

GM 63292

GUIDE D'EVALUATION DES GISEMENTS D'OR - TOME 1 - PRECIS D'EVALUATION

Documents complémentaires

Additional Files



Licence



Licence

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

Énergie et Ressources
naturelles

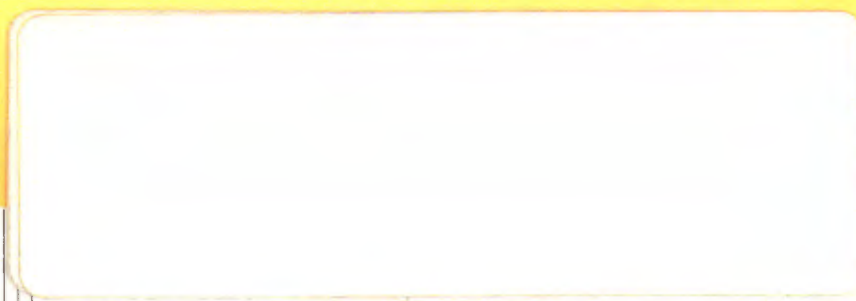
Québec 



CENTRE DE RECHERCHES MINÉRALES

GUIDE D'ÉVALUATION DES GISEMENTS D'OR

Tome 1 Précis d'évaluation



Recources naturelles et Faune, Québec

21 FEV. 2008

Service de la Géoinformation

GM 63292

Québec

GUIDE D'ÉVALUATION DES GISEMENTS D'OR

Tome 1 Précis d'évaluation

pour le
Centre de recherches minérales

POUR CONSULTATION SEULEMENT
MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET RESSOURCES
DIVISION DES DONNÉES GÉOSCIENTIFIQUES
5700, 4^e AVENUE OUEST, LOCAL A-201
CHARLESBOURG (QUÉBEC)

Tous droits réservés ©

GÉOCONSEIL
MARCEL VALLÉE INC.



ROCHE
Ltée Groupe-conseil

Publié et diffusé par
le Centre de recherches minérales
Ministère de l'Énergie et des Ressources
2700, rue Einstein
SAINTE-FOY (Québec)
G1P 3W8

Dépôt légal - Bibliothèque nationale du Québec
4e trimestre 1990

ISBN: 2-551-12472-7 (série complète)
ISBN: 2-551-12473-5 (tome I)

PRÉAMBULE

Le Centre de recherches minérales est heureux de vous présenter ce *Guide d'évaluation des gisements d'or* destiné aux professionnels et aux responsables de l'évaluation des aspects relatifs à la géologie, l'ingénierie et l'économie des gisements d'or. Ce guide sera utile autant pour les compagnies minières ou d'exploration que pour les différents organismes financiers, de réglementation et gouvernementaux impliqués dans le domaine minier.


La rédaction du guide a été confiée au cours du printemps 1989 au consortium Géoconseil Marcel Vallée inc. - Roche ltée, Groupe Conseil. Plusieurs organismes ont participé au financement et au suivi des travaux de rédaction :

- Association minière du Québec inc. (AMQ)
- Association professionnelle des géologues et des géophysiciens du Québec (APGGQ)
- Association des prospecteurs du Québec (APQ)
- Bourse de Montréal
- Cambior inc.
- Centre de recherches minérales (CRM) (commanditaire principal)
- Commission des valeurs mobilières du Québec (CVMQ)
- Géophysique GPR International inc.
- Ordre des ingénieurs du Québec (OIQ)
- Unité de recherche et de service en technologie minière de l'Abitibi-Témiscamingue (URSTM).

Les deux principaux objectifs poursuivis dans ce document sont de fournir des procédures et des outils appropriés d'évaluation des gisements d'or et d'établir des définitions des réserves plus cohérentes et plus pertinentes que celles utilisées présentement. Le guide d'évaluation des gisements d'or contient aussi une description complète du processus de développement minier.

Ce document s'inscrit dans la liste des guides que le Centre de recherches minérales met à la disposition de ceux qui oeuvrent dans le secteur minéral.

Le directeur général
du Centre de recherches minérales,



Jacques Saint-Cyr, ing.

SOMMAIRE

Le Guide d'évaluation des gisements d'or vise, par une analyse critique des étapes et composantes de l'évaluation des gisements d'or et de la classification des réserves, à améliorer la précision des estimés et à réduire les risques de perte financière que comportent les décisions d'investissements dans le secteur minier. Le Guide analyse, dans une approche systémique, les travaux d'évaluation et de mise en valeur des gisements minéraux dans l'axe de la géologie, dans l'axe de l'ingénierie et dans l'axe de l'économique. La même attention est apportée aux systèmes de classification des réserves et des ressources.

Le Guide s'adresse d'abord aux professionnels⁽¹⁾ et aux cadres techniques; et, par extension, aux dirigeants et administrateurs des compagnies. Le Guide pourra également servir aux autres intervenants dans le développement minéral, tels le personnel des organismes financiers, des ministères et des organismes de réglementation.

Le Guide d'évaluation des gisements d'or comporte trois Tomes: le Précis, la Méthode d'évaluation et la Classification des Réserves et des Ressources. Le Précis d'évaluation présente une perspective synthétique et résumée du Tome II selon les mêmes chapitres et subdivisions principales, et résume la classification des réserves présentée au chapitre 3 du Tome III. Le Précis a pour but de faciliter l'accès à l'ensemble du Guide et aux sujets d'intérêt particulier pour le lecteur.

Après un exposé de la problématique du développement minéral (chap. 2), la démarche du Guide a fait ressortir les éléments du processus d'évaluation des gisements (chap. 4). Ces éléments sont la *quantification croissante des connaissances*, le *caractère itératif et multidisciplinaire* des travaux et des intervenants et le *contexte probabiliste des résultats* du processus d'évaluation d'un gisement minéral. Le cheminement du Guide consiste à déterminer, par une analyse rigoureuse, les divers éléments et étapes de perte du métal et de dilution du minerai qui nuisent au rendement global d'une exploitation minière. Les notions de *précision*, de *niveau de confiance* et de *marge d'erreur des estimés* et de *risque relié à la décision de réalisation du projet* sont développées dans cette problématique. Cette démarche du Guide est essentielle à l'établissement de systèmes experts éventuels pour l'évaluation des gisements.

¹ Dans le Guide d'évaluation des gisements d'or, le masculin est utilisé de façon générale pour signifier à la fois le masculin et le féminin, pour raisons de simplicité.

Dans l'axe géologique, le Guide vise l'optimisation du travail géologique (chap. 4), des diverses méthodes d'échantillonnages (chap. 5), des méthodes analytiques (chap. 6) et de l'estimation, à partir des aspects géologiques, géostatistiques et miniers, des volumes, masses et teneurs qui constitue l'inventaire des gisements et des réserves minières (chap. 7). Dans l'axe de l'ingénierie, les aspects miniers (chap 8) et minéralurgiques (chap. 9) font l'objet d'une revue détaillée dans la même perspective de *cerner les éléments qui contribuent aux pertes et à la dilution*, dans le but d'optimiser l'ingénierie du projet et le rendement de l'exploitation éventuelle.

Dans l'axe de l'économique (chap 10), le Guide analyse les divers éléments qui contribuent à la rentabilité et propose un cheminement de travail . L'étape de faisabilité et de décision (chap. 11) constitue un bilan rigoureux du projet, bilan qui doit s'appuyer sur des éléments quantitatifs pour assurer le rendement des investissements dans le projet industriel envisagé. Le Guide propose ensuite (chap. 12) des normes d'application axées sur le rôle des professionnels dans la présentation et la révision des dossiers techniques aux Commissions des valeurs mobilières, avec l'appui d'un Comité de Révision, ou Comité d'experts, pour la revue des dossiers litigieux.

En perspective (chap 13), le Guide souligne qu'une amélioration des processus d'évaluation des gisements et de décision se traduira par une **plus grande efficacité** de l'industrie et des milieux financiers et par une **plus grande rentabilité autant des capitaux de risque aux divers stades du développement minéral que des investissements de production**. De tels résultats ne pourront qu'avoir des rétro-actions bénéfiques sur la perception du public et des milieux financiers pour l'exploration et la mise en valeur des gisements miniers au Québec et au Canada, ce qui contribuera à **améliorer la disponibilité de capitaux de risque pour l'exploration minière au Canada**.

Le Tome III présente d'abord une perspective des divers systèmes de classification des réserves utilisés depuis le début du siècle (chap. 1) et une revue critique des principaux problèmes (chap. 2). A partir de ces éléments, le Guide propose un système mieux structuré d'inventaire minéral et de classification des réserves (chap. 3). En suivant l'usage déjà établi, le terme **réserve** ne sera utilisé que dans une mine en exploitation commerciale ou dans un projet où les connaissances dans tous les axes de connaissance sont *suffisantes pour permettre d'établir la rentabilité d'un projet de développement minéral*. Aux stades de délimitation, de définition et de mise en valeur du gisement, où la connaissance est surtout d'ordre géologique, les termes **gisement délimité** et **minéralisations inférées** (ce dernier remplaçant les "réserves possibles) seront utilisés.

SUMMARY OF THE GUIDE

Proper appraisal of mineral deposits at all stages of mineral development is essential to insure the efficiency of the mineral development process as well as appropriate economic returns of these activities to the investors. The **Guide to Evaluation of Gold Deposits**⁽¹⁾ reviews the various steps and components of the evaluation of gold deposits and the classification of reserves, in order to improve the accuracy of the estimates and **reduce the risks of financial losses that are tied to investment decisions in the mining sector.**

The Guide is designed primarily for the professionals directly involved in the geological, engineering and economic aspects of mineral development, but it will also be of use to operation and corporate management. It should also be useful to other groups also involved in mineral development, such as financial organizations, government departments and regulatory agencies.

The first Volume of the Guide "Précis d'évaluation", presents a synthesis of Volume II, "Méthode d'évaluation" and Volume III, "Classification des réserves et des ressources". Volume II, the "Méthode.." reviews, *in a systemic manner*, the components of mineral deposits evaluation in the successive stages of mineral development, based on the main axes (or domains) of knowledge: geology, engineering and economics. The treatment is elaborate, with case studies and references. Volume III, "Classification..", after a summary presentation of the various reserve classification systems in use, presents a critical appraisal of the problems encountered and offers a revised, more integrated classification system.

Volume II, the "Méthode.." first presents an outline of the context of mineral development and the problems of ore reserve classifications (chap. 2-3). This review emphasises the significant elements of deposit evaluation: the *increasing quantification of knowledge*, the *iterative character of evaluation work*, the *multidisciplinary aspects* of the evaluation processes, and the *probabilistic aspects of most of the estimates*. Improving the efficiency of the investment decisions requires to generalize the use of a more thorough approach to evaluation of deposits, so that the forecasts of production grade and tonnage and anticipated revenue are more often met. The Guide reviews systematically the steps and procedures that contribute to **metal loss and ore dilution**: these are direct drains on the efficiency of all phases of mining evaluation, extraction and ore dressing. Similar approaches are already followed by numerous companies or consultants, but not by all, as events too often demonstrate.

¹ 1990, "Guide d'évaluation des gisements d'or", sponsored by the Centre de recherches minérales du Québec and seven other organisations and prepared by Géoconseil Marcel Vallée inc. and ROCHE ltée, Groupe conseil.

In the **geological** axis or domain, the Guide describes the characteristics of geological appraisal work (chap 4), sampling methods (chap. 5), assaying methods and procedures (chap. 6). The various steps and methods for the estimation of volumes, masses and grades of mineral deposits are covered in chapter 7. To help quantify the non-statistical concept of precision of the estimates, the terms **margin of error** and **confidence level of the estimates** are used throughout.

In the **engineering** domain, mining and ore dressing aspects (chap. 8-9) are reviewed in detail, with the same objective of defining ore/metal losses and dilution introduced at the various steps of evaluation as well as improving the engineering aspects of the project. The key emphasis is on the interrelation between ore deposit features and the mining / milling methods chosen. Resulting ore dilution and ore losses are directly related with these choices. The direct relation of appropriate, rigorous sampling of gold ore to accurate control and auditing of the process is emphasized.

In the **economic** axis the Guide reviews the various elements required to establish the economic feasibility and the profitability of the mining project, and proposes assessment procedures and steps (chap. 10). The final (bankable) feasibility study and the decision it supports must be based on appropriate quantitative estimates of all aspects involved, in order to insure the profitability of the investments required for mine development (chap. 11); at this stage, proper evaluation of all risk factors that cannot be quantified is essential to insure proper returns on these investments. Chapter 12 suggests norms for the presentation of professional reports dealing with reserve estimation, feasibility studies and mine financing.

Volume III, **Classification des réserves et des ressources** first presents the various systems used for ore, reserve and resource classifications since the start of the century (chap. 1) and makes a critical review of the main problems encountered, in particular with use of the terms **ore, reserves, possible reserves**(chap. 2). A revised system for mineral inventory and reserve classification is proposed: this new system aims to integrate the significant features of the existing ones (chap. 3).

The key elements of the proposed classification system follow current trends. The term **reserve** shall be used in an operating mine or in a mining project, only when information in the geological, engineering and economic knowledge and information is appropriate to insure the feasibility of the mining project: "reserves" are by definition "mining reserves". At earlier stages of deposit development, when quantitative knowledge is available mainly in the geological axis, the terms "**delimited mineralized resource**" or "**delimited mineral deposit**" shall be used. Both Proven and Probable reserves shall be subdivided in two classes to better express the many steps of mineral valuation; similar divisions shall be used for the delimited mineralisation. In addition, the category of "*Possible reserves*" should be replaced by that of "**Inferred mineralisations**" (or resources); this solution conforms to SEC regulations and to the recommendations of the Australasian Code. Use of the margin of error of the estimates at a confidence level of 90% is proposed as an objective, in order to establish their precision and also to distinguish between categories and classes.

Précis d'évaluation

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	i
SUMMARY OF THE GUIDE	iii
MÉTHODE D'ÉVALUATION _____	
AVERTISSEMENT	3
1. INTRODUCTION	3
2. LE PROCESSUS DE DÉVELOPPEMENT MINÉRAL	5
2.1 PERSPECTIVE	5
2.2 DESCRIPTION DES STADES	6
2.3 ANALYSE DES CLASSIFICATIONS EXISTANTES	8
3. LES LIMITES DE L'ÉVALUATION DES GISEMENTS	11
3.1 LE PROCESSUS D'ÉVALUATION	11
3.2 LA NATURE DES LIMITES	11
3.3 LES CAUSES D'ERREUR	12
3.4 L'EFFICACITÉ DE L'INDUSTRIE	17
3.5 LA RECHERCHE DE LA QUALITÉ	18
 <i>L'AXE GÉOLOGIQUE</i>	
4. LE CONTRÔLE GÉOLOGIQUE	19
4.1 CHAMP D'ACTION	19
4.2 GÉOLOGIE DE L'OR	20
4.3 MÉTHODES GÉOLOGIQUES	20
4.4 POIDS SPÉCIFIQUE	20
4.5 TOPOMÉTRIE ET ASPECTS LÉGAUX	20
4.6 ENVIRONNEMENT	22
4.7 GESTION DE L'INFORMATION	22
4.8 <i>GUIDES D'APPLICATION</i>	23

5. L'OPTIMISATION DES ÉCHANTILLONNAGES	25
5.1 LE PROCESSUS D'ÉCHANTILLONNAGE	25
5.2 ÉCHANTILLONNAGES GÉOLOGIQUES ET MINIERS	25
5.3 CAS TYPES D'ÉCHANTILLONNAGES MINIERS	26
5.4 <i>GUIDES D'APPLICATION: ÉCHANTILLONNAGES</i>	28
6. LES PROCÉDURES ANALYTIQUES	33
6.1 PRÉCISION versus EXACTITUDE	33
6.2 PROBLÈMES D'ÉCHANTILLONNAGE DE L'OR	33
6.3 <i>GUIDES D'APPLICATION</i>	34
7. L'ESTIMATION DES VOLUMES, MASSES ET TENEURS	37
7.1 PROBLÉMATIQUE	37
7.2 LES MÉTHODES TRADITIONNELLES D'ESTIMATION	40
7.3 L'ESTIMATION GÉOSTATISTIQUE	42
7.4 MARGES D'ERREUR, MAILLE ET BLOC D'ESTIMATION	44
7.5 LE CALCUL DES MARGES D'ERREUR	49
7.6 RÉSERVES ET CONTRÔLE DE PRODUCTION	50
7.7 INFORMATION ET VÉRIFICATION	50
7.8 LES CAS TYPES D'ESTIMATION	52
7.9 <i>GUIDES D'APPLICATION: LA GÉOSTATISTIQUE</i>	52
<i>L'AXE DE L'INGÉNIERIE</i>	
8. LES ASPECTS MINIERS	55
8.1 L'INGÉNIERIE MINIÈRE	55
8.2 CHOIX ET POLITIQUES D'EXPLOITATION	56
8.3, 8.4 et 8.5 LES MÉTHODES D'EXPLOITATION	58
8.6 CAS TYPES	59
8.7 GUIDES D'APPLICATION	59
8.8 LE BILAN DES RÉSERVES	61
9. LES ASPECTS MINÉRALURGIQUES	63
9.1 RECHERCHE ET INGÉNIERIE	63
9.2 LES PROCÉDÉS DE TRAITEMENT	63
9.3 LES ÉTAPES MINÉRALURGIQUES	64
9.4 LES ÉCHANTILLONNAGES EN USINE	66
9.5 LA VARIABILITÉ MINÉRALURGIQUE	66

L'AXE DE L'ÉCONOMIQUE

10. LES ASPECTS ÉCONOMIQUES	67
10.1 CONTEXTE ET INTERRELATIONS	67
10.2 L'ANALYSE ÉCONOMIQUE	68
11. L'ÉTUDE DE FAISABILITÉ ET LA DÉCISION	71
11.1 LE BUT DE L'ÉTUDE DE FAISABILITÉ	71
11.2 LE CONTENU DE L'ÉTUDE	71
11.3 LE RISQUE	72
11.4 LA DÉCISION	72
12. NORMES D'APPLICATION	73
12.1 NORMES DE PRÉSENTATION	73
12.2 LES RAPPORTS PROFESSIONNELS	74
12.3 L'ÉVALUATION DES DOSSIERS TECHNIQUES	74
13. PERSPECTIVES	75

CLASSIFICATION DES RÉSERVES ET DES RESSOURCES _____

C3. LE NOUVEAU SYSTEME PROPOSÉ	79
C3.1 LES PRINCIPES DIRECTEURS	79
C3.2 RÉSERVES ET RESSOURCES	80
C3.3 LES PRINCIPES D'APPLICATION	81
C3.4 COMPARAISONS	88
C3.5 CAS TYPES D'APPLICATION	88

LISTE DES FIGURES ⁽²⁾

<u>FIGURE</u>	<u>TITRE</u>	<u>Page</u>
2-0	Le développement minéral	7
2-1	Processus de développement minéral	9
2-2	Évolution des ressources et des réserves	10
2-3	L'évaluation des gisements d'or	En fin du texte
3-1	Composantes du développement minéral	13
3-2	Pertes et dilution dans l'exploitation	14
3-3	Diagramme des interrelations	15
4-0	Les aspects géologiques	21
5-0	Aspects des échantillonnages	27
5-2	Diagrammes des comparaisons	30
6-0	Déterminations analytiques	35
7-0	Estimation des volumes, masses et teneurs	39
8-0	Aspects miniers	57
9-0	Aspects minéralurgiques	65
C 3-1	Ressources / Réserves: Classification proposée par le Guide	83

² Une partie seulement des tableaux des Tomes II et III du Guide, sont reproduits dans le Tome I, le Précis. Pour éviter toute confusion, ces tableaux sont reproduits au Précis dans la numérotation des Tomes II et III.

LISTE DES TABLEAUX

7-1	Mailles types	46
7-2	Marges d'erreur des classes	48
8-1	Caractéristiques des méthodes minières	58
8-2	Efficacité des méthodes	59
C 3-2	Classification des réserves et des ressources	84
C 3-3	Subdivisions des réserves	85
C 3-4	Définitions des ressources identifiées	86
C 3-5	Subdivisions des gisements délimités	87
C 3-7	Tableau comparatif des systèmes de classification	88

Précis d'évaluation

MÉTHODE D'ÉVALUATION

Précis d'évaluation

MÉTHODE D'ÉVALUATION

AVERTISSEMENT

Étant donné la complexité des sujets traités par le Guide d'évaluation des gisements d'or, un **Précis d'évaluation** a été préparé pour présenter une image synthétique du Guide et ainsi faciliter l'accès aux divers sujets qui y sont traités. Ce Précis ne saurait remplacer les deux Tomes principaux: **Méthode d'évaluation** et **Classification des réserves et des ressources**, sur lesquels il s'appuie et auxquels il réfère constamment. La numérotation des chapitres du Précis correspond à celle des chapitres correspondants du Tome II, mais les subdivisions ne sont pas toujours aussi élaborées que dans les chapitres de la Méthode. Le chapitre 3 du Tome III est seul résumé dans le Précis.

Le Précis ne comporte aucune référence technique, celles-ci se retrouvent dans les Tomes II et III. Pour faciliter la compréhension, quelques-uns seulement des tableaux et figures du Tome II et du Tome III sont présentés ici, sous la même numérotation. Le chapitre 1, Introduction et l'Annexe I, Remerciements, contiennent diverses informations sur la réalisation du Guide.

1. INTRODUCTION

Le Guide d'évaluation des gisements d'or a été initié par le Centre de recherches minérales du Québec comme un guide pratique à l'usage des géologues, des ingénieurs géologues et miniers, et des autres intervenants impliqués dans ce domaine. Le Guide vise à remédier aux lacunes des classifications actuelles des ressources minérales et des réserves des gisements. Le Guide vise également, par une analyse critique des étapes et composantes de l'évaluation des gisements d'or, à améliorer les pratiques et normes existantes dans tous les aspects de la valorisation des gisements miniers aux stades de l'exploration et de l'évaluation minière. Durant la dernière génération, selon les statistiques de l'industrie, la découverte d'un gisement d'importance a coûté 40 M\$, les frais de sa mise en valeur de 3 à 30M\$ de dollars, et les frais de la mise en production d'une mine ont varié entre 10 M\$ et 150 M\$.

Les échecs techniques et financiers récents de plusieurs projets miniers et mines ont motivé la préparation du Guide, dans le but d'améliorer la précision des estimés et de réduire les risques de perte que comportent les décisions dans la mise en valeur et l'exploitation des ressources minérales. L'objectif est de contribuer à l'amélioration de la performance de l'industrie et à une plus grande rentabilité des fonds investis par le public. A partir de ces objectifs prioritaires, le Guide servira également par extension, à appuyer et orienter les travaux des organismes de réglementation et des organismes gouvernementaux impliqués soit dans l'évaluation des ressources minérales, soit dans le développement minier.

Le Guide d'évaluation des gisements d'or a été préparé par Géoconseil Marcel Vallée inc. et ROCHE ltée, Groupe Conseil, dans le cadre d'un contrat octroyé par le Centre de Recherche Minérales du Québec. La rédaction du Guide a été commandée par le Centre de Recherche Minérales du Québec et financée par celui-ci CRM, avec l'assistance des huit organismes nommés au préambule.

2. LE PROCESSUS DE DÉVELOPPEMENT MINÉRAL

2.1 PERSPECTIVE

Les gîtes minéraux sont de dimensions, de formes, de compositions et de teneurs diverses. Ils se situent dans des environnements géologiques et structuraux différents, ce qui diversifie les travaux d'évaluation requis pour leur exploration, leur mise en valeur ainsi que pour le contrôle de la qualité lors de l'exploitation. **L'évaluation des gisements est donc un travail professionnel complexe qui dépasse de beaucoup le simple inventaire des quantités et teneurs des minéralisations des gisements.**

2.1.1 Étapes du développement minéral

Le développement minéral comprend trois étapes distinctes: l'exploration, la mise en valeur et l'exploitation. La nature des travaux de l'exploration évoluent avec la progression des projets. Les travaux préliminaires, d'abord de *caractère extensif*, ensuite de plus en plus localisés, aboutissent à la découverte de minéralisations, ensuite d'un gîte minéral. Il faut établir les limites, la masse et les teneurs de ce gîte, pour prouver qu'il constitue un gisement. Une fois le gisement délimité, sa mise en valeur consistera en des *travaux de plus en plus intensifs* et quantitatifs et se terminera par l'étude de la faisabilité. Cette étude établira la justification de la décision de mise en production du gisement et la rentabilité de l'investissement projeté. La figure 2.0 illustre les principaux paramètres du développement minéral.

2.1.2 Objectifs financiers

L'étape de l'exploration est caractérisée par l'investissement de capital de risque dans des projets qui, globalement, montrent de faibles probabilités de réussite mais dont quelques-uns sont susceptibles de gains très considérables, d'où l'attrait de cette activité comme véhicule spéculatif. A l'étape de la mise en valeur, les possibilités de gain augmentent par au moins un ordre de grandeur, mais il s'agit encore d'investissement de risque. L'investissement minier doit, par contre, être considéré comme un investissement dans un projet industriel dont la rentabilité est assurée à l'intérieur de marges d'erreur relativement faibles.

2.1.3 Stades de développement

Les trois étapes de développement minéral que sont l'exploration, la mise en valeur des gisements et l'exploitation se subdivisent en dix stades qui sont décrits sur la Figure 2-1. Le schéma retenu par le Guide comme échelle de référence est une version légèrement modifiée

de l'échelle développée par SOQUEM à partir du schéma qui avait été présenté par le géologue Kazmitchev. Cette division en stades s'appuie sur la progression et les résultats objectifs des travaux effectués. On oublie parfois que la caractérisation du stade atteint ne saurait être influencée par la richesse ou les grandes dimensions présumées de la cible sous étude.

2.1.4 Axes du développement minéral

Les systèmes antérieurs de classification diffèrent par les axes de connaissance ou de référence utilisés pour la classification des projets ou des réserves. Le système des stades ne comporte qu'un seul axe explicite, tandis que le système de classification du US Geological Survey et le Code Australasien se caractérisent par l'utilisation explicite de deux axes de référence: l'axe géologique et l'axe technico-économique. L'utilisation de trois axes (géologie, technico-économique, marchés) caractérise le "Système canadien de classification des ressources et réserves de charbon"; le système utilisé par Harrison (EXXON) s'appuie également sur trois axes: la géologie, l'ingénierie et l'économique.

Le Guide utilisera ce dernier système d'axes de référence comme un autre élément de la grille d'analyse du processus et des travaux de développement minéral aux divers stades (Figure 2-2).

2.2 DESCRIPTION DES STADES

Dans le schéma des stades, l'évaluation des gisements débute au stade 4, après la découverte de minéralisations laissant croire à la présence d'un gisement minéral dont les limites et les teneurs doivent être établies d'abord de façon préliminaire. Le travail d'évaluation des gisements aux stades 4 à 6 comporte l'utilisation systématique de l'éventail des méthodes géologiques³ et des échantillonnages pour permettre l'estimation des masses et des teneurs; la géostatistique s'intègre dans cette étape.

Le caractère de l'évaluation des gisements se transforme avec la progression du projet: les connaissances géologiques doivent devenir plus détaillées et plus quantitatives, pour supporter le développement de l'ingénierie (stade 6) et de l'économique (stade 7). Des connaissances quantitatives sur la faisabilité technique, les perspectives de marchés, les coûts et les prix sont requises pour déterminer la rentabilité d'un projet minier. Chaque étape de travail doit se terminer par une évaluation des résultats pour faire le bilan des travaux et justifier, s'il y a lieu, des travaux additionnels. On utilise le terme étude de préfaisabilité pour décrire ces études.

³ ..sans oublier la géophysique..

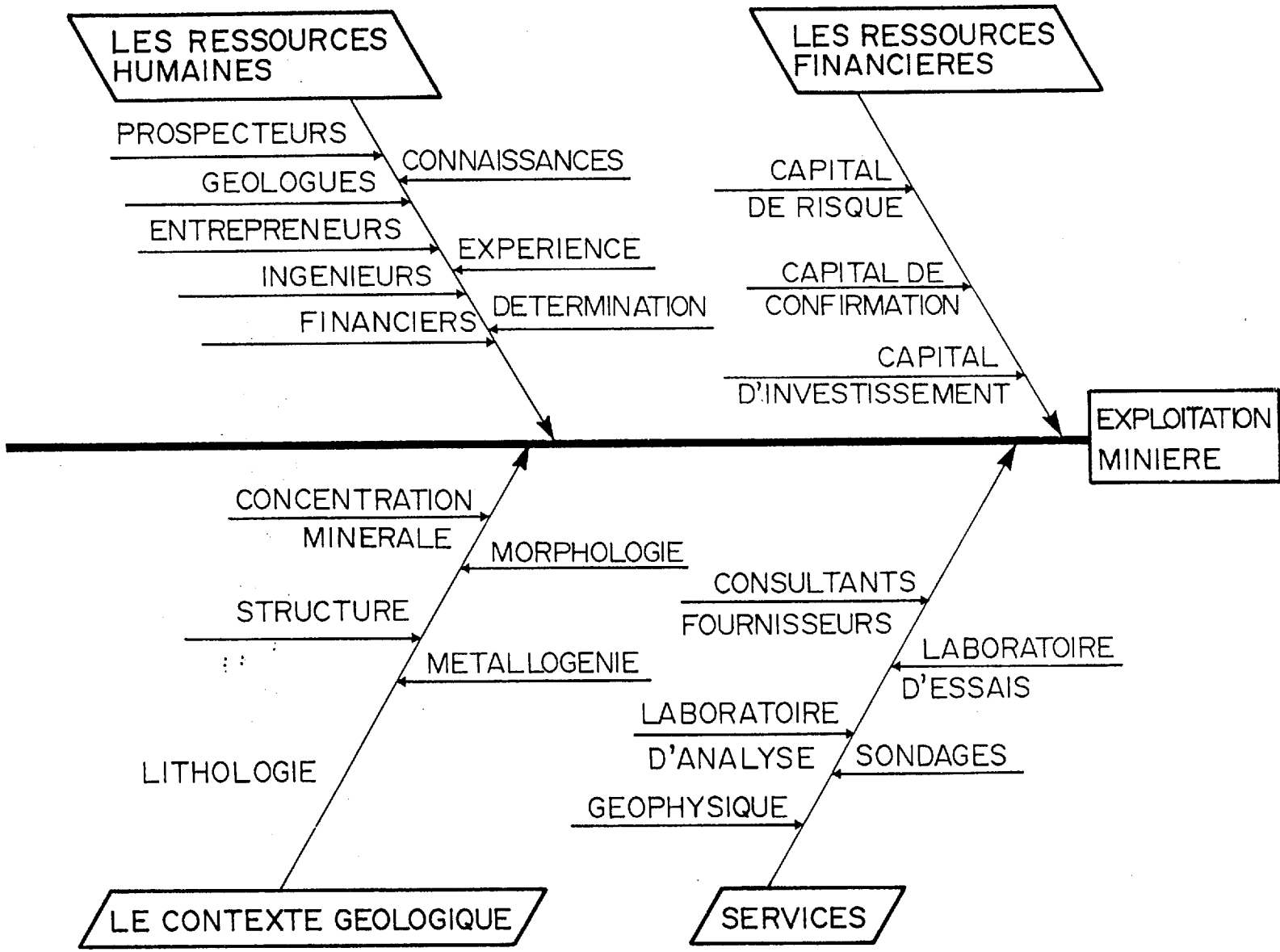


Fig. 2.0

L'étude de faisabilité d'un projet d'exploitation (stade 8) sera, après toutes ces études préliminaires, un **BILAN quantitatif et rigoureux** de tous les éléments de **géologie**, d'**ingénierie** et d'**économique** reliés à la réalisation du projet pour justifier la décision, soit de procéder avec le projet, soit de le suspendre, soit de l'abandonner. **D'un investissement de haut risque requis pour découvrir et délimiter un gisement minéral, on doit progresser vers un investissement de caractère industriel et bancaire, à l'étape de la faisabilité minière.** La figure 2-3 montre les principales activités que comporte l'évaluation d'un gisement.

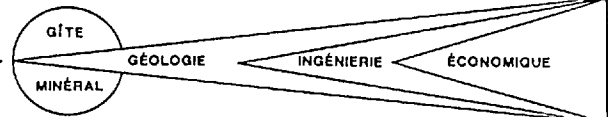
2.3 ANALYSE DES CLASSIFICATIONS EXISTANTES

Dans les définitions actuelles des organismes de réglementation, les termes minéral et réserve ont une connotation de rentabilité économique qui proscrit leur usage avant l'étude de faisabilité et la décision positive d'exploitation, sans fournir d'autres termes vraiment appropriés à ces stades. Ces définitions sont, dans l'ensemble plus appropriées (indépendamment de leurs autres lacunes) aux inventaires du stade de l'étude de faisabilité (8) qu'à ceux de la délimitation (4), de la mise en valeur (5 à 7) ou de l'exploitation minière (10).

En effet, aux stades de la délimitation (4), ou de la définition du gisement (5 et 6), les inventaires minéraux sont nécessaires pour la gestion des activités de mise en valeur et pour l'information des investisseurs qui fourniront le capital de risque requis pour l'exploration et la mise en valeur. A l'étape de l'exploitation minière, l'absence d'un nombre suffisant de catégories et classes rend difficile la présentation d'inventaires des réserves qui soient appropriés aux besoins de planification détaillée et de contrôle de qualité de ce stade de travail.

Une nouvelle classification devra donc combler ces lacunes, en plus d'être plus systématique et rigoureuse que les classifications existantes. Il faut, en s'appuyant sur l'éventail des connaissances acquises, pouvoir dresser un inventaire minéral approprié, autant d'un gisement minéral aux stades de la mise en valeur que des réserves minières d'une exploitation en cours. C'est le but que le Guide a cherché à atteindre dans le Tome III, **Classification des réserves et des ressources**, dont le troisième chapitre est résumé en deuxième partie du Précis.

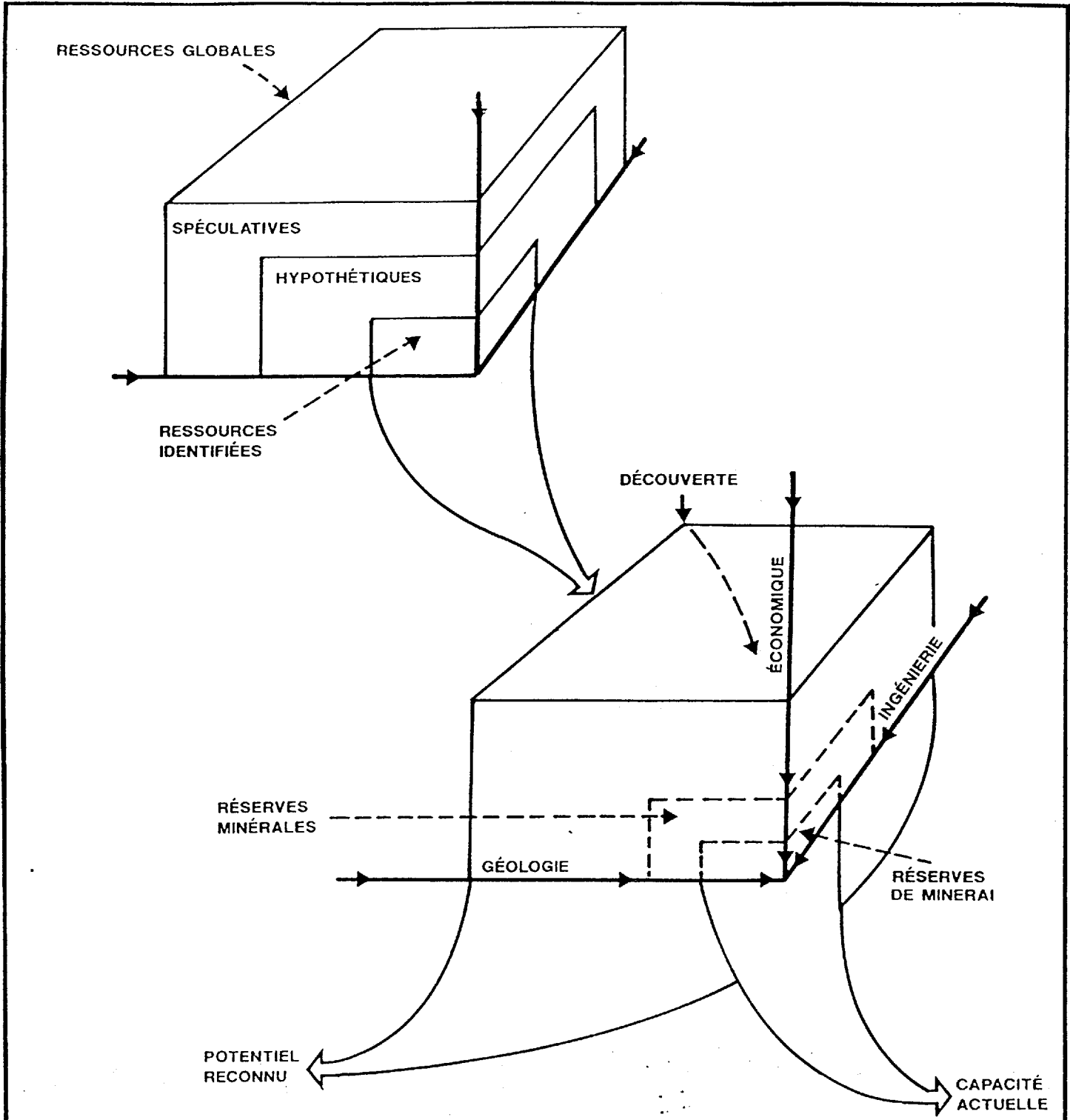
		RESSOURCES				RÉSERVES				
		HYPOTHÉTIQUES		IDENTIFIÉES		PROUVÉES ET PROBABLES				
		EXPLORATION			MISE EN VALEUR				AMÉNAGEMENT	
STADE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
DESCRIPTION	Reconnaissance régionale	Prospection d'anomalies	Vérification d'indices	Découverte	Délimitation du gîte	Ingénierie du projet	Économique du projet	Faisabilité Déclation	Développement minier	Exploitation minière
TECHNIQUES, PROCÉDURES ET MÉTHODES D'ÉVALUATION	Levés aéroportés	Levés terrestres	Levés au sol Sondages Tranchées Jalonnement	Sondages Décapage Échantillonnage préliminaire	Cartographie détaillée et échantillonnage serré par sondage et galeries	Analyse des méthodes d'extraction minières et minéralurgiques. Usine pilote modèle réduit	Pondération des facteurs économiques suivants :	Analyse et synthèse de la rentabilité	Creusement de la fosse ou du puits d'extraction. Préparation des chantiers d'abatage Usine de traitement. Infrastructures.	MINE Planification Développement Extraction Vente
ÉLÉMENTS D'ÉVALUATION : PARAMÈTRES, FACTEURS À DÉTERMINER. ASPECTS À CONSIDÉRER	Photogéologie, Inventaire géologique et géophysique métallogénique	Géochimie Géophysique Modélisation géologique.	Titres de propriété Contexte géologique et minier Historique Localisation	Estimé par méthodes traditionnelles des teneurs et volume Dimension de la propriété	Compilation géostatistique des teneurs et volumes Contrôle géologique. Continuité. Uniformité de la minéralisation Facteurs d'erreur.	Dilution, Pertes Recouvrement Échelle d'exploitation optimale. Impact environnement. Infrastructure Main d'oeuvre. Géostatistique.	Réserves de minéral. Teneur de coupure Teneur de rentabilité Octrois Plan d'exploitation Investissement Immobilisations Fiscalité. Aspects Légaux, sociaux	Faisabilité complétée Déclation en faveur ou contre le développement minier Objectif : Détermination de la valeur escomptée du gisement minier		
MARGE D'ERREUR TENEUR 1) ÉTUDES DE FAISABILITÉ OU D'ORIENTATION				40 %	30 %	20 %	10 %			
AXE DE VALORISATION									GISEMENT MINIER	GISEMENT EXPLOITÉ



Référence :
rapport annuel
de Soquem 1974 - 75

Fig. 2.1

PROCESSUS DE
DÉVELOPPEMENT MINÉRAI



INSPIRÉ DE : " A Standardized coal resource / reserve reporting system by the Coal Association of Canada and the Geological Survey of Canada"

Fig.2.2

ÉVOLUTION DES RESSOURCES VERS DES RÉSERVES

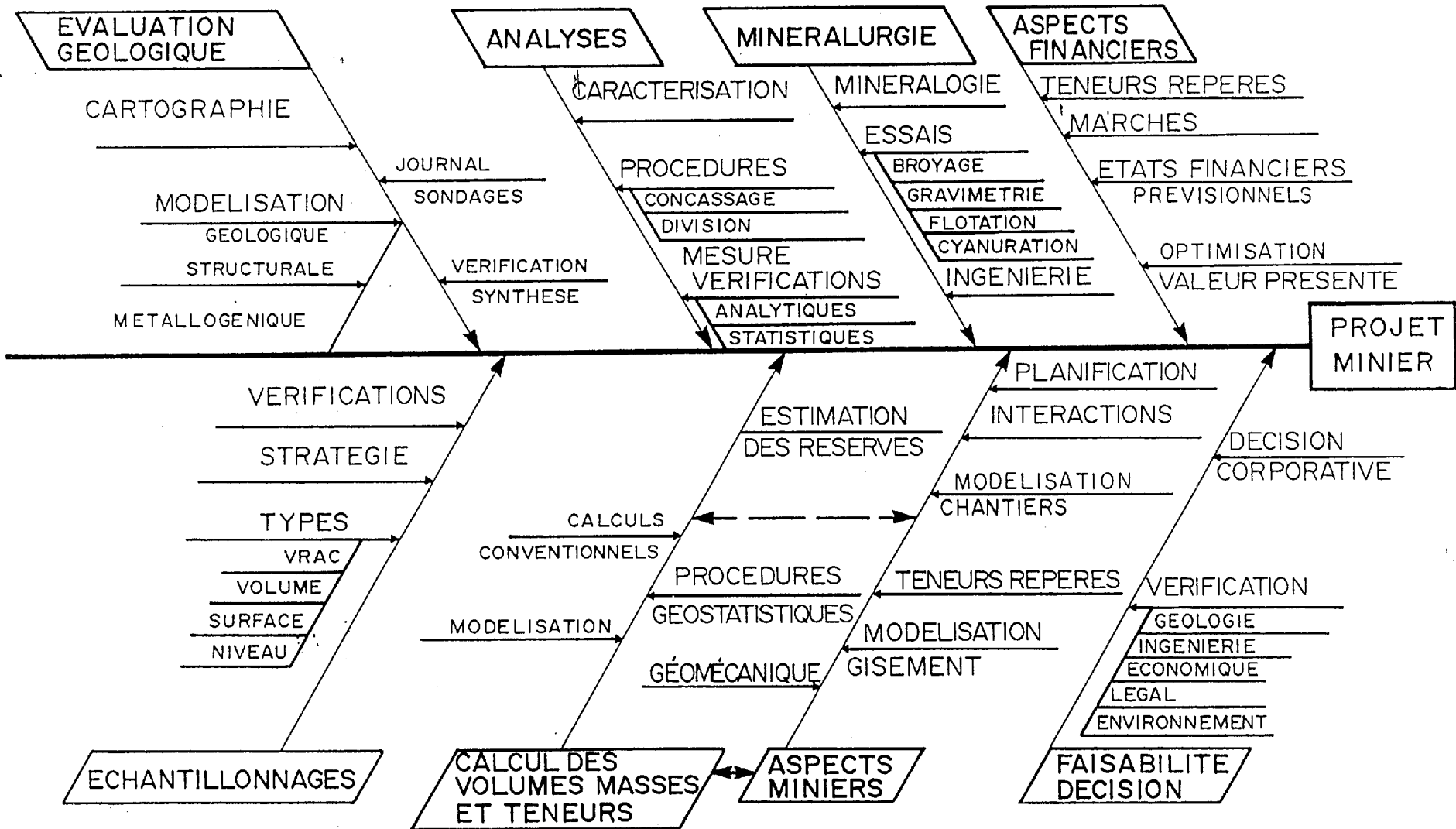


Fig.2.3



3. LES LIMITES DE L'ÉVALUATION DES GISEMENTS

La démarche du Guide d'évaluation des gisements d'or s'est articulée autour d'une perspective des modes de travail et des objectifs du processus de développement minéral aux divers stades du développement, dans les axes de la géologie, de l'ingénierie et de l'économique. La figure 3-1 illustre ces perspectives.

3.1 LIMITES DES ESTIMATIONS

Les chapitres précédents ont fait ressortir les caractéristiques suivantes des stades successifs du processus de développement minéral:

- la quantification croissante des connaissances,
- le caractère itératif des travaux,
- le contexte probabiliste du processus de l'évaluation d'un gisement,
- l'aspect multidisciplinaire des travaux et des intervenants aux stades plus avancés.

3.2 NATURE DES LIMITES

Le caractère probabiliste des estimés vient du fait que chaque étape de l'évaluation quantitative et chaque étape de l'exploitation contribuent à des erreurs, soit d'estimation, soit de réalisation. La connaissance exacte de ces erreurs est souvent difficile, parfois impossible, dans le contexte géologique et minier. En effet, la plupart du temps nous ne connaissons pas avec certitude les teneurs vraies extraites d'un chantier, d'un gisement minier, ou la teneur vraie de l'alimentation de l'usine. A partir d'un gisement "réel" mais imparfaitement défini, toute étape d'acquisition d'information et toute étape de réalisation entraînent des pertes de métal et de la dilution par rapport aux minéraux/métaux présents. Ces pertes et cette dilution sont engendrées d'abord lors de l'interprétation, de la modélisation, des décisions sur la teneur coupure, de la conception et de la planification de l'exploitation: ces phénomènes s'actualisent lors de l'extraction minière et minéralurgique dans le gisement "réel" (Figure 3.2).

Les pertes sont le métal non extrait ou non récupéré, la dilution consiste en matériel marginal ou stérile qui est extrait avec le minerai et qui en réduit la valeur. La dilution minière, en ajoutant du matériel stérile ou plus faiblement minéralisé, réduit l'extraction réelle de minerai dans la mine durant une période donnée et la quantité réelle de minéralisation traitée par le concentrateur. Finalement, le métal payé par la raffinerie est souvent une portion encore plus réduite du minerai contenu dans le gisement réel, tandis que les variations des prix des métaux et des coûts d'exploitation affectent les teneurs de coupure et les réserves. Des gains se produisent également mais ils sont souvent cachés par les pertes; de plus, ces gains ne constituent pas un risque. Les interrelations de ces phénomènes sont montrées sur la figure 3-3.

Le contexte minier est un contexte de réalisation concrète où les informations à caractère probabiliste doivent se transformer en éléments de décisions à caractère déterministe. Par exemple, les prédictions de tonnage et de teneur de la géologie et de l'ingénierie, une fois établies et incluses dans une étude de faisabilité ou dans un budget d'exploitation, deviennent des engagements d'action, engagements qui ont également des implications financières. Ces interactions probabilistes/déterministes sont complexes et sont présentes dans la plupart des décisions de l'évaluation et de l'exploitation des gisements.

3.3 CAUSES D'ERREUR

Dans le contexte de l'évaluation des gisements, tous les intervenants oublient, à l'occasion que les interprétations, inventaires des réserves, plans et budgets ne sont que des ÉVALUATIONS établies à un stade donné des connaissances. La marge d'erreur des chiffres et résultats de ces estimations, doit, la plupart du temps, être réduite par l'acquisition de connaissances additionnelles, plus détaillées et/ou plus précises. Les diverses causes d'erreurs techniques seront énoncées de façon schématique pour faciliter la lecture.

3.3.1 Axe de la géologie

La géologie: L'image résultant de l'interprétation du gisement et de la minéralisation par le géologue / ingénieur géologue n'est pas le gisement mais un ESTIMÉ du gisement réel mais indéterminé! Les difficultés d'évaluation varieront selon:

- 1) la morphologie du gisement: ses dimensions, la variabilité des limites extérieures, les zonations internes;
- 2) la distribution de la minéralisation: la stratification, le contrôle structural, l'altération, la minéralogie (minéraux constituants et granulométrie - effet de pépite),
- 3) le poids spécifique de la minéralisation,
- 4) les normes et repères d'interprétation,
- 5) d'autres domaines, comme la topométrie, les aspects légaux, les contraintes de la protection de l'environnement;

L'échantillon a pour fonction de *représenter* un ensemble plus large, mais *il n'est pas cet ensemble*; sa valeur de représentation variera selon:

- 1) la nature et la distribution de la minéralisation ,
- 2) les effets de pépite et les effets géométriques,
- 3) la nature, la dimension et la maille des échantillons:
ponctuels, linéaires, en panneaux, de roche cassée, ou en vrac;
- 4) la nature des analyses et essais exécutés.

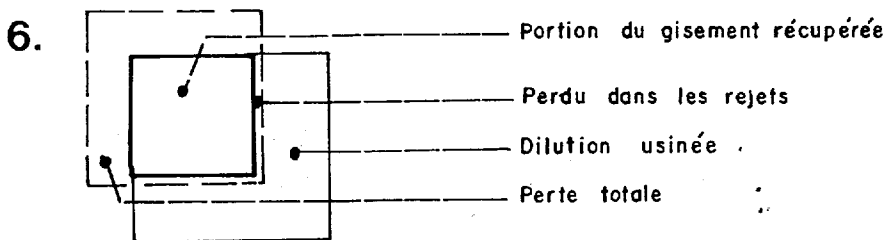
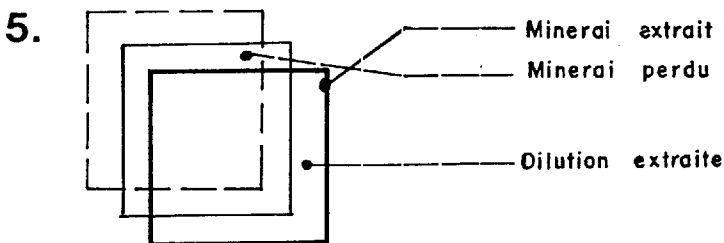
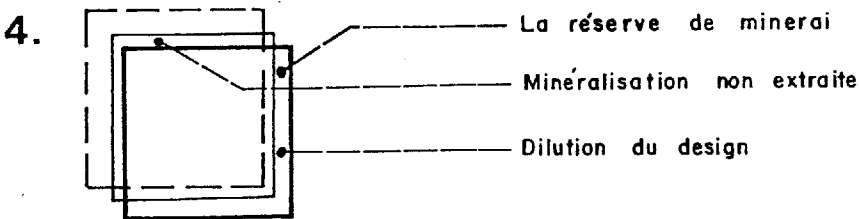
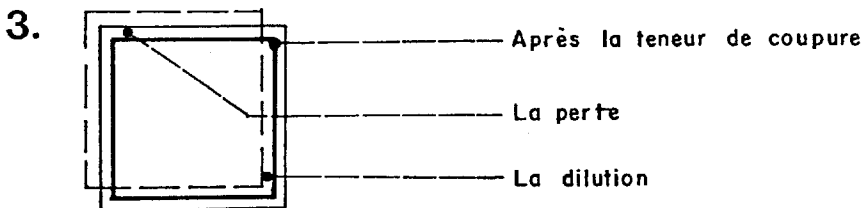
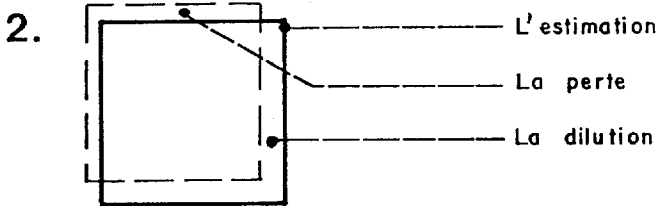
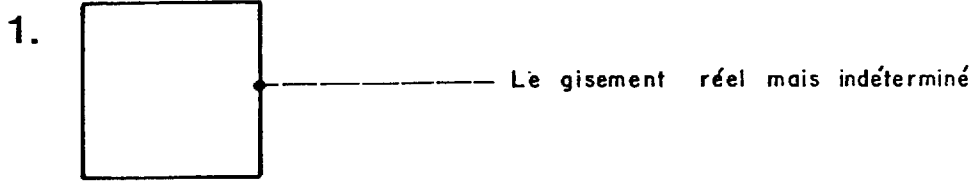
STADE OBSERVATION	4	5	6	7	8	9	10
	DÉCOUVERTE DU GITE	DÉFINITION DU GISEMENT	INGENIÉRIE D'EXTRACTION	ÉTUDES ÉCONOMIQUE	FAISABILITÉ DÉCISION	AMÉNAGEMENT	EXPLOITATION
GÉOLOGIE							
Sondages / Échantillonnages							
Vracs / Pilotes							
GÉOSTATISTIQUE							
INGENIÉRIE							
ENVIRONNEMENT							
ÉCONOMIQUE							
Marchés Financement							
FAISABILITÉ							

— — — Mode qualitatif

————— Mode quantitatif

Fig. 3.1

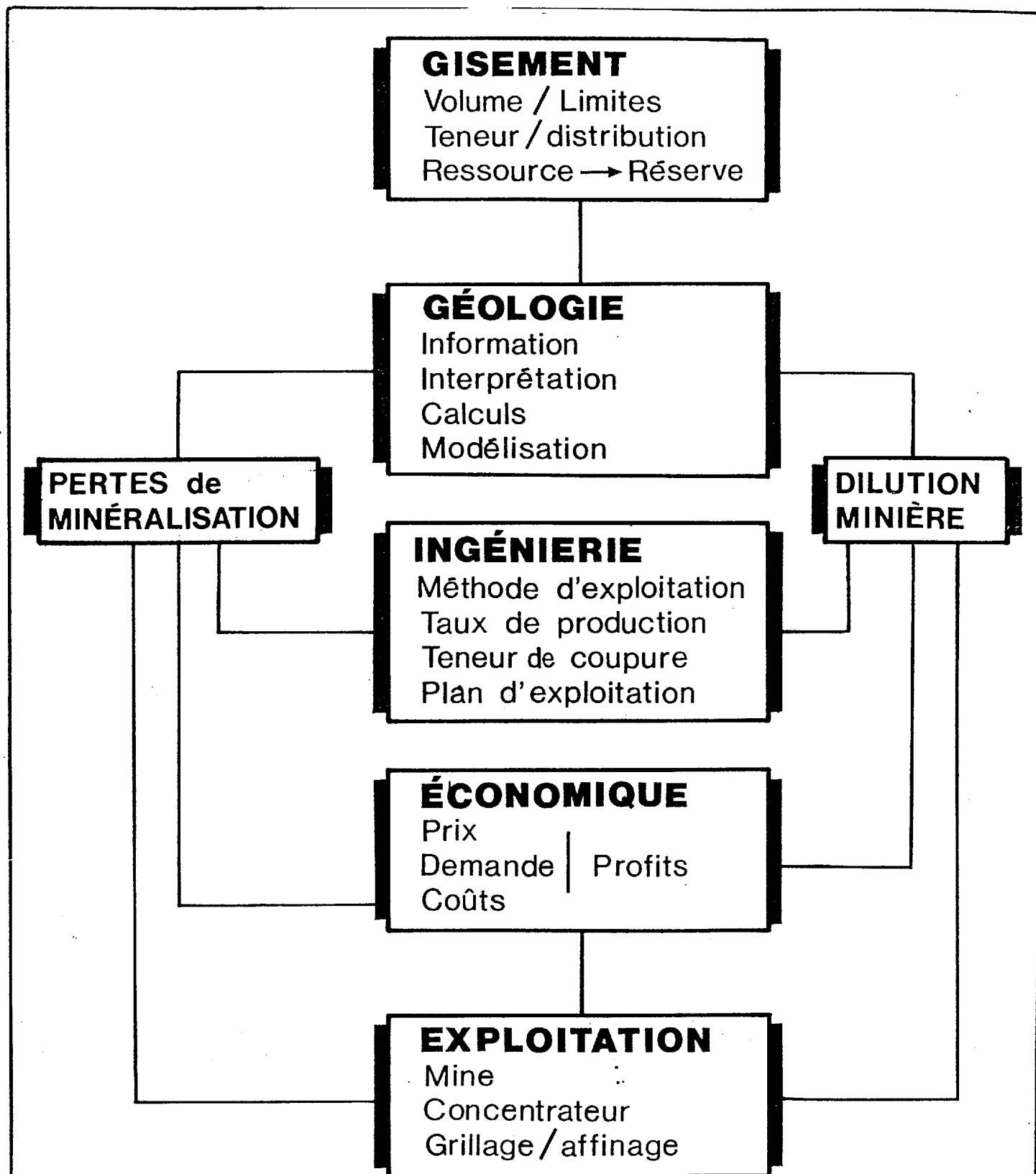
COMPOSANTES DU
DÉVELOPPEMENT MINÉRAL



D'après: ELBROND 1986

Fig.3.2

PERTES ET DILUTION
DANS L'EXPLOITATION



Inspiré de : ELBROND 1986

Fig. 3.3

Les analyses: On oublie trop souvent que les résultats des analyses sont également des ESTIMÉS dont la précision dépend:

- 1) de la distribution et la nature des éléments recherchés;
- 2) de la dimension des prises et sous-échantillons;
- 3) des méthodes de préparation;
- 4) des méthodes des déterminations.

Les inventaires des minéralisations sont des ESTIMÉS, non des chiffres directement mesurés! Leur fiabilité variera selon:

- 1) les paramètres de dispersion des valeurs;
- 2) les effets géométriques et géologiques;
- 3) la nature, la distribution et le nombre des échantillons;
- 4) la nature et le nombre des déterminations;
- 5) les normes et les repères de calcul des masses et teneurs;
- 6) les méthodes d'estimation: géométriques et/ou géostatistiques.

3.3.2 Axe de l'ingénierie

Aspects miniers: on néglige souvent de considérer les pertes et la dilution inhérentes à la méthode d'exploitation minière choisie et d'explicitier les relations entre la méthode minière et la forme, les limites, les dimensions du gisement qui influencent les marges d'erreur de ces ESTIMÉS. L'efficacité de l'extraction, les pertes et la dilution varieront ensuite selon les contraintes à la sélectivité minière et au contrôle de la qualité.

Aspects minéralurgiques: les difficultés d'échantillonnage de l'or ont souvent fait oublier certains éléments essentiels de l'efficacité minéralurgique. Minimiser perte et dilution implique un circuit de traitement approprié choisi à partir d'essais adéquats, permettant des ESTIMÉS dont les marges d'erreur sont connues. On oublie parfois que ceci exige dans l'usine des procédures systématiques d'échantillonnages de contrôle ainsi qu'un bilan de masse et un bilan métal rigoureux du procédé. Ce n'est qu'ainsi que l'on peut optimiser le procédé et minimiser les pertes occultes d'or.

3.3.3 Axe de l'économique

Les facteurs économiques régissent l'établissement des réserves minières et sont en interaction avec les estimés des réserves et d'ingénierie. L'incertitude et les variations des facteurs économiques contribuent donc à l'incertitude des ESTIMÉS économiques et de l'évaluation des gisements. Ce sont entre autres les marchés, les interactions coûts/teneurs de rentabilité/teneurs de coupure.

3.3.4 Faisabilité et décision

En plus de toutes les difficultés inhérentes à l'évaluation, les décisions de mise en exploitation ne respectent pas toutes le caractère d'investissement dans un projet industriel de cette étape. L'orientation des décisions dépendra des motivations des intervenants et également de l'appréciation des facteurs de risque.

3.4 L'EFFICACITÉ DE L'INDUSTRIE

La période des actions accréditives

Le financement de l'exploration et de la mise en valeur, dans le cadre du régime des actions accréditives de 1983 à 1988, a donné comme résultat la mise en production de plus de trente mines d'or au Canada. Cependant, la performance des projets de mise en production des cinq dernières années montre un taux d'échec de 50% ou plus, ce qui est élevé, même en tenant compte des difficultés de l'évaluation des gisements d'or.

Une analyse sommaire provenant du milieu minier fait ressortir les causes et les éléments qui ont été fort accentués durant cette période récente⁴:

- Des conditions de financement trop faciles qui ont primé la dépense plus que les résultats;
- Une hâte indue dans les décisions et les travaux, imposée par les délais trop courts imposés par les réglementations;

Les causes profondes

Les causes suivantes étaient déjà présentes dans le milieu du développement minéral mais ont été accentuées par les deux premières:

- un manque d'expérience des problèmes de la mise en valeur et de la mise en production chez plusieurs organisations d'exploration;
 - des travaux de géologie et d'ingénierie trop sommaires, entre autres:
 - des informations incomplètes et insuffisantes,
 - des estimations trop optimistes des teneurs et tonnages des gisements, des coûts des investissements et des coûts d'exploitation,
- des pressions indues sur les consultants pour des études justifiant des décisions déjà prises de mise en exploitation.

Un constat quantitatif

Une étude québécoise, portant sur la décennie 1950-1960, a fait ressortir que les échecs des projets d'exploitation sont beaucoup plus nombreux à 92% pour les gisements de métaux usuels plus petits qu'un million de tonnes au moment de la mise en production, par

⁴ Une analyse plus poussée dépasserait de beaucoup le cadre et le mandat du Guide actuel.

comparaison à un taux d'échec de 28% pour les gisements montant des réserves de plus d'un million de tonnes. Pour 85% des mines qui ont rencontré des échecs, la valeur du "minerai" était moindre que 14\$. Pour les mines d'or rentables, la réserve moyenne était de 500,000 tonnes à 0.23 oz/tonne, tandis que pour les exploitations non rentables les réserves étaient de 245,000 tonnes à 0.197.

3.5 LA RECHERCHE DE LA QUALITÉ

La solution à ces problèmes semblerait être une généralisation de l'approche systématique de mise en valeur qui est déjà utilisée par plusieurs compagnies minières et quelques compagnies d'exploration. Cette approche, adaptée aux conditions du secteur minéral, n'est pas éloignée de la recherche de la **qualité totale** qui est devenue populaire dans l'industrie manufacturière récemment. Appliquée au secteur minéral cette approche ne garantit pas les résultats mais elle aide à réduire le nombre des erreurs et à minimiser leurs effets.

L'AXE GÉOLOGIQUE

Dans l'axe géologique, la première étape d'évaluation consiste à établir les méthodes de contrôle géologique des gisements à partir de la cartographie géologique et structurale, en passant par la minéralogie quantitative et la détermination du poids spécifique des minerais (chapitre 4). Les échantillonnages géologiques et miniers et la détermination du poids spécifique sont les principaux éléments de quantification (chapitre 5). Les méthodes analytiques influencent directement la précision des estimés: ce sont la préparation des échantillons, les déterminations analytiques, les procédures de contrôle et de vérification (chapitre 6). Tous ces éléments sont étroitement reliés, et sont l'objet d'interactions complexes. Le calcul des volumes, des masses et des teneurs (chapitre 7) s'appuiera sur tous ces travaux pour dresser un bilan quantitatif.

4. LE CONTRÔLE GÉOLOGIQUE

4.1 CHAMP D'ACTION

Le travail du géologue/ingénieur géologue vise la caractérisation et l'évaluation des gisements par l'observation, la mesure et l'interprétation des faits. Ce travail est caractérisé par l'évolution des travaux d'observation du qualitatif vers le quantitatif ou, en d'autres termes, des travaux "extensifs" aux travaux de plus en plus "intensifs", sur des zones plus restreintes. La figure 4.0 illustre les divers aspects géologiques que comporte le processus d'évaluation.

La délimitation et la mise en valeur d'un gisement minéral comportent les étapes et caractéristiques suivantes:

- acquisition systématique des données géologiques: cartographie, journaux des sondages;
- échantillonnages, pour analyses et essais;
- vérification et corrélation des données;
- interprétation et modélisation;
- choix des méthodes des inventaires minéraux;
- établissement des réserves minières en collaboration avec le personnel d'ingénierie minière et minéralurgique.

A l'exploitation, le travail du géologue/ingénieur géologue doit s'étaler sur les quatre registres suivants:

- établissement des réserves minières;
- contrôle de la qualité du minerai extrait;
- confirmation et délimitation des gisements inférés;
- découverte de nouveaux gisements.

4.2 GÎTOLOGIE DE L'OR _____

L'efficacité dans l'estimation quantitative des gisements d'or exige la compréhension des facteurs géologiques et gîtologiques qui influencent la forme des gisements, les variations de leurs limites et la distribution des métaux. Le Guide souligne en particulier:

- le contexte géologique;
- le contrôle structural;
- la distribution de la minéralisation:
 - effets de pépite, de litage, de concentrations locales;
- la morphologie des gisements:
 - amas, zones tabulaires, veines, placers, concentrations locales.

4.3 MÉTHODES GÉOLOGIQUES _____

Le travail du géologue / ingénieur géologue dans l'évaluation des gisements se caractérise par l'importance de l'observation des faits géologiques. Tous ces travaux doivent être exécutés, chaque fois que faire se peut, dans un mode de quantification et dans la perspective d'intégration avec les besoins des autres disciplines et avec les objectifs de mise en production:

- cartographie géologique et structurale;
- journal des sondages;
- cartographie géotechnique;
- cartographie géophysique;
- études minéralogiques.

4.4 POIDS SPÉCIFIQUE _____

Les poids spécifiques des divers minéraux qui accompagnent les minéralisations d'or varient suffisamment pour causer des erreurs importantes dans le calcul du métal contenu dans un volume donné. Cette propriété d'une minéralisation doit être mesurée et quantifiée systématiquement, avec les méthodes appropriées, au même titre que le contenu de métal. Les principales méthodes sont la pesée différentielle et le calcul du poids spécifique à partir des analyses des éléments constituant les minéraux "lourds".

4.5 TOPOMÉTRIE ET ASPECTS LÉGAUX _____

L'évaluation d'un gisement doit comprendre tous les aspects qui touchent à la qualité de l'information telle la topométrie et tous les aspects qui touchent à la valeur des titres de propriété ou d'option par lesquels ce gisement est détenu. Ce sont particulièrement l'arpentage topométrique des travaux et de la course des sondages. Les modalités des contrats, des titres

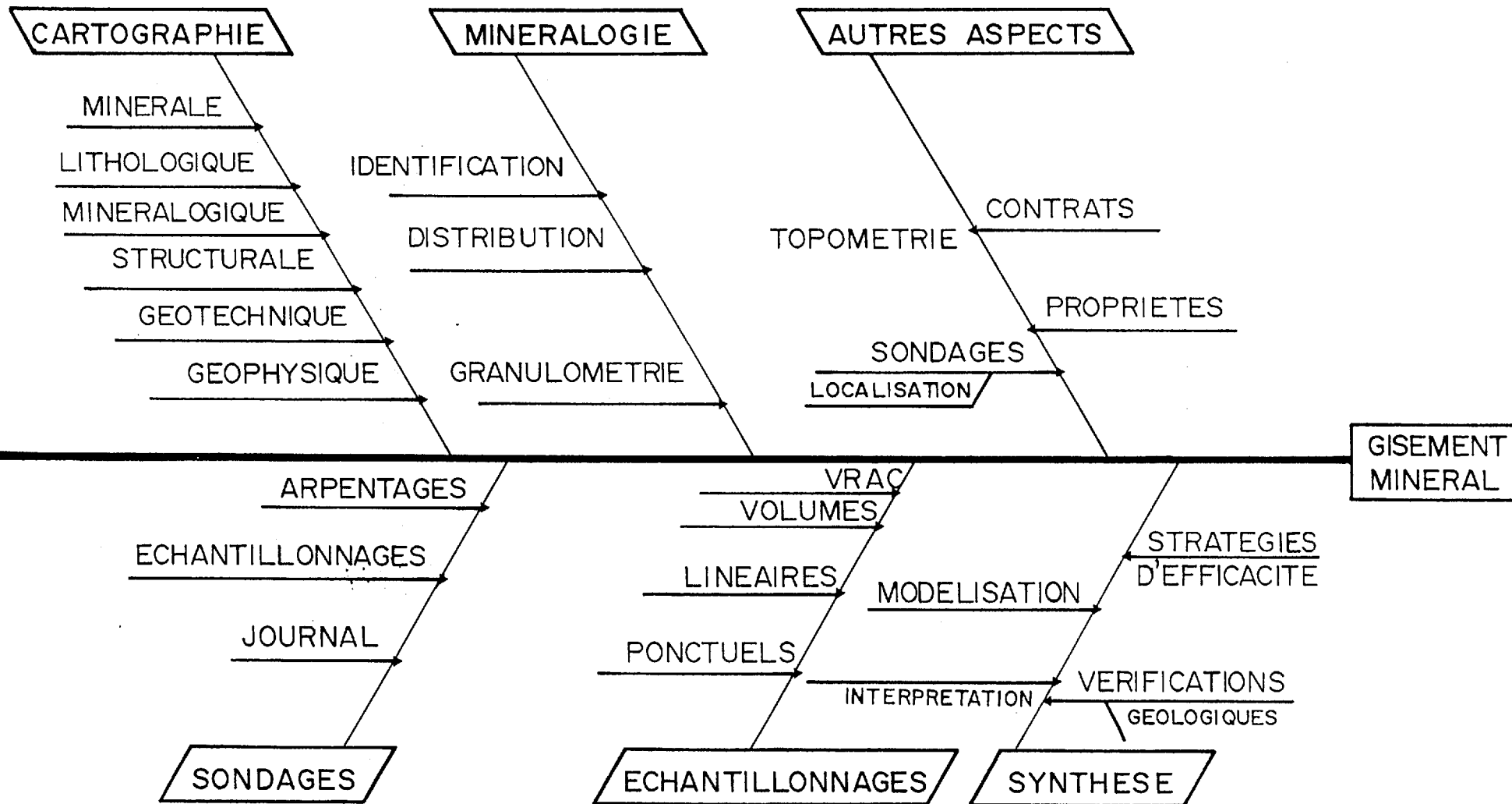


Fig.4.0

miniers et de la délimitation des propriétés ont des implications légales et financières qui doivent être incorporées dans l'évaluation des gisements.

4.6 ENVIRONNEMENT

La législation et les réglementations afférentes sont de plus en plus exigeantes sur les questions touchant la protection de l'environnement naturel. Ceci veut dire, par exemple, qu'il est nécessaire à partir du début des travaux de minimiser les dommages à l'environnement et d'initier la collecte des données. Il faut intégrer la protection de l'environnement dans le processus de mise en valeur d'un gisement, dans les considérations d'ingénierie et d'économique de l'étude de faisabilité, dans les investissements et dans les frais d'exploitation.

4.7 GESTION DE L'INFORMATION

La gestion efficace de l'information dans l'évaluation des gisements demande de prêter attention à la vérification et à l'informatisation des données, aux procédures d'interprétation et de modélisation et aux systèmes experts.

4.7.1 Vérification

La vérification demande des redondances dans l'information. On oublie trop souvent, dans un souci de parcimonie et de fausse économie, qu'on ne peut faire de vérification si des duplications d'informations ne se rencontrent pas en nombre suffisant pour permettre des recoupements et des comparaisons.

4.7.2 Interprétation et modélisation

L'interprétation géologique et structurale est à la fois un outil et une étape essentielle de l'évaluation des gisements. L'essence de l'interprétation, c'est de prolonger la portée des informations factuelles disponibles en utilisant les concepts et modèles géologiques et géologiques appropriés. On établira ainsi les limites, les continuités et les volumes et on formulera les relations et les hypothèses qui orienteront les prochains travaux. Le systématisme d'une part, la flexibilité de modèles multiples d'autre part, sont nécessaires à l'efficacité de ce travail.

La modélisation des gisements exige la compréhension des phénomènes géologiques, structuraux et des types géologiques pour établir:

- la géométrie et la distribution des masses minéralisées,
- la minéralogie et la distribution des éléments/minéraux d'intérêt dans les masses minéralisées.

4.7.3 Informatisation des données

Le Guide souligne ici les critères qui doivent guider l'utilisateur dans l'établissement d'un système adapté à des besoins qui évolueront et deviendront plus rigoureux et plus complexes. Une perspective systémique doit guider le choix de logiciels d'acquisition de données: un logiciel donné doit s'intégrer dans un système global de traitement d'information et éventuellement de système expert. Il faudra tenir compte des éléments suivants pour orienter les choix, les besoins évoluant selon les étapes:

- flexibilité et adaptabilité du logiciel,
- intégration terrain / bureau,
- facilité de transfert et d'utilisation des données géologiques et analytiques,
- travail interactif (essentiel pour l'interprétation),
- interaction avec systèmes miniers,
- intégration des divers domaines d'information.

4.7.4 Systèmes experts

Les systèmes experts requis et possibles actuellement pour l'évaluation des gisements se situent au niveau de l'analyse des problèmes, de la formulation de procédures et des normes de travail, de procédures d'interprétation et de modélisation. Le développement minéral est donc encore très loin de l'application routinière de modèles pré-établis par le personnel junior. L'analyse systémique à laquelle procède le Guide permettra d'établir les bases de véritables systèmes experts pour l'évaluation des gisements.

4.8 GUIDES D'APPLICATION

4.8.1 Stratégie de travail

Le Guide propose les éléments de stratégie suivants pour les campagnes de valorisation et d'échantillonnages des gisements:

- 1) choisir l'échelle de travail, la maille d'information et les méthodes en relation avec le volume à explorer et le stade atteint. La première maille de délimitation devrait fournir au moins 4 à 5 intersections successives dans l'horizontale. La dimension de la maille finale requise sera reliée aux caractéristiques du gisement et de la méthode minière retenue;
- 2) compléter l'évaluation de l'étendue d'une zone ou d'un indice sur la maille de la campagne en cours avant d'entreprendre les forages ou échantillonnages sur une maille plus serrée;
- 3) recueillir toute l'information disponible en surface avant d'aller sous-terre;

- 4) utiliser les échantillons linéaires pour définir l'étendue et la teneur d'une zone minéralisée avant d'aller aux échantillons en vrac pour confirmer des teneurs;
- 5) établir un contrôle géologique systématique de tous les échantillonnages

4.8.2 Évaluation géologique

Le contrôle géologique efficace des travaux et des échantillonnages requiert diligence et systématisme dans les travaux requis: la cartographie et l'échantillonnage, la mesure du poids spécifique, la planification et l'exécution des études minéralogiques, l'application systématique des méthodes d'interprétation et de modélisation.

4.8.3 Rapport coût-bénéfice

Il faut évaluer les bénéfices recherchés par des travaux additionnels de contrôle géologique et d'échantillonnage, par rapport aux coûts escomptés: trop souvent ces travaux sont trop succincts pour rencontrer les objectifs, à cause d'un souci mal placé d'économie à cette étape. On se rappellera que, dans des travaux miniers de valorisation, les frais directs des sondages, échantillonnages et contrôles géologiques dépassent rarement 12 à 15% de l'ensemble, mais fournissent la majorité de l'information recherchée.

5. L'OPTIMISATION DES ÉCHANTILLONNAGES

5.1 LE PROCESSUS D'ÉCHANTILLONNAGE

L'échantillon est une portion prélevée d'une masse plus importante, dans le but de la représenter. L'échantillon est donc un représentant; à partir de l'ensemble des représentants, on établira un estimé de la teneur de la masse d'intérêt. Dans la démarche d'établir la teneur en éléments d'intérêt, on divise l'échantillon en portions plus réduites ou sous-échantillons.

Dans un contexte de quantification, on voudra établir le niveau de confiance et la marge d'erreur avec lesquels les échantillons représentent la masse à évaluer. Strictement parlant, hormis la signification géologique, la représentativité de l'échantillon est reliée aux facteurs suivants:

- la dimension de la masse à représenter/évaluer;
- la dimension de l'échantillon;
- la teneur en un élément d'intérêt (ou délétère);
- la dimension des fragments;
- la distribution des particules d'intérêt;
- la teneur des particules d'intérêt en élément recherché;
- le poids spécifique des particules d'intérêt;
- le poids spécifique de la masse.

Des formules quantitatives ont été développées par P. Gy et C. O. Ingamells dans le but d'établir les dimensions des échantillons, les procédures requises pour se tenir sous une marge d'erreur spécifiée ou, à l'inverse, calculer la marge d'erreur correspondant à des procédures données. *Chaque opération d'échantillonnage, de réduction de la granulométrie d'un échantillon, de réduction de la masse par division entraîne une erreur.* Ces erreurs sont cumulatives car les variances des erreurs obtenues à chaque étape s'additionnent. La figure 5-0 résume les divers aspects des échantillonnages dont traite le chapitre 5.

5.2 ÉCHANTILLONNAGES GÉOLOGIQUES ET MINIERS

Les échantillonnages géologiques et miniers se distinguent en fonction de leur(s) dimension(s), de leurs modalités et de leurs objectifs. Dans le contexte géologique du gisement, les échantillons peuvent être classés, en fonction de leur nature et de leur(s) dimensions(s), en cinq groupes principaux:

Ce sont les échantillons:

- 1) **ponctuels:** les "grabs" ou grappillages des prospecteurs;
- 2) **linéaires:** les forages, rainurages, grappillages linéaires;
- 3) **en panneaux:** les rainurages ou grappillages constituant des prélèvements multiples sur une surface;
- 4) **roche cassée:** les fragments prélevés sur des volumes miniers:
 - i) de façon aléatoire;
 - ii) par corde à noeud/grille systématique ou pondération des fragments;
 - iii) par une tour d'échantillonnage;
- 5) **en vrac:** les masses de plusieurs milliers de tonnes prélevées et traitées pour permettre d'établir les teneurs et les paramètres minéralurgiques avec suffisamment de fiabilité pour l'étude de faisabilité ⁵.

5.3 CAS TYPES D'ÉCHANTILLONNAGES MINIERS

Considérant les frais importants que requièrent les échantillons en vrac, il est paradoxal qu'on en tire rarement le maximum d'informations possibles. Les volées soutirées sont trop rarement échantillonnées adéquatement dans la mine pour établir les variations locales. Même la technique peu dispendieuse de la corde à noeuds est rarement utilisée. De fait, *une seule méthode est suffisamment fiable pour obtenir les teneurs des volées individuelles: c'est de concasser et d'échantillonner les volées individuelles à la sortie de la galerie d'échantillonnage comme, par exemple, la compagnie Inco ltée l'a fait au projet Golden Pond de Casa Bérardi.*

5.3.1 Représentativité de l'échantillonnage en vrac

L'échec de l'exploitation de la mine Anglo American Molybdenite à Preissac au Québec, il y a une trentaine d'années, est relié à une décision de mise en production appuyée sur des essais pilotes exécutés sur des échantillons non représentatifs de l'ensemble des réserves.

⁵ Tous les échantillons en vrac n'ont pas la même portée. Parfois, ces échantillons ne sont que concassés, tamisés et divisés traités dans un atelier d'échantillonnage, tandis que dans d'autres cas ils servent à des essais minéralurgique accompagnés d'un bilan rigoureux du métal.

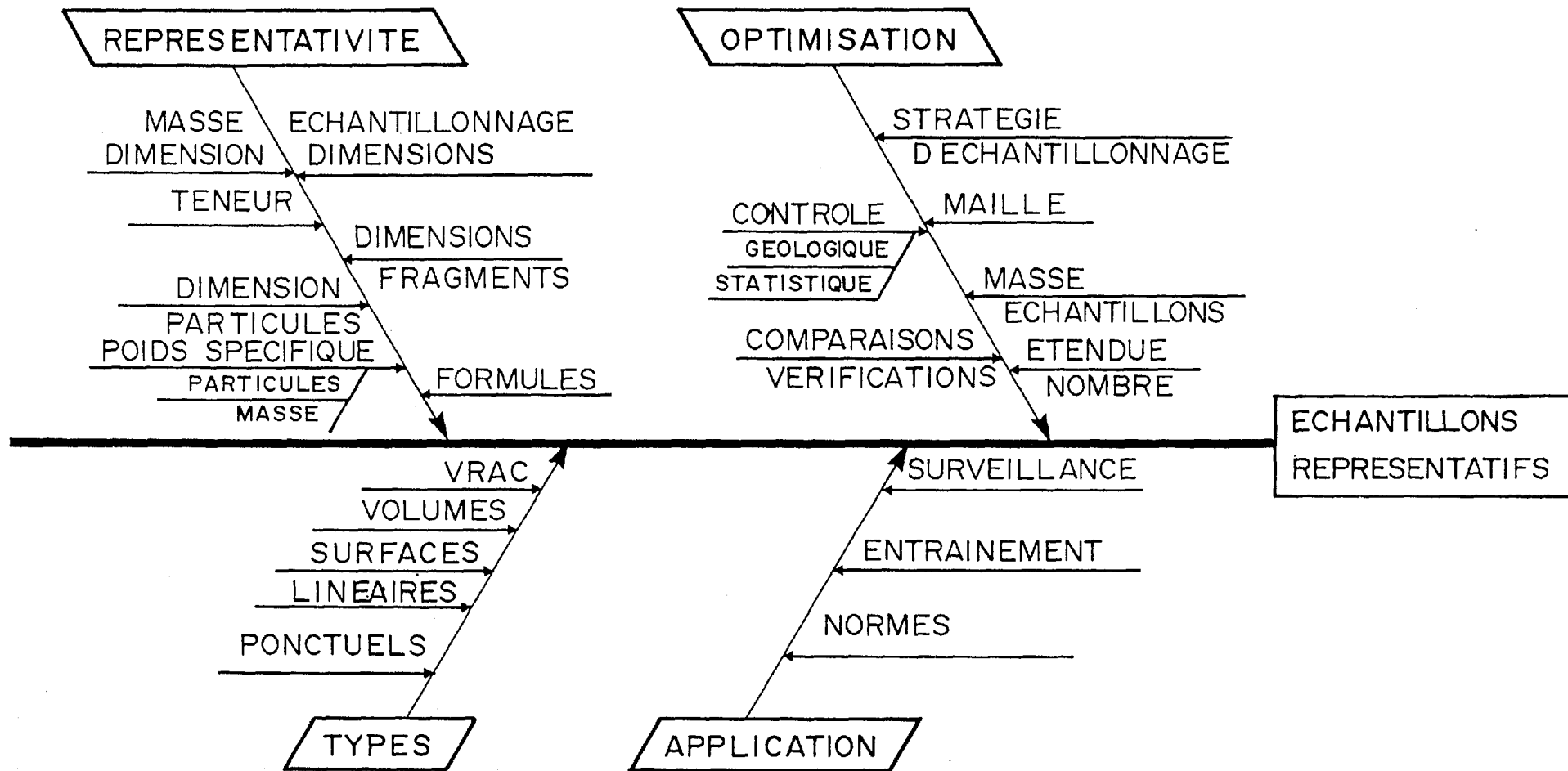


Fig. 5.0

**ASPECTS DES
ECHANTILLONNAGES**

5.3.2 Le gisement Golden Pond

Ce cas type montre l'utilisation et la comparaison de plusieurs méthodes d'échantillonnage, l'utilisation d'une tour d'échantillonnage pour concasser chaque volée et prélever des échantillons représentatifs, pour permettre de faire des comparaisons statistiques et géostatistiques des résultats.

5.3.3 Le gisement New Pascalis

L'échantillonnage en vrac de ce gisement en vue d'essais en usine industrielle était appuyé sur l'échantillonnage des volées par la corde à noeuds plutôt que sur la tour d'échantillonnage. Les résultats obtenus montrent une certaine dispersion des valeurs de la teneur estimée pour l'échantillon en vrac et de la teneur du gisement.

5.3.4 La mine Equity Silver

Ce cas type comporte une vérification des méthodes d'échantillonnage des forages de percussion des sautages pour le contrôle des teneurs. Les vérifications se sont appliquées au prélèvement et à la division des échantillons, aux déterminations analytiques et aux comparaisons statistiques entre les diverses séries de déterminations. L'amélioration de la précision des estimés de teneurs dans la mine ajouterait une somme d'environ 1 M\$ par an aux revenus de l'exploitation.

5.4 GUIDES D'APPLICATION: ÉCHANTILLONNAGES

Les facteurs à optimiser pour assurer des évaluations plus précises des teneurs des échantillons prélevés se situent au niveau des procédures de prélèvement, de vérification et contrôle et de surveillance. Ils sont décrits sommairement. Les éléments de stratégie des échantillonnages ont été énoncés en même temps que les éléments de stratégie de valorisation des gisements, à la section 4.8.

5.4.1 Procédures d'échantillonnage

Les procédures choisies doivent chercher à optimiser les facteurs suivants:

La méthode d'échantillonnage et la géométrie des échantillons:

- prélever de véritables rainurages et utiliser des lignes ou grilles de prélèvement multiples et systématiques, sur deux dimensions de préférence;
- utiliser la corde à noeuds ou la pondération des fragments pour l'échantillonnage de la roche cassée;
- longueur minimum des échantillons:

- un minimum de 250mm est requis;
- l'uniformité (relative) des longueurs facilite beaucoup le traitement statistique.

masse des échantillons et la dimension des fragments:

- masse minimum: rainurages: 2.5 kg;
sondages AX, BQ ou AQ;
- nombre de fragments: minimum de 20;
- dimension des fragments: 25mm maximum;
uniformité;

Le nombre des échantillons:

suffisant pour établir les continuités et permettre des vérifications statistiques.

5.4.2 Échantillons en vrac

L'optimisation des échantillons en vrac exige les mesures suivantes:

- contrôle géologique et minéralogique serré:
 - .nature du matériel, lithologie, minéralogie;
 - .portée des essais sur l'ensemble du gisement;
- échantillonnages parallèles par plusieurs méthodes:
 - .rainurages;
 - .roche des volées;
 - .forages au diamant de corrélation;
- échantillonnages systématiques des volées individuelles:
 - .tour d'échantillonnage essentielle;
 - . corde à noeuds ou pondération des fragments comme pis aller.

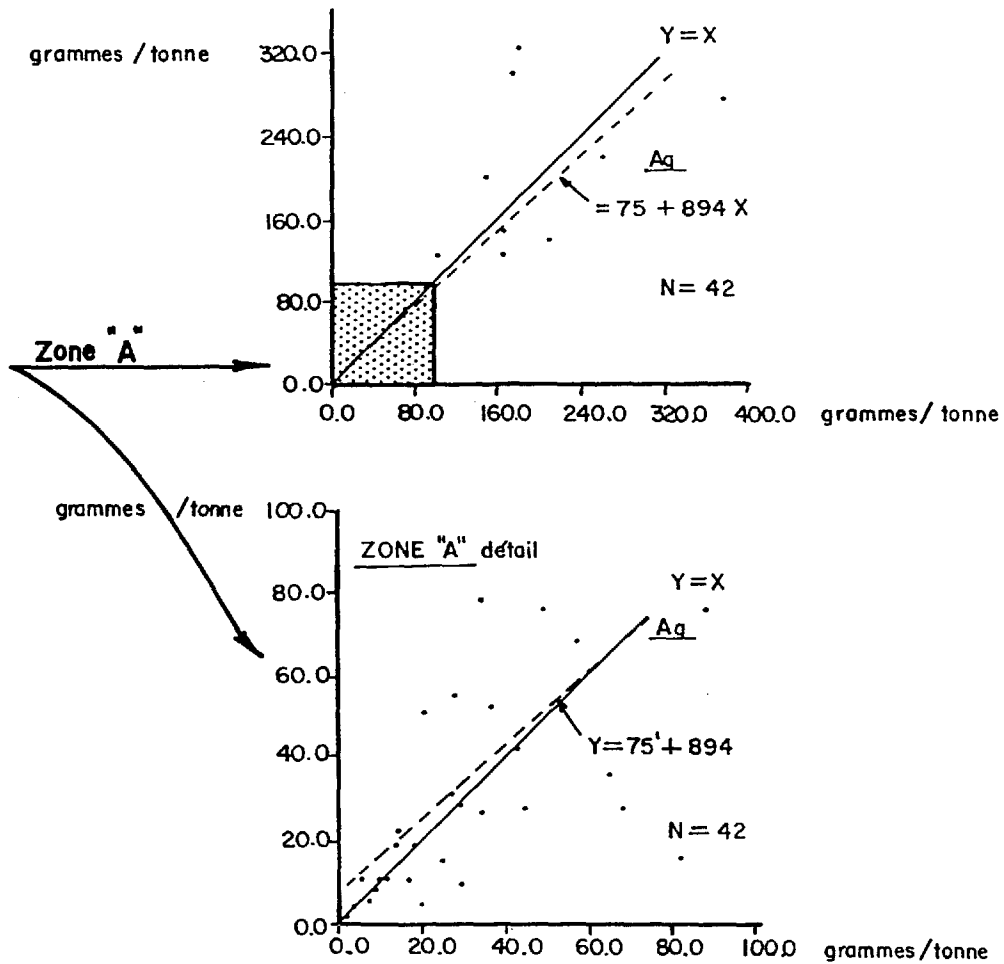
5.4.3 Contrôle géologique

Les éléments essentiels du contrôle géologique sont les caractéristiques géologiques et minéralogiques du matériel, la situation géologique et la représentativité de l'échantillon par rapport à l'ensemble du gisement (pour les vracs).

5.4.4 Vérification et contrôle statistique

Les procédures de vérification doivent s'exercer à l'intérieur d'une méthode d'échantillonnage et également entre les divers types d'échantillons prélevés sur un gisement (figure 5-2).

ÉCHANTILLONS DANS LA MINE vs ÉCHANTILLONS DE CONTRÔLE



FORAGES DE PRODUCTION
VÉRIFICATIONS DES ÉCHANTILLONNAGES

EQUITY SILVER MINES.

TIRÉ DE : Moreau, Sinclair, Miller, 1986

Fig. 5.2

5.4.5 Responsabilité professionnelle

L'échantillonnage ne doit pas être "délégué" aux mineurs: il faut être toujours présent pour surveiller et contrôler: 24h par jour, sept jours par semaine si requis. Le contrôle requis s'exercera sur la qualité de l'échantillonnage minier. De plus, il faut un contrôle serré des essais d'échantillonnage ou d'usinage.

5.4.6 Analyse coût bénéfice

Il faut expliciter et évaluer systématiquement les bénéfices des pratiques de qualité proposées par rapport aux coûts qu'elles impliquent et par rapport aux problèmes qu'engendre leur absence.

6. LES PROCÉDURES ANALYTIQUES

Les résultats d'analyses doivent être vérifiés pour s'assurer de leur fiabilité. La fiabilité s'appuie sur la précision et sur l'exactitude et elle dépend de la distribution des particules d'intérêt et de la préparation des échantillons autant que de la méthode analytique. La distribution pépitique de l'or est la principale cause des difficultés rencontrées dans les déterminations analytiques. La figure 6-0 présente graphiquement les divers facteurs qui contribuent à la précision et à l'exactitude des déterminations analytiques.

6.1 PRÉCISION versus EXACTITUDE

La précision est définie comme le degré de coïncidence entre des mesures individuelles. Elle dépend de:

- la représentativité de l'échantillon ou sous-échantillon soumis au processus analytique,
- la reproductibilité des déterminations, soit la capacité du procédé analytique de répéter les mêmes chiffres sur du matériel identique.

L'exactitude est le degré de coïncidence entre des mesures et un standard de référence de la propriété mesurée dans le matériel sous évaluation. L'exactitude s'appuie sur la standardisation. La standardisation peut être absolue avec des standards ou relative avec des étalons.

Les duplicata d'échantillons ne sont ni des standards ni des étalons. Ils peuvent nous informer sur la précision des déterminations mais sans indiquer la ou les causes des imprécisions, qui peuvent être reliées à la préparation des échantillons ou aux déterminations analytiques elles-mêmes.

6.2 PROBLÈMES D'ÉCHANTILLONNAGE DE L'OR

Les difficultés rencontrées et la variabilité observée dans la détermination de l'or sont reliées à sa distribution pépitique. Ce fait rend les résultats vulnérables aux procédures de réduction granulométrique et de division des sous-échantillons. Les variables sont:

- la masse de l'échantillon primaire;
- la finesse de concassage de l'échantillon primaire;
- la masse du sous-échantillon après quartage;
- la procédure de pulvérisation;
- les pertes et la contamination (plaquage de l'or);
- la masse du sous-échantillon analysé;
- la procédure d'extraction (pyroanalyse ou acide).

Surveillance, vérifications et doute méthodique sont nécessaires à chaque étape pour éliminer toutes les possibilités de contamination accidentelle ou malicieuse (le salage ou "salting") des échantillons aurifères.

6.3 GUIDES D'APPLICATION

6.3.1 Règles d'application

Les règles d'application proposées par le Guide pour l'optimisation des résultats des analyses s'appuient sur les étapes suivantes:

- 1) la détermination de la nature et des caractéristiques des particules dans la minéralisation sous étude;
- 2) la quantification de l'erreur engendrée par chaque étape de broyage et de tamisage d'un sous-échantillon;
- 3) l'application des formules d'échantillonnage;
- 4) l'explicitation des procédures analytiques et de l'erreur qu'elles impliquent;
- 5) les procédures systématiques de vérification et de surveillance par les responsables;
- 6) l'explicitation des responsabilités professionnelles et légales quant aux résultats des déterminations et des procédures de vérification et de surveillance. Ces conditions, s'ajoutant à l'importance des résultats exigent, par exemple, que les rapports des laboratoires aient un caractère professionnel.

6.3.2 Procédures standards

Trois méthodes de détermination de l'or sont en vigueur actuellement:

- 1) la pyroanalyse conventionnelle sur portion de 30 g;
- 2) la pyroanalyse avec tamisage à -150 mailles (0.104mm) des particules métalliques qui se réduisent mal au broyage, et analyse de la surverse complète et de la sous-verse sur portion de 30 g;
- 3) les déterminations par absorption atomique qui se font sur des portions de 2 à 5 g, après digestion à l'eau régale.

La méthode dite "tamisage des métalliques" améliore de beaucoup la précision des déterminations en réduisant les problèmes de distribution pépétique dans le sous-échantillon. Une méthode plus élaborée dite "double métallique" comporte deux étapes de tamisage, à -28 mailles (0.589 mm) et - 200 mailles (0.074 mm) pour les minéralisations très pépétiques. La méthode d'analyse par absorption atomique, transférée des déterminations des métaux usuels, n'est pas appropriée pour l'or à cause de la trop faible dimension du sous-échantillon soumis à l'analyse, soit 2 à 5 g.

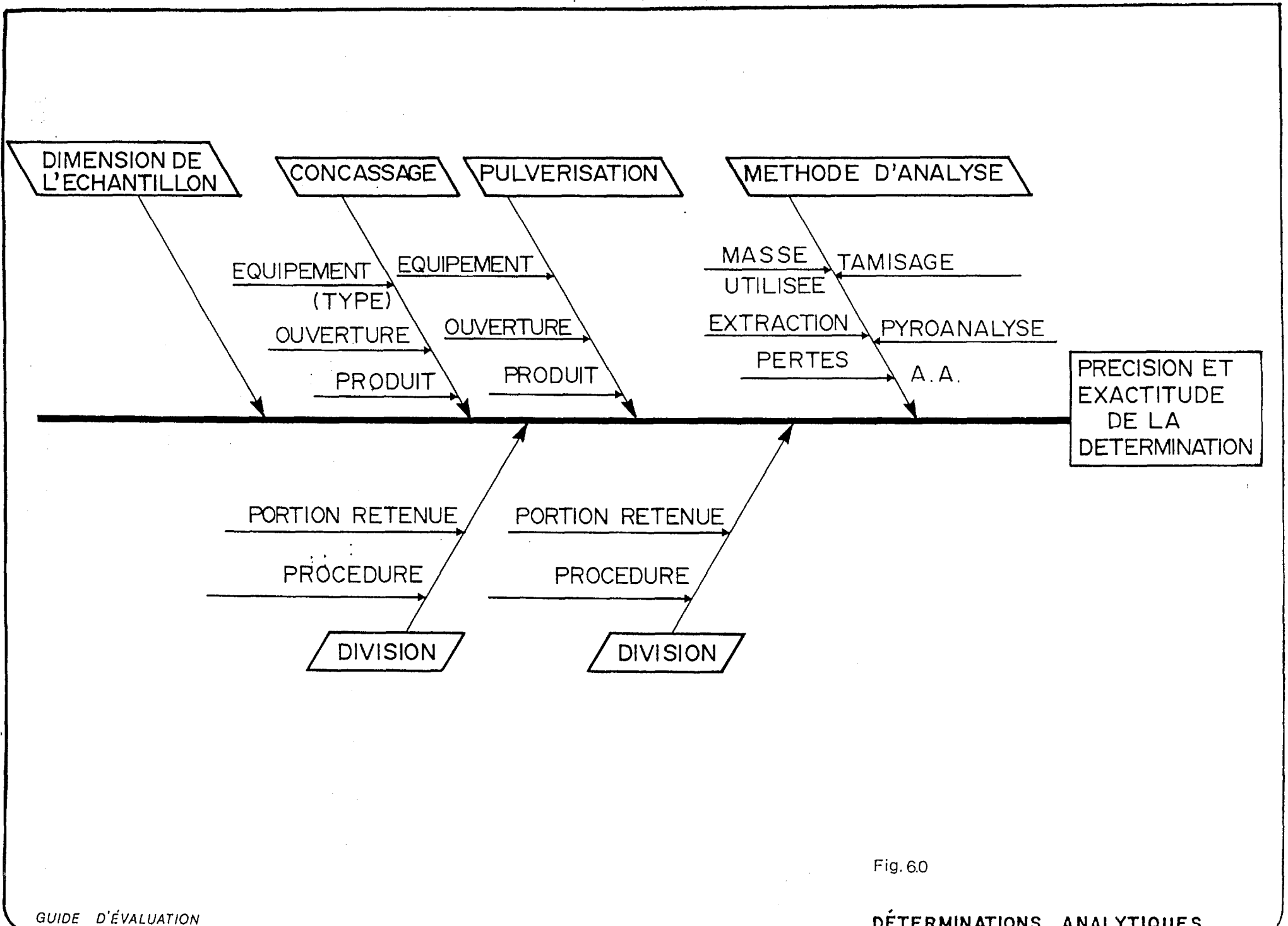


Fig. 60

Dans tous les cas, il y a avantage à broyer l'échantillon primaire à environ 1 mm, plutôt qu'à 8-10 mm avant quartage, à pulvériser un sous-échantillon de 250-300 g au minimum, et à utiliser une portion de 30 g pour la pyroanalyse.

6.3.3 Procédures de vérifications

D'importantes responsabilités professionnelles, légales (contexte promotionnel) et financières sont reliées aux résultats analytiques. Il ne faut pas cesser de:

- 1) vérifier les valeurs faibles autant que les hautes et faire des tests d'orientation et des vérifications sur tout gisement d'or, non seulement ceux qui montrent de l'or grossier, et être vigilant face aux possibilités de contamination intentionnelle (salage) ou accidentelle;
- 2) faire une analyse statistique des résultats obtenus;
- 3) appliquer les formules d'échantillonnage de Gy et de Ingamells en s'appuyant sur la minéralogie quantitative et sur la statistique des résultats.

7. L'ESTIMATION DES VOLUMES, MASSES ET TENEURS

7.1 PROBLÉMATIQUE DES ESTIMATIONS

Les méthodes courantes d'estimation des volumes, des masses et des teneurs s'appuient sur un "arsenal" multiple dans lequel les méthodes géostatistiques complètent, sans les remplacer entièrement, les techniques traditionnelles.

7.1.1 Inventaires, Pertes et Dilution

Quelle que soit la méthode d'estimation, une erreur est engendrée lorsque la teneur d'échantillons restreints (linéaires, de surface, ou de roche cassée) est appliquée au volume, chantier, lentille ou gisement dont elle est considérée comme représentative. Les résultats de l'inventaire minéral: l'estimation des volumes, masses et teneurs, sont évidemment des ESTIMÉS auxquels s'attachent des marges d'erreur, non des quantités réelles actuellement mesurées!

7.1.2 Méthodes d'estimation

Les modalités de l'estimation des volumes, des masses et des teneurs évoluent avec la progression du projet: les inventaires des gisements délimités deviendront les réserves de minerai au stade 8. A tous les stades, l'estimation est d'abord une opération géologique, à laquelle se greffent de plus en plus d'éléments d'ingénierie et d'économique. Quelle que soit la méthode d'estimation, la détermination détaillée du poids spécifique de la minéralisation est une opération essentielle à l'estimation du métal contenu.

Les méthodes traditionnelles

Les méthodes traditionnelles correspondent à une approche analytique et déterministe, puisqu'elles visent à établir des limites concrètes pour la détermination des réserves et l'exploitation, et à partir de ces limites de déterminer les limites, volumes, masses et teneurs.

Les méthodes géostatistiques

Le développement de la géostatistique a amené à l'estimation des gisements une emphase sur l'aspect statistique, par opposition à la démarche déterministe des méthodes traditionnelles. La géostatistique s'appuie sur la distribution en général régionalisée des teneurs (leur corrélation). La géostatistique permet de quantifier la précision des estimés en établissant les marges d'erreur des estimés pour le niveau de confiance choisi.

Le variogramme est l'instrument de base de la géostatistique: c'est une fonction de corrélation des paires d'échantillons prises à des espacements croissants. Le krigeage est l'opération de pondération et de correction des teneurs moyennes des gisements, des blocs d'estimation et des chantiers qui sera effectuée ensuite. L'estimation des marges d'erreur sera faite après ces étapes.

7.1.3 Les teneurs repères

Les teneurs repères sont les jalons essentiels de toute estimation, autant à l'exploration qu'à l'exploitation: ce sont la teneur coupure, la teneur de rentabilité et la teneur marginale. La teneur de coupure est un concept général: "...c'est toute teneur qui est utilisée, à partir de n'importe quel critère approprié, afin de distinguer entre deux alternatives de décision ou d'action". Aux premiers stades des estimations, les teneurs de coupure sont choisies sur une base statistique et aussi empirique par rapport à des gisements similaires. La teneur de rentabilité est celle qui fournit le profit minimum requis par tonne extraite. A cette teneur de rentabilité est rattachée une teneur marginale qui est la teneur minimum qui fait ses frais dans ce contexte. La teneur marginale est donc une teneur de coupure à laquelle sont rattachées des considérations économiques.

7.1.4 Poids spécifique

Le calcul des masses à partir des volumes requiert le poids spécifique, quelle que soit la méthode d'estimation. Trop souvent, cette donnée caractéristique de la roche et du minerai n'est pas mesurée systématiquement mais plutôt estimée globalement au moment du calcul des réserves. La présence fréquente de sulfures et d'autres minéraux de poids spécifiques plus élevés que la roche stérile peut introduire des erreurs importantes dans le calcul des zones ou des chantiers individuels. **Dans ces cas, le poids spécifique doit donc être mesuré systématiquement, autant que la teneur des intersections individuelles.**

7.1.5 Interprétation et modèle

Toute estimation des volumes masses et teneurs requiert l'interprétation et la modélisation de la géologie (lithologie et structure) et des minéralisations (contrôles, distribution et continuités). C'est une étape préalable essentielle à toute estimation (traditionnelle ou géostatistique) des volumes, des masses et des teneurs, à partir des mailles d'information disponibles à une étape donnée (voir 7.4.3).

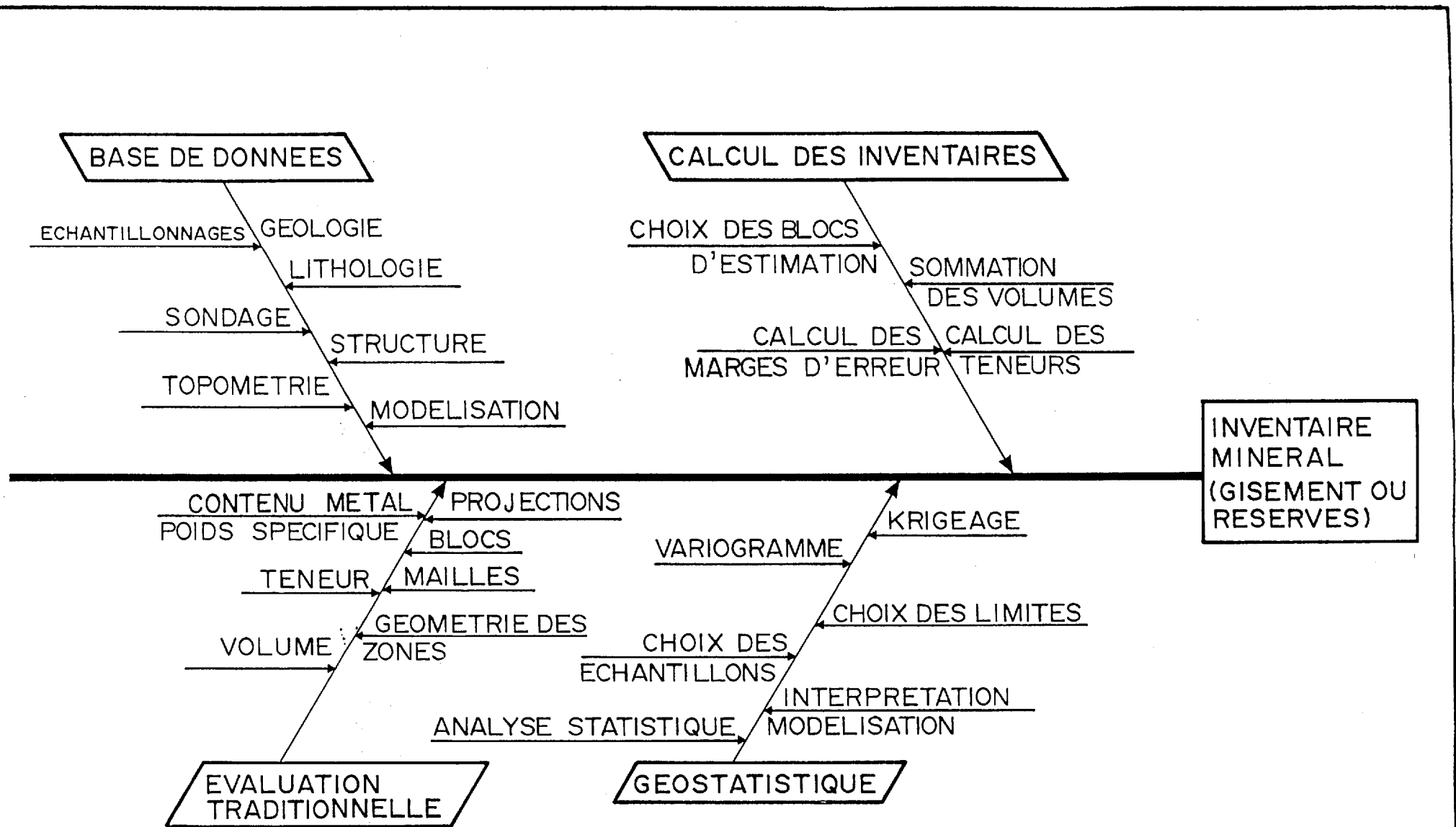


Fig.7.0

ESTIMATION DES VOLUMES
MASSES ET TENEURS

7.1.6 Relations géométriques et limites

La marge d'erreur dans la délimitation du gisement et dans l'établissement des limites du volume minéralisé est reliée à la forme et aux dimensions de ce volume quelle que soit la méthode d'estimation. Le Guide a déjà souligné, au chapitres 3 et 4, l'influence de la distribution des minéralisations, de la forme géométrique et de la dimension des divers types de gisements sur l'estimation, sur la dilution et sur les pertes.

Pour l'aspect géométrique, l'irrégularité de la surface limite et le rapport surface/volume influenceront la précision des estimations. Ces facteurs sont reliés: une surface limite très irrégulière modifiera le rapport surface/volume. Des exemples types montrent que l'effet de dilution des murs est inversement proportionnel, toutes conditions égales, à la largeur du gisement.

La dimension relative du gîte influence directement la précision de l'estimation. Un exemple type montre que, pour une maille donnée de forages, la portion du gisement mal déterminé, parce que située aux extrémités, sera presque inversement proportionnelle à la longueur. Dans l'application des méthodes traditionnelles, on néglige souvent de classer les blocs périphériques dans une catégorie "inférieure", sur la base de l'appréciation de la situation décrite. Dans les estimations géostatistiques, les marges d'erreur calculées sur les teneurs des blocs d'estimation périphériques seront plus importantes.

7.2 LES MÉTHODES TRADITIONNELLES D'ESTIMATION

Les méthodes traditionnelles d'estimation des gisements sont axées sur la mesure du volume par diverses méthodes géométriques et l'attribution à ces volumes, selon diverses méthodes de pondération, de teneurs d'échantillons situés à l'intérieur de ces zones ou à leur périphérie. La nature et la dimension de la maille d'information sont des facteurs importants de l'estimation.

7.2.1 Calcul des volumes

Le calcul des volumes s'exécute par diverses méthodes géométriques. Les principales sont:

- 1) la section longitudinale, typiquement utilisée pour la représentation et l'estimation d'une zone tabulaire relativement mince et uniforme;
- 2) les sections transversales, utilisées pour les amas, les gisements complexes, les structures multiples;

- 3) les triangles et les polygones, utilisés pour établir les zones d'influence des échantillonnages, particulièrement dans les gisements en amas, ou dans des zones tabulaires;
- 4) les courbes isoteneurs et les surfaces de tendances, qui sont plus adaptées à la modélisation et la caractérisation des zones minéralisées qu'au calcul des teneurs.

En général les trois premières de ces méthodes montreront une tendance à surestimer le volume, particulièrement aux arêtes; par contre la quatrième aténue les arêtes, mais aurait tendance à élargir les zones d'influence. L'application de deux méthodes différentes aidera souvent à déceler les zones problèmes.

7.2.2 Estimation des teneurs

Les paramètres de l'estimation des teneurs dans les méthodes d'estimation traditionnelles sont établis de façon pragmatique, à partir de l'observation de la variabilité de la distribution des teneurs et de l'expérience accumulée. Ces méthodes ne permettent donc pas d'estimation à priori de la marge d'erreur du calcul des volumes ni du calcul de la teneur.

Les méthodes traditionnelles de calcul des teneurs dépendent de l'hypothèse qu'il est justifié de projeter la zone d'influence des échantillons à la mi-distance de la maille d'échantillonnage. Cette hypothèse a été modifiée empiriquement par l'application de méthodes de pondération de l'influence en fonction de la distance et par des facteurs de correction empiriques telle la coupure des hautes valeurs. Les échantillonnages miniers et en vrac ont également été développés pour améliorer les estimés.

7.2.3 Appréciation et Perspective

Malgré les diverses corrections empiriques et/ou pragmatiques utilisées, les méthodes traditionnelles contrôlent mal la surestimation fréquente des volumes et ne permettent pas d'évaluer la marge d'erreur des estimés. Lorsque des minéralisations très pépitiqes sont présentes, il est souvent aléatoire d'établir des facteurs de correction en l'absence d'expérience antérieure.

Les échantillonnages miniers sont très localisés par nature: ils n'aideront à l'évaluation des teneurs d'un gisement ou d'une zone qu'en autant qu'on aura établi les contrôles et les redondances appropriées avec les autres formes d'échantillonnages et en autant que l'échantillon aura été bien situé dans le cadre géologique du gisement.

7.3 L'ESTIMATION GÉOSTATISTIQUE

7.3.1 Le contexte de l'estimation

L'estimation d'un gisement est d'abord un inventaire géologique, même avec l'utilisation des méthodes géostatistiques. Pour les inventaires des ressources minérales délimitées, ou gisements délimités, l'information est surtout de nature géologique. Par contre, l'estimation des réserves des gisements est, par définition, un travail multidisciplinaire qui s'appuiera également sur les aspects d'ingénierie et d'économique de l'exploitation minière.

7.3.2 Informatisation des bases de données

L'application des logiciels pour l'estimation des réserves implique l'informatisation de la base de données. Il est important de choisir des logiciels qui offrent la flexibilité requise pour permettre l'application de nouvelles méthodes, la mise en plan informatisée, le calcul des réserves, la planification minière, tout en étant utilisables dans la collecte des données géologiques et analytiques. Tout en recommandant l'informatisation, le Guide déplore la tendance courante à accorder une confiance aveugle à des résultats parce qu'ils ont été obtenus sur ordinateurs.

7.3.3 Analyse statistique détaillée

Il s'agit d'abord de procéder à une analyse statistique des données d'échantillonnage. Il faut uniformiser la taille des échantillons, évaluer la courbe de distribution des teneurs des échantillons (lognormale à 2 ou 3 paramètres, mélanges de modèles), établir la limite inférieure des teneurs à la baisse (la teneur de coupure inférieure) et analyser le nombre et l'importance des hautes valeurs dans l'histogramme. Des essais et simulations simples montreront l'effet de diverses méthodes pour réduire l'influence des teneurs monstres, telles la normalisation de la courbe lognormale, la méthode de Sichel, etc.

7.3.4 Interprétation et modélisation

La modélisation du gisement comprend plusieurs étapes d'analyse et d'interprétation: l'interprétation des données, l'identification des limites et l'interprétation des limites.

L'interprétation des données: l'interprétation systématique des données géologiques vise à expliciter toutes les continuités (et discontinuités) géologiques et structurales et à définir des zones homogènes. Il faudra prévoir autant les variations minéralurgiques (Chap. 9) que les variations brutes des teneurs. L'interprétation doit se faire à la fois sur des sections verticales et sur des coupes horizontales.

L'identification des limites: les limites primaires sont les limites franches établies par la lithologie, la stratification, les phénomènes structuraux ou par des gradations de teneurs très brusques; les limites floues des minéralisations irrégulières ou les veines de contours irréguliers sont du type secondaire.

L'établissement des limites: à partir du modèle géologique établi et en s'appuyant sur les teneurs de coupure choisies, on définira un contour sur chaque section. Ce contour sera établi en excluant les intersections riches mais isolées qui n'ont pas de continuité géologique. Les sections sont ensuite digitalisées et un modèle de blocs approprié au volume du gisement est créé si on veut travailler en 3D, ou un modèle de surfaces sur section(s) longitudinale(s) si on veut travailler en 2D. L'irrégularité des limites des gisements peut être exprimée au moyen de diverses fonctions géostatistiques, par exemple le variogramme des épaisseurs en 2 D.

7.3.5 Choix des échantillons

L'informatisation de la banque de données oblige à évaluer l'information disponible. Il faut donc prêter attention à divers facteurs tels la densité de la maille, les teneurs monstres, les types des échantillons, les longueurs (il faut uniformiser les longueurs) et le type d'information disponible sur ces échantillons.

7.3.6 Calcul du variogramme

On calculera d'abord le variogramme des teneurs dans trois axes principaux afin d'établir les anisotropies. Si la distribution des teneurs est proche de la lognormalité, on calcule un variogramme logarithmique que l'on convertit ensuite en variogramme relatif. Plusieurs autres types de variogrammes peuvent être utilisés si ceux qui sont cités ici ne répondent pas aux besoins particuliers: indicatrice, rang. On peut également calculer des modèles de variogramme de covariance ou des corrélogrammes. La définition des paramètres peut se faire graphiquement mais est beaucoup plus facile de façon interactive. Tous les variogrammes ajustés dans différentes directions font partie du même modèle, ils doivent avoir le même effet de pépite.

7.3.7 Krigeage

Le krigeage est l'opération d'estimation des teneurs corrigées d'après les données du variogramme. On le fait en général avec le variogramme relatif, dérivé du variogramme logarithmique, plutôt qu'avec le krigeage lognormal qui montre plus de tendances à la sur-évaluation.

On choisira une taille de bloc avec une anisotropie comparable à celle du gisement, probablement des blocs cubiques pour un amas, des blocs de 15m x 10m x 5m pour un gisement d'allure stratiforme litée comme la partie centrale de la zone 2 de mine Doyon, dans la fosse, où l'on utilise des bancs de 10m et des portées de 22m, 9m et 6m. On évitera de kriger des blocs trop petits, s'éloignant de la maille d'échantillonnage, qui donnent des marges d'erreur très fortes.

Le Guide rappelle qu'aucune technique de krigeage (ou de coupure) ne "régularise" l'influence des teneurs monstres. Ces teneurs existent et dans nombre de cas sont essentielles à la détermination du contenu d'or d'un gisement. Il faut donc établir leurs caractéristiques, reconnaître et minimiser l'influence de pratiques fautives d'échantillonnage, dans le but d'utiliser, avec les méthodes appropriées ces teneurs individuelles pour l'estimation de la teneur des blocs, des chantiers et du gisement global.

7.3.8 Compilation des inventaires

Après les calculs des blocs, la compilation des inventaires des gisements ou des réserves devient relativement simple. Il ne faut cependant pas livrer à l'ordinateur la responsabilité des limites: il faut en effet tenir compte des limites géologiques préétablies et revoir les blocs périphériques pour jauger la continuité de la minéralisation par les marges d'erreur.

7.4 MARGES D'ERREUR, MAILLE ET BLOC D'ESTIMATION

7.4.1 Précision / marges d'erreur

Parler de la précision des estimations est ambigu car si l'on ne définit pas une formulation explicite pour quantifier cette précision. C'est pourquoi le Guide utilise la notion de marge d'erreur à un niveau de confiance donné, qui s'appuie sur la statistique. La géostatistique permet le calcul des marges d'erreur des estimés des volumes géologiques, les méthodes traditionnelles de calcul ne permettant que de faire des constatations et d'établir des facteurs de correction à posteriori.

L'estimation de la *marge d'erreur sur le contenu métal* est à la base de toutes les classifications. Le contenu métal est relié à la teneur, au volume et au poids spécifique. Dans la plupart des classifications antérieures, les estimés sont groupés en classes pour lesquelles l'expression de la marge d'erreur est qualitative.

Avec les techniques géostatistiques actuellement utilisées, la marge d'erreur sur l'enveloppe, donc sur le volume⁶ n'est pas directement calculée: elle se verra par l'incertitude plus forte des blocs marginaux. D'ordinaire, elle n'est pas chiffrée directement. L'estimation de la marge d'erreur sur la masse (le tonnage) demande de plus l'estimation de la marge d'erreur sur le poids spécifique.

Il est nécessaire d'uniformiser le chiffre du niveau de confiance, puisque la marge d'erreur augmente avec l'augmentation du niveau de confiance demandé. Le Guide recommande d'utiliser un niveau de confiance de 90% et de déterminer la marge d'erreur sur la teneur relative à ce niveau de confiance. Ce chiffre de 90% correspond mieux aux conditions d'exploitation que le niveau de 68% qui accompagne l'écart type ou le niveau de 95% pour deux écarts types.

L'utilisation de marges d'erreur a déjà été proposée, mais les propositions du Guide étendent et systématisent cette pratique. La classification proposée par le Guide peut également s'appliquer dans un système conventionnel de classification appuyé surtout sur les mailles d'information et l'expérience acquise. (tableau 7-1)

* Voir sections 7.1 et 7.2

TABLEAU 7-1
MAILLES TYPES

Élément	Type de gisement	Mailles (m)	Certitude
Mine Chimo Zone 5	Or Stratiforme	30, 15, 7.5 Travaux miniers	(Pb2,Pb1,Pv2) (Pv1)
Mine Doyon Zones 1 & 2	Or Stratiforme Disséminé/veines ⁷	60, 30, 15,	(Pb2,Pb1,Pv2)
Mine Doyon Zone Nord	Or Veines Pyrite, Or	30, 15, 7.5, Travaux miniers	(Pb2,Pb1,Pv2) (Pv1)
Louvem Zones 1 à 4	Cu,Zn Stratiforme sulfures massifs	30, 15, 7.5 Travaux miniers	(Pb2,Pb1,Pv2) (Pv1)
Niobec	Nb ₂ O ₅ Amas lenticulaires disséminé	60, 30, 15, Travaux miniers	(Pb2,Pb1,Pv2) (Pv1)

Pb1= Probable Classe 1, Pb2= Probable Classe 2.
Pv1= Prouvé Classe 1, Pv2= Prouvé Classe 2.

7.4.2 Mailles et blocs d'estimation

Les mailles initiales: Au début de la mise en valeur d'un gisement (stade 4), la maille d'information est large et l'information peu détaillée par rapport aux limites et aux teneurs. La première maille d'information est choisie pour délimiter la zone minéralisée et estimer sa teneur avec un intervalle large, mais qui donnera un nombre minimum d'intersections (4 ou 5) en travers de cette zone: il s'agit en général de forages. Ces caractéristiques correspondent aux définitions des gisements indiqués ou des réserves probables (dans le contexte minier). On calculera donc la marge d'erreur globale de ces estimés.

Les mailles détaillées: Au début du stade 5, la maille est réduite de moitié pour augmenter la densité de l'information. A partir de la fin du stade 5, la maille d'information sera devenue suffisamment resserrée pour permettre d'établir la marge d'erreur des blocs d'estimation qui subdivisent le gisement. Au stade de la faisabilité, la maille des forages et les échantillonnages additionnels qui la complètent (rainurages, vracs) doivent être appropriés pour assurer la qualité et la quantité du minerai dont on planifie l'extraction. On voit au tableau 7-1 que la maille de probation requise pour une classe donnée variera selon les dimensions et la nature du gisement.

⁷ (1) Décision d'exploitation à partir de cette maille, avec information plus détaillée et contrôle additionnel en fosse.

La dimension des blocs d'estimation est beaucoup plus variable depuis les développements des méthodes de calcul informatisées et surtout depuis le développement de la géostatistique. Antérieurement, le volume d'estimation était le plus souvent directement relié à la maille d'échantillonnage et celle-ci se resserrant, les blocs d'estimation devenaient plus petits.

Le bloc d'estimation variera selon les stades. A la fin du stade 4, le bloc d'estimation sera constitué par les lentilles ou les principales unités constituant le gisement: c'est l'estimation globale. A la fin de du stade 5 et au stade 6, la maille d'information devra être suffisante pour permettre l'estimation de blocs dont les dimensions s'approchent d'unités de planification et/ou d'exploitation. A l'étude de faisabilité (stade 8), la dimension du bloc d'estimation devra être reliée au bloc de planification minière dans l'exploitation envisagée, ce qui exigera d'explicitier le niveau d'information requis pour cette étude. A l'exploitation, le bloc d'estimation devrait être relié au volume des chantiers ou à une période appropriée d'exploitation. Le Guide suggère ici d'utiliser comme repère la masse correspondant à une période de production d'un à trois mois selon les cas.

La planification d'exploitation et le contrôle de qualité demanderont des informations additionnelles à celles requises à la faisabilité. A ce stade, le bloc d'évaluation idéal serait celui dont le volume peut être l'objet de sélection dans l'application de la méthode d'extraction choisie.

Relations Dimensions / Variance: On se rendra compte qu'en estimant des blocs plus petits, avec les mêmes échantillons, on aura des incertitudes plus grandes car la marge d'erreur d'un bloc d'estimation est fonction inverse du volume de ce bloc. Par contre, la précision globale n'est pas fonction de la taille des petits blocs estimés et en demeure indépendante. Ainsi, les variances obtenues par des calculs de précision sur des blocs de dimensions décroissantes serviront à trouver la dimension de bloc à partir de laquelle la marge d'erreur devient excessive. Cet exercice indiquera si la maille d'information est suffisante pour les besoins de sélection et de contrôle de la qualité.

L'estimation des réserves se faisant en vue de l'exploitation, il est opportun de considérer les divers formats de blocs d'estimation qui se rencontrent dans une exploitation. Le Guide présente neuf blocs types, allant du gisement global jusqu'au volume minimum pouvant faire l'objet de sélection dans une méthode donnée d'exploitation. Certains sont des blocs d'estimation, d'autres des blocs de cédule et budget, d'autres des blocs de planification et contrôle minier.

7.4.3 Normes de classification

La classification des réserves minières et des ressources minérales proposée par le Guide comporte deux catégories: Prouvé et Probable (Mesuré et Indiqué pour les ressources), chacune divisée en deux classes (Tableaux 3-2 à 3-6). Les critères des définitions réfèrent aux connaissances requises dans les axes de la géologie, de l'ingénierie et de l'économique pour les besoins d'une exploitation minière. Tous ces besoins ne sont en général rencontrés qu'au niveau prouvé Classe I ou parfois Prouvé Classe II. Ces critères sont résumés au tableau 7-2. La marge d'erreur sur laquelle s'appuient les classifications est soit d'expérience, soit d'ordre géostatistique; elle s'applique soit à l'ensemble du gisement, c'est la marge d'erreur globale, soit aux blocs d'estimation, comme dans le cas type de la mine Chimo, à la section 8.8.3 du Tome II.

TABLEAU 7-2

**MARGES D'ERREUR DES CLASSES
RÉSERVES / GISEMENTS DÉLIMITÉS**

<u>CATÉGORIE</u>		<u>MARGE D'ERREUR (à 90%)</u>	
		<u>Globale</u>	<u>Des Blocs</u>
Prouvé	Classe I	< 10%	< 25%
<i>Mesuré</i>	Classe II	< 20%	< 50%
Probable	Classe I	< 30%	> 50%
<i>Indiqué</i>	Classe II	< 40%	Excessive

Dans une mine polymétallique, les métaux usuels peuvent être connus sur une maille d'information donnée à faible marge d'erreur, disons de 10%, tandis que l'or pourrait n'être connu qu'à une marge d'erreur de 25% avec la même maille d'information et les mêmes échantillonnages. Il faudra donc présenter la marge d'erreur pour chaque métal contenu, ou utiliser une valeur globale exprimée en dollars ou en l'équivalent d'un des métaux.

7.5 LE CALCUL DES MARGES D'ERREUR

7.5.1 Le choix du modèle

Pour le calcul de la marge d'erreur, le Guide propose de déterminer la variance de l'erreur pour chaque estimé et de convertir cette variance en marge d'erreur relative, en supposant un modèle simple, normal ou lognormal, pour la distribution de l'erreur. Si on opte pour un modèle normal, la marge d'erreur relative est (en pourcentage): $100 \times 1.25 \times S/T$, ou S^2 est la variance d'estimation et T l'estimé de la teneur moyenne de la zone minéralisée ou du bloc d'estimation. Dans le cas d'un modèle lognormal, la marge d'erreur relative est (toujours en pourcentage):

$$100 \times T^{-1.28V}$$

Les deux formules sont équivalentes quand la variance d'estimation (ou sa racine carrée, l'écart-type), est petite puisque dans ce cas la marge d'erreur relative est approximativement égale à S/T . Dans le cas où la variance ou l'écart-type d'estimation est plus élevé, ($S/T > 0.3$), la première approche tend à fournir des marges d'erreur relative un peu trop élevées. Si le modèle de distribution des teneurs n'est pas lognormal, on devra peut-être déterminer la marge d'erreur par des méthodes non-paramétriques qui ne passent pas par le calcul de variance d'estimation.

7.5.2 Calcul de la marge d'erreur globale

Des procédures relativement simples mais détaillées sont proposées pour le calcul de la marge d'erreur globale pour un amas, pour une veine épaisse et pour une veine mince. Le cas le plus simple à décrire est celui des amas. Pour les veines, on verra que la méthode est similaire.

7.5.3 Calcul de la marge d'erreur des blocs

Lorsqu'on réduit la dimension des blocs, l'incertitude globale ne change pas, mais l'incertitude de la teneur obtenue dans un bloc déterminé augmente. Pour établir la marge d'erreur de l'estimé de teneur moyenne d'un bloc, il suffit d'effectuer l'estimation par krigeage, comme il a été décrit plus haut. En plus de l'estimé, le krigeage fournit la variance d'estimation. Si on fait du krigeage logarithmique, ce sera une variance d'estimation logarithmique, tandis que si on fait du krigeage ordinaire, ce sera une variance d'estimation absolue.

Si on a procédé à l'estimation de plusieurs blocs sur une grille régulière, on peut représenter les marges d'erreur de chaque bloc sur un plan du gisement et ainsi établir des zones "d'isoerreur" pour une taille de bloc donnée. La marge d'erreur sur l'estimé de teneur

moyenne de chaque zone n'est pas une simple combinaison des marges d'erreur des blocs à l'intérieur de la zone. Là encore, on doit utiliser une méthode approximative similaire à celle du calcul de la marge d'erreur globale. A partir des marges d'erreur sur les zones de blocs, on peut même remonter à la marge d'erreur globale par simple combinaison des variances d'erreur de chaque zone, pour autant que ces zones soient suffisamment larges.

7.6 RÉSERVES ET CONTRÔLE DE PRODUCTION

Le terme réserve implique une connaissance suffisante pour l'exploitation. Les meilleures méthodes de calcul des réserves et de planification minière peuvent diminuer, mais non éliminer, les problèmes de l'étape suivante qui est la réalisation minière (sauf si les marges d'erreur sont presque nulles). L'application de la géostatistique aux problèmes de sélection permettra de mieux comprendre les variations des teneurs des blocs d'estimation et d'évaluer l'effet de divers patrons d'échantillonnage sur la sélection minière.

A l'étape de la planification minière les limites des réserves sont les limites des chantiers. Les estimés doivent prédire les conditions minières: les pertes dans les piliers ou les murs, la dilution des toits ou murs qui tombent, etc. A ce moment, à l'estimé de teneur du calcul des réserves (géostatistique ou conventionnel) qui inclut les corrections conventionnelles ou celles de krigeage, s'ajoute un facteur de dilution (de fait pertes et dilution) minière. Ce facteur est établi à partir de la planification de l'exploitation et il s'appuie sur l'expérience géologique et minière de la mine ou d'exploitation similaires dans le cas d'une nouvelle exploitation.

Le facteur de dilution inclus dans le calcul des réserves est de fait un facteur d'erreur probable dans l'exploitation. Des fourchettes de variation des facteurs de correction des teneurs, du facteur d'erreur dans l'exploitation devraient être utilisées dans les études de sensibilité de la rentabilité de l'exploitation minière proposée. Lors de l'exploitation, il faudra réaliser ces prédictions, ou pourquoi pas, les améliorer par le contrôle géologique et par des échantillonnages additionnels.

7.7 INFORMATION ET VÉRIFICATION

7.7.1 Limites de l'information

Il faut être toujours conscient de la nature et de l'étendue de la base d'information sur laquelle reposent les estimés. Par exemple, il n'y a en général qu'une direction dans laquelle nous pouvons calculer un variogramme avec un support détaillé. C'est l'axe des sondages ou

des échantillonnages. C'est la raison pour laquelle nous cherchons à obtenir des échantillons dans les autres axes par les travaux d'échantillonnages miniers: la direction des galeries dans l'horizontale, celle des monteries dans la verticale.

7.7.2 Échantillonnages en vrac

Les échantillonnages en vrac sont particulièrement importants dans la mise en valeur des gisements d'or, pour résoudre les difficultés d'estimation de la teneur d'or reliées à une distribution pépitique du métal, à une géométrie particulièrement complexe, ou à des problèmes minéralurgiques perçus à partir des études minéralogiques ou des essais en laboratoire. La section 5.4.2 suggère une stratégie d'échantillonnage appropriée aux objectifs de ces travaux dispendieux. Ce sujet est également traité au chapitre 9, Aspects minéralurgiques.

7.7.3 Intégration des informations

Ces nouvelles informations devront être systématiquement intégrées et réconciliées avec les estimés obtenus à partir des sondages et autres échantillonnages linéaires, en comparant les résultats obtenus et en évaluant leur représentativité à travers l'ensemble du gisement, quant aux types lithologiques et minéralurgiques présents dans le gisement. L'étape ultime sera de corriger, s'il y a lieu, les estimés et la précision calculés à partir des échantillons linéaires par les méthodes géostatistiques.

7.7.4 Exploitation

Il est également important de vérifier et d'ajuster les techniques d'évaluation face aux résultats de l'exploitation. Cet exercice de réconciliation (ground truth) fournira l'opportunité d'améliorer les critères d'estimation et de sélection minière, et ainsi d'augmenter la rentabilité. Plusieurs cas types de cette nature sont présentés dans les chapitres 5, 7 et 8 du Tome II.

7.7.5 Vérifications

Les responsabilités professionnelles et légales imposent aux responsables des estimations de connaître les méthodes et procédures de calcul qu'incorporent les logiciels utilisés pour l'estimation des gisements. Les responsables doivent connaître les implications de ces méthodes quant à la portée et la précision des résultats obtenus. Cette responsabilité impose aux professionnels de faire des vérifications par différentes méthodes, dont des analyses de sensibilité qui feront varier divers paramètres des estimations pour constater les marges d'erreur résultantes au niveau de confiance de 90%.

7.8 LES CAS TYPES D'ESTIMATION

Trois cas types d'estimation dans des mines en exploitation sont présentés: celui de la mine Doyon de Cambior/Minerais Lac (ciel ouvert, gisement de style stratiforme), celui de la mine McBean de Queenston Mines (ciel ouvert, amas de veines) et celui de la mine Chimo de Société minière Louvem et Cambior inc (zone tabulaire, chantiers long-trous). Ces cas types d'estimation comprennent une description détaillée de la géologie, de la minéralisation, de la maille d'information, des procédures de krigeage utilisées pour l'estimation et des réserves. Des résultats de production sont également cités. Un quatrième cas type qui est déjà publié, celui de la mine Alligator Ridge au Nevada, est commenté sommairement.

7.9 GUIDES D'APPLICATION: LA GÉOSTATISTIQUE

7.9.1 Perspectives

Même si la géostatistique est plus efficace que les méthodes traditionnelles, ce ne sera probablement jamais une technique d'application facile. Des procédures améliorées, axées sur les caractéristiques géologiques des gisements, sur les procédés d'échantillonnage et sur une application judicieuse et systématique des méthodes de calcul, sont nécessaires. Pour aider à situer l'évolution des pratiques d'estimation des gisements, le Guide résumera deux enquêtes récentes sur ce sujet.

7.9.2 Rôle actuel de la géostatistique

Selon la première étude, aux stades de la mise en valeur et de l'exploitation, plus de la moitié des 48 compagnies utilisaient plus d'une méthode d'estimation: la méthode polygonale étant utilisée par plus de 46%, la méthode des sections transversales par 52%, les méthodes géostatistiques par 32% et d'autres méthodes (triangulaires, inverse de la distance, surfaces de tendance, autres) pour 32%. On observe qu'en moyenne moins de méthodes sont utilisées au stade de production soit 1.41, qu'au stade de la définition (1.78) et au stade de la confirmation (1.65).

Une deuxième enquête s'appuie sur la participation de 19 compagnies minières produisant environ 40% de la production mondiale d'or en 1988, dans 96 exploitations distinctes. Dix-sept des 19 compagnies utilisent les méthodes géostatistiques dans l'estimation des gisements d'or aux divers stades de la mise en valeur et de la production minière. L'accent demeure cependant sur l'utilisation concurrente de plusieurs méthodes, comme procédure d'analyse, de filtrage et de vérification des estimés de tonnage et de teneur des gisements.

7.9.3 Besoins futurs

Parmi les problèmes rapportés par les utilisateurs ayant participé à la deuxième enquête, les suivants touchent de près à la démarche du Guide:

- l'estimation des gisements d'or montrant une forte hétérogénéité géologique, une géométrie complexe, et des distributions de teneurs déformées (skewed);
- l'estimation des réserves recouvrables et des teneurs locales;
- l'estimation des niveaux de confiance globaux;
- le développement de méthodes non-paramétriques pour des simulations conditionnelles;
- la prédiction de la variabilité métallurgique et des récupérations métallurgiques.

L'AXE DE L'INGÉNIERIE

Dans l'axe de l'ingénierie, les méthodes d'exploitation minière ont été analysées en relation avec les caractéristiques des gisements et avec les paramètres économiques de chaque méthode (chap. 8). L'évaluation minéralurgique des minerais d'or doit d'abord s'appuyer sur l'étude des caractéristiques du minerai; les essais progressent à partir du laboratoire jusqu'à l'usine-pilote et jusqu'aux essais en usine commerciale. Une attention particulière est apportée à l'échantillonnage des usines et à l'établissement du rendement des procédés (chap. 9).

8. LES ASPECTS MINIERS

Dans la perspective du Guide, le rendement de l'exploitation minière, qui demande de minimiser la dilution et les pertes, est fonction du type de gisement, des conditions de terrain et de la méthode d'extraction minière choisie. En effet les pertes et la dilution à l'exploitation sont reliées aux interactions gisement/géomécanique/méthode d'exploitation et aux contraintes de sélection et de contrôle de qualité dans l'exploitation. La figure 8-0 illustre les contraintes, les méthodes et les secteurs d'optimisation.

8.1 L'INGÉNIERIE MINIERE

8.1.1 Gisement > Réserve > Exploitation

Les définitions acceptées du terme réserve impliquent une connaissance quantitative des aspects de géologie, d'ingénierie et d'économique d'un gisement, connaissance acquise lors des travaux de mise en valeur des stades 5 à 7. **Les réserves de minerai sont donc par définition des réserves minières récupérables**, qui tiennent compte de la dilution et des pertes reliées au processus de planification et aux conditions d'exploitation.

La dilution se produit à la conception, lorsque du matériel sous la teneur de coupure est inclus dans le chantier projeté (donc dans les réserves), et à l'exploitation minière lorsque du matériel se détache des murs ou du toit pour s'ajouter au minerai cassé. Les pertes au design minier sont le minerai exclus du chantier planifié (dont les piliers non-récupérés). A l'exploitation, les pertes sont le minerai présent, mais non extrait du chantier.

La démarche du Guide, pour les aspects miniers, consiste à analyser pour chaque méthode minière en fonction des caractéristiques du gisement cible, pour estimer la dilution et les pertes anticipées et reliées à la conception du système minier et aux conditions de contrôle de qualité à l'exploitation qui sont caractéristiques de **l'application de cette méthode à ce gisement**. Cette démarche est complémentaire de la démarche géologique proposée dans les chapitres 4 à 7.

8.1.2 Critères d'ingénierie

Dans un contexte d'ingénierie et de gestion de projet, les étapes de conception et de planification sont essentielles à l'optimisation des réalisations. L'expérience de l'industrie en général est que les frais de conception constituent 2 à 5% des coûts d'un projet à réaliser, la planification de 5 à 8% et la réalisation de 87 à 93%. Ces rapports indiquent que des économies relativement importantes sur les frais de conception et de planification réduisent peu le coût d'ensemble d'un projet. Par contre, des lacunes à ces stades sont susceptibles de se traduire par des frais additionnels beaucoup plus élevés (que les économies) lors de la réalisation du projet. C'est ici que devient évidente la nécessité de l'approche d'analyse rigoureuse recommandée par le Guide, dans une perspective parallèle à celle de la qualité totale de l'industrie manufacturière mais adaptée aux conditions du développement minéral (sect. 3.4)

8.2 CHOIX ET POLITIQUES D'EXPLOITATION

L'objectif fondamental d'une exploitation est le plus haut revenu final par unité de métal produit. Cet objectif demande l'optimisation de l'équation revenus-coûts en fonction des contraintes physiques, techniques et légales, des conditions des marchés auxquelles sera (est) soumise l'exploitation minière. Deux orientations majeures s'imposent pour l'exploitation:

Ciel ouvert / Sous-terre: Exploiter à ciel ouvert ou sous-terre est le premier choix qui s'impose. Chaque fois que la proximité à la surface du sol le permet, l'exploitation à ciel ouvert est préférée à cause des investissements, délais et coûts d'exploitation moindres qui la caractérisent.

Volume / sélectivité: L'expérience minière cherche à adapter les systèmes miniers aux gisements, mais il y a des orientations types. Ce sont, d'une part, l'exploitation à grand volume, à coût relativement bas, nécessairement moins sélective et d'autre part, l'exploitation à volume plus réduit, plus sélective, de coûts plus élevés. Les considérations géologiques et géomécaniques viendront compliquer ce schéma simple.

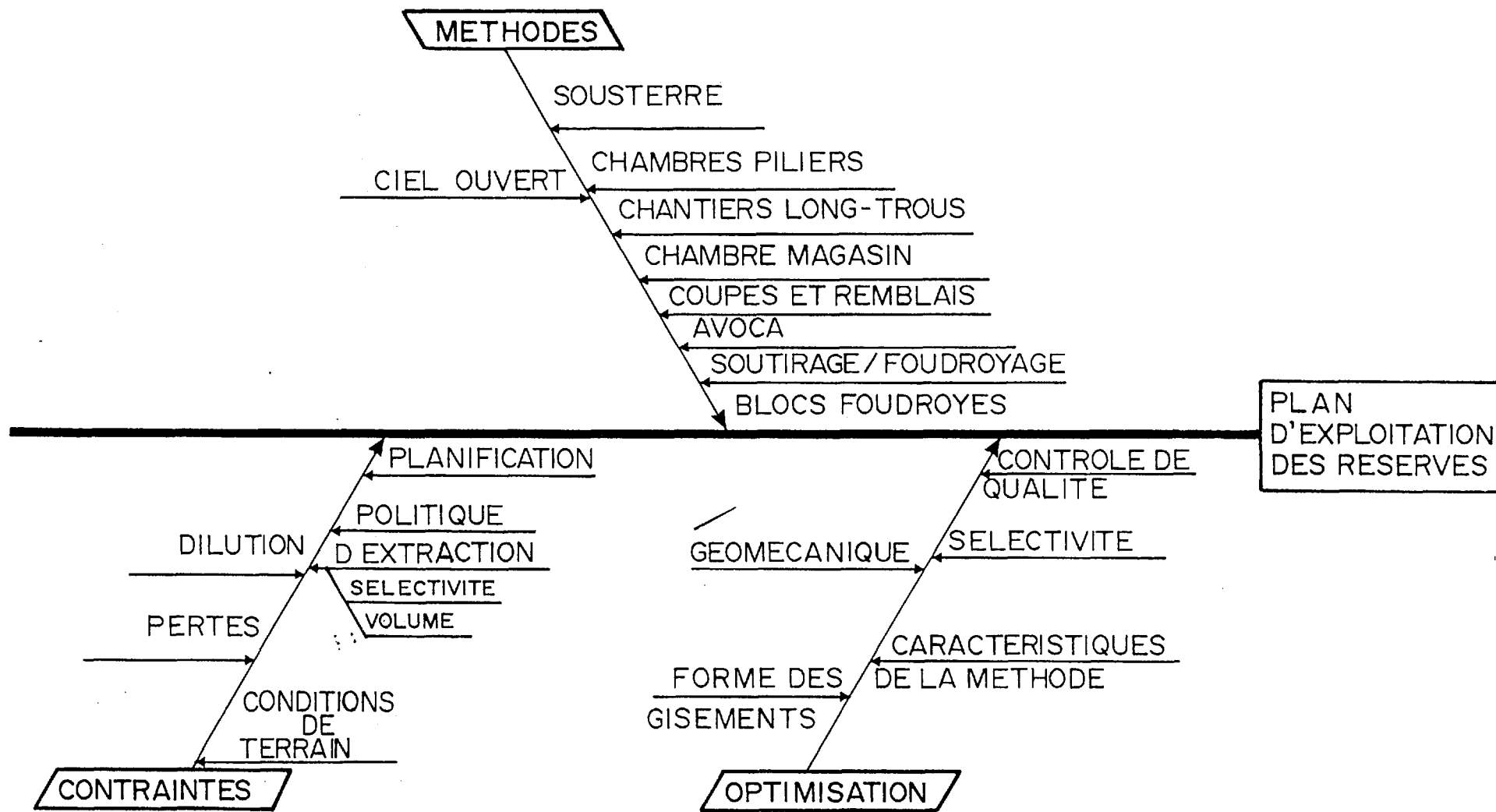


Fig. 8.0

8.3, 8.4 et 8.5 LES MÉTHODES D'EXPLOITATION

Les principales méthodes d'exploitation minière seront décrites à partir de leurs caractéristiques techniques et en fonction de l'aspect contrôle de la qualité dans l'exploitation minière. Les méthodes décrites sont l'exploitation à ciel ouvert, l'exploitation souterraine par chambres et piliers, par chantiers longs trous, par chambres-magasins, par coupes et remblais, par la méthode Avoca, par la méthode des blocs foudroyés. L'efficacité de ces méthodes quant à la récupération minière, quant à la fourchette de dilution qu'elles impliquent et quant à leur coût relatif, est illustrée dans les tableaux 8-1 et 8-2.

TABLEAU 8-1

CARACTÉRISTIQUES DES MÉTHODES

MÉTHODE D'EXPLOITATION	PENDAGE	COMMENTAIRE	COUT
CHAMBRES ET PILIERS:			
Horizontal	0 à 15°	Épentes compétentes Haute mécanisation	Bas
Plan incliné	15 à 40°	Épentes compétentes Peu de mécanisation	Élevé
Par paliers	15 à 40°	Épente compétente Haute mécanisation	Moyen
A LONGS TROUS:			
Petits diamètres	> 50°	Trous 60-80mm Profondeur 15m	Bas
Grands diamètres	> 50°	Trous 170mm Profondeur 50m	Faible
CHAMBRES-MAGASINS	> 50°	Minerai compétent Épentes compétentes	Moyen
CHAMBRES-REMBLAIS	> 45°	Minerai compétent Compétence moyenne à bonne	Elevé
MÉTHODE AVOCA	> 60	Minerai compétent Épentes de compétence moindre Haute mécanisation	Moyen
SOUTIRAGE PAR FOUDROYAGE	20-60°	Épentes compétentes Haute mécanisation	Bas

TABLEAU 8-2
EFFICACITÉ DES MÉTHODES D'EXPLOITATION

Méthode d'exploitation	Récupération	Dilution	Sélection	Contrôle
	%	%		
CIEL OUVERT	60 à 95	10-30	Très bonne	Elevé
CHAMBRES ET PILIERS				
Horizontale	35 à 80	5-20	Bonne	Limité
Plan incliné	40 à 70	5-20	Bonne	Limité
Par paliers	50 à 70	5-20	Bonne	Limité
A LONGS TROUS:				
Petits diamètres	80 à 95	20 à 50	Médiocre	Limité
Grands diamètres	90-100	10 à 40	Médiocre	Faible
Chambres-magasins	80 -100	5 à 20	Élevée	Élevé
Chambres-remblais	80-100	5 à 20	Élevée	Élevé
Méthode Avoca	70 à 95	10 à 40	Médiocre	Limité
Chambres foudroyées	60 à 80	20 à 50	Médiocre	Faible
Blocs foudroyés	40 à 80	20 à 50	Basse	Nul

8.6 CAS TYPES

Trois cas types d'exploitation sont décrits pour illustrer divers aspects des relations gisement/mine et du contrôle de la qualité décrites. Les cas types de mine Doyon et Equity Silver soulignent le fait que les prédictions des réserves minières et les facteurs de dilution/perte inclus impliquent, la plupart du temps, un contrôle de la qualité rigoureux lors de l'exploitation.

8.7 GUIDES D'APPLICATION

8.7.1 Gisement / conception-planification

L'efficacité demande d'explicitier les relations suivantes entre le gisement et la méthode envisagée:

- l'échelle d'exploitation;

- les relations chantier gisement, quant aux limites extérieures,
- l'attitude des zones minéralisées;
- la forme et l'épaisseur du gisement.

8.7.2 Géomécanique

La géomécanique est un élément essentiel de la conception, de la planification et du contrôle des exploitations minière, à cause de ses incidences sur la stabilité et sur la sécurité des exploitations (voir sect 4.3). En corollaire, les piliers planifiés dans une mine pour la stabilité des chantiers et des autres ouvertures ne peuvent faire partie des réserves minières que si un plan d'extraction a été établi en fonction de toutes les exigences géomécaniques.

8.7.3 Les prévisions

Une fois un plan d'extraction choisi, les réserves seront établies à partir des limites des chantiers, en tenant compte des pertes et de la dilution anticipées à l'exploitation. Le Guide rappelle de nouveau que les facteurs de correction et les chiffres des réserves ne sont que des ESTIMÉS qu'il faudra réaliser à l'exploitation.

8.7.4 Les conditions de réalisation

Il faut anticiper les conditions de l'exploitation minière projetée, qui pourraient affecter la qualité du minerai. Ce sont, entre autres:

- la variabilité de la minéralisation,
- la variabilité de la délimitation des murs des chantiers,
- l'acheminement du minerai et du stérile.

8.7.5 Contrôle de la qualité

Le contrôle de la qualité est une responsabilité prioritaire du géologue/ingénieur géologue dans l'exploitation minière. Le contrôle de la qualité **doit s'exercer essentiellement avant le sautage** et dépend:

- des possibilités d'obtenir des informations additionnelles avant le sautage pour ajuster les teneurs des chantiers;
- des possibilités d'informations de contrôle à partir des forages des sautages;

A posteriori, ce qui est toujours d'efficacité douteuse, le contrôle de la qualité peut comprendre:

- l'échantillonnage des points de soutirage,
- l'échantillonnage des godets ou des camions.

8.7.6 Coûts et implications

L'étude des coûts des méthodes alternatives d'exploitation doit se faire de façon systématique, afin de permettre des comparaisons objectives et de répondre aux questions suivantes:

- coûts comparatifs des alternatives évaluées ?
- implications sur le développement, le rythme d'exploitation, la qualité du minerai?
- pertinence aux objectifs d'un projet industriel?

8.8 LE BILAN DES RÉSERVES

Trop peu d'entreprises minières maintiennent une comptabilité rigoureuse des résultats des exploitations. Le Guide propose une procédure de Bilan des réserves qui s'appuie sur une explication (une réconciliation en terme comptable) des causes des différences observées entre les estimés d'une année et ceux qui les suivent et avec les résultats de la production (Voir les tableaux 8-3 à 8-7 au Tome II).

Le modèle de Bilan des réserves proposé présente les inventaires des réserves et des gisements délimités sous forme d'une série de tableaux synoptiques et analytiques, qui visent à résumer, comparer et présenter l'évolution des réserves et des ressources délimitées d'une mine en fonction de l'exploitation réalisée, des résultats de l'exploration et de la mise en valeur en cours, et également, en fonction des changements dans les teneurs repères ou dans les modèles géologiques.

9. LES ASPECTS MINÉRALURGIQUES

9.1 RECHERCHE ET INGÉNIERIE

Le choix d'un procédé d'extraction approprié du ou des métaux contenus dans une roche minéralisée est essentiel à la rentabilité de l'exploitation éventuelle. La démarche d'évaluation minéralurgique est illustrée en figure 9-0. Les divers aspects minéralurgiques de l'optimisation du rendement et des frais d'exploitation dépassent le cadre du Guide.

9.1.1 Pertes et dilution

Dans la continuité de la démarche du Guide, il faut regarder les pertes et la dilution à la minéralurgie. Les pertes consistent en tout métal présent dans le minerai présenté à l'usine et non récupéré par le procédé d'extraction. La dilution consiste en lacunes de qualité du produit, en salissage ou en teneurs trop élevées en éléments secondaires et pour lesquelles le producteur est pénalisé. L'efficacité minéralurgique requiert l'échantillonnage et le contrôle de toutes les étapes du procédé ainsi que le bilan métal rigoureux du procédé..

9.1.2 Évolution des essais

Les essais minéralurgiques se font typiquement en plusieurs étapes, à partir d'essais d'orientation appuyés sur la minéralogie au stade 4, on passera aux programmes systématiques qui comprendront des essais en laboratoire, des essais de traitement en usine pilote, parfois même en usine industrielle au stade 6.

9.1.3 Choix et planification

Les essais minéralurgiques seront suivis d'une analyse de l'ingénierie du procédé et des coûts d'exploitation de l'usine requise pour sa réalisation. Le choix d'un procédé approprié dépend des diverses étapes d'un procédé d'évaluation... Étant donné les interactions multiples coûts/revenus reliées aux paramètres gisement- exploitation-minéralurgie, il est important d'évaluer l'ensemble de la situation et la rentabilité globale de toute l'exploitation.

9.2 LES PROCÉDÉS DE TRAITEMENT

Les procédés de traitement qui peuvent s'appliquer aux gisements d'or sont: la concentration gravimétrique, la flottation, la cyanuration en usine ou par lixiviation en tas. Le procédé d'amalgamation n'est plus utilisé dans les pays industriels surtout à cause des

problèmes de pollution de l'environnement et des problèmes de santé rattachés à son usage; son rendement est également plus faible.

9.3 LES ÉTAPES MINÉRALURGIQUES

9.3.1 Minéralogie

Les études minéralogiques ont pour but de déterminer la distribution (quantitative) de l'or dans les divers minéraux et dans les diverses fractions granulométriques de ces minéraux. Il faut également identifier les phases minérales susceptibles de présenter des difficultés spéciales (R=réfractaire) au moment de la lixiviation. Les principales phases sont:

- l'or grossier libre et visible;
- l'or très fin, non visible (R?);
- l'or fin incorporé dans les silicates (R?);
- l'or fin disséminé / incorporé dans les sulfures, les arséniures (R?);
- les associations minérales susceptibles de causer des problèmes de récupération lors de la lixiviation par les cyanures, comme le graphite et les matières organiques ou les minéraux cyanicides tels les divers sulfures de cuivre.

9.3.2 Échantillonnage

La valeur des résultats des essais dépend directement de la représentativité du matériel soumis pour étude. La représentativité des échantillons et l'évaluation géologique de ces échantillons par rapport aux différents types de minerai dans l'ensemble du gisement est donc essentielle. C'est une responsabilité directe du géologue / ingénieur géologue qui doit être explicitée dans des rapports ad hoc. Les autres intervenants partagent cette responsabilité avec lui.

9.3.3 Les types d'essais

Dans une approche systématique, des essais des procédés suivants sont requis dans le but de bien caractériser la minéralisation:

- essais de broyage,
- concentration gravimétrique,
- flottation des sulfures,
- essais de lixiviation,
- essais de récupération de l'or dissout.

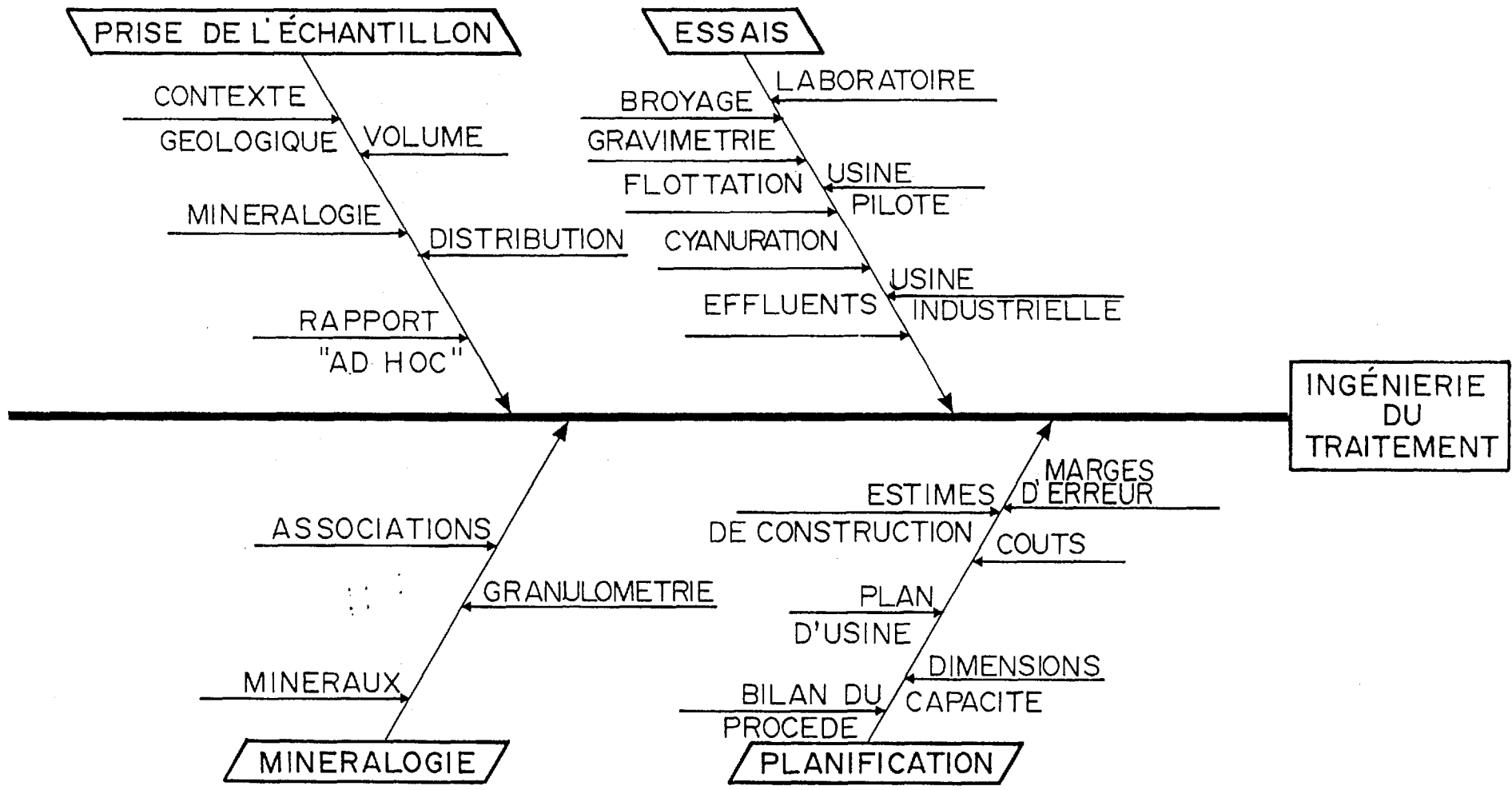


Fig. 9.0

9.3.4 Les étapes des essais

Les premiers essais en laboratoire seront faits à partir des carottes des forages et/ou des échantillons de surface. Des forages de plus gros calibre pourront permettre des essais en continu. Des échantillons en vrac permettront d'établir le procédé à partir d'essais en usine pilote ou en usine industrielle. Les essais en usine industrielle demandent des conditions de travail qui respectent les exigences des essais. Ce sont les méthodes d'échantillonnage et de contrôle, la qualité technique de la surveillance, ainsi que la durée des essais.

9.3.5 Ingénierie de l'usine

Les résultats techniques des essais: la récupération, les teneurs de l'alimentation et du concentré permettront d'établir le schéma de traitement requis. A partir de ces informations on pourra établir les coûts du traitement, les coûts des investissements requis et le coût du traitement à forfait dans l'usine appropriée. Les divers aspects minéralurgiques de l'optimisation du rendement et des frais d'exploitation dépassent le cadre du Guide.

9.4 LES ÉCHANTILLONNAGES EN USINE

Le contrôle de la masse et des teneurs n'est pas facilité par l'aspect pépétique de la minéralisation d'or ni par son corollaire: la présence dans le circuit de concentration de paillettes d'or. L'établissement d'un contrôle approprié et d'un bilan métal rigoureux demande la mesure autant de la teneur que de la masse des trois phases du procédé: l'alimentation, les rejets, le concentré. On pourra ainsi prévenir ou minimiser les "pertes occultes". Le Guide souligne l'importance des éléments suivants:

- la nécessité de redondance dans l'information pour vérification;
- la nécessité de l'échantillonnage et de la mesure des masses et des teneurs de l'alimentation, des concentrés et des rejets,
- la nécessité de contrôle de l'or grossier;
- la nécessité de rétroaction sur les réserves des résultats du traitement en usine.

9.5 LA VARIABILITÉ MINÉRALURGIQUE

L'efficacité des procédés demande des prévisions beaucoup plus poussées de la variabilité minéralurgique dans les gisements de géologie/ minéralogie complexe. Deux cas types (au Tome II) montrent que cet objectif réalisable demande une intégration des informations géologiques, minéralogiques, minières et minéralurgiques dans des systèmes et des procédures appropriés et s'appuie sur la collaboration du personnel responsable dans les diverses spécialités impliquées.

L'AXE DE L'ÉCONOMIQUE

10. LES ASPECTS ÉCONOMIQUES

10.1 CONTEXTE ET INTERRELATIONS

10.1.1 Interrelations

L'établissement des réserves minières se fait à partir d'une teneur de rentabilité et de teneurs de coupure dérivées des facteurs économiques appliqués aux données de la géologie et de l'ingénierie. Pour un gisement donné avec ses caractéristiques de teneur, les prix des métaux et la demande, les investissements qu'il requiert et leurs frais ainsi que les coûts de toutes les étapes du processus minier, déterminent la rentabilité du projet. Tous ces facteurs ont une influence directe sur l'établissement des réserves minières d'un projet. En effet, l'évaluation des réserves minières se fait à partir des paramètres économiques qui, en retour, dépendent des aspects de géologie et d'ingénierie du gisement. Une démarche itérative en plusieurs étapes est donc nécessaire pour établir les paramètres optimaux.

Les difficultés d'évaluation des paramètres économiques, leurs variations dans le temps (prix des métaux, loyer de l'argent) ainsi que les difficultés du choix des paramètres appropriés pour appuyer les décisions, contribuent à augmenter les difficultés rencontrées dans l'évaluation des gisements.

10.1.2 Hypothèses d'évaluation.

L'optimisation de la valeur actuelle du gisement est proposée comme politique d'évaluation économique d'un gisement. Cette option est appropriée dans un contexte capitaliste, mais prise dans un contexte étroit sur une courte période, elle peut mener à l'épuisement de ressources naturelles renouvelables (forêts, baleines, pêcheries) autant qu'à l'écrémage de gisements miniers. La philosophie du développement durable peut être un contrepois raisonnable.

Caractéristiques des gisements

Dans l'évaluation économique des gisements, il faut tenir compte de diverses caractéristiques des gisements minéraux, telles:

- le caractère limité des gisements, dont les dimensions et les limites sont incomplètement connues, avec des possibilités de sous ou de sur-estimation;
- l'imprécision des connaissances sur les gisements et sur les facteurs d'ingénierie;

- l'évolution des situations sur les marchés des métaux et les marchés économiques sur le moyen terme de l'évaluation.

Les âges d'une exploitation

De l'inauguration à la fermeture, une exploitation minière passe par cinq âges distincts. Ces âges montent des caractéristiques financières dont résultent en général des teneurs de rentabilité et des teneurs de coupure plus basses une fois les investissements remboursés. Les profits atteignent alors un maximum et plus tard décroîtront graduellement avec les teneurs plus basses.

10.2 L'ANALYSE ÉCONOMIQUE

10.2.1 Définition du minerai

L'analyse économique d'un gisement minier comporte deux phases reliées mais distinctes: l'évaluation des teneurs repères (teneur de rentabilité et teneur de coupure) et l'analyse financière du projet minier en vue d'établir sa valeur actualisée à partir de divers critères d'investissement. La teneur de rentabilité d'un gisement est la teneur seuil pour laquelle la valeur réelle des substances minéralisées recouvrables couvre le coût de revient de la production vendue, augmenté d'un coût d'option. La teneur marginale est celle pour laquelle le revenu recouvrable est équilibré avec les coûts attribués à partir du point de décision.

10.2.2 Évolution des teneurs

L'évolution des paramètres financiers, au cours de la vie d'une exploitation, demande une analyse plus exhaustive pour l'établissement des teneurs repères. Des procédures d'évaluation peuvent tenir compte de l'évolution des paramètres économiques d'une exploitation et établir une stratégie permettant d'optimiser la valeur actuelle d'une exploitation basée sur une ressource limitée. Ces procédures demandent l'usage d'ordinateurs, surtout lorsqu'elles s'appliquent à des gisements d'importance.

10.2.3 États financiers prévisionnels

Les états financiers prévisionnels établissent le flux monétaire ("cash flow") anticipé pour le projet pendant la période projetée d'exploitation et permettent d'en évaluer la rentabilité. La valeur présente du projet sera établie par l'application de taux d'escompte appropriés aux revenus anticipés pour le projet dans les années futures et en faisant le total des montants ainsi obtenus. L'analyse financière de base est établie en dollars constants au début du projet, en postulant un financement intégral par fonds propres. Le taux de rentabilité indique la viabilité du projet dans les conditions présentes.

Pour être valables, les états financiers prévisionnels doivent être réalistes et s'appuyer sur des dossiers appropriés du point de vue de la géologie, de l'ingénierie et de l'économique. Autrement dit, les teneurs et les tonnages prédits et les plans d'exploitation doivent être des estimés appropriés et réalistes, les coûts d'investissements projetés doivent être appropriés pour réaliser la mise en marche de l'exploitation, tandis que les estimés des dépenses annuelles projetées doivent représenter des frais réalisables.

10.2.4 Coûts d'investissements

Les coûts d'investissements sont définis comme "les frais d'immobilisation pour la mise en valeur d'un projet minier destiné à produire et à vendre ou encore à utiliser une quantité déterminée de substances minérales". Il y a avantage à utiliser les définitions et les catégories définies par la "Loi concernant les droits sur les mines" et par les lois fiscales fédérales et provinciales car cela facilitera les calculs des droits miniers et des impôts.

10.2.5 Comptes d'exploitation

Les comptes d'exploitation prévisionnels ou états des résultats anticipés, présentent les revenus anticipés d'une entreprise pour une période donnée (normalement 12 mois). Dans le cas de l'étude d'un projet, les comptes d'exploitation sont la base des états financiers prévisionnels qui serviront à établir la rentabilité du projet. Sommairement, les comptes d'exploitation prévisionnels font le bilan suivant:

$$\text{REVENUS} - \text{DÉPENSES} = \text{PROFIT D'EXPLOITATION.}$$

Les REVENUS sont définis: "la valeur réelle des substances minérales vendues ou utilisées par un exploitant pendant un exercice financier au prix du marché à l'époque de leur expédition ou de leur usage, le tout selon la méthode régulièrement employée par l'exploitant". Il s'agit du revenu net fonderie (NSR), déduction faite des frais de vente, de transport, etc.

Les DÉPENSES D'EXPLOITATION comprennent les coûts variables (ceux qui varient en fonction de la production) et les coûts fixes (services, frais d'ingénierie et d'administration et l'amortissement).

L'impact de la fiscalité sur les profits doit être soigneusement évalué. Il y a l'impôt fédéral et l'impôt provincial sur le revenu corporatif, les droits miniers au provincial. Il y aura également la taxe annoncée sur les produits et services (TPS) à partir de 1991.

10.2.6 Analyse économique

Le projet minier devra être soumis aux techniques d'analyse économique et financière qui s'appliquent à tous les investissements dans des projets de caractère industriel. Ce sont en particulier, l'analyse de la rentabilité, la structure financière de l'entreprise, l'efficacité dans l'utilisation du capital. Toutes les données financières doivent être soumises à une analyse de sensibilité pour évaluer l'impact de différences possibles dans les revenus et les coûts sur la rentabilité du projet. La section suivante étend l'analyse de sensibilité à l'ensemble des données du projet.

11. L'ÉTUDE DE FAISABILITÉ ET LA DÉCISION

L'étude de faisabilité est une démarche distincte de l'analyse économique: c'est le bilan qui évalue et pondère toutes les études, tous les aspects du projet minier en vue de justifier et permettre (ou non), la décision de mise en production. C'est également une vérification (audit) de toutes les études et informations sur lesquelles s'appuie le projet d'implantation d'une exploitation minière.

11.1 LE BUT DE L'ÉTUDE DE FAISABILITÉ

L'étude de faisabilité doit permettre de décider d'un investissement dans un projet de caractère industriel, par opposition à une décision sur l'augmentation de l'investissement de risque aux stades du développement qui précèdent. L'étude de faisabilité, étude formelle et rigoureuse, appuyée sur des estimés, des plans et des devis détaillés, se distingue ainsi des études préliminaires ou de pré-faisabilité exécutées aux stades antérieurs du projet, pour justifier (ou non) la continuation des travaux et la décision d'investir des fonds additionnels pour progresser au stade suivant de la valorisation du gisement.

L'étude de faisabilité doit donc se faire dans un contexte quantitatif, dans la perspective que la décision d'implantation du projet industriel en dépend. La précision et la justesse des estimés sont essentielles, et cette étude ne saurait s'appuyer sur des informations de caractère préliminaire: il faut que les plans et études soient de caractère suffisamment détaillé pour garantir une marge d'erreur maximum à la hausse de l'ordre de 10% dans les estimés économiques⁸. Trop souvent, l'étude de faisabilité et la décision qui en dépend s'appuient sur des travaux de conception et de planification de caractère préliminaire, travaux qui offrent plutôt une marge d'erreur à la hausse de l'ordre de 40% ou plus. Il arrive alors que les travaux détaillés qui suivent la décision modifient sérieusement ou remettent en question la rentabilité escomptée pour le projet, soit en demandant des fonds plus importants pour les aménagements entrepris, soit en réduisant les revenus anticipés de l'exploitation.

11.2 LE CONTENU DE L'ÉTUDE

Vérification

Il va sans dire que l'étude de faisabilité doit faire la vérification de toutes les informations et études plus ponctuelles dans les domaines de la géologie, de l'ingénierie, de

* Dans le calcul des réserves, le risque est à la baisse et dans l'évaluation des coûts le risque est à la hausse seulement!

l'environnement, des aspects socio-politiques du projet (s'il y a lieu) et finalement de l'économique.

Étude de sensibilité

L'étude de sensibilité constitue la partie clef de l'étude car elle permet, en analysant la variation de la rentabilité qu'amène la variation de un ou plusieurs paramètres dans les divers domaines cités, d'établir l'assurance ou la vulnérabilité du projet minier. Le Guide propose une démarche systématique qui permettra d'établir une cote pour exprimer la fiabilité d'ensemble du projet. L'étude de faisabilité s'appuiera sur tous ces facteurs pour évaluer le projet et recommander, soit la mise en production, soit un report de la décision, soit l'abandon du projet.

11.3 LE RISQUE

L'appréciation du risque dans un projet minier dépend, en premier lieu, des informations dans les axes de géologie, d'ingénierie et d'économique et de la marge d'erreur que l'on peut tolérer pour ces informations. Lors de l'étude de faisabilité, l'analyse de sensibilité aura pour but d'évaluer l'ensemble des risques dus à des variations de ces facteurs.

L'appréciation du risque dépend également de facteurs difficilement quantifiables comme le potentiel géologique, les progrès technologiques anticipés, l'évolution des marchés. L'appréciation du risque dépendra également des motivations, des objectifs, des critères de décision des dirigeants responsables du projet. Le développement de plusieurs empires miniers s'est réalisé parce que les entrepreneurs et dirigeants de sociétés ont accepté des risques non quantifiables. Par contre, le Guide souligne qu'il n'y a pas de gloire et rarement de gain à assumer indûment des risques qu'un peu plus de travail et de frais auraient pu réduire sensiblement.

11.4 LA DÉCISION

La décision ne fait pas partie, à proprement parler de l'étude de faisabilité. La décision de mise en production est un processus parfois très long, rarement une courte étape. Elle implique un ensemble de démarches à partir des recommandations de l'étude de faisabilité, en particulier les démarches de financement du projet. La décision d'implantation est une prérogative de la direction d'une compagnie. Chaque compagnie oriente ses décisions en fonction de sa politique d'action et de son appréciation des facteurs de risque et des facteurs de gain, de croissance qu'implique le projet en cours. Cependant, le Guide tient à réitérer que l'acceptation du risque implique un dossier technique approprié et complet: assumer des risques importants lorsqu'un peu plus de travail et de frais aurait pu les diminuer ou même les éliminer, est de la mauvaise gestion et de l'irresponsabilité.

12. NORMES D'APPLICATION

Pour compléter l'étude des aspects techniques de l'évaluation des gisements, le Guide suggère des normes de présentation de l'information reliée aux divers travaux et études exécutés. Un aspect important de cette question concerne les standards de pratique et le rôle du professionnel comme expert et comme vérificateur.

12.1 NORMES DE PRÉSENTATION

Les normes sommaires de présentation qui suivent n'ont rien de très révolutionnaire. Essentiellement elles reprennent les normes courantes des Commissions des valeurs mobilières pour la présentation de l'information concernant un dossier de financement qui doit donner à l'investisseur une image juste et appropriée du projet concerné.

12.1.1 Géologie et réserves

Dans l'axe géologique, la présentation du dossier technique doit s'appuyer sur des cartes, des sections et des graphiques appropriés. Le système de classification des réserves et ressources minérales proposé par le Guide facilite l'appréciation de l'inventaire minéral et des réserves de minerai. Dans le rapport des réserves, la présentation des réserves et de l'inventaire des minéralisations doit s'appuyer sur une description de la méthodologie géologique et géostatistique utilisée, particulièrement des méthodes et des mailles d'échantillonnage.

12.1.2 Ingénierie et Économique

La réalisation efficace et économique d'un projet minier exige la gestion efficace de tous les éléments de ce projet. Les rapports d'ingénierie s'appuient sur les connaissances géologiques; ils doivent être appropriés à l'étape de décision et expliciter de façon rigoureuse la précision des estimés fournis. **Les économies réalisées aux stades initiaux de conception et de planification se traduisent le plus souvent par des pertes monétaires plus importantes à l'étape de la réalisation.**

Les estimés des coûts des projets doivent être appuyés sur des informations suffisantes pour garantir une marge d'erreur maximum à la hausse de 10%, sinon l'étude de faisabilité ne sera pas appropriée pour supporter la décision d'investissement requise pour réaliser le projet minier. Tout le processus de décision peut ainsi être faussé, en même temps que l'assurance de rentabilité du projet ainsi établie.

Pour améliorer ces situations, il faudra porter plus d'attention aux procédures et résultats des essais et des estimés, particulièrement aux chiffres et aux résultats dont la marge d'erreur probable est plus large. C'est le but de l'analyse de sensibilité.

12.2 LES RAPPORTS PROFESSIONNELS _____

Les réserves de minerai et les ressources délimitées constituent l'actif essentiel d'une compagnie minière. Le bilan de cet actif devrait être soumis à la vérification d'un expert externe à la compagnie, autant que le bilan financier. Cette procédure devrait s'appliquer également pour des domaines comme l'environnement et la sécurité. De telles expertises demandent l'intervention de professionnels d'expérience: la Commission des valeurs mobilières du Québec exige un minimum de sept ans d'expérience professionnelle pour l'auteur d'un rapport de qualification relié à un financement d'exploration minière.

12.3 L'ÉVALUATION DES DOSSIERS TECHNIQUES _____

Dans la pratique, le rôle du professionnel des diverses disciplines comme expert indépendant est souvent difficile. Il est au service d'un client qui parfois ne voit que son intérêt financier à court terme, sans tenir compte des effets à plus long terme des décisions, de leur impact sur la sécurité du public et sur la qualité de l'environnement. L'État, qui a constitué des ordres professionnels (ou corporations) dans beaucoup de domaines de connaissances spécialisées qui touchent au bien public, exige des professionnels de plus larges perspectives.

La Commission des valeurs mobilières d'Ontario annonçait en février 1990 la proposition de nouvelles normes et orientations visant à impliquer plus directement la responsabilité des professionnels des diverses disciplines dans les dossiers des financements publics. Il est donc important que, dans le domaine technique, les professionnels puissent s'appuyer sur des normes explicites et structurées telles celles proposées par le Guide.

Il est également nécessaire, dans le climat aléatoire et promotionnel de l'exploration minière, de pouvoir revoir dans un contexte professionnel les cas litigieux ou complexes qui se présentent. Le Comité d'Expert, tel qu'établi depuis plusieurs années à la Commission des valeurs mobilières de Colombie Britannique et adopté récemment à la Commission des valeurs mobilières d'Ontario, est un mécanisme efficace pour ces fins.

13. PERSPECTIVES

Le Guide veut contribuer à résoudre la problématique de l'évaluation des gisements d'or par une **analyse rigoureuse**, dans une **perspective systémique**. Souvent, la démarche recommandée par le Guide n'innove pas, malgré les apparences, ne faisant que reprendre et systématiser des approches et/ou des pratiques déjà appliquées par diverses compagnies minières ou compagnies d'exploration minière. Dans une prochaine étape, le cheminement préconisé par le Guide pourra servir de base à l'établissement d'un système expert, ce qui en élargirait la mise en pratique. En première analyse cependant, une période de réflexion s'impose sur le contenu du Guide d'évaluation des gisements d'or, sur les perspectives différentes, sinon originales, qu'il comporte.

Une fois réalisée l'étape initiale de définition du gisement qui se situe dans l'axe géologique, l'évaluation des gisements devient une démarche complexe qui s'appuie sur les connaissances étendues et les divers créneaux d'expérience d'une équipe multidisciplinaire dans les axes de l'ingénierie et de l'économique. C'est pourquoi la démarche du Guide s'adresse en priorité aux professionnels et aux cadres techniques et dirigeants qui ont la responsabilité des évaluations des gisements. Cette démarche ne pourra qu'être bénéfique également aux autres intervenants dans les domaines connexes, tels les organismes de réglementation et les ministères spécialisés.

Une amélioration des processus d'évaluation et de décision ne peut se traduire que par **une plus grande efficacité de l'industrie et des milieux financiers**, entraînant **une plus grande rentabilité des capitaux de risque** investis par le public et par les compagnies à tous les stades du développement minéral. De tels résultats auraient certes des **rétro-actions bénéfiques** et contribueraient à **une plus grande disponibilité des capitaux de risque** pour l'exploration et la mise en valeur des gisements miniers au Québec et au Canada. La vigueur future de l'exploration minière et du développement minéral en dépendent!

Précis d'évaluation

Classification

des Réserves et des Ressources



CLASSIFICATION DES RÉSERVES ET DES RESSOURCES

C3. LE NOUVEAU SYSTÈME PROPOSÉ

La revue et l'analyse critique dans les chapitres 1 et 2 du Tome III du Guide⁹, des divers systèmes de classification des réserves et des ressources, ont fait ressortir l'évolution des concepts vers la quantification, depuis les définitions encore actuelles des termes minerais prouvé, probable et possible par H.C. Hoover au début du siècle. Cette revue a aussi permis de dégager les principales caractéristiques, les différences et les lacunes des normes et systèmes de classification des réserves utilisés dans les contextes nord-américain et australasien. Ces difficultés sont notables en particulier sur l'emploi des termes réserve, minerais, réserve possible et sur l'absence d'explicitation et de quantification de la marge d'erreur des estimés. Le Guide a développé, à partir des éléments clés des systèmes existants, un système mieux intégré et plus complet.

C3.1 LES PRINCIPES DIRECTEURS

Le système de classification et les définitions que propose le Guide s'appuient sur le système du US Geological Survey, sur le Code australasien, sur l'échelle des stades du développement minéral de SOQUEM et sur les axes de connaissance des gisements minéraux, la géologie, l'ingénierie et l'économique. Les définitions du Guide complètent, sans les contredire, les réglementations canadiennes et américaines actuelles.

Le principe essentiel, qui est déjà explicite dans les systèmes cités, est que le terme réserve ne sera utilisé que lorsque les connaissances dans ces trois axes seront suffisantes pour établir la rentabilité d'un projet d'exploitation et décider de sa réalisation. Aux stades de définition du gisement et de mise en valeur où la connaissance est surtout d'ordre géologique, le terme ressource minérale délimitée (tel que proposé par le Code australasien) sera utilisé.

Le système proposé par le Guide doit être applicable aux divers types de gisements et aux divers stades du développement minéral, de la découverte du gisement à l'exploitation. Pour permettre une aussi large application, une structure systématique est requise. Cette

⁹ Pour faciliter le suivi avec le Tome 3, ce chapitre est numéroté de la même façon que le chapitre 3 qu'il résume.

structure repose sur un emploi rigoureux des termes réserves et ressources ou gisements délimités, assortis de subdivisions et qualificatifs appropriés.

C3.2 RÉSERVES ET RESSOURCES

Les éléments essentiels des définitions et des classifications sont présentés sur les tableaux C3-2 à C-5⁽¹⁰⁾. Le tableau C3-2 présente le plan d'ensemble de la classification, plan axé sur trois paliers, celui des réserves, celui des gisements identifiés et gisements inférés, et celui des ressources hypothétiques. Il est essentiel de présenter un système complet pour éviter les confusions actuelles. Les subdivisions des réserves et des gisements délimités sont nécessaires pour l'établissement d'inventaires suffisamment détaillés et précis.

Les **réserves** sont caractérisées par des connaissances suffisantes pour établir la rentabilité de l'exploitation minière dans les axes de la géologie, de l'ingénierie et de l'économique, ce qui se produit aux stades 8 à 10. Elles sont subdivisées en **réserves de minerai** dont la rentabilité est assurée et **réserves marginales**, dont la connaissance serait suffisante pour l'exploitation mais dont la rentabilité est établie comme marginale (tableaux C3-2 et 3-2). Par définition, les réserves de minerai sont des réserves minières. Par définition également, réserve implique récupération, donc on ne avoir des "réserves in situ".

Les **ressources identifiées** comprennent les gisements délimités et les minéralisations inférées. Les inventaires des **gisements délimités**, ou ressources minérales délimitées sont caractérisés par les connaissances présentes principalement dans l'axe de la géologie. Dans les autres axes, les connaissances ne sont pas suffisantes ou n'établissent pas la rentabilité à court/moyen terme.

Les **minéralisations inférées** remplacent la catégorie des *réserves possibles* des classifications actuelles. Ce dernier terme de même que celui de réserves géologiques sont complètement exclus de ce système. Par définition les gisements inférés ou ressources minérales inférées se situent sur une propriété spécifique, dans le prolongement de réserves ou de gisements délimités.

¹⁰ Les tableaux C 3-1 et C 3-6 du Tome III ne sont pas reproduits au Précis.

C3.3 LES PRINCIPES D'APPLICATION

C3.3.1 Normes d'estimation

La classification des réserves de minerai ou réserves minières et des gisements délimités demande l'explicitation des mailles et des méthodes d'échantillonnage, des paramètres d'interprétation de la géologie et du minerai et des paramètres de calcul des inventaires.

C3.3.2 Marges d'erreur des estimés

L'établissement de la marge d'erreur (l'inverse de la précision) des estimés des réserves et des gisements délimités est un objectif explicite de plusieurs des classifications antérieures. Le Guide endosse cet objectif et fournit un schéma directeur et des repères concrets pour permettre de cheminer vers cet objectif. Le tableau 7-2 fournit ces repères spécifiques.

Dans un contexte traditionnel d'estimation, plusieurs sociétés minières ont déjà établi des subdivisions des réserves auxquelles on a attribué une précision ou une marge d'erreur, à partir des mailles d'échantillonnages, en s'appuyant sur l'expérience empirique des exploitations; d'autres ont proposé d'utiliser des méthodes statistiques ou géostatistiques. La nature de ces pratiques dépend du type et de la dimension du gisement et surtout de l'expérience accumulée.

Pour clarifier les concepts, le Guide propose d'évaluer la marge d'erreur et les probabilités qui s'y rattachent. Pour ce faire, dans le contexte des gisements et des variables régionalisées, l'application de la géostatistique est recommandée. La schéma que propose le Guide est axé sur la marge d'erreur relative des estimés de teneur moyenne, au niveau de confiance de 90%. La marge d'erreur relative (de fait l'inverse de la précision) est définie comme la différence entre l'estimé et sa valeur limite inférieure. La valeur limite inférieure est celle pour laquelle on est sûr à 90% que la valeur moyenne visée est au moins égale à cette valeur. Les variations de la marge d'erreur relative seront utilisées comme l'un des critères dans la classification des réserves prouvées et probables (voir Tome II, section 7.4).

Dans ce système, les Réserves Probables seront caractérisées par la marge d'erreur globale attribuée aux zones minéralisées avec la maille et la qualité d'information disponible (en tenant compte des considérations d'ingénierie et d'économique). Les Réserves Probables seront subdivisées selon la marge d'erreur globale en Classe I (< 30%) et Classe II (< 40%), (et les autres considérations d'ingénierie et d'économique). Des critères équivalents s'appliquent pour les Gisements délimités des catégories Indiqué Classe I et II. A ce niveau,

les connaissances ne sont pas suffisantes pour estimer des blocs restreints du gisement avec des marges d'erreur utilisables.

Les **Réserves Prouvées** sont caractérisées par des marges d'erreurs plus restreintes sur les teneurs globales que celles qui caractérisent les Réserves probables. De plus, l'objectif de réalisation minière qui est explicite lorsqu'on utilise le terme réserve, exige de pouvoir quantifier les marges d'erreur des **blocs d'estimation**. Dans le contexte minier, le Guide propose d'utiliser un bloc maximum dont la masse ne dépasse pas deux mois de production au taux envisagé.

Pour les réserves Prouvées Classe I, la marge d'erreur globale est de moins de 10% et celle des blocs d'estimation est suffisamment basse pour garantir la **sélection minière recherchée** dans la méthode d'exploitation utilisée. Pour les réserves Prouvées Classe II, la marge d'erreur globale est plus forte et la marge d'erreur des teneurs des blocs d'estimation est suffisante pour assurer la **faisabilité d'exploitation**, compte tenu de la méthode d'exploitation proposée. Des critères équivalents s'appliquent (dans l'axe géologique seulement) pour les Gisements Mesurés des Classes I et II.

Il va sans dire que le schéma détaillé de classification appuyé sur la géostatistique que le Guide propose est pour l'instant un prototype à appliquer. Il y beaucoup de travail à faire en relation avec les marges d'erreur des blocs d'estimation et les méthodes minières en relation avec les types des gisements (voir Chapitres 7 et 8 du Tome II). **Par contre, la subdivision des catégories en classes et l'application de marges d'erreur n'en dépendent pas nécessairement, puisque ces mesures ont été déjà été appliquées à partir des mailles d'échantillonnage et de l'expérience acquise, comme le démontrent divers cas types décrits dans les tomes II et III du Guide.**

RESSOURCES / RÉSERVES

RESSOURCES NON - DÉCOUVERTES			RESSOURCES IDENTIFIÉES			RÉSERVES		
Spéculatives	Hypothétiques	Inf.	Délimitées			DÉMONTRÉES		

EXPLORATION				MISE EN VALEUR				EXPLOITATION	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Reconnaissance régionale	Prospection d'anomalies	Vérification d'indices	Découverte Délimitation	Définition du gisement	Ingénierie du projet	Économique du projet	Faisabilité Décision	Développement minier	Exploitation minière

Économique		Inf.	Gisements délimités		RÉSERVES Probables II, I Prouvée II, I	
Marginal			Indiqué II, I	Mesuré II, I	RÉSERVES MARGINALES	
Non Économique					GISEMENTS DÉLIMITÉS	

Fig.C3.1

CLASSIFICATION PROPOSÉE

TABLEAU C3-2
CLASSIFICATION DES RESSOURCES ET DES RÉSERVES

STADES DU DÉVELOPPEMENT MINIER ET DE L'EXPLOITATION (8 à 10)

RÉSERVE Le terme Réserve s'applique à des zones minéralisées pour lesquelles sont disponibles des connaissances appropriées dans les axes de la géologie, de l'ingénierie, de l'économie et qui sont suffisantes pour établir la faisabilité d'exploitation et la rentabilité. Les réserves sont **Prouvées** ou **Probables**.

RÉSERVE de MINÉRAI Les réserves de minéral sont celles dont l'exploitation en cours est rentable ou dont la rentabilité a été établie par une étude de faisabilité de mise en production d'un nouveau projet minier.

RÉSERVE MARGINALE Les réserves marginales sont celles qui montrent une rentabilité marginale aux conditions actuelles, soit dans une exploitation en cours, soit dans un nouveau projet minier dont la rentabilité est déjà établie dans une étude de faisabilité.

STADES DE LA DÉCOUVERTE ET DE LA MISE EN VALEUR (4 à 7)

RESSOURCES MINÉRALES IDENTIFIÉES

GISEMENT DÉLIMITÉ Un gisement délimité est connu de façon quantitative, dans l'axe géologique surtout. En général, les connaissances ne sont pas suffisantes dans les axes de l'ingénierie et de l'économie pour établir la faisabilité ou, si elles le sont, la rentabilité n'a pu être établie. (**Mesurés** ou **Indiqués**).

MINÉRALISATIONS INFÉRÉES Les minéralisations inférées, ou ressources minérales inférées, sont interprétées sur un site donné, dans les prolongements des zones connues actuellement, ou à partir d'échantillonnages sporadiques.

STADES DES INVENTAIRES GÉOLOGIQUES ET MÉTALLOGÉNIQUES (1 à 3)

RESSOURCES NON DÉCOUVERTES

HYPOTHÉTIQUES Les ressources minérales hypothétiques sont considérées comme possibles d'après les connaissances géologiques ou métallogéniques dans un district donné: elles s'appuient sur les indices minéralisés et les anomalies.

SPÉCULATIVES Les ressources minérales spéculatives sont postulées sans référence à des ressources déjà découvertes ou à des types de gisements connus.

TABLEAU C3-3

SUBDIVISIONS DES RÉSERVES

<u>CATÉGORIE</u> <u>SUBDIVISION</u>	<u>Marge d'erreur (à 90% de confiance)</u>	
	<u>Globale</u>	<u>Des Blocs</u>
PROUVÉ - CLASSE I Minéralisation dont le volume et les limites, la masse et les teneurs d'intérêt sont connues de façon détaillée par des sondages et échantillonnages sur mailles régulières et rapprochées, et par des travaux miniers et des échantillonnages systématiques, détaillés et en vrac. L'accès au minerai et les connaissances sont à un niveau suffisant pour permettre la planification minière détaillée, (mais pas nécessairement tout le contrôle de la qualité à l'exploitation). C'est le "Prouvé-développé" de certaines mines.	< 10%	< 25%
PROUVÉ - CLASSE II Minéralisation dont le volume et les limites, la masse et les teneurs d'intérêt sont connus de façon détaillée par des sondages et échantillonnages, et par des travaux miniers et des échantillonnages systématiques et en vrac moins élaborés que dans le cas du "Prouvé Classe I". L'information est suffisante pour la planification minière des chantiers mais pas pour la planification détaillée de l'exploitation. (C'est le "Prouvé par sondages" de certaines mines).	< 20%	< 50%
PROBABLE - CLASSE I Minéralisation dont la continuité est assurée et démontrée par des sondages et échantillonnages sur une maille relativement large, mais régulière. La densité de la maille permet d'établir le volume et les limites, la masse et les teneurs avec une précision suffisante pour une planification minière de caractère préliminaire. La connaissance d'ingénierie et d'économique des réserves probables s'appuie en majeure partie sur celle des réserves prouvées.	< 30%	> 50%
PROBABLE - CLASSE II Minéralisation dont la continuité est établie par des sondages et échantillonnages sur une maille large et irrégulière. La maille d'information permet d'établir les volumes et les limites, la masse, et les teneurs avec des marges d'erreur correspondant à une planification minière de caractère conceptuel. La connaissance d'ingénierie et d'économique des réserves probables s'appuie en majeure partie sur celle des réserves prouvées.	< 40% +	Extrême

TABLEAU C3-4

DÉFINITIONS DES RESSOURCES IDENTIFIÉES

Le terme ressources identifiées caractérise un palier de connaissance concrète, essentiellement d'ordre géologique, entre les réserves et les ressources minérales prospectives non encore découvertes. Il comprend les gisements délimités et les minéralisations inférées.

GISEMENT DÉLIMITÉ

Le **gisement minéral délimité** consiste en un amas minéralisé défini à partir de sondages et d'échantillonnages qui permettent l'estimation de la masse, des limites et du contenu métal d'un gisement. Les connaissances se situent dans l'axe géologique, sans référence autre que conceptuelle à des paramètres d'ingénierie ou d'économique, ou si les connaissances dans ces axes sont appropriées, celles-ci ne permettent d'entrevoir qu'une rentabilité à moyen ou à long terme, ce qui ne permet pas de considérer le gisement comme réserve.

L'interprétation doit être faite à partir de critères géologiques, et de repères conceptuels miniers et économiques réalistes, dont les teneurs de coupures, tels qu'utilisés dans des exploitations sur des gisements de type similaire. Des critères similaires à ceux des estimés des réserves s'appliquent quant à la fiabilité des estimés et à l'utilisation de sous-classes. Les classes Mesuré et Indiqué seront utilisées pour les estimés des Ressources identifiées, avec des critères d'application similaires à ceux des réserves prouvées et probables.

MINÉRALISATIONS INFÉRÉES

minéralisations inférées (ou ressources minérales inférées) sont interprétées sur un **site spécifique**, sur la base d'une continuité présumée de minéralisations ou minerais déjà bien connus. Le volume, les limites, la masse et les teneur des zones inférées ne sont, au mieux, que suggérés par quelques sondages ou échantillons ou encore, s'appuient sur une répétition présumée de caractéristiques géologiques, géophysiques et gîtologiques.

TABLEAU C3-5

SUBDIVISIONS DES GISEMENTS DÉLIMITÉS

CATÉGORIE	Subdivision	Marge d'erreur (à 90% de confiance)	
		Globale	Blocs

Un gisement délimité est connu quantitativement dans l'axe géologique surtout. Les connaissances ne sont en général pas suffisantes dans les axes de l'ingénierie et de l'économique pour établir la faisabilité. Dans les cas où les connaissances d'ingénierie et d'économique sont appropriées, elles ne laissent entrevoir la rentabilité éventuelle qu'à moyen ou long terme.

MESURÉ

CLASSE I	< 10%	< 25%
-----------------	-------	-------

Gisement ou zone minéralisée dont le volume et les limites, la masse et les teneurs d'intérêt sont connus de façon détaillée par des forages et des échantillonnages sur mailles régulières et rapprochées et par des échantillonnages systématiques détaillés et en vrac.

CLASSE II	< 20%	< 50%
------------------	-------	-------

Minéralisation dont le volume et les limites, la masse et les teneurs d'intérêt sont connus de façon détaillée par des forages et des échantillonnages systématiques et rapprochés et, possiblement, quelques échantillonnages miniers.

INDIQUÉ

CLASSE I	< 30%	> 50%
-----------------	-------	-------

Minéralisation dont la continuité est assurée et démontrée par des sondages et des échantillonnages sur une maille régulière mais relativement large, mais la marge d'erreur sur le volume et les limites, la masse et les teneurs est importante. La connaissance de l'ingénierie et de l'économique est surtout de caractère conceptuel.

CLASSE II	< 40%	Extrême
------------------	-------	---------

Minéralisation dont la continuité est établie par des sondages et échantillonnages sur une maille irrégulière et large, mais dont la marge d'erreur sur le volume et les limites, la masse et les teneurs et la masse est très forte. La connaissance de l'ingénierie et de l'économique est surtout de caractère conceptuel.

C3.4 COMPARAISONS

Le Guide présente au tableau C3-7, à titre comparatif, une comparaison des classifications nord américaines traditionnelles, de la classification européenne et de celle des Nations Unies.

TABLEAU C3-7
COMPARAISON DES CLASSIFICATIONS DES RÉSERVES-RESSOURCES

<u>Amérique du Nord</u>	<u>Europe</u>	<u>Nations Unies</u>	<u>Guide d'évaluation</u>
Réserve Prouvée	A- Réserve		Réserve Prouvée <i>Gisement délimité Mesuré</i>
-----	-----		-----
Réserve Probable	B- Réserve	Ressource R-1	Réserve Probable <i>Gisement délimité Indiqué</i>
-----	-----		-----
	C ₁ -Reserve		<i>Minéralisations Inférées</i>
	-----		-----
Réserve Possible	C ₂ -Reserve	Ressource R-2	
-----	-----	-----	-----
Ressources			
		Ressource R-3	Ressources
Hypothétiques			Hypothétiques
Spéculatives			Spéculatives

C3.5 CAS TYPES D'APPLICATION

Les cas types des mines Louvem, Niobec, et de la division Opémiska de Minnova montrent comment le système de classification en catégories et classes a déjà été appliqué dans des exploitations minières, dans divers métaux, à partir des mailles d'information et de l'expérience accumulée. Les exemples présentés ne vont pas encore jusqu'à l'application du niveau de confiance et de la marge d'erreur pour le classement. Ce sera une expérience nouvelle à développer à partir du Guide.

Mai 1990

- 0 0 0 -

