et A.P. WICKLUND, Diamond Drilling Handbook. 3ième édition, J.K. Smith and Sons Diamond products, 1975, 548 p.

SOQUEM

DEUX DÉCOUVERTES QUI ONT FAIT UNE DIFFÉRENCE

SOQUEM est une entreprise industrielle et commerciale fondée en 1965 par le gouvernement du Québec, son unique actionnaire, dans le but de promouvoir le développement des ressources minérales de la province. Sa principale activité est l'exploration minière et, dans l'exercice de ce mandat, elle favorise l'association avec toute personne ou société.

Les événements qui furent à l'origine des deux découvertes les plus significatives réalisées par SOQUEM, soit Mine Doyon et Niobec, sont mis en perspective. Ces découvertes sont le résul-

tat de travaux engagés dans des régions qui, à l'époque, étaient peu ou pas explorées par des équipes qui étaient manifestement persistantes dans le cas de Doyon et innovatrices dans le cas de Niobec.

MINE DOYON

Depuis ses débuts, SOQUEM a toujours favorisé des programmes d'exploration en association avec le secteur privé, que ce soit avec des sociétés majeures ou juniors. De fait, dans le cas de Mine Doyon, deux sociétés juniors (Silver Stack, Odyno) ont joué un rôle important pendant la phase d'exploration et une majeure (Long Lac, devenue Minerais Lac) devait assurer la gérance de l'opération minière qui suivit.

C'est au printemps 1972 que les premiers contacts entre SOQUEM et Silver Stack ont eu lieu, contacts qui conduisirent à la conclusion d'une entente devant permettre à SOQUEM d'acquérir 49% des actions de cette dernière et d'engager des travaux d'exploration sur sa propriété minière. L'intérêt pour cette propriété découlait des résultats d'un levé INPUT que le Ministère des Richesses naturelles du Québec avait conduit en 1971 dans la région de Malartic et qui couvrait les terrains de Silver Stack. À l'intérieur de la première année,

Travaux de forage qui ont mené à la découverte de la Mine Doyon.

SOQUEM réalisa quel-ques levés géophysiques terrestres (mag., EM-16, EM-17), dont les anomalies ne purent être forées qu'au printemps suivant... compte tenu de la présence d'une piste de ski de fond que les foreuses auraient pu endommager au cours de leurs déplacements! Comme on peut le constater, déjà en 1972 les explorateurs alliaient leurs travaux à la protection de l'environnement.

Les cinq forages courts finalement amorcés en avril 1973 réussirent tous à expliquer les anomalies repérées, celles-ci étant causées par la présence de pyrite (15%) disséminée dans des tufs rhyolitiques. Les résultats d'analyses du forage 04 allaient déclencher l'engouement définitif pour la propriété puisqu'elle recoupe, entre le 105ème et le 115ème pieds, une teneur de 0,58 on/t Au (19,88 g/t). Cette minéralisation se logeait à l'intérieur d'une enveloppe pyriteuse présente entre les cotes de 100 et de 146 pieds.

Il est tout de même bon de se rappeler que le prix de l'or était très bas à ce moment, soit 35.00 $ l'once. Les opérations minières de la région immédiate étaient petites et avec des réserves très modestes.

Au cours de cet été 1973, le prolongement vers l'ouest de l'horizon aurifère fut protégé par l'acquisition d'un groupe de seize claims appartenant à la seconde des sociétés juniors impliquées, Odyno Exploration et Développement Ltée. Au printemps 1974, des relevés systématiques de magnétomètre et de polarisation provoquée, ainsi qu'un court levé de détail P.P., étaient conduits sur la majeure partie de la propriété agrandie. Conjointement à ce programme géophysique, une nouvelle campagne de sondages débutait. Ces sondages ont confirmé les résultats de la première intersection dans ce qui devint la zone no 1. La zone

no 2 a été découverte en prolongeant les forages effectués sur la zone no 1. Les premières indications d'une zone parallèle, à 110 mètres au nord de la zone no 1, apparaissent dans les 6e et 7e sondages qui recoupèrent des valeurs de 0,45 on/t Au sur 5 pieds et 62,45 on/t Au sur 0,5 pied. La continuité de la zone no 2 s'est surtout confirmée à partir du 14e sondage. Les sondages se continuèrent jusqu'en mars 1975 pour totaliser plus de 54 000 pieds dans 76 sondages. Les résultats de l'ensemble de ces forages ont été tels qu'au mois d'avril SOQUEM et Silver Stack purent confirmer la découverte d'un gîte aurifère de 4,0 millions de tonnes titrant 0,16 on/t Au (5,48 g/t).

La société SOQUEM, ayant déjà participé à des programmes conjoints d'exploration dans les secteurs de Cadillac et de Malartic avec Minerais Lac, en fit son partenaire en 1977. Minerais Lac assuma la gérance du développement et de la mise en exploitation du gisement aurifère qui débuta officiellement le 5 mars 1980. À cette époque, l'opération de la mine Doyon faisait d'elle le deuxième producteur aurifère en importance au Canada. Cette découverte créa une flambée d'exploration dans le secteur, d'où émergèrent plusieurs mines (Thompson-Bousquet, Bousquet 2 et Mouska). Ces dernières n'étaient auparavant que des indices sans valeur économique importante.

En 1986, dans le cadre d'une opération visant la vente de son actif productif, SOQUEM cédait son intérêt de 50% dans Mine Doyon à Cambior inc. À la fin de 1991, Mine Doyon avait produit plus de 2,6 millions d'onces d'or et renfermait des réserves minières de 5,83 millions de tonnes titrant 0,19 on/t Au.

MINE NIOBEC

Le degré de réussite d'un groupe d'exploration repose certes sur sa compétence technique, mais celle-ci doit être suppléée, afin

Site de la Mine Niobec.

de se démarquer des autres groupes également compétents, d'une énergie créatrice qui peut faire toute la différence entre la réussite et l'échec. La découverte du gisement de niobium en est un bel exemple.

Dès ses débuts, SOQUEM avait entrepris la prospection de grands territoires de la province géologique du Grenville au moyen de levés-maisons aéroportés qui avaient comme avantages d'être peu coûteux et pratiques en raison de la rapidité du suivi qu'ils permettaient. Un de ces genres de levés était le EMAL (électromagnétique aéroporté léger). La Société l'utilisa principalement dans le but d'évaluer les grandes séquences lithologiques du Grenville jugées propices à la présence de gisements de sulfures massifs.

Un second type de levé-maison aéroporté très peu coûteux, celui-ci radiométrique, a été effectué avec un petit avion nolisé muni d'un scintillomètre à grande sensibilité. L'objectif s'inscrivait dans l'optique d'une recherche d'uranium s'effectuant en survolant les routes (de préférence forestières) à basse altitude (30-50 mètres) dans le secteur ouest de la Province géologique du Grenville.

Cette série de levés débuta en mai 1967 et c'est au mois d'août que fut repérée l'anomalie radiométrique qui allait mener à la découverte de la mine Niobec. De fait, l'examen d'un affleurement sur le site de l'anomalie se révéla être associé à une car-

bonatite porteuse de terres rares et d'une faible quantité de pyrochlore. Un heureux hasard fit que le levé décela des radiations émanant d'une petite portion de la carbonatite qui affleurait. Ailleurs, la carbonatite est entièrement recouverte d'une couche de mort-terrain, suffisamment épaisse pour inhiber toute détection de la source. Dès ce moment, SOQUEM mobilisa la presque totalité de son personnel et procéda au jalonnement de cent claims en une seule journée.

C'est en mai 1970, suite à une campagne de six forages, que les résultats réussirent à faire ressortir le potentiel économique de la découverte. SOQUEM intéressa alors le groupe Teck, qui acquit 50% d'intérêt sur la propriété. La délimitation du meilleur gîte de niobium au Québec et la mise au point d'un procédé de concentration furent complétées en 1975, ce qui permit la mise en production en 1976. Niobec est le seul producteur de niobium au Canada et le deuxième en importance dans le monde.

En rétrospective, dans la découverte de Doyon, il faut mettre en relation les minces connaissances techniques que l'industrie minière possédait du secteur de Cadillac. Les opérations minières, actives à un moment ou l'autre auparavant dans la région immédiate, avaient été celles de Mic Mac Mines (dans des volcaniques mafiques) et de Molybdenite Corp. (dans les intrusifs granitiques) à Preissac. La région de Doyon-Bousquet-Dumagami correspondait à un territoire grassroots avec un potentiel encore à déterminer.

Par ailleurs, l'originalité du programme de recherche instauré par SOQUEM dans le cas de Niobec rappelle l'élément cité au début de ce chapitre et qui fait référence à l'énergie créatrice des membres d'une équipe gagnante. Cette innovation fut déterminante dans la découverte.

CHAPITRE VIII

NOTIONS D'ÉCONOMIE MINÉRALE

8.1 INTRODUCTION

La valeur marchande d'une propriété minière est déterminée par l'offre et la demande. Toutefois, la valeur réelle d'une propriété dépend de la qualité et de la quantité des minerais qu'on pourrait y trouver. Le but de ce chapitre est de fournir au prospecteur les éléments qui lui permettront d'estimer la valeur de différents minerais et de comprendre les enjeux d'une exploitation minière, afin d'être mieux en mesure d'entreprendre la recherche d'un partenaire pour la mise en valeur de sa propriété. De plus, des notions d'économie minérale seront utiles au prospecteur pour estimer les redevances qu'il pourrait recevoir dans l'éventualité d'une mise en production.

8.2 NOTION DE PROFIT

La notion de profit implique d'une part que le minerai a une valeur commerciale et, d'autre part, qu'on peut l'extraire à un coût moindre que sa valeur sur le marché.

Les profits d'une exploitation minière peuvent s'exprimer par l'opération suivante : **P = V - C** où

P = profit

V = valeur nette du minerai

et **C** = coûts d'extraction, de mise en valeur et de restauration du site.

8.3 VALEUR NETTE DU MINERAI

La **valeur nette du minerai**, aussi appelée "valeur à la mine", "revenu net de fonderie" ou "Net Smelter Return", est le revenu net obtenu pour chaque tonne de minerai exploitée à la mine, en tenant compte des paramètres suivants:

- teneur du minerai;
- récupération à l'usine;
- prix des métaux ou substances utiles;
- frais de fonderie et d'affinage;
- frais de transport;
- frais de mise en marché.

Selon la nature du gisement, les paramètres auront un impact plus ou moins important dans le calcul de la valeur

nette du minerai. Par exemple, les frais de fonderie, de transport et de mise en marché seront très minimes pour une mine d'or; dans le cas de mines de métaux usuels, qui produisent des concentrés de métaux, ces frais peuvent représenter plus de 60% de la valeur brute du minerai. Dans le cas des minéraux industriels, les frais de fonderie et d'affinage sont absents, mais les frais de mise en marché et de transport deviennent significatifs.

La **teneur du minerai** représente la concentration des différents métaux ou substances utiles dans le minerai. Cette concentration se définit en pourcentage-métal pour la plupart des métaux usuels, alors que dans le cas des métaux précieux (or, argent, platine, palladium, etc.) la teneur est exprimée en once par tonne courte (système anglais) ou en gramme par tonne (système métrique). Dans le cas de minéraux industriels, la teneur du minerai peut se présenter en pourcentage-poids (ex: graphite, silice), en dollars par tonne (ex: amiante) ou autres unités selon la nature du minéral recherché.

Dans la grande majorité des exploitations minières, le minerai subit une ou plusieurs étapes de concentration sur le site de la mine avant la mise en marché; une certaine partie des substances utiles est alors perdue et rejetée dans le parc à résidus. La **récupération à l'usine** est la portion de la substance ou du métal utile qui est séparée de la gangue et récupérée par l'usine. La récupération s'exprime en pourcentage du contenu total en minéral ou métal recherché dans le minerai; elle peut varier beaucoup d'un gisement à l'autre selon les caractéristiques physiques du minerai. Des intervalles de récupération pour certaines substances sont donnés en exemples à la page suivante.

Substances utiles	Récupération
cuivre	90 - 96 %
zinc	80 - 93 %
or	85 - 94 %
nickel	80 - 90 %
argent	50 - 70 %
graphite	75 - 90 %

Dans la majorité des mines, la récupération est dictée par l'optimisation des coûts; en effet, même si techniquement il peut être possible d'augmenter la récupération, les coûts supplémentaires dépassent souvent les bénéfices retirés et on choisit une récupération optimale plutôt que maximale. Puisque les pertes de métal à l'usine peuvent être importantes, la récupération devient un facteur prépondérant dans la détermination de la valeur nette du minerai.

Les **prix des métaux** sont régis par les lois de l'offre et de la demande et sont une des principales sources de risque lors de décisions de mise en valeur. Les sociétés minières utilisent les services d'économistes et de spécialistes afin de prédire les prix futurs des métaux ou minéraux exploités. Cependant, ces prédictions sont souvent erronées et cet élément de risque explique que certains gisements qui semblent intéressants ne soient pas mis en valeur. Autre élément d'incertitude, les prix des métaux sont généralement cités en devises étrangères (principalement en dollars américains), ce qui implique qu'il faut aussi estimer le taux de change de la monnaie.

Les variations des prix de certains métaux (en $US) au cours de la période 1982-1991 sont présentées dans les fi-

gures 8.1 et 8.2. Les prix courants sont facilement disponibles dans plusieurs journaux et revues économiques, et le prospecteur devrait demeurer informé des prix des métaux auxquels il s'intéresse afin d'évaluer des changements possibles dans la valeur de sa propriété et, le cas échéant, choisir le meilleur moment pour transiger ses terrains.

Les **frais de fonderie et d'affinage** s'appliquent principalement aux concentrés de cuivre, zinc, plomb et nickel. Des frais d'affinage s'appliquent aussi à l'or et à l'argent mais, dans le cas de ces métaux, ces frais sont relativement peu élevés, variant d'environ 1,25% de la valeur brute pour l'or à environ 10% pour l'argent. Les métaux de haute technologie (ex: Zr, Li, Be) ont des frais d'affinage variables mais généralement très élevés.

Les frais de fonderie et d'affinage des métaux usuels varient aussi beaucoup selon l'offre et la demande, et ils ont subi des hausses majeures au cours de la dernière décennie, dues principalement aux coûts énergétiques et aux exigences environnementales. Les frais de fonderie dépendent de la teneur du concentré, de l'humidité et des différentes impuretés contenues dans le concentré.

Les contrats de fonderie sont généralement gardés secrets par les sociétés minières et sont souvent fort complexes. Parmi le peu de publications sur le sujet, celle de Goldie et Tredger (1991) est particulièrement intéressante parce qu'elle explique les principes de base, en plus de donner des exemples de contrats de fonderie pour plusieurs types de concentrés.

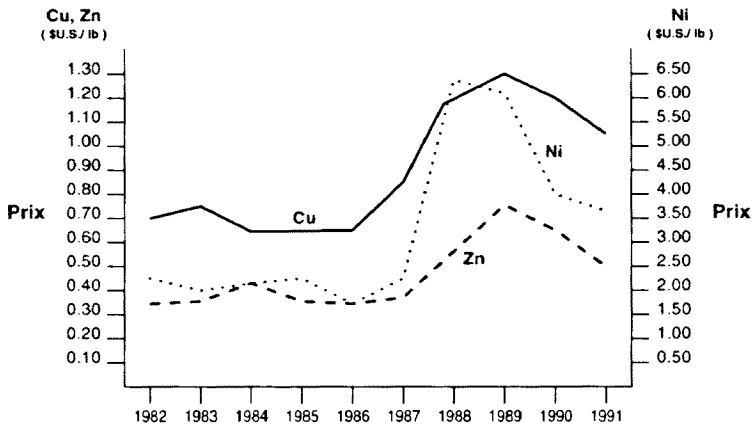


FIGURE 8.1 ***VARIATION DES PRIX DU CUIVRE, DU ZINC ET DU NICKEL DURANT LA PÉRIODE 1982-1991.***

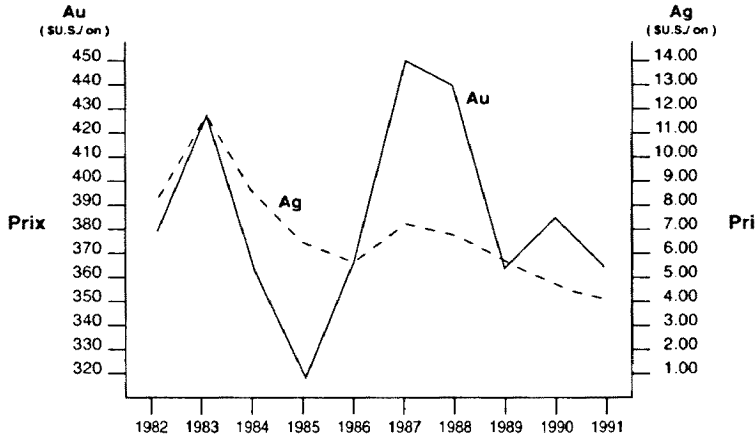


FIGURE 8.2 ***VARIATION DU PRIX DE L'OR ET DE L'ARGENT DURANT LA PÉRIODE 1982-1991.***

Les **frais de transport**, pour acheminer le concentré de l'usine vers la fonderie, doivent aussi être déduits dans le calcul de la valeur nette du minerai. Ces frais dépendent essentiellement de la distance à parcourir, ainsi que des types et de la qualité des accès. Il est à noter que les frais de transport s'appliquent aussi à l'humidité du concentré (typiquement de 6 à 8%), alors que les frais de fonderie peuvent être appliqués uniquement au concentré sec. Finalement, il faut tenir compte du fait qu'une certaine quantité de concentré est perdue lors du transport et de la manutention, et ces pertes sont estimées et comptabilisées dans le calcul de la valeur nette du minerai.

La mine qui vend un concentré à une fonderie confie généralement à une tierce partie le soin de vendre le concentré ou d'écouler sur les marchés les métaux qui s'y trouvent. Les **frais de mise en marché** sont négociables et peuvent représenter environ 0,3% de la valeur brute des métaux.

La figure 8.3 donne un aperçu de l'impact des divers éléments qui permettent d'établir la valeur nette du minerai. Même si les termes sont différents pour chaque opération minière concernée, les diagrammes permettent de visualiser l'impact des différents paramètres de calcul de la valeur nette du minerai.

Afin d'obtenir une estimation rapide de la valeur nette d'un minerai, il est souvent utile d'exprimer **la valeur nette d'une unité de métal** contenue dans une tonne de minerai (ex: valeur nette de 1% de cuivre ou de 1 g/t d'or), en tenant compte de tous les facteurs décrits auparavant (figure 8.4).

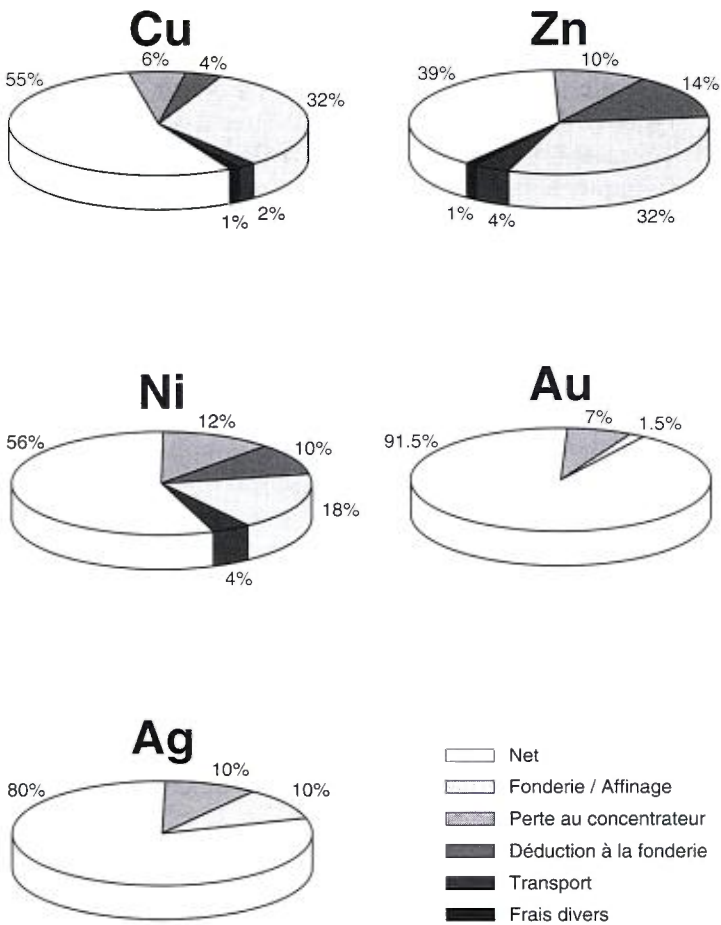
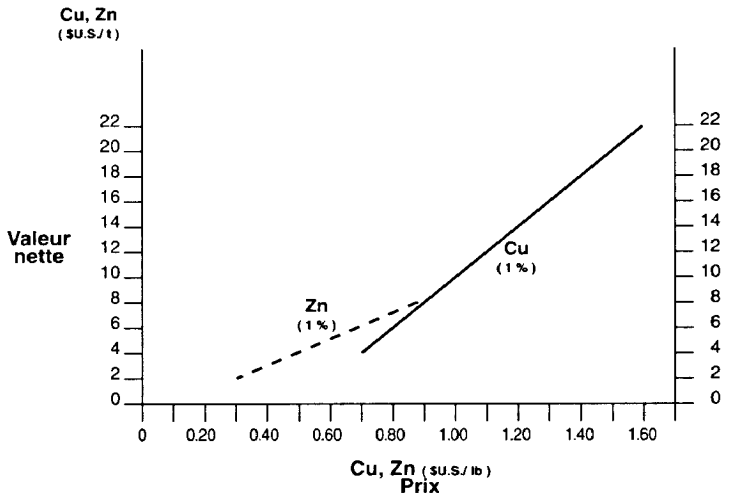


FIGURE 8.3
DIAGRAMME ILLUSTRANT L'IMPACT DE DIFFÉRENTS FACTEURS SUR LA VALEUR NETTE DES MINERAIS DE CUIVRE, ARGENT, ZINC, NICKEL ET OR.



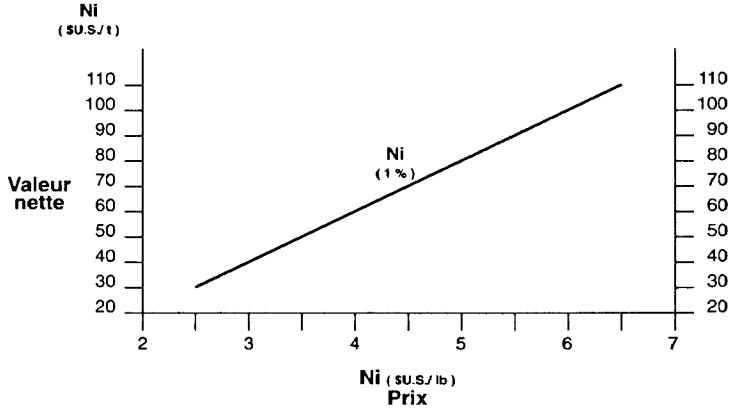


FIGURE 8.4 ***VALEURS NETTES APPROXIMATIVES DE DIFFÉRENTES UNITÉS DE MÉTAL EN FONCTION DU PRIX DES MÉTAUX (SELON LES CONDITIONS CONTRACTUELLES EN VIGEUR POUR LES MINES DU NORD-OUEST DU QUÉBEC EN 1992).***

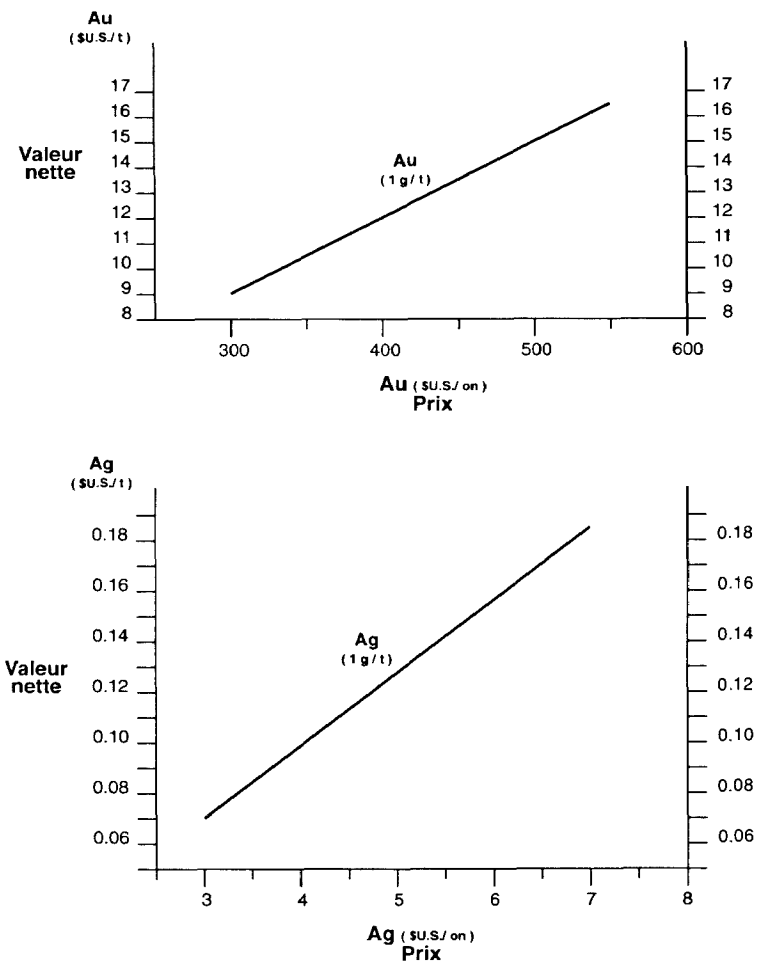

Au
($U.S./t)
Valeur nette
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
Au
(1 g/t)
300
400
500
600
Au ($U.S./on)
Prix
Ag
($U.S./t)
Valeur nette
0.18
0.16
0.14
0.12
0.10
0.08
0.06
Ag
(1 g/t)
3
4
5
6
7
8
Ag ($U.S./on)
Prix

FIGURE 8.4

Comme exemple de calcul, on pourrait estimer la valeur d'une tonne métrique de minerai contenant 3% de cuivre et 6% de zinc, en supposant que le prix du cuivre est de 1,10$ US la livre et que celui du zinc est de 0,60$ US . Selon la figure 8.4, il est facile d'estimer la valeur d'une tonne de minerai à 36$ US pour le cuivre (3% x 12$) et à 30$ US pour le zinc (6% x 5$), soit un total de 66$ US. Pour obtenir la valeur nette en dollars canadiens, il suffit d'appliquer le taux de change en vigueur (ex: au taux de change de 1,20, une tonne de minerai vaudrait 1,2 x 66$ = 79,20$).

8.4 COÛTS D'EXTRACTION ET DE MISE EN VALEUR

L'estimation exacte des coûts d'extraction du minerai est une opération fort complexe qui exige la connaissance de plusieurs paramètres du gisement à exploiter. Les **coûts d'extraction** varient en fonction des facteurs suivants: la **taille**, la **forme**, l'**épaisseur** et la **profondeur du gisement**. D'autres facteurs tels que la **structure de la roche** et la **localisation du gisement** peuvent aussi avoir une influence importante sur les coûts d'extraction à la mine.

Généralement, pour estimer rapidement l'ordre de grandeur des coûts de production pour une mine potentielle, il peut être utile de consulter les rapports annuels de mines similaires en exploitation dans la même région que la propriété. Il faut cependant réaliser que cet exercice ne donne que des coûts approximatifs. Règle générale, les gisements minces et de forme irrégulière sont beaucoup plus dispendieux à exploiter que les gisements lenticulaires

et de forte épaisseur; ceci explique l'intérêt des sociétés minières pour les gisements de sulfures massifs ou disséminés, au détriment des gîtes filoniens de faible épaisseur. De même, les gisements à fort tonnage et à faible profondeur se prêtent bien à l'exploitation à ciel ouvert, laquelle est de loin la moins coûteuse de toutes les méthodes d'extraction. Par exemple, alors que les mines souterraines peuvent avoir des coûts d'extraction et d'usinage de l'ordre de 35$ à 70$ la tonne, il n'est pas rare de voir des exploitations à ciel ouvert fonctionner à des coûts de moins de 10$ la tonne.

Selon les coûts d'extraction établis, on pourra déterminer la **teneur de coupure du minerai**, c'est-à-dire la teneur minimale qui permet l'extraction du minerai sans perte financière. Les graphiques de la figure 8.4 peuvent servir à déterminer une teneur de coupure; par exemple, si le coût de production d'une mine de cuivre est de 40$ US/tonne et que le prix du cuivre est de 1,00$ US la livre, alors une teneur de 1% Cu aura une valeur nette de 10$ US par tonne et la teneur de coupure de la mine sera de 4% de Cu (40$ ÷ 10$/1%).

Les **coûts de mise en valeur**, souvent appelés coûts en capital, comprennent l'ensemble des investissements requis avant le début de la production, afin d'établir les infrastructures nécessaires et de préparer le gisement à l'exploitation. Les facteurs déterminant les coûts de mise en valeur sont les mêmes que ceux des coûts d'extraction auxquels on ajoute le fonçage des puits et la localisation du gisement par rapport aux infrastructures routières ou aux services publics. Un survol des revues et journaux miniers montre que les coûts de mise en valeur d'une mine souter-

raine produisant 1 500 tonnes par jour peuvent facilement atteindre de 50 à 80 millions $, alors que des mines de plus grande envergure peuvent nécessiter des centaines de millions de dollars.

La rentabilité d'une mine exige que les investissements de mise en valeur soient récupérés à même les profits d'exploitation; par conséquent, il faut que le gisement ait une taille suffisante pour que ces profits permettent l'amortissement des coûts en capital. La taille ou le tonnage requis, pour qu'un gisement soit économiquement exploitable, varie en fonction de la valeur du minerai, du coût d'extraction, de l'ampleur de l'investissement initial ainsi que des coûts de restauration du site. Il est important d'évaluer le plus justement possible les **coûts de restauration du site** en consultant préalablement certains règlements de la loi sur la qualité de l'environnement et la loi touchant l'environnement minier (projet de loi 130). En raison des conditions économiques et des coûts de mise en valeur, très peu de gisements de moins de 1 million de tonnes sont exploitables économiquement.

8.5 PRINCIPES DE CALCUL DE RÉSERVES

Le calcul des réserves s'effectue en multipliant le volume du minerai (en m^3) par son poids spécifique (en t/m^3) pour établir le **tonnage**, et en utilisant les résultats d'analyse pour en déterminer la teneur.

Le **poids spécifique** d'un minerai est la densité, à laquelle on ajoute des unités de poids par volume; exemple: la densité du quartz étant de 2,65, son poids spécifique est de 2,65 g/cm^3 ou 2,65 t/m^3.

Des exemples de poids spécifiques typiques pour certains minerais sont donnés dans le tableau 8.1. A titre d'illustration, on peut estimer que le tonnage d'un dépôt de quartz ayant un volume de 500 000 m^3 est de 1 325 000 tonnes (500 000 m^3 x 2,65 t/m^3 = 1 325 000 t).

TABLEAU 8.1
EXEMPLES DE POIDS SPÉCIFIQUES DE MINERAIS.

Types de minerais	**Poids spécifique (t/m^3)**
Veines de quartz	2,65
Veines de sulfures	2,8 - 3,1
Sulfures massifs	3,9 - 4,2
Sulfures semi-massifs	3,3 - 3,6
Sulfures disséminés	2,7 - 2,9

Le degré de confiance que l'on attribue à un calcul de réserves est directement lié à l'exactitude et à la quantité de données disponibles concernant la teneur et le tonnage de minerai. Il faut se rappeler qu'un calcul de réserves implique une bonne connaissance du gisement et une forte dose d'interprétation et d'extrapolation, d'où l'importance de confier le calcul à du personnel qualifié.

Plusieurs catégories de réserves sont établies, selon le degré de certitude qu'on leur attribue. A cet effet, des normes précises ont été définies dans "Le Guide d'Évaluation des Gisements d'Or", publié par le CRM.

Essentiellement, on y distingue deux grandes classes de concentrations minérales:

les réserves: pour lesquelles on a une connaissance détaillée, et qui ont une valeur nette suffisante pour en justifier l'exploitation;

les ressources: qui représentent une masse minéralisée encore mal définie, mais qui forme néanmoins une concentration minérale importante, dont une partie pourrait éventuellement être exploitée sous certaines conditions (figure 8.5).

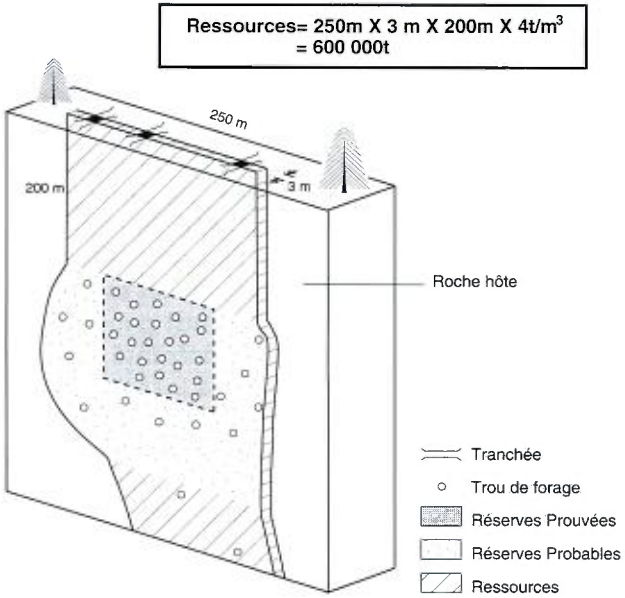


FIGURE 8.5 ***SECTION LONGITUDINALE D'UNE ZONE MINÉRALISÉE, ILLUSTRANT LA DISTINCTION ENTRE LES RESSOURCES ET LES RÉSERVES PROUVÉES ET PROBABLES.***

Puisque le calcul des réserves suppose la connaissance des trois dimensions du gisement, des forages rapprochés sont nécessaires pour en déterminer les dimensions. Une fois les forages complétés, deux méthodes peuvent être utilisées pour traiter les données, soit le traçage des trous sur section longitudinale ou sur section transversale. Dans les deux cas, l'exercice permet l'évaluation du volume d'un gisement pourvu que, d'une part, les intersections minéralisées appartiennent toutes à la même structure et que, d'autre part, il y ait continuité de la minéralisation entre les intersections minéralisées (figures 6.11 et 7.3).

En l'absence de trous de forage rapprochés, ce qui est souvent le cas lors de nouvelles découvertes en surface, il est possible d'estimer un potentiel (**les ressources**) en extrapolant en profondeur les données de surface. Par exemple, si des tranchées ont permis de définir un horizon de sulfures massifs (densité = 4,0) sur une longueur de 250 m avec une épaisseur moyenne de 3 m, on pourra estimer qu'un tel gisement, qui se poursuivrait jusqu'à une profondeur de 200 m, pourrait contenir 600 000 tonnes de sulfures (figure 8.5). Même si des forages sont nécessaires pour prouver l'envergure du gisement, cet estimé préliminaire peut néanmoins fournir un outil pour évaluer les ressources indiquées par un indice minéralisé. De plus, les données présentées aux figures 8.1, 8.2 et 8.4 permettront de faire une estimation préliminaire de la valeur du gisement. Même si ces calculs peuvent se faire à la main, les calculs détaillés se font généralement à l'aide d'ordinateurs et de divers logiciels disponibles sur le marché.

La **teneur moyenne** d'un gisement se calcule en pondérant les teneurs des trous de forage par le tonnage des blocs définis par chacun de ces trous. Un exemple simple d'un tel calcul est présenté au tableau 8.2.

TABLEAU 8.2
CALCUL D'UNE TENEUR MOYENNE.

trou	volume m^3	X	Poids spécifique t/m^3	=	tonnage t	teneur %Cu	teneur x tonnage t-%Cu
1	9 000		4,0		36 000	2,5	90 000
2	20 000		3,5		75 000	3,0	225 000
3	15 000		4,0		60 000	4,5	270 000
4	10 000		3,6		36 000	4,0	144 000
5	25 000		4,0		100 000	5,2	520 000
				TOTAL	**307 000**		**1 249 000**

teneur moyenne - $\frac{1\,249\,000 \text{ t-\%Cu}}{307\,000 \text{ t}}$: 4,07% Cu

8.6 CONCLUSION

Généralement, ce n'est pas le rôle du prospecteur d'effectuer des calculs détaillés de la valeur commerciale d'un minerai ou d'un gisement; il est cependant important qu'il puisse en connaître les principes afin de pouvoir faire des estimations préliminaires. Il est particulièrement important de connaître la valeur nette possible de minerais de différentes teneurs afin, d'une part, de rechercher et d'identifier les teneurs minérales susceptibles d'intéresser une société minière et, d'autre part, de mieux évaluer la valeur commerciale d'une propriété.

BIBLIOGRAPHIE

GOLDIE, R., and P. TREDGER, Net Smelter Return Models and their Use in the Exploration, Evaluation and Exploitation of Polymetallic Deposits, Vol. 18 no 4, Geoscience Canada, 1991, p. 159-171..

VALLÉE, M., DAVID, M., DAGBERT, M. et DESROCHERS, C., Guide d'évaluation des gisements d'or, Centre de recherches minérales, Ministère de l'énergie et des ressources du Québec, 1990, tome 1 (90 p.), tome 2 (308 p.) et tome 3 (62 p.).

CHAPITRE IX

FINANCEMENT DE L'EXPLORATION

9.1 INTRODUCTION

L'exploration minière est un domaine à caractère incertain. Les risques reliés à l'exploration peuvent être partiellement contrôlés, au début d'une campagne d'exploration, grâce à une connaissance approfondie des dossiers décrivant les travaux déjà effectués sur les propriétés. Rapidement, les travaux de prospection deviennent financièrement exigeants; le prospecteur devra soit créer sa propre compagnie d'exploration par financement public ou privé, soit vendre ou optionner sa propriété à une compagnie déjà établie. Le but de ce chapitre est d'éclairer le prospecteur face aux décisions qu'il devra prendre.

9.2 DOSSIER D'UNE PROPRIÉTÉ

Afin de faciliter la présentation de ses propriétés à des partenaires potentiels, le prospecteur doit tenir en ordre et

à jour ses dossiers. Ces dossiers doivent contenir les éléments suivants:

- la liste des claims et les certificats d'enregistrement;
- les cartes de claims des terrains du prospecteur et celles des propriétés adjacentes;
- l'historique des travaux réalisés sur la propriété;
- un rapport d'évaluation de la propriété;
- tous les autres rapports techniques (rapports géologiques, géophysiques, géochimiques, de forages et environnementaux);
- tous les résultats d'analyses avec les certificats du laboratoire;
- les échantillons de roches des indices minéralisés.

Le **rapport d'évaluation** peut être d'une grande importance lors de l'inscription d'une compagnie à la Bourse ou lors d'un financement public. Dans ces cas, le rapport doit se conformer à la directive Q-23 de la Commission des Valeurs Mobilières du Québec (CVMQ); cette directive définit le contenu du rapport selon les critères suivants:

- le rapport doit être établi par un ingénieur ou un géologue possédant un diplôme universitaire, membre d'une association professionnelle, et ayant un minimum de 7 années d'expérience pertinente;

- le rapport doit fournir l'information nécessaire pour permettre l'appréciation du programme d'exploration qui sera réalisé au moyen des fonds recueillis;

- l'auteur du rapport doit visiter la propriété et ne pas se baser uniquement sur les rapports antérieurs pour faire son évaluation; ses constatations doivent être décrites brièvement;

- le rapport doit de plus décrire les échantillons choisis en incluant les caractéristiques suivantes: nom de l'échantillonneur, date du prélèvement, poids, localisation et description géologique;

- les analogies avec des gisements existants doivent être justifiées par des faits géologiques. Il faut éviter les comparaisons avec d'autres gisements, souvent éloignés, surtout dans le cas de terrains faiblement minéralisés;

- le programme prévu doit comprendre des travaux réalisables pour la période de l'année où ils seront effectués. Les auteurs devraient s'en tenir aux règles de la bonne pratique et éviter d'inclure plus de deux phases successives de travaux;

- les cartes doivent montrer la localisation précise de la propriété avec de bons repères, idéalement à partir de la ville minière la plus près de la propriété. La carte de compilation doit comprendre les indices de minéralisation, les travaux de décapage et les principales anomalies géochimiques et géophysiques; cette même carte peut aussi être utilisée pour illustrer la géologie du terrain et les travaux proposés.

D'autres informations sont requises pour compléter le rapport d'évaluation d'une propriété lorsque les travaux sont très avancés: l'étude de faisabilité et le calcul des réserves.

9.3 CRÉATION D'UNE COMPAGNIE JUNIOR

Pour créer une compagnie junior, un prospecteur peut vendre ses propriétés à sa propre compagnie en échange d'actions et obtenir une mise de fonds initiale de quelques milliers de dollars. S'il désire amorcer un financement privé, un maximum de 50 investisseurs est requis. Le coût de ce financement varie de 5 à 10% du capital amassé. La CVMQ exige le dépôt d'un avis d'offre qui comprend le programme d'exploration proposé ainsi que le nombre et la catégorie d'actions qui seront émises en échange de l'argent investi. La valeur de ce genre de financement se situe entre 50 000$ et 250 000$. Si plus de 50 investisseurs ou des sommes supplémentaires sont nécessaires, un appel public au financement par actions peut être effectué.

La réalisation du **financement par actions** exige des connaissances approfondies des lois, de la fiscalité, de la géologie et du courtage. Il est recommandé de s'adresser aux professionnels de ces secteurs pour obtenir de l'aide. Pour obtenir un financement par actions, un **prospectus** doit être présenté à la CVMQ. La période de préparation du prospectus final est d'environ 12 à 14 semaines. Les coûts totaux pour la première émission d'un prospectus dépendent du contexte économique; ils varient de 75 000$ à 500 000$.

Trois modes de financement public s'appliquent à une PME d'exploration minière: actions ordinaires, actions accréditives et société en commandite. Pour une entreprise formée par **actions ordinaires**, il est recommandé d'ajouter une prime aux actions. Pour attirer des investisseurs, des bons de souscription peuvent être rajoutés aux actions ordinaires.

Dans le cas du financement par **actions accréditives**, l'argent des investisseurs est placé en fiducie. Lorsque les travaux sont complétés et les fonds dépensés, les investisseurs reçoivent alors des actions de la compagnie ainsi que des déductions fiscales; celles-ci peuvent varier, de 100% à 175% des fonds investis, selon le palier de gouvernement et les catégories de travaux.

La **société en commandite** constitue le troisième mode de financement: il s'agit d'une structure juridique par laquelle plusieurs investisseurs réunissent leurs fonds dans une entreprise; celle-ci investit des fonds sur des propriétés pouvant appartenir à plusieurs compagnies différentes. La société en commandite bénéficie de déductions fiscales qui sont retransmises aux investisseurs; ces fonds sont généralement échangés contre des actions. Les bénéfices pour les investisseurs dans une société en commandite sont semblables à ceux obtenus par le financement accréditif.

Les avantages d'un financement public sont les suivants:

- amélioration de la valeur nette de la société;
- meilleure visibilité publique;

- accès à plus de capitaux pour le développement des objectifs de la compagnie;
- accélération des travaux;
- partage des risques.

Les inconvénients sont d'un autre ordre :

- présence de propriétaires multiples;
- obligation de divulguer divers renseignements sur la compagnie;
- dilution du capital-actions.

9.4 VENTE D'UNE PROPRIÉTÉ

Un prospecteur peut disposer de ses propriétés de trois façons:

- vendre 100% de ses intérêts;
- vendre un pourcentage de la propriété et participer par la suite aux dépenses et aux revenus éventuels en proportion de ses intérêts;
- vendre tous ses intérêts en conservant une redevance en cas de production.

Les principaux facteurs à considérer dans un **contrat de vente** sont les suivants:

- la localisation et la superficie de la propriété;
- le nombre et la qualité des indices et des gîtes sur la propriété;
- l'historique des propriétés environnantes et le potentiel minier du secteur;
- les conditions du marché et le climat économique;
- les risques environnementaux liés aux travaux antérieurs.

Les termes d'un contrat de vente sont très importants; pour cette raison, il est préférable de consulter un avocat et un fiscaliste. En général, les contrats sont rédigés sous forme d'options; si les conditions du contrat ne sont pas remplies, la propriété retourne au prospecteur. Habituellement, les paiements et les autres obligations de l'acquéreur d'une propriété augmentent avec le temps.

Les paiements ne se font pas nécessairement en espèces; ils peuvent être sous forme d'actions de la compagnie acheteuse. Le prospecteur devrait garder une redevance; trois types de redevances peuvent être considérés si la propriété génère une exploitation minimale:

- **redevance fixe par tonne de matériel produit**: redevance utilisée dans le cas de carrières ou de substances

de faible valeur. Cette méthode est peu utilisée dans le cas des métaux précieux (Au, Ag, Pt...) et des métaux usuels (Cu, Zn, Pb, Ni...);

- **revenu net de fonderie ("net smelter return" ou "NSR")**: valeur du produit lorsqu'il quitte le concentrateur où le minerai est traité, moins les coûts de traitement, d'échantillonnage, de raffinage et de transport. En général, le pourcentage consenti varie de 0,1% à 5% du "NSR". La simplicité du contrat et la garantie d'un paiement indépendant de la rentabilité de la mine rendent ce type de redevance intéressant pour le prospecteur;

- **profit net d'exploitation ("net proceeds of production")**: profit réalisé après déduction de toutes les dépenses effectuées (exploitation, mise en valeur, exploration, financement et frais d'administration). Le pourcentage consenti est plus élevé que pour le NSR: il peut atteindre 40%. Cependant, la redevance n'est payée qu'une fois les dépenses de mise en valeur amorties.

9.5 CONCLUSION

En plus de choisir le mode de financement et le type de partenariat qui lui semblent les plus rentables, le prospecteur doit considérer les facteurs qui peuvent affecter la viabilité d'un projet : la fluctuation des prix des métaux, les coûts des méthodes d'exploration et d'exploitation, l'offre et la demande de la substance utile, etc.

Lorsque l'investissement nécessaire à l'avancement des travaux d'exploration ou de mise en valeur devient important, il est recommandé de consulter des spécialistes du domaine du financement minier. Certaines associations locales de prospecteurs, l'Association minière du Québec, l'Institut Canadien des Mines et de la Métallurgie, le MERQ, la Bourse de Montréal et toutes les maisons de courtage (financement public) peuvent fournir de l'information concernant le financement.

BIBLIOGRAPHIE

ARCHAMBAULT, B., Le guide du spéculateur minier 87, Bibliothèque finance, 1986, 383 p.

"Instructions générales Q-23", Rapports géologiques et d'ingénierie déposés à l'occasion d'un prospectus et suivi du programme des travaux, C.V.M.Q., 1987, p. 31-36.

SAINT-PIERRE, G., L'entrepreneurship minier, La Révolution tranquille du Québec minier, Gaëtan Morin Éditeur, 1989, 252 p.

GRIFFITHS, D., "Comment faire avancer votre projet minier", Séance d'information boursière, UQAT, 1984, 151 p.

LES BUREAUX RÉGIONAUX DU MINISTÈRE ÉNERGIE ET RESSOURCES DU QUÉBEC
(voir page 36)

COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA (C.G.C.)
Énergie, Mines et Ressources Canada
601, rue Booth, Ottawa (Ontario) K1A 0E8
Tél. : (613) 995-0947

CENTRE DE RECHERCHES MINÉRALES (C.R.M.)
Ministère Énergie et Ressources du Québec
2700, rue Einstein, Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
Tél. : (418) 643-4540

L'ASSOCIATION DES PROSPECTEURS DU QUÉBEC (A.P.Q.)
640, 3e Avenue, Bureau 109, Val-d'Or (Québec) J9P 1S5
Tél. : (819) 825-4335

ASSOCIATION PROFESSIONNELLE DES GÉOLOGUES ET DES GÉOPHYSICIENS DU QUÉBEC (A.P.G.G.Q.)
6700, Avenue du Parc, Bureau 110, Montréal (Québec) H2V 4H9
Tél. : (514) 270-2851

PROSPECTORS AND DEVELOPPERS ASSOCIATION OF CANADA (PDA)
Suite 1002 - 74 Victoria Street, Toronto (Ontario) M5C 2A5
Tél. : (416) 362-1969

CANADIAN MINERAL ANALYSTS
P.O. Box 1081, Kirkland Lake (Ontario) P2N 3L1

DÉPARTEMENT DE TECHNOLOGIE MINÉRALE
CÉGEP DE L'ABITIBI-TÉMISCAMINGUE
425, Boulevard du Collège, C.P. 1500
Rouyn-Noranda (Québec) J9X 5E5
Tél. : (819) 762-0931

DÉPARTEMENT DE TECHNOLOGIE MINÉRALE
COLLÈGE DE LA RÉGION DE L'AMIANTE
671, Boulevard Smith Sud, Thetford Mines (Québec) G6G 1N1
Tél. : (418) 338-6410

TABLES DE CONVERSION MÉTRIQUE

LONGUEUR

mi	km	arp	ch	m	vg	pi	po	cm
1	1,6093	27,548	80	1 609,3	1 760	5 280	63 360	160 934
0,6214	1	17,094	49,710	1 000	1 093,6	3 280,8	39 370,1	100 000
0,0363	0,0585	1	2,9066	58,471	63,945	191,83	2 302,02	5 847
0,0125	0,0201	0,3340	1	20,117	22	66	792	2 012
0,0006	0,001	0,0171	0,0497	1	1,0936	3,2808	39,370	100
0,0006	0,0009	0,0156	0,0455	0,9144	1	3	36	91,44
0,0002	0,0003	0,0052	0,0151	0,3048	0,3333	1	12	30,48
*	*	*	0,0013	0,0254	0,0278	0,0833	1	2,54
*	*	*	*	0,01	0,0109	0,0328	0,3937	1

SUPERFICIE

mi^2	km^2	arp	ch	m^2	vg^2	pi^2	po^2	cm^2
1	2,5900	259,0	640	2,6 M	3,1 M	*	*	*
0,3861	1	100	247,11	1,0 M	*	*	*	*
0,0039	0,01	1	2,4711	10 000	11 960	107 638	*	*
0,0016	0,0040	0,4047	1	4 046,9	4 840	43 560	*	*
*	*	0,0001	0,0003	1	1,1960	10,764	1 550	10 000
*	*	*	0,0002	0,8361	1	9	1 296	8 361,3
*	*	*	*	0,0929	0,1111	1	144	929,03
*	*	*	*	0,006	0,0008	0,0069	1	6,4516
*	*	*	*	0,0001	0,0001	0,0011	0,155	1

VOLUME

m^3	km^3	pi^3	gal (Can)	gal (U.S.) 1	dm^3=	po^3	ml = cm^3
1	1,3080	35,315	219,97	264,17	1 000	61 024	1 M
0,7646	1	27	168,07	201,61	764,53	46 656	764 555
0,0283	0,0370	1	6,2288	7,4805	28,316	1 728	28 316
0,0046	0,0060	0,1605	1	1,2010	4,5459	277,42	4 546,1
0,0038	0,0050	0,1337	0,8327	1	3,7853	231	3 785,4
0,001	0,0013	0,0353	0,2200	0,2642	1	61,024	1 000
*	*	0,0006	0,0036	0,0043	0,0164	1	16,3871
*	*	*	0,0002	0,0003	0,001	0,0610	1

MASSE

tm	tc	kg	lb(av.)	on troy	on (av.)	g	c
1	1,1023	1 000	2 204,6	32 151	35 274	1 M	*
0,9072	1	907,19	2 000	29 167	32 000	907 185	*
0,001	0,0011	1	2,2046	32,151	35,274	1 000	5 000
0,0004	0,0005	0,4536	1	14,583	16	453,59	2 267,9
*	*	0,0311	0,0686	1	1,0971	31,103	155,517
*	*	0,0284	0,0625	0,9115	1	28,350	141,748
*	*	0,0010	0,0022	0,0322	0,0353	1	5
*	*	0,0002	0,0004	0,0064	0,0071	0,2	1

TABLE D'ÉQUIVALENCE DES TENEURS

Gramme Tonne	Once Tonne	Gramme Tonne	Once Tonne	Gramme Tonne	Once Tonne	Gramme Tonne	Once Tonne	Gramme Tonne	Once Tonne
0,1	0,003	4,7	0,137	9,3	0,272	13,9	0,406	18,5	0,540
0,2	0,006	4,8	0,140	9,4	0,274	14,0	0,409	18,6	0,543
0,3	0,009	4,9	0,143	9,5	0,277	14,1	0,412	18,7	0,546
0,4	0,012	5,0	0,146	9,6	0,280	14,2	0,415	18,8	0,549
0,5	0,015	5,1	0,149	9,7	0,283	14,3	0,418	18,9	0,552
0,6	0,017	5,2	0,152	9,8	0,286	14,4	0,420	19,0	0,555
0,7	0,020	5,3	0,155	9,9	0,289	14,5	0,423	19,1	0,558
0,8	0,023	5,4	0,158	10,0	0,292	14,6	0,426	19,2	0,561
0,9	0,026	5,5	0,161	10,1	0,295	14,7	0,429	19,3	0,564
1,0	0,029	5,6	0,164	10,2	0,298	14,8	0,432	19,4	0,566
1,1	0,032	5,7	0,166	10,3	0,301	14,9	0,435	19,5	0,569
1,2	0,035	5,8	0,169	10,4	0,304	15,0	0,438	19,6	0,572
1,3	0,038	5,9	0,172	10,5	0,307	15,1	0,441	19,7	0,575
1,4	0,041	6,0	0,175	10,6	0,310	15,2	0,444	19,8	0,578
1,5	0,044	6,1	0,178	10,7	0,312	15,3	0,447	19,9	0,581
1,6	0,047	6,2	0,181	10,8	0,315	15,4	0,450	20,0	0,584
1,7	0,050	6,3	0,184	10,9	0,318	15,5	0,453	21,0	0,613
1,8	0,053	6,4	0,187	11,0	0,321	15,6	0,456	22,0	0,642
1,9	0,055	6,5	0,190	11,1	0,324	15,7	0,458	23,0	0,672
2,0	0,058	6,6	0,193	11,2	0,327	15,8	0,461	24,0	0,701
2,1	0,061	6,7	0,196	11,3	0,330	15,9	0,464	25,0	0,730
2,2	0,064	6,8	0,199	11,4	0,333	16,0	0,467	26,0	0,759
2,3	0,067	6,9	0,201	11,5	0,336	16,1	0,470	27,0	0,788
2,4	0,070	7,0	0,204	11,6	0,339	16,2	0,473	28,0	0,818
2,5	0,073	7,1	0,207	11,7	0,342	16,3	0,476	29,0	0,847
2,6	0,076	7,2	0,210	11,8	0,345	16,4	0,479	30,0	0,876
2,7	0,079	7,3	0,213	11,9	0,347	16,5	0,482	31,0	0,905
2,8	0,082	7,4	0,216	12,0	0,350	16,6	0,485	32,0	0,934
2,9	0,085	7,5	0,219	12,1	0,353	16,7	0,488	33,0	0,964
3,0	0,088	7,6	0,222	12,2	0,356	16,8	0,491	34,0	0,993
3,1	0,091	7,7	0,225	12,3	0,359	16,9	0,493	35,0	1,022
3,2	0,093	7,8	0,228	12,4	0,362	17,0	0,496	36,0	1,051
3,3	0,096	7,9	0,231	12,5	0,365	17,1	0,499	37,0	1,080
3,4	0,099	8,0	0,234	12,6	0,368	17,2	0,502	38,0	1,110
3,5	0,102	8,1	0,237	12,7	0,371	17,3	0,505	39,0	1,139
3,6	0,105	8,2	0,239	12,8	0,374	17,4	0,508	40,0	1,168
3,7	0,108	8,3	0,242	12,9	0,377	17,5	0,511	45,0	1,314
3,8	0,111	8,4	0,245	13,0	0,380	17,6	0,514	50,0	1,460
3,9	0,114	8,5	0,248	13,1	0,383	17,7	0,517	55,0	1,606
4,0	0,117	8,6	0,251	13,2	0,385	17,8	0,520	60,0	1,752
4,1	0,120	8,7	0,254	13,3	0,388	17,9	0,523	65,0	1,898
4,2	0,123	8,8	0,257	13,4	0,391	18,0	0,526	70,0	2,044
4,3	0,126	8,9	0,260	13,5	0,394	18,1	0,529	75,0	2,190
4,4	0,128	9,0	0,263	13,6	0,397	18,2	0,531	100,0	2,920
4,5	0,131	9,1	0,266	13,7	0,400	18,3	0,534		
4,6	0,134	9,2	0,269	13,8	0,403	18,4	0,537		

INDEX

Dépôt légal:

3e trimestre 1993
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada

ISBN: 2-9801888-5-9

Groupe de communication PAT
Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue
CFDEM

PAR :

Le Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue

Le Groupe de communication PAT

La Corporation de formation et de développement en exploration minière